Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

Управление научных исследований

# НЕДЕЛЯ НАУКИ

## XVI научно-техническая конференция

студентов, аспирантов и молодых ученых имени профессора, Лауреата Государственной премии СССР А.С. Дудырева

с международным участием

# СБОРНИК ТЕЗИСОВ

https://science.spb.ru/anevents/item/xvi-sci-week-ti

**Неделя науки - 2026**

**Творчество молодежи – будущему России**

Санкт-Петербург
2026

Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)

# СБОРНИК ТЕЗИСОВ

XVI научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых имени профессора, Лауреата Государственной премии СССР А.С. Дудырева

# «НЕДЕЛЯ НАУКИ-2026. Творчество молодежи – будущему России»

(с международным участием)

8 – 10 апреля 2026 г.

Санкт-Петербург
2026 г.

Сборник тезисов XVI научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых имени профессора, Лауреата Государственной премии СССР А.С. Дудырева «НЕДЕЛЯ НАУКИ-2026. Творчество молодежи – будущему России» (с международным участием).
8–10 апреля 2026 г. – СПб.: 2026. – 380 стр.

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

к.х.н., **Егоров Д.М.**
**Глухова Я.С.**

Редактор обложки:
**Павленко Д.Ф.**

*ISBN 978-5-6052067-8-1*

*В сборнике опубликованы тезисы докладов участников XVI научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых имени профессора, Лауреата Государственной премии СССР А.С. Дудырева «НЕДЕЛЯ НАУКИ-2026. Творчество молодежи – будущему России» (с международным участием).*

*Материалы публикуются в авторской редакции.*

© Издательство Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2026

# ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ





## НЕКОВАЛЕНТНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ. ТОНКАЯ ХИМИЯ ЖИЗНИ, ИЛИ КОГДА СЛАБОЕ СТАНОВИТСЯ СИЛЬНЫМ

***Кукушкин В.Ю.***
*Санкт-Петербургский государственный университет,*
*Институт химии*
*e-mail: v.kukushkin@spbu.ru*

В последние годы наблюдается лавинообразный рост публикаций по межмолекулярным взаимодействиям. Несмотря на невысокую энергию, нековалентные взаимодействия действуют коллективно и играют значимую роль в химических превращениях, синтезе, катализе и кристаллохимическом дизайне функциональных материалов. Понимание природы нековалентных взаимодействий имеет фундаментальное значение для наук о жизни и биомедицины, поскольку эти взаимодействия лежат в основе молекулярного распознавания и функционирования биологических систем.

Нековалентные взаимодействия определяют структурную организацию биомолекул: водородные связи стабилизируют вторичную и третичную структуру белков, а водородные связи совместно с $\pi$-$\pi$ стэкинг-взаимодействиями обеспечивают стабильность двойной спирали ДНК. Помимо классических ван-дер-ваальсовых сил и водородных связей, в современной координационной химии изучаются неклассические типы: галогенные, халькогенные и пниктогенные связи, реализующиеся через области положительного электростатического потенциала ($\sigma$-дырки). Природные системы эффективно используют нековалентные взаимодействия: ван-дер-ваальсовы силы обеспечивают адгезию у геккона, а галогенные связи с участием атомов йода реализуются в механизме рецепторного распознавания гормонов щитовидной железы.

В докладе будут рассмотрены и классифицированы типы нековалентных взаимодействий, а также систематизированы работы научной группы докладчика по изучению межмолекулярных взаимодействий (грант Министерства науки и высшего образования РФ № 075-15-2024-553).

**О докладчике**: академик РАН, профессор СПбГУ, вице-президент Российского химического общества им. Д.И. Менделеева, почётный доктор Universidade de Lisboa и National Taiwan University of Science and Technology, иностранный член Национальной академии наук Португалии, действительный член European Academy of Sciences. Наукометрика: индекс Хирша 62 (Scopus), 10 250+ цитирований (без учёта самоцитирования).

# СЕКЦИЯ 1.
# ФИЗИЧЕСКАЯ И АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ



# ИССЛЕДОВАНИЕ НАЛИЧИЯ ИЗОТОПНЫХ ЭФФЕКТОВ КИСЛОРОДА В ПРОЦЕССАХ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ИЗОТОПНОГО ОБМЕНА В СИСТЕМЕ ВОДА-ВОДОРОД

***Бахтеев К.А.*, *Бондаренко С.Д.***

*Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский Институт» – Петербургский Институт Ядерной Физики*

*e-mail: drmagmar@mail.ru*

# RESEARCH OF THE PRESENCE OF OXYGEN ISOTOPE EFFECTS IN CATALYTIC ISOTOPE EXCHANGE PROCESSES IN THE WATER-HYDROGEN SYSTEM

***Bakhteev K.A.*, *Bondarenko S.D.***

*National Research Center «Kurchatov Institute» – St. Petersburg Nuclear Physics Institute*

Три стабильных изотопа кислорода ($^{16}O_2$, $^{17}O_2$, $^{18}O_2$) в сочетании с изотопами водорода (H, D, T) образуют 18 изотопных модификаций воды [1]. При проектировании процессов обогащения изотопов водорода и кислорода следует учитывать их взаимное влияние. Однако, поведение изотопов кислорода для CECE-технологии [2], включающей электролиз и каталитический изотопный обмен, не изучено в полной мере.

Цель работы заключается в доказательстве или опровержении существования изотопных эффектов кислорода в процессе каталитического изотопного обмена в системе вода-водород, используемом для изотопной очистки воды в различных процессах (детритизация, депротизация, обогащения тяжелой или «легкой» воды).

Для детектирования изотопных эффектов использовался изотопный анализатор воды ABB GLA431-TLWIA. Для эксперимента была сконструирована лабораторная установка моделирования процессов CECE-технологии, состоящая из электролизера с твердополимерным электролитом, колонны каталитического изотопного обмена (КИО), заполненной гидрофорбным катализатором РХТУ-3СМ и спирально-призматической насадкой из нержавеющей стали, каталитического сжигателя водородно-кислородной смеси с катализатором ОПК-2. Использовались дистиллированная вода, полученные продукты и стандарты воды с концентрацией по $^{18}O$ близкой к природному значению. Полученные образцы замерялись на содержание $^{18}O$ на TLWIA, для которого была разработана методика измерения и получены калибровочные графики.

Полученные данные позволили сделать следующие выводы:

1. Значение концентрации кислорода $^{18}O$ в воде в CECE-процессе изменилось, выразившись в разнице значений верхнего и нижнего продукта колонны КИО.

2. В электролизном процессе наблюдается увеличение концентрации $^{18}O$ в воде «водородной» части электролизера.

Это показывает селективность мембраны электролизёра к $^{18}O$.

В результате была достигнута цель исследования – установлено существование изотопных эффектов изотопов кислорода в CECE-технологии. Полученные данные свидетельствуют о значимом фракционировании изотопов кислорода в ходе процесса CECE, что вносит вклад в понимание процессов разделения изотопов в нём.

Практическая значимость работы заключается в перспективах для детального изучения фракционирования изотопов кислорода (коэффициенты разделения, проверка влияния физико-химических факторов). Также стоит внимания создание адаптируемого методического комплекса для изотопных исследований, состоящего из отлаженной экспериментальной установки и методики работы с прибором TLWIA.

**Литература:**

1. Андреев Б.М., Зельвенский Я.Д., Катальников С.Г. Тяжелые изотопы водорода в ядерной технике: Учебное пособие для вузов / - М.: ИздАТ, 2000. с. 344.

2. Zhao, Z.; Sun, Y.; Chen, Q.; Li, T.; Liu, F.; Yan, T.; Zheng, W. Research Progress in Tritium Processing Technologies: A Review. Separations 2025, 12, 33.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ЗАРАЩИВАНИЯ ГЛУХИХ ОТВЕРСТИЙ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ НА СТЕПЕНЬ ЗАПОЛНЕНИЯ ОТВЕРСТИЯ И СТРУКТУРУ ОСАЖДЕННОЙ МЕДИ

***Гукасов Д.А.*, *Терешкин В.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии электрохимических производств*

*e-mail: dim4199@gmail.com*

# INVESTIGATION OF ELECTOCHEMICAL BLIND VIA FILLING PROCESS PARAMETERS AND THEIR INFLUENCE ON VIA FILLING RATE AND COPPER MICROSTRUCTURE

***Gukasov D.A.*, *Tereshkin V.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Известно, что в производстве современных высокоплотных печатных плат активно применяются технологии заращивания глухих отверстий. Применение таких отверстий в конструкции платы обусловлено, как миниатюризацией, так и другими преимуществами, например, улучшенной теплопроводностью, электрическими характеристиками и надежностью [1]. Цель работы – определить диапазон технологических параметров процесса заращивания с применением постоянного тока и нерастворимых анодов, обеспечивающих полное заращивание глухих отверстий и формирование субмикронной меди с предпочтительной текстурой (111).

Исследуемые параметры включали плотность тока, интенсивность перемешивания и температуру. Использовался сернокислый электролит меднения с концентрацией сернокислой меди 200 г/л, серной кислоты 50 г/л и хлористого натрия 70 мг/л с добавками блескообразователем, ингибитором и выравнивателем. В качестве блескообразователя был выбран «Платамет 624А», ингибитора – PEG4000, а выравнивателя JGB. Электроосаждение на заготовки 2-слойных печатных плат с глухими отверстиями различных диаметров проводилось в тестовой ванне объемом 20 л. Перемешивание в ванне осуществлялось форсунками-эдукторами, имитирующими промышленную конфигурацию подобных ванн. Степень заполнения глухих отверстий медью исследовалась методом поперечных микрошлифов. Структура меди в отверстии исследовалась методом FIB-SEM EBSD на двулучевом сканирующем электронном микроскопе JEOL JIB-Z4500 после полной рекристаллизации.

Установлено, что уменьшение плотности тока до 1,5 А/дм$^2$, положительно влияет на степень заполнения. Комнатная температура 21-25 °С предпочтительна. Оптимальная интенсивность перемешивания составляет 5 литров в минуту. Такие параметры обеспечивают полное заращивание глухих отверстий диаметром 0,2 мм при глубине 0,1 мм без пустот и других дефектов по данным микрошлифов. EBSD анализ меди, полученной при оптимальных параметрах процесса охарактеризовал ее структуру, как субмикронную со средним размером зерна 0,5 мкм с предпочтительной текстурой (111). Сильные отклонения от оптимальных параметров приводят к различного рода дефектам и изменению медной структуры, что отрицательно сказывается на физико-механических свойствах меди.

**Литература:**

1. Jing, W. Factors governing filling of blind via and through hole in electroplating / W. Jing, W. Miao // Circuit World. - 2014. - №. 40. – С. 92-102.

# ФОРМИРОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ В СИСТЕМЕ $Bi_2O_3$-SrO-$Fe_2O_3$ В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

***Егоров Н.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра физической химии*

*e-mail: egorovnikita@gmail.com*

# FORMATION OF COMPOUNDS IN THE $Bi_2O_3$-SrO-$Fe_2O_3$ SYSTEM UNDER HYDROTERMAL CONDITIONS

***Egorov N.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Актуальность работы связана с изучением и уточнением фазовой диаграммы $Bi_2O_3$-SrO-$Fe_2O_3$ в которой можно ожидать формирования соединений, одновременно обладающих магнитными и сегнетоэлектрическими свойствами, которые перспективны для использования в электронике, фотокатализе и др.

В указанной системе могут формироваться соединения на основе феррита стронция, обладающего сильными магнитными свойствами и феррита висмута, который обладает сегнетоэлектрическими и антиферромагнитными свойствами. Эти соединения могут быть получены твердофазным синтезом. Однако формирование фаз в условиях методов «мягкой химии», в частности, в гидротермальных условиях при относительно невысоких температурах, недостаточно исследованы.

Целью работы является получение образцов тройной системы путем гидротермального синтеза различного состава и изучение их с помощью рентгеновской дифрактометрии, сканирующей микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа.

Для получения образцов были взяты нитраты соответствующих металлов, растворены в растворе азотной кислоты для предотвращения выпадения осадка, смешаны с избытком раствора щелочи. Полученные смешанные гидроксиды гидротермально обработаны в течение 8 часов при температуре 200 °C.

Данные для одного из образцов представлены на рисунке.

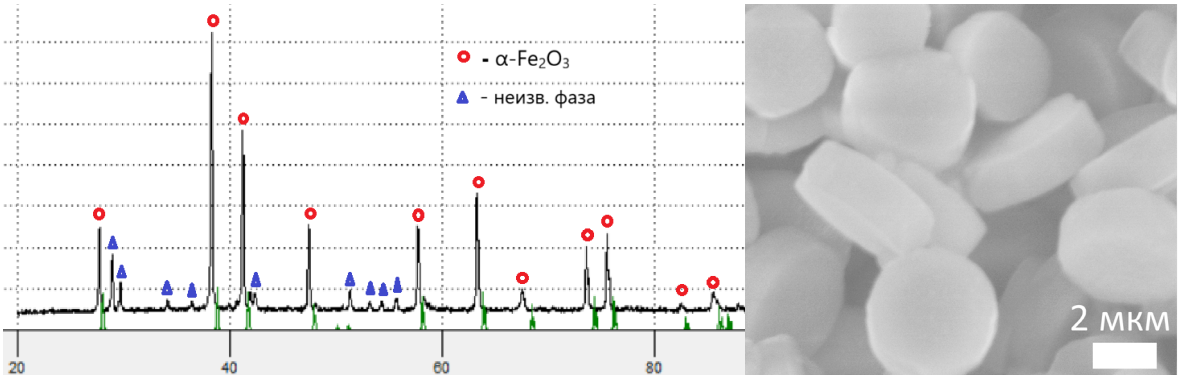



**Рисунок – Дифрактограмма и микрофотография образца.**

На дифрактограмме мы видим рефлексы, соответствующие фазе гематита α-$Fe_2O_3$ со смещением в сторону меньших углов, что может говорить о вхождении в структуру Bi или Sr, обладающих большими ионными радиусами. Также наблюдаются рефлексы неидентифицированной фазы. Частицы имеют форму таблеток со средним диаметром 3-4 мкм и толщиной 1-1,5 мкм. Состав частиц отличается от заданного небольшим избытком железа по сравнению с висмутом и стронцием.

*Автор выражает благодарность к.х.н. О.В. Проскуриной за внимание к работе.*

# ПОЛУЧЕНИЕ $Y_{0,98}Eu_{0,02}VO_4$ В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

***Железникова Е.И.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра физической химии*

*e-mail: lizochka1504@gmail.com*

# OBTAINING $Y_{0,98}Eu_{0,02}VO_4$ UNDER HYDROTHERMAL CONDITIONS

***Zheleznikova E.I.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В современное время всё больше развивается криминалистика, или же судебная химия. В такой химии чаще всего снимают скрытые отпечатки пальцев. Для получения скрытых отпечатков пальцев используются специальные порошки. В качестве одного из таких порошков может использоваться нанокристаллический $Y_{0,98}Eu_{0,02}VO_4$.

Ванадат иттрия, легированный ионами $Eu^{3+}$, является известным красным люминофором. Это сильно люминесцирующий материал с высокой чистотой цвета [1].

Целью работы является изучение влияния методов синтеза (осаждение или гидротермальная обработка), времени гидротермальной обработки, присутствия ПАВ на фазообразование и размер кристаллитов $Y_{0,98}Eu_{0,02}VO_4$.

Для получения образцов были взяты нитраты иттрия и европия, растворены в дистиллированной воде, смешаны с раствором метаванадата аммония с гидроксидом натрия. В некоторые растворы был добавлен полиэтиленгликоль в качестве ПАВ. Полученный осадок гидротермально обработан в различных условиях. Полученные образцы промывались этиловым спиртом для предотвращения их растворения. Использование полиэтиленгликоля придало образцам слегка желтоватую окраску.

Рентгенофазовый анализ (см. рисунок) показал, что во всех случаях сформировалась фаза тетрагонального ванадата иттрия.

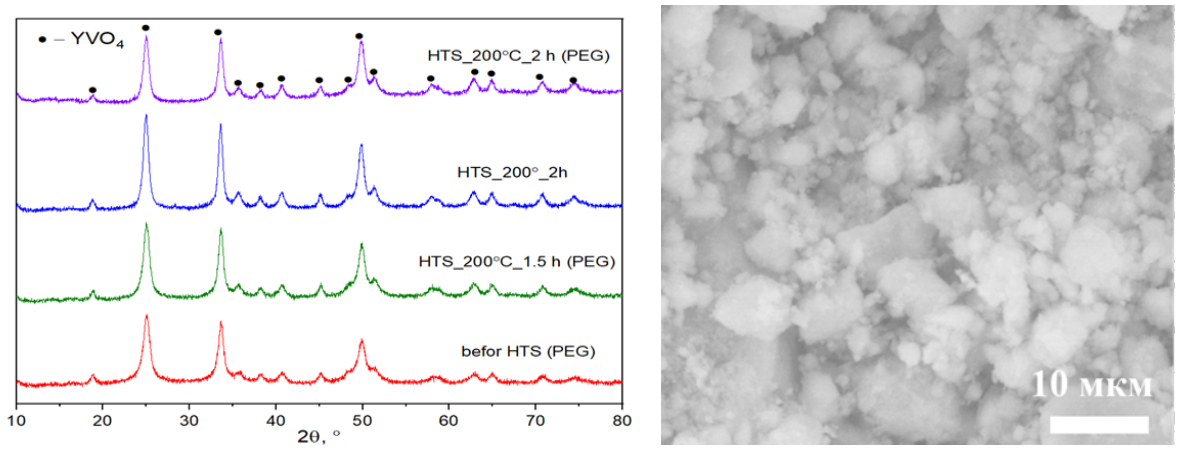



**Рисунок - Дифрактограммы образцов и снимок образца «ГТС 2 ч 200 °С с ПАВ».**

Было обнаружено, что условия синтеза, время гидротермальной обработки и присутствие ПАВ не влияют на фазообразование и морфологию. Размер кристаллитов ванадата иттрия, допированного европием, оказался 12-14 нм.

*Автор выражает благодарность к.х.н. О.В. Проскуриной за внимание к работе.*

**Литература:**

1. Jong Hyuk Kang. Correlation of photoluminescence of $(Y,Ln)VO_4:Eu^{3+}$ (Ln = Gd and La) phosphors with their crystal structures / Jong Hyuk Kang, Won Bin Im, Dong Chin Lee [and other] // Solid State Communications. 2005. V. 133(10). P. 651-656.

# ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ КАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ НА РАВНОВЕСИЕ ЛАКТОНА КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФИОЛЕТОВОГО В СРЕДЕ ДМСО

***Крепышева Т.А., Волкова Д.Д., Мызников Л.В, Ниязов М.Г.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии органических красителей и фототропных соединений*

*e-mail: krepyscheva.t@yandex.ru*

## INFLUENCE OF THE CARBOXYLIC ACID NATURE ON THE EQUILIBRIUM OF CRYSTAL VIOLET LACTONE IN DMSO MEDIUM

***Krepysheva T.A., Volkova D.D., Myznikov L.V., Niyazov M.G.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Окраска Лактона кристаллического фиолетового (CVL) определяется равновесием между бесцветными лактонными и окрашенными ионизированными формами. Образование последних связано с раскрытием лактонного цикла и формированием сопряжённой π-системы. Положение равновесия зависит от активности протонов в среде растворителя, природы растворителя и их специфических межмолекулярных взаимодействий. Изучение таких равновесий является актуальной задачей, так как позволило бы рационализировать применение CVL в создании умных материалов.

В неводных системах использование шкалы pH затруднено, поэтому для сравнительной характеристики протонирующей способности карбоновых кислот были использованы их водные значения pKa как параметр кислотности. Такой подход позволяет сопоставить влияние кислот различной силы на равновесие форм CVL в среде ДМСО. Исследовано влияние уксусной (pKa = 4,47) и муравьиной (pKa = 3,75) кислот (см. рисунок).

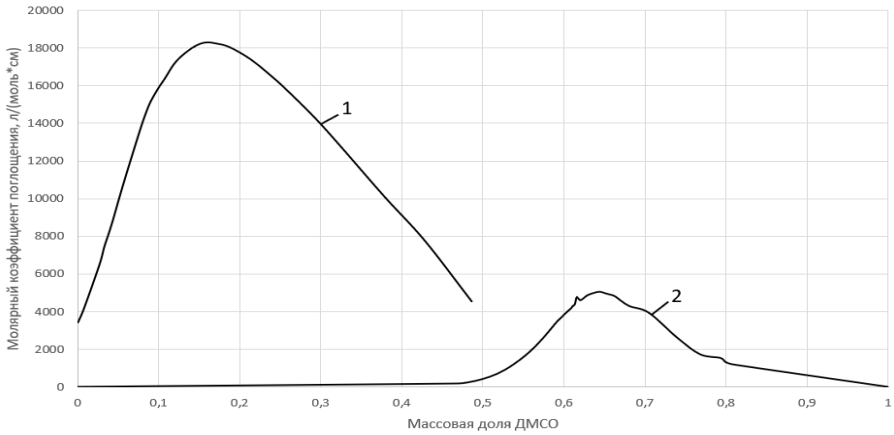



**Рисунок – Зависимость молярного коэффициента поглощения CVL от массовой доли ДМСО в растворах уксусной (1) и муравьиной (2) кислот.**
**(1) $C_{CVL}$ ~ 1,1$10^{-3}$M; λ = 604 нм; длина оптического пути 1 см;**
**(2) $C_{CVL}$ ~ 4,2$10^{-4}$M; λ = 610 нм; длина оптического пути 0,1 см;**

С ростом концентрации ДМСО молярный коэффициент поглощения CVL увеличивается. В уксусной кислоте (более слабой) его значения выше, чем в муравьиной, что говорит о большем смещении равновесия в сторону раскрытой формы CVL. В более кислой муравьиной кислоте выше активность протонов, поэтому доля окрашенной формы при одинаковом содержании ДМСО ниже. Таким образом, выявлена корреляция между относительной кислотностью карбоновых кислот (по значениям pKa) и степенью раскрытия лактонного цикла CVL в среде ДМСО.

# РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ЭКСТРАКЦИИ И КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕНИЯ СВОБОДНЫХ ПОЛИПРЕНОЛОВ С ПОМОЩЬЮ ВЭЖХ-УФ

***Сыса М.М.*[1], *Подольская Е.П.*[2]**

[1]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химии и технологии синтетических биологически активных веществ,*

[2]*Институт аналитического приборостроения Российской Академии Наук*

*e-mail: sysa.mariya@gmail.com*

# DEVELOPMENT OF METHODS FOR EXTRACTION AND QUANTITATIVE DETERMINATION OF FREE POLYPRENOLS USING HPLC-UV

***Sysa M.M.*[1], *Podolskaya E.P.*[2]**

[1]*Saint-Petersburg State Institute of Technology,*

[2]*Institute for Analytical Instrumentation of the Russian Academy of Sciences*

Полипренолы, линейные изопреноидные спирты длиной от 5 до более чем 100 изопреновых звеньев, выполняют роль предшественников долихолов в долихолфосфатном цикле, которые в свою очередь обеспечивает гликозилирование мембранных белков. Учитывая их высокую фармакологическую ценность (гепатопротекторное, нейропротекторное и иммуномодулирующее действие), актуальной задачей является разработка точных аналитических методов контроля качества растительного сырья и лекарственненных препаратов на основе полипренолов, а также совершенствование методов экстракции.

Целью данного исследования является разработка и валидация методики экстракции свободных полипренолов, а также их количественное определение в хвойных растениях, листьях *Ginkgo biloba* и биологически активных добавках (БАД). Количественный анализ осуществляли методом микроколоночной жидкостной хроматографии на отечественном хроматографе «Миллихром А02». Разработанный метод позволяет идентифицировать и количественно определить содержание 6 основных гомологов полипренолов (П15-П20). Для построения калибровочных кривых была использована субстанция «Пренолит» (Bioefficiet) с содержанием полипренолов 90 %. В качестве хроматографических элюентов были использованы этанол (Фаза А) и изопропиловый спирт (Фаза В). Разделение образца в градиентном режиме 20-45 % В 3 минуты, 45-100 % 7,5 минут. Кондиционирование колонки до и после анализе при 20 % В.

Разработанные условия хроматографического элюирования позволяют эффективно разделять гомологический ряд полипренолов. Построенная градуировочная зависимость характеризуется высоким коэффициентами аппроксимации ($R^2 > 0{,}999$). Разработанный метод обладает высокой чувствительностью, предел обнаружения (LOD) составил 17 мкг/мл, предел количественного определения (LOQ) — 50 мкг/мл.

В рамках исследования оптимизируются протоколы селективной экстракции полипренолов из игл хвойных (*Picea abies, Thuja occidentalis L, Juniperus communis*) и листьев *Ginkgo biloba*. Модифицирование протокола использования классических систем органических экстрагентов и ГЭР направлено на улучшение извлечения полипренолов из фотосинтезирующей ткани растения. Проводится сравнительная оценка эффективности в зависимости от типа сырья. Отдельным этапом работы является верификация заявленного количества полипренолов в БАД-ах их реальному содержанию.

# ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ В СИСТЕМЕ $MgO$-$Al_2O_3$- $Cr_2O_3$

***Титова А.Д.**, Липин Д.А., Изотова С.Г.*

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра физической химии*

*e-mail: arina_titovaa@mail.ru*

## OPTICAL PROPERTIES OF MATERIALS OF THE $MgO$-$Al_2O_3$- $Cr_2O_3$ SYSTEM

***Titova A.D.**, Lipin D.A., Izotova S.G.*

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Материалы на основе оксидов магния, алюминия и хрома являются основой для создания высокотемпературных керамических материалов, коррозионностойких покрытий и огнеупорных компонентов благодаря своей термической и химической стабильности. С другой стороны, введение хрома позволяет влиять на оптические и магнитные свойства материалов, расширяя их потенциальное применение в оптоэлектронике. Изучение колебательных спектров даёт информацию о локальном окружении ионов, фазовом составе и дефектности структуры.

В данной работе методом растворного горения с использованием различных видов топлива (глицин, лимонная и винная кислоты) синтезированы образцы в системе $MgO$-$Al_2O_3$-$Cr_2O_3$, включая бинарные (Mg-Cr, Mg-Al, Al-Cr) и тройные составы (Mg-Al-Cr), в зависимости от мольного соотношения компонентов. Синтезированные материалы охарактеризованы методами ИК-спектроскопии (IRTracer-100) в интервале волновых чисел 350-4000 $см^{-1}$, СЭМ (VEGA3 TESCAN) и элементного анализа.

Установлено, что ИК спектры полученных материалов чувствительны как к соотношению катионов, так и к типу используемого топлива.

Для всех исследованных образцов характерны широкие полосы поглощения в области 3720–3750 $см^{-1}$, соответствующие валентным колебаниям $\nu_s(H_2O)$ и $\nu_{as}(H_2O)$ адсорбированной воды, а также полосы деформационных колебаний $\delta(H_2O)$ в интервале 1600–1700 $см^{-1}$.

В спектрах по аналогии с [1] идентифицированы полосы, относящиеся к колебаниям непрореагировавших нитрат-ионов ($\nu_{as}$ ~ 1290-1390 $см^{-1}$, $\delta_s$ ~ 800-840 $см^{-1}$, $\delta_{as}$ ~ 620-670 $см^{-1}$) и карбонат-ионов ($\nu_{as}$ ~ 1320-1510 $см^{-1}$, $\nu_s$ ~ 1030-1090 $см^{-1}$), формирующихся на поверхности вследствие взаимодействия продуктов синтеза с $CO_2$.

В низкочастотной области спектров проявляются колебания связей металл-кислород (ν (Cr-O, Al-O, Mg-O)). В системе $Al_2O_3$–$MgO$ полосы расположены при 510–525 $см^{-1}$ (глицин) и 410–420 $см^{-1}$ (лимонная кислота, винная кислота). В системе $Cr_2O_3$–$MgO$ колебания наблюдаются в интервале 470–550 $см^{-1}$, причем их положение зависит от топлива и соотношения компонентов. В системе $Al_2O_3$–$Cr_2O_3$ полосы регистрируются при 420–460 $см^{-1}$. Для тройной системы $MgO$–$Al_2O_3$–$Cr_2O_3$ полосы лежат в области 410–420 $см^{-1}$ (глицин), 500–520 $см^{-1}$ лимонная кислота) и 490–580 $см^{-1}$ (винная кислота), что, по всей видимости, связано с формированием оксидных фаз смешанного катионного состава по типу твёрдых растворов.

Тип топлива влияет на полноту протекания реакции. Наилучший результат с точки зрения чистоты и кристалличности продукта получен при использовании глицина, вероятно, вследствие характерной для него более высокой температуры синтеза.

**Литература:**

1. Ilhan, S. Synthesis and characterization of $MgFe_2O_4$ nanoparticles prepared by hydrothermal decomposition of co-precipitated magnesium and iron hydroxides. / S. Ilhan, S. G. Izotova, A. A. Komlev // Ceramics International. – 2015. – V. 41. – P. 577-585.

# КИНЕТИКА N-АЦИЛИРОВАНИЯ L-ПРОЛИНА ФЕНИЛБЕНЗОАТАМИ В БИНАРНЫХ СРЕДАХ

***Цивинская М.Н.***

*Ивановский государственный университет*

*e-mail: xdgggfagmail.com@mail.ru*

**KINETICS OF N-ACYLATION OF L-PROLINE BY PHENYLBENZOYATES IN BINARY SOLVENTS**

***Tsivinskaya M.N.***

*Ivanovo State University*

Реакции ацилирования α-аминокислот фенилбензоатами (ФБ), ангидридами и хлорангидридами рассматриваются как нуклеофильное замещение у карбонильного атома углерода [1, 2]. Образующаяся амидная связь - ключевой структурный фрагмент термостойких полиамидов, органических красителей, лекарственных средств и биологически активных соединений. Возможность направленного регулирования свойств конечных продуктов достигается изменением структуры исходных реагентов, параметров реакционной среды. В связи с этим актуальным является систематическое исследование влияния данных факторов на кинетику модельной реакции - N-ацилирование α-аминокислот ФБ в бинарных средах.

Спектрофотометрическим методом изучена кинетика N-ацилирования L-пролина 2-нитрофенилбензоатом (2-НФБ), 3-нитрофенилбензоатом (3-НФБ) и 2,4-динитрофенилбензоатом (2,4-ДНФБ) в растворителе вода-2-пропанол, данные представлены в таблице. Электроноакцепторная нитрогруппа ФБ разрыхляет связь (С-О), стабилизируя частичный отрицательный заряд в переходном состоянии на атоме углерода. Положение нитрогруппы в ФБ и их количество изменяет значения констант скорости на несколько порядков.

**Таблица – Кинетические данные N-ацилирования L-пролина фенилбензоатами в растворителе вода-2-пропанол, 298 К.**

| **X ($H_2O$)** | **0.69** | **0.76** | **0.83** | **0.88** |
|---|---|---|---|---|
| **ФБ** | **$k_{ац}$, л(моль·с)$^{-1}$** | | | |
| **3-НФБ** | 0.016 | 0.026 | 0.032 | 0.034 |
| **2-НФБ** | 0.139 | 0.166 | 0.235 | 0.469 |
| **2,4-ДНФБ** | 9.83 | 10.33 | 11.66 | 13.05 |

Результаты работы согласуются с проведенными ранее исследованиями, [1,2], что объясняется существованием молекулярных комплексов, преобладание которых определяется термодинамикой комплексообразования в соответствии с природой и составом среды.

**Литература:**

1. Кочетова, Л.Б. Амиды и сульфонамиды: кинетические закономерности синтеза и механизмы реакций / Л.Б. Кочетова, Т.П. Кустова, Л.В. Курицын. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2020. – 282 с.: Режим доступа: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=597539. (дата обращения: 28.02.2026). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4499-1515-3. – DOI 10.23681/597539. – Текст: электронный.

2. Курицын, Л.В. Кинетика реакций ацильного переноса / Л.В. Курицын [и др.]; под ред. Л.В. Курицына. - Иваново: Иван. гос. ун-т, 2006. - 260 с – ISBN 5-7807-05557-7

# ВЛИЯНИЕ pH СРЕДЫ НА ФАЗООБРАЗОВАНИЕ И МОРФОЛОГИЮ $BiVO_4$ ПРИ ГИДРОТЕРМАЛЬНОМ СИНТЕЗЕ

***Шабурина С.Д.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра физико-химического конструирования функциональных материалов*

*e-mail: sveta.shaburina@gmail.com*

# INFLUENCE OF pH ON THE PHASE FORMATION AND MORPHOLOGY OF $BiVO_4$ UNDER HYDROTHERMAL CONDITIONS

***Shaburina S.D.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Ванадат висмута ($BiVO_4$) является перспективным материалом для фотокатализа и пигментов благодаря своей узкой ширине запрещенной зоны и химической стабильности. Наибольшую фотоактивность проявляет моноклинная модификация со структурой шеелита. Однако фазовый состав и морфология $BiVO_4$ критически зависят от условий синтеза, в частности от pH среды, что требует детального изучения для получения материалов с заданными свойствами [1-3].

Целью данной работы являлось изучение влияния pH на фазообразование и морфологию $BiVO_4$, полученного гидротермальным методом.

Синтез проводили в две стадии. На первой стадии осаждением из растворов нитрата висмута и метаванадата натрия получали суспензии с pH 1, 7 и 12. На второй стадии суспензии подвергали гидротермальной обработке в автоклавах с тефлоновым вкладышем при 200 °C в течение 10 часов. Полученные образцы исследовали методами рентгеновской дифрактометрии (XRD-700, CuKα-излучение) и растровой электронной микроскопии (FEI Quanta 200).

Установлено ключевое влияние pH среды на фазовый состав и морфологию $BiVO_4$. В кислой среде (pH = 1) формируются частицы фазы тетрагонального шеелита размером 3–8 мкм. В нейтральной среде (pH = 7) образуется смесь тетрагональных фаз со структурами шеелита (пластины 8–10 мкм) и циркона (стержни длиной 10–15 мкм). В щелочной среде (pH = 12) наблюдается формирование фотоактивной моноклинной фазы, представленной крупными стержнями (до 200 мкм), покрытыми мелкими изометричными частицами. Элементный анализ показал, что стехиометричный состав, близкий к формуле $BiVO_4$, достигается только в кислой и нейтральной средах, тогда как в щелочной среде образуется неидентифицированная висмут-содержащая фаза с избытком висмута.

*Автор выражает благодарность к.х.н. Проскуриной О.В. за внимание к работе.*

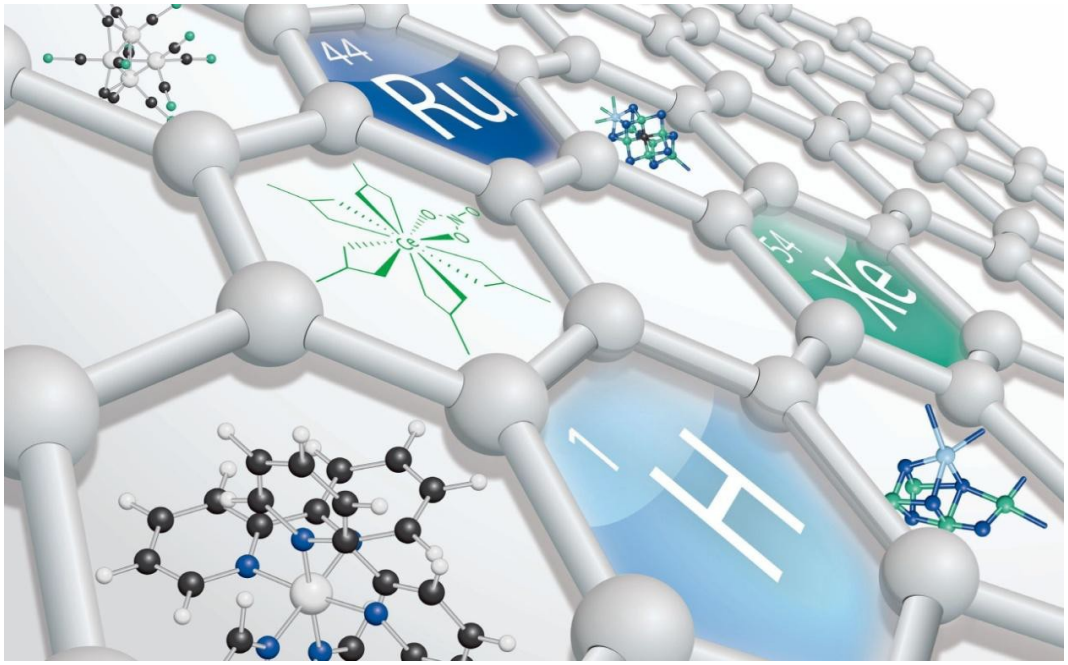
**Литература:**

1. Proskurina O.V. Influence of the composition of the $BiPO_4$-$BiVO_4$ system on the phase formation, morphology, and properties of nanocrystalline composites obtained under hydrothermal conditions / O.V. Proskurina, I.D. Chetinel, A.S. Seroglazova, V.V. Gusarov // Nanosystems: Phys. Chem. Math. – 2023. – Vol. 14, No. 3. – P. 363–371.

2. Еловиков, Д.П. Влияние условий микрореакторного смешения растворов реагентов на формирование и фотокаталитические свойства $BiVO_4$ / Д.П. Еловиков, И.В. Макушева, С.М. Тиханова, М.В. Томкович, О.В. Проскурина, Р.Ш. Абиев, В.В. Гусаров // Теоретические основы химической технологии. – 2024. – Т. 58, № 2. – С. 172–182.

3. Caus D., Berent K., Mech K., Naumov A., Marciszko-Wiąckowska M., Podborska A. Comparative Studies on Synthesis Methods of $BiVO_4$ for Photoelectrochemical Applications // Molecules. – 2025. – Vol. 30, Iss. 18. – Art. 3818.

# СЕКЦИЯ 2.
# НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ



# ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СЕЛЕКТИВНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ТЕХНЕЦИЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОЯТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДОРАСТВОРИМОГО КОМПЛЕКСООБРАЗОВАТЕЛЯ

***Белоусов В.А.*** [1,4], ***Лисовская Е.С.*** [4], ***Голецкий Н.Д.*** [2,4], ***Мамчич М.В.*** [4], ***Наумов А.А.*** [3,4]

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), [1]кафедра радиационной технологии, [2]кафедра химической технологии редких элементов, [3]кафедра инженерной радиоэкологии и радиохимической технологии, [4]Акционерное общество «Радиевый институт имени В.Г. Хлопина»*

*e-mail: vladbelousov2003@yandex.ru*

## RESEARCH OF THE POSSIBILITIES OF SELECTIVE ISOLATION OF TECHNETIUM DURING THE PROCESSING OF SNF USING A WATER-SOLUBLE COMPLEXING AGENT

***Belousov V.A.*** [1,2], ***Lisovskaya E.S.*** [2], ***Goletskiy N.D.*** [1,2], ***Mamchich M.V.*** [2], ***Naumov A.A.*** [1,2]

[1]*Saint-Petersburg State Institute of Technology,*

[2]*J.C. Khlopin Radium Institute*

В экстракционных процессах при переработке ОЯТ пертехнетат-анион всегда частично переходит в органическую фазу. Присутствие технеция, способного восстанавливаться до степеней окисления +4 и +5 и разлагать гидразин, который используется в качестве антинитритного агента, осложняет проведение восстановительной реэкстракции плутония [1].

Целью данной работы является изучение свойств водорастворимого комплексона для селективного извлечения технеция из органической фазы.

Для работы был использован комплексообразователь на основе органического катиона пиридинового ряда. Данный комплексон предоставлен МГУ им. М.В. Ломоносова. Исследовано влияние концентрации комплексообразователя в диапазоне от 0 до 1 моль/л при концентрации азотной кислоты от 1 до 6 моль/л на коэффициенты распределения технеция и микроколичеств плутония.

Минимальные коэффициенты распределения технеция достигаются при проведении процесса в азотнокислых растворах с концентрацией азотной кислоты 3-5 моль/л с использованием комплексообразователя. С увеличением концентрации комплексона от 0 до 1 моль/л коэффициенты распределения технеция уменьшаются в 10-40 раз.

При изучении экстракции микроколичеств плутония с применением комплексообразователя в рекомендованных условиях (при концентрации азотной кислоты 3 моль/л) наблюдается уменьшение коэффициентов распределения плутония в 4-10 раз, что указывает на взаимодействие плутония с комплексоном.

С повышением концентрации комплексона от 0 до 0,5 моль/л при концентрации азотной кислоты 3 моль/л коэффициент разделения плутония и технеция повышается в 2,5 раза.

Далее планируются исследования влияния комплексообразователя на экстракцию технеция в присутствии граммовых количеств четырехвалентных актинидов.

**Литература:**

1. Мелентьев А.Б. Поведение технеция в присутствии восстановительных и комплексообразующих реагентов применительно к процессу разделения урана и плутония при экстракционной переработке ОЯТ АЭС: специальность 02.00.14 «Радиохимия»: диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук / Мелентьев Анатолий Борисович; Учреждение Российской Академии Наук Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина. – Москва, 2011. – 155 с.

## ТРОЙНАЯ СИСТЕМА $Bi_2O_3$-$GeO_2$-$SiO_2$

***Бермешев Т.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов*

*e-mail: irbis_btv@mail.ru*

## TERNARY SYSTEM $Bi_2O_3$-$GeO_2$-$SiO_2$

***Bermeshev T.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Двойные оксидные системы $Bi_2O_3$-$GeO_2$ и $Bi_2O_3$-$SiO_2$ хорошо известны с 1960-х годов XX века и довольно подробно изучены. Каждая из них представлена одной диаграммой стабильного и двумя диаграммами метастабильного равновесия. Вид фазовых отношений в висмут-силикатной и висмут-германатной системах довольно схож, как схожи по строению и соединения, в них представленные.

Получаемый на базе этих систем широкий спектр различных функциональных материалов, уже активно применяющихся на практике, или же имеющих различные перспективы, делает данные системы весьма привлекательными для дальнейших исследований. В качестве примеров, таких соединений, в области стабильного равновесия, можно привести соединения со структурой: силленита – $Bi_{12}(Ge/Si)O_{20}$ (пьезоэлектрические, фотопроводящие, магнито- и электрооптические, и др. свойства), эвлитина – $Bi_4Ge_3O_{12}$ (выдающийся сцинтиллятор с высоким комплексом свойств и высокой радиационной стойкостью) и бенитоита – $Bi_2Ge_3O_9$ (высокая химическая стойкость, нелинейные оптические, пьезоэлектрические, сегнетоэлектрические и пироэлектрические свойства [1]). В области же метастабильного равновесия присутствуют три широкие области твердых растворов: со структурой Ауривиллиуса - η-$Bi_2GeO_5$ (высокая ионная проводимость по кислороду, сегнетоэлектрик с высокой температурой Кюри), α-$Bi_2O_3$ и δ*-$Bi_2O_3$.

Тройной системе $Bi_2O_3$-$GeO_2$-$SiO_2$ посвящено относительно мало работ, многие из которых в первую очередь рассматривают получение стекол. Однако о кристаллической части данных довольно мало. Благодаря схожему строению, соединения со структурой силленита ($Bi_{12}GeO_{20}$-$Bi_{12}SiO_{20}$) и Ауривиллиуса ($Bi_2GeO_5$-$Bi_2SiO_5$) образуют непрерывный ряд твердых растворов, что отмечено на фазовых диаграммах. Соединений со структурой эвлитина ($Bi_4Ge_3O_{12}$-$Bi_4Si_3O_{12}$) и бенитоита ($Bi_2Ge_3O_9$-$Bi_2Si_3O_9$) на известных нам диаграммах не отмечено. При этом хорошо известно, что тройной $Bi_4(Ge_{1-x}Si_x)_3O_{12}$ можно успешно получать в виде монокристаллов [2] и порошков с легированием диспрозием. Данных же по квазибинарной системе $Bi_2Ge_3O_9$-$Bi_2Si_3O_9$ в литературе найти не удалось.

Также следует отметить, что недавно в системе $Bi_2O_3$-$GeO_2$, впервые за почти 50 лет было получено новое метастабильное соединение с формулой $Bi_2Ge_2O_7$. При этом для синтеза не было использовано сложных методик и высоких давлений – только классическая кристаллизация в тигле и термическая обработки расплава. Открытие в такой хорошо изученной оксидной системе нового соединения, открывает перспективы для более глубокого изучения, как уже хорошо известных бинарных систем $Bi_2O_3$-$GeO_2$ и $Bi_2O_3$-$SiO_2$, так и куда менее изученной тройной системы $Bi_2O_3$-$GeO_2$-$SiO_2$.

**Литература:**

1. Rodriguez J.R., Belman C., Aguirre S.B. et al. Reversible lithium-ion storage in h-Bi2Ge3O9-based anode: Experimental and theoretical studies // Journal of Electroanalytical Chemistry. – 2022, V. 923. – P. 116804.

2. Jiang H., Rooh G., Kim H.J. et al. Study on Scintillation Characteristics of BGSO Single Crystals // IEEE Transactions on Nuclear Science. – 2014, V. 61. № 1. – P. 323-327.

# ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ НА ОПТИМАЛЬНУЮ КОНЦЕНТРАЦИЮ АКТИВАТОРА В ЛЮМИНОФОРЕ $Gd_2O_2S$:Tb

***Власенко А.Б.*, *Бахметьев В.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра теоретических основ материаловедения*

*e-mail: vlasenkoab@bk.ru*

## EFFECT OF PARTICLE SIZE ON THE OPTIMAL CONCENTRATION OF THE ACTIVATOR IN THE $Gd_2O_2S$:Tb PHOSPHOR

***Vlasenko A.B.*, *Bakhmetyev V.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Люминофоры $Gd_2O_2S$:Tb обладают интенсивной люминесценцией при возбуждении рентгеновским излучением, что позволяет использовать их в медицине как в области диагностики (усиливающие экраны для получения рентгеновских снимков, элементы для томографов), так и в области терапии (например, в составе препаратов для рентгенофотодинамической терапии). Если для использования в области диагностики необходимы крупнозернистые люминофоры с размерами частиц десятки мкм, то для создания фармакологических препаратов требуются люминофоры с наноразмерными частицами. При этом размер частиц может оказывать существенное влияние на свойства люминофоров.

Объектом исследования в данной работе являлись нанолюминофоры состава $Gd_2O_2S$:Tb, полученные гидротермальным методом синтеза в органической среде. В качестве источников гадолиния и тербия использовались спиртовые растворы их нитратов. Сера вводилась в вид раствора в этилендиамине. Стабилизатором являлся поливинилпирролидон. Раствор подвергался гидротермальной обработке при температуре 220 °C в течение 24 часов. Затем проводилась отмывка полученного люминофора этанолом и бидистиллированной водой.

Была синтезирована серия люминофоров с концентрациями активатора от 1 до 15 % мол. Исследование фотолюминесцентных характеристик полученных образцов показало, что хотя концентрация активатора мало влияет на их спектры люминесценции, спектры возбуждения существенно зависят от концентрации активатора. Если при низких концентрациях тербия наибольшей интенсивностью обладает полоса с максимумом 262 нм, то при повышении концентрации активатора в спектрах возбуждения начинает преобладать полоса с максимумом 289 нм.

Было установлено, что оптимальная концентрация активатора, при которой наблюдается наибольшая интенсивность люминесценции, составляет 10 % мол. В то же время, по данным исследования [1], в крупнозернистых люминофорах $Gd_2O_2S$:Tb, синтезированных путем прокаливания шихты в восстановительной атмосфере, оптимальная концентрация тербия составляла 0,13 %, что в 80 раз ниже, чем в синтезированных нами нанолюминофорах.

Таким образом, проведенные исследования показали, что оптимальная концентрация активатора в люминофорах $Gd_2O_2S$:Tb существенно зависит от размеров частиц люминофоров. Кроме того, для разных длин волн возбуждения оптимальная концентрация активатора также может различаться.

**Литература:**

1. Устабаев П.Ш., Коваленко В.С., Струченков З.А., Бахметьев В.В. Рентгенолюминофоры на основе $Gd_2O_2S$, активированные редкоземельными элементами // Сборник тезисов XVI Международной научной конференции «Прикладная оптика – 2024» – Санкт-Петербург, ГОИ им. С.И. Вавилова, 17 – 18 декабря 2024 г., С. 90.

# ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НА СВОЙСТВА КСЕРОГЕЛЕЙ И ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

***Федоренко Н.Ю.[2], Белоусова О.Л.[2], Волкова С.В.[1], Кудряшова Ю.С.[2], Хамова Т.В.[2], Николаев А.М.[2]***

*[1]Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра теоретических основ материаловедения,*
*[2]Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра» — Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова*
*e-mail: LANA.LANA.LANA2017@mail.ru*

**THE EFFECT OF SYNTHESIS CONDITIONS ON THE PROPERTIES OF XEROGELS AND POWDERS BASED ON ZIRCONIUM DIOXIDE**

***Fedorenko N.Yu.[2], Belousova O.L.[2], Volkova S.V.[1], Kudryashova Yu.S.[2], Hamova T.V.[2], Nikolaev A.M.[2]***

*[1]Saint-Petersburg State Institute of Technology,*
*[2]Branch of Petersburg Nuclear Physics Institute of the National Research Centre «Kurchatov Institute»*

Керамика на основе частично стабилизированного диоксида циркония ($ZrO_2$, ЧСДЦ), обладает высокой прочностью, твердостью и коррозионной стойкостью [1]. ЧСДЦ представляет собой двухфазный материал, в котором «линзовидные» частицы тетрагонального диоксида циркония равномерно распределены в матрице из кубического $ZrO_2$ [2]. Применение жидкофазных методов синтеза позволяет контролировать процессы формирования частиц ксерогеля, развитие микроструктуры и фазового состава керамики. Метод совместного осаждения гидроксидов обеспечивает высокую однородность распределения компонентов в растворе для получения наноразмерных частиц заданного химического состава. Для интенсификации процесса микросмешения применяют микровихревой струйный аппарат со встречными закрученными потоками (мВСА-ВЗП) [2].

Целью работы является синтез методом совместного осаждения гидроксидов на лабораторной установке с магнитной мешалкой и в мВСА-ВЗП ксерогелей и порошков в системе $ZrO_2$ –$Y_2O_3$ и исследование их свойств.

Синтез ксерогелей и порошков методом совместного осаждения гидроксидов на лабораторной установке с магнитной мешалкой и в мВСА-ВЗП [1, 2]. При синтезе ксерогелей в микрореакторе в данной работе варьировали объемы подаваемых реагентов (0.5 и 0.9 л) и скорости подачи в рабочую камеру (0.5, 3.5 л/мин). Осадки отделяли от маточного раствора фильтрованием и замораживали при –25 °С (24 ч). По истечении времени низкотемпературной обработки осадки сушили при 120 °С (2 ч), а затем обжигали при 600 – 1300 °С (1-2 ч) в муфельной печи на воздухе.

Поверхность частиц ксерогелей, полученных в мВСА-ВЗП обладает большей избыточной энергией по сравнению с соосажденным ксерогелем. Начало процесса кристаллизации твердого раствора диоксида циркония происходит уже в ксерогеле, что способствует формированию в дальнейшем двухфазной керамики. Обжиг при 1300 °С приводит к формированию кубической и тетрагональной фаз с преобладанием *c*-$ZrO_2$ в материале.

*Работа выполнена в рамках темы НИР филиала НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИХС № 1023033000122-7-1.4.3.*

**Литература:**

1. Федоренко Н.Ю., Белоусова О.Л., Мякин С.В. и др. // Физика и химия стекла. 2025. Т. 51. № 1. С. 134–144

2. Fedorenko N.Yu., Mjakin S.V., Khamova T.V. et al. // Ceramics International. 2022. V. 48, № 5. P. 6245–6249.

# ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ Cr НА ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ $ZnO-SnO_2-Cr_2O_3$

***Гаврилова Д.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов*

*e-mail: amonobel@yandex.ru*

## THE EFFECT OF Cr CONTENT ON THE PHOTOCATALYTIC PROPERTIES OF MATERIALS OF THE $ZnO-SnO_2-Cr_2O_3$ SYSTEM

***Gavrilova D.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Фотокаталитические материалы на основе полупроводниковых оксидов металлов широко используются в таких областях, как фотокаталитическая очистка воды и воздуха, получение водорода, создание датчиков и прочее. Для фотокаталитических приложений наиболее часто используются полупроводники на основе $TiO_2$, ZnO и $SnO_2$. Для расширения спектрального диапазона чувствительности и повышения фотокаталитической активности фотокатализаторов используют добавки различных оксидов, таких как Cu, Mn, Cr. Поэтому в данной работе было исследовано влияние содержания добавки Cr на фотокаталитические свойства материалов системы $ZnO-SnO_2$.

Материалы $ZnO-SnO_2$ с содержанием хрома 3, 7 и 17.5 % были синтезированы полимерно-солевым методом [1, 2]. Их фотокаталитические и адсорбционные свойства изучали на примере удаления из раствора диазо красителя Chicago Sky Blue (CSB) в присутствии 0.01 г композита, закрепленного на жесткой подложке, в течение 40 минут. Источником излучения в эксперименте служил светодиод с длиной волны $\lambda = 395$ нм.

По данным рентгеновской дифракции образцы состоят из кристаллов ZnO со средним размером около 50 нм, а также содержат небольшие рефлексы $ZnCr_2O_4$, интенсивность которых увеличивается с ростом содержания Cr. По снимкам сканирующей электронной микроскопии структура образцов представлена гексагональными кристаллами ZnO и спеченными агломератами микронного размера.

Исследования показали, что адсорбционные свойства материалов растут с увеличением содержания хрома в ряду 3-7-17.5 %, демонстрируя эффективность удаления красителя в 20, 25 и 54 %, в то время, как фотокаталитическая эффективность проходит через небольшой спад, показывая значения 45, 40 и 75 % соответственно. Для образцов с содержанием Cr 3, 7 и 17.5 % значения констант фотокаталитического разложения CSB, полученных по уравнению реакции псевдопервого порядка, составили 0.016, 0.015 и 0.042 $мин^{-1}$ соответственно.

Таким образом, композиты системы $ZnO-SnO_2$ с добавками Cr продемонстрировали фотокаталитическую активность под действием длинноволнового УФ излучения и показали возможность своего применения для очистки водных сред от органических загрязнителей.

**Литература:**

1. Dukel'skiĭ K.V., Evstrop'ev S.K. Forming nanoscale MgO coatings on a glass surface // Journal of Optical Technology. – 2010, V.77, №1, P. 45-49.

2. Gavrilova M.A., et al. Structure, spectral and photocatalytic properties of porous ZnO nanopowders modified by oxide compounds of manganese // Russian Journal of Inorganic Chemistry. – 2024, V.69, №3, P.351-358.

# ФТОРФОСФАТНЫЕ СТЕКЛА, АКТИВИРОВАННЫЕ ИОНАМИ $Mn^{2+}$ И НАНОКРИСТАЛЛАМИ ПЕРОВСКИТА $CsPbBr_3$

***Дадыкин А.Ю.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов*

*e-mail: dadykin99@mail.ru*

# FLUOROPHOSPHATE GLASSES DOPED WITH $Mn^{2+}$ IONS AND PEROVSKITE NANOCRYSTALS $CsPbBr_3$

***Dadykin A.Yu.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Последние годы большое внимание привлекают стекла, активированные нанокристаллами галоидных перовскитов. Контролируемое легирование стекол двухвалентными катионами позволяет изменять положение полосы люминесценции (ФЛ) и квантовый выход ФЛ.

В работе был получен ряд стекол, соактивированных нанокристаллами (НК) перовскита $CsPbBr_3$ при изменении концентрации $MnF_2$ от 2 до 20 мол. %. Нанокристаллы перовскита $CsPbBr_3$ были сформированы в процессе дополнительной термической обработки (ТО) выше температуры стеклования.

На рисунке представлены спектры люминесценции НК перовскита и ионов $Mn^{2+}$ (1 и 2). Зависимости 3 и 4 соответствуют спектру возбуждения иона $Mn^{2+}$ в стекле, активированном марганцем и НК $CsPbBr_3$ без дополнительной ТО (3) и после дополнительной ТО (4). Также на рисунке представлен спектр поглощения НК $CsPbBr_3$ (5). Изменение спектров возбуждения ионов $Mn^{2+}$ и совпадение спектров возбуждения $Mn^{2+}$ со спектрами поглощения НК $CsPbBr_3$ является свидетельством встраивания ионов $Mn^{2+}$ в структуру НК. Это было установлено для коллоидных НК на основании их химического анализа. Также этот результат показывает возможность переноса энергии возбуждения от НК к иону $Mn^{2+}$, не исключая обратный перенос энергии.

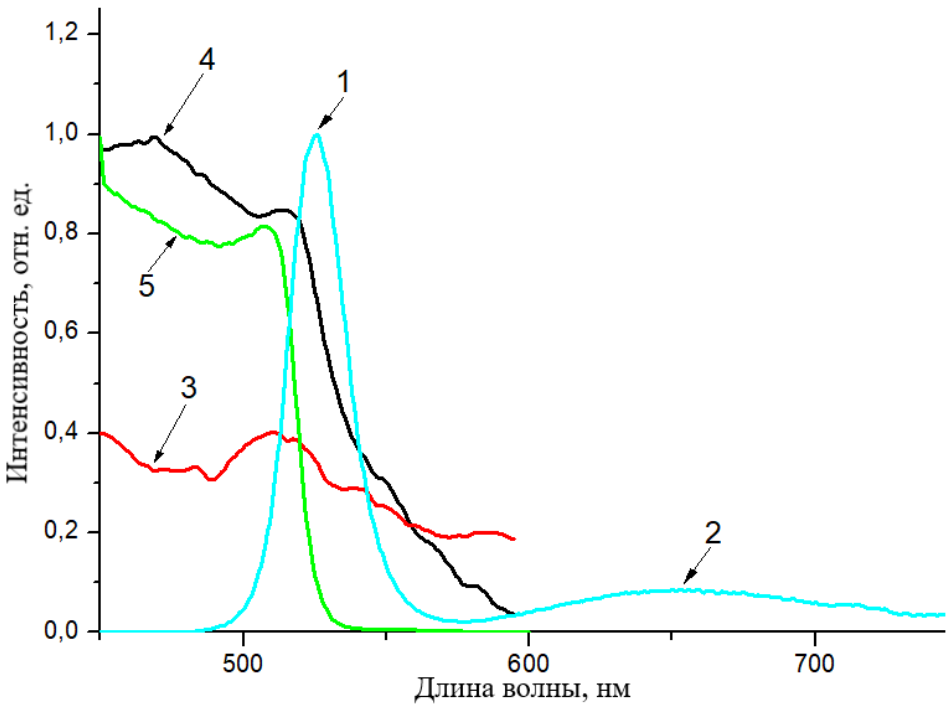



**Рисунок – Спектр люминесценции НК $CsPbBr_3$ (1), спектр люминесценции ионов $Mn^{2+}$ (2), спектр возбуждения ионов $Mn^{2+}$ в стекле без дополнительной ТО (3), спектр возбуждения ионов $Mn^{2+}$ в стекле после дополнительной ТО (4), спектр поглощения НК $CsPbBr_3$ (5).**

# СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПРЕПАРАТА ДЛЯ РЕНТГЕНОФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ

***Зыкова П.Д., Бахметьев В.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра теоретических основ материаловедения*

*e-mail: polly02z@yandex.ru*

# SYNTHESIS AND STUDY OF THE PROPERTIES OF A DRUG FOR X-RAY PHOTODYNAMIC THERAPY

***Zykova P.D., Bakhmetyev V.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Система «люминофор $GdF_3$:Tb – фотосенсибилизатор Бенгальский розовый» эффективно генерирует активный кислород под действием рентгеновского излучения, что позволяет использовать ее в рентгенофотодинамической терапии [1]. Для этого необходимо изготовить препарат, в котором частицы нанолюминофора $GdF_3$:Tb были бы покрыты химически связанными с ними молекулами Бенгальского розового.

Чтобы изготовить такой препарат, с целью ковалентного связывания люминофора (ЛФ) с фотосенсибилизатором, вначале нами был синтезирован нанолюминофор $GdF_3$:Tb, покрытый оболочкой полиэтиленгликоля (ПЭГ-4000), модифицированного аминогруппами. Аминированный ПЭГ-4000 был получен в ходе реакции с этилендиамином предварительно полученного производного ПЭГ с хлорацетилхлоридом $ClCH_2$-CO-PEG-CO-$CH_2Cl$. Синтез нанолюминофора осуществлялся гидротермальным методом в среде этиленгликоля. В качестве исходных компонентов использовались хлориды гадолиния и тербия, а также фторид аммония. Аминированный ПЭГ-4000 также добавлялся в автоклав для гидротермального синтеза. Синтез проводился при температуре 200 °C в течение 24 часов.

Для дальнейшей функционализации синтезированного $GdF_3$:Tb-$NH_2$-$ПЭГ_{4000}$-$NH_2$ с помощью реакции этерификации при температуре 80 °C было получено нерастворимое в воде производное Бенгальского розового (БР) с 6-бромгексановой кислотой. Полученное производное БР содержит линкер с концевой карбоксильной группой, что позволило связать его с $GdF_3$(Tb)-$NH_2$-$ПЭГ_{4000}$-$NH_2$ в ходе DCC/NHS реакции в ДМФА. Непрореагировавшее с $GdF_3$(Tb)-$NH_2$-$ПЭГ_{4000}$-$NH_2$ производное БР было отмыто ДМФА. Затем, модифицированный ЛФ был осажден центрифугированием, отмыт водой от следов ДМФА и диспергирован в воде с помощью ультразвуковой обработки.

Сравнение люминесцентных характеристик водных суспензий люминофоров $GdF_3$:Tb без покрытия и с покрытием БР показало, что покрытие люминофора БР приводит к снижению интенсивности люминесценции на 43 %. Это может свидетельствовать о достаточно эффективной передаче энергии от люминофора непосредственно к фотосенсибилизатору. Исследование генерации активного кислорода синтезированным препаратом под действием рентгеновского излучения проводилось методом «химических ловушек». В качестве ловушки, обесцвечивающейся под действием активных форм кислорода, использовался 1,3-дифенилизобензофуран. Проведенное исследование показало, что покрытие люминофора $GdF_3$:Tb оболочкой БР повышает выработку активного кислорода на 8 %.

**Литература:**

1. Зыкова П.Д., Бахметьев В.В. Использование нанолюминофора $GdF_3$:Tb для повышения эффективности выработки активного кислорода системой для рентгенофотодинамической терапии // Сборник тезисов XIV научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Неделя науки-2024» (с международным участием) – СПб: СПГТИ(ТУ) – 2024. – С. 46.

# СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КСЕРОГЕЛЕЙ, ПОРОШКОВ И КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

***Кирсанова С.Р.*[1], *Белоусова О.Л.*[2], *Федоренко Н.Ю.*[2], *Кудряшова Ю.С.*[2], *Хамова Т.В.*[2], *Николаев А.М.*[2], *Абиев Р.Ш.*[1,2]**

[1]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра теоретических основ материаловедения,*

[2]*Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра — Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова*

*e-mail: nanotech17898@gmail.com*

## SYNTHESIS AND STUDY OF THE PROPERTIES OF XEROGELS, POWDERS AND CERAMICS BASED ON ZIRCONIUM DIOXIDE

***Kirsanova S.R.*[1], *Belousova O.L.*[2], *Fedorenko N.Yu.*[2], *Kudryashova Yu.S.*[2], *Hamova T.V.*[2], *Nikolaev A.M.*[2], *Abiev P.Sh.*[1,2]**

[1]*Saint-Petersburg State Institute of Technology,*

[2]*Branch of Petersburg Nuclear Physics Institute of the National Research Centre «Kurchatov Institute»*

Стабилизация высокотемпературных тетрагональной (t-$ZrO_2$) и кубической (c-$ZrO_2$) фаз диоксида циркония, ведением оксидов редкоземельных элементов, таких как иттербий ($Yb_2O_3$), иттрий ($Y_2O_3$) и других, позволяет получать керамику с высокими значениями физико-механических характеристик. Состав и морфология ксерогелей и порошков-прекурсоров определяют свойства итоговой керамики. Важную роль играет и разработка метода синтеза нанодисперсных ксерогелей и порошков, обеспечивающего требуемую морфологию и дисперсность. Целью данной работы является жидкофазный синтез ксерогелей и порошков в системах $ZrO_2$–$Y_2O_3$, $ZrO_2$–$Yb_2O_3$ и $ZrO_2$–$Y_2O_3$–$Yb_2O_3$, получение керамики на их основе и изучение физико-химических свойств полученных материалов.

Синтез ксерогелей осуществляли методом совместного осаждения гидроксидов на лабораторной установке с мешалкой и в микрореакторе со встречными закрученными потоками (мВСА-ВЗП) [1, 2]. Осадки отфильтровывали, замораживали при -25 °С (24 ч) и затем сушили при 120 °С (2 ч). Порошки получали обжигом высушенных ксерогелей при 600 °С (1 ч) в муфельной печи на воздухе. Компакты формовали сухим одноосным прессованием на гидравлическом прессе ПГР-400 в стальной пресс-форме при давлении ~ 260 МПа и спекали на платиновых подложках в печи SNOL 6.7/1300 при 1300 °С в воздушной среде с изотермической выдержкой в течение 2 ч.

Ксерогели, синтезированные в мВСА-ВЗП, характеризуются меньшей площадью удельной поверхности по сравнению с соосажденными. Они состоят преимущественно из агрегатов неправильной формы размером 10 – 60 мкм.

По результатам рентгенофазового анализа установлено, что порошки, полученные обжигом ксерогелей при 600 °С, представляют собой псевдокубический твердый раствор *t'*-$ZrO_2$. Спекание порошковых компактов при 1300 °С приводит к формированию тетрагонального и кубического твердого раствора на основе диоксида циркония в керамике.

*Работа выполнена в рамках темы НИР филиала НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИХС № 1023033000122-7-1.4.3.*

**Литература:**

1. Федоренко Н.Ю., Белоусова О.Л., Мякин С.В. и др. // Физика и химия стекла. 2025. Т. 51. № 1. С. 134–144

2. Fedorenko N.Yu., Mjakin S.V., Khamova T.V. et al. // Ceramics International. 2022. V. 48, № 5. P. 6245–6249.

# ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОЛУЧЕНИЕ ТЕРМОСТАБИЛЬНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ВЫСОКОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ (СВЫШЕ 80) С ОБЩЕЙ ФОРМУЛОЙ $(Ba_{1-Y}Pb_Y)(Nd_{2-X}Bi_X)Ti_4O_{12}$

***Корнилов И.Д.*[1,2], *Клинова А.И.*[2], *Ларионов М.И.*[2], *Иванова В.И.*[2]**

[1]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов,*

[2]*Акционерное общество «Научно-исследовательский институт «Феррит-Домен»*

*e-mail: kornilov.ilya2016@yandex.ru*

**RESEARCH AND SYNTHESIS OF THERMALLY STABLE CERAMIC MATERIALS WITH HIGH DIELECTRIC CONSTANT (OVER 80) WITH THE GENERAL FORMULA $(Ba_{1-y}Pb_y)(Nd_{2-x}Bi_x)Ti_4O_{12}$**

***Kornilov I.D.*[1,2], *Klinova A.I.*[2], *Larionov M.I.*[2], *Ivanova V.I.*[2]**

[1]*Saint-Petersburg State Institute of Technology,*

[2]*Joint-Stock Company «Scientific Research Institute «Ferrite-Domen»*

В данной работе представлены результаты исследования влияния химического состава и технологических режимов на диэлектрическую проницаемость (ε′) керамического материала с общей формулой $(Ba_{1-y}Pby)(Nd_{2-x}Bi_x)Ti_4O_{12}$. Были получены образцы с ε′ от 80 до 105.

Материалы были синтезированы методом твердофазного спекания, их свойства изучены в микроволновом диапазоне частот. Результаты исследования показали, что на диэлектрические свойства материала влияет выбор иона редкоземельного металла, что согласуется с данными [1].

В работе предложен способ повышения диэлектрической проницаемости (свыше 80) оксидного материала со структурой перовскита. Для этого проведено исследование соединения $(Ba_{1-y}Pb_y)(Nd_{2-x}Bi_x)Ti_4O_{12}$ при одновременном замещении бария свинцом, когда y = 0,1; 0,25; 0,35, и неодима висмутом, когда x изменялся от 0,25 до 0,6 [2].

Установлено, что полученные результаты указывают на перспективность данных материалов для применения в микроволновом диапазоне частот, где требуются термостабильные материалы с высокой диэлектрической проницаемостью (свыше 80) и низкими потерями.

**Литература:**

1. Ubic, R., Reaney, I. M., Lee, W. E. The Microwave Dielectric Solid-Solution Phase in the System BaO-Nd2Ox-TiO2 / R. Ubic, I. M. Reaney, W. E. Lee. - International Materials Reviews, 1998. - Vol. 43, no. 5. - P. 205-219.

2. Иванова В.И. Исследование и получение термостабильных керамических материалов с высокой (свыше 80) диэлектрической проницаемостью / Иванова В.И., Ларионов М.И., Протченко А.И., Клинова А.И., Корнилов И.Д. // Электронная техника. Серия 1. СВЧ-техника. - 2025. - Вып. 3 (567). - С. 69-74.

# ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ЗАМЕЩЕНИЯ КЛИНКЕРА НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ $LC^3$

***Купряхина М.В.*, *Воронков М.Е.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов*

*e-mail: mariakuprahina72@gmail.com*

# INFLUENCE OF THE DEGREE OF CLINKER SUBSTITUTION ON PROPERTIES OF $LC^3$ BLENDED CEMENTS

***Kupryakhina M.V.*, *Voronkov M.E.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

$LC^3$ (limestone calcined clay cement) представляет собой трехкомпонентную вяжущую систему с низким углеродным следом. Данный цемент получают путем замещения части клинкера смесью обожженной глины и известняка, что обеспечивает снижение выбросов $CO_2$ с сохранением конкурентоспособных физико-механических характеристик.

В настоящее время в Российской Федерации отсутствуют регламентируемые требования к допустимой доле введенных в $LC^3$ добавок, что обуславливает необходимость экспериментальной оценки влияния степени замещения клинкера на свойства материала.

На основании этого был проведен ряд испытаний на прочность при сжатии кубических образцов, изготовленных из цементного теста нормальной густоты с различной степенью замещения клинкера смесью метакаолина и измельченного известняка. Соотношение метакаолин/известняк во всех экспериментах было одинаковое и составило 2/1. Исследованы образцы с 30, 50 и 70 процентами замещения клинкера, а также контрольный (бездобавочный) состав.

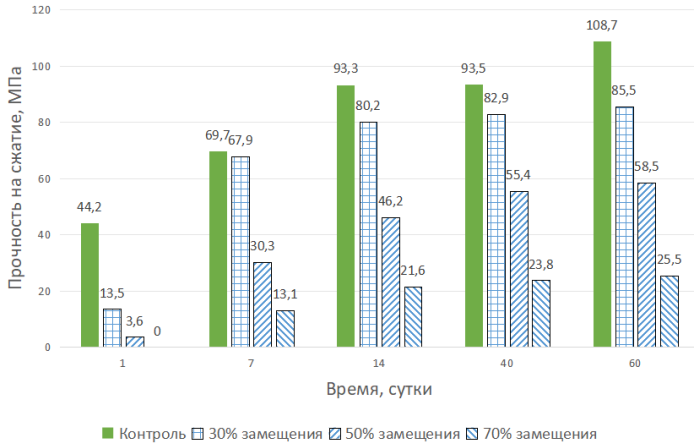



**Рисунок – Прочности образцов при сжатии.**

Сравнение результатов (см. рисунок) показало закономерное замедление набора прочности и снижение ее конечного значения с увеличением процента замещения клинкера.

Также, повышение степени замещения приводило к увеличению водопотребности смеси, что оказало дополнительное негативное влияние на прочность образцов.

Дальнейшее развитие работы предполагает установление других физико-механических характеристик данных систем и оценку их химической стойкости по отношению к сульфатам (сульфатная коррозия) и щелочам (щелоче-кремнеземная коррозия).

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПРЕСС-ПОРОШКОВ ДЛЯ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА

***Макарова А.М.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов, кафедра материаловедения и технологии высокотемпературных материалов и изделий на базе ООО «Вириал»*
*e-mail: amakarova154@gmail.com*

## COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR PREPARING PRESSING POWDERS FOR TUNGSTEN CARBIDE-BASED CEMENTED CARBIDES

***Makarova A.M.***

*Saint Petersburg State Technological Institute*

Предприятие ООО «Вириал» занимается производством износостойких триботехнических изделий, которое основано на методах порошковой металлургии. Традиционный процесс включает интенсивный помол шихты в циркуляционных аттриторах в спиртовой среде для исключения окисления металлической связки [1]. Формование заготовок осуществляется под строгим контролем влажности порошка не выше 0,2 % и последующем вакуумно-компрессионном спекании при температуре 1465 °С [1]. Получаемые сырые прессовки имеют плотность около 60 % от конечного спеченного состояния.

Из-за ужесточения экологических норм возникает необходимость промышленного перехода на водные суспензии. Использование воды существенно осложняется коррозией кобальтовой и никелевой связки с выделением водорода, высокой энергоемкостью сушки из-за большой теплоты испарения жидкости (теплота испарения воды достигает 2260 кДж/кг против 840 кДж/кг для спирта). Также наблюдается склонность карбида вольфрама к агломерации. Стабильность водных суспензий можно достигнуть введением специальных диспергаторов, поддержанием щелочного pH = 9–11 [2], использованием органических связующих типа ПВС или ПЭГ, полностью удаляемых при отжиге до 900 °С. Сплавы с никелевой связкой демонстрируют повышенную стойкость в водных средах [2]. Добавление в связку хрома способствует формированию защитных оксидных пленок, что повышает коррозионную стойкость твёрдых сплавов в агрессивных водных средах [2]. Распылительная сушка придает гранулам сферическую форму для автоматического прессования, предотвращая дефекты. Оптимизация реологии суспензий и грамотный подбор компонентов позволяют приблизиться к органическим аналогам. Развитие технологий направлено на сохранение характеристик изделий, экологической безопасности и снижении затрат.

**Литература:**

1. Третьяков, В.И. Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов / В.И. Третьяков. –Москва: Металлургия, 1976. – 528 с.

2. Bozzini B. The role of chromium in the corrosion performance of cobalt- and cobalt-nickel based hardmetal binders: a study centred on X-ray absorption microspectroscopy / B. Bozzini, A. Gianoncelli, G. Kourousias [et al.] // International Journal of Refractory Metals & Hard Materials. – 2020. – Vol. 92. – Art. 105320. – DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2020.105320

# СИНТЕЗ ТИТАНАТА ЛАНТАНА-ЛИТИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОЗРАЧНЫХ ИОНОПРОВОДЯЩИХ ПОКРЫТИЙ

***Нарушко М.Д.*, *Лебедев С.О.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов*

*e-mail: mdn1502@mail.ru*

# SYNTHESIS OF LANTHANUM LITHIUM TITANATE FOR THE PRODUCTION OF TRANSPARENT ION-CONDUCTING COATINGS

***Narushko M.D.*, *Lebedev S.O.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В последние десятилетия электрохромные устройства привлекают всё большее внимание исследователей благодаря возможности обратимого изменения оптических свойств под действием электрического тока. Среди множества электрохромных материалов особый интерес представляют оксиды переходных металлов, такие как $WO_3$, NiO и $TiO_2$, которые обладают высокой термической стабильностью и эффективностью [1]. Перспективным направлением является создание литийсодержащих соединений со структурой перовскита, способных обеспечить высокую ионную проводимость и стабильность при циклизации. В частности, титанат лантана-лития (LLTO) рассматривается как один из наиболее перспективных твёрдых электролитов благодаря уникальному сочетанию высокой ионной проводимости и химической инертности [2].

Синтез раствора титаната лантана-лития осуществлялся пероксидным методом. Экспериментально установлено, что реакция металлического титана с пероксидом водорода критически зависит от pH среды и не протекает в отсутствие щелочного компонента. Наилучшие результаты по скорости и полноте реакции достигаются при использовании гидроксида аммония. Определено, что оптимальная масса $NH_4OH$ составляет 0,4 г на 10 г 37 % $H_2O_2$ и 0,1 г Ti. Уменьшение количества $NH_4OH$ замедляет реакцию, увеличение (до 0,8 г) – инициирует экзотермический процесс разложения пероксида водорода, выпадение осадка $TiO_2$ и гелеобразование. Температурный диапазон от +12 до +15 °C реакционной смеси позволяет минимизировать образование побочных нерастворимых продуктов.

Помимо этого, установлено, что использование ультразвуковой предобработки реакционной системы сокращает время синтеза с 4-х до 2-х часов, а добавление 0,3 г лимонной кислоты стабилизирует полученный раствор и увеличивает его срок хранения в 2-3 раза. Также определена растворимость легирующих соединений (нитратов лития и лантана) в полученном растворе.

Нанесение полученного раствора на стеклянную подложку методом спрей-пиролиза дало прозрачное покрытие, однако для достижения проводимости требуется оптимизация количества слоёв и режимов термообработки. Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию процесса нанесения покрытий и изучение оптических и электрических свойств синтезированных материалов.

**Литература:**

1. Белоусов, А.Л. Электрохромные оксидные материалы / А.Л. Белоусов, Т.Н. Патрушева // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. – 2014. – № 7. – С. 698–710.

2. Жуковский, В.М. Проблемы быстрого ионного транспорта в твёрдых полимерных электролитах / В.М. Жуковский // Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева. – 2001. – №4. – С. 35–43.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ $Si–B_4C–ZrB_2$

***Николаев А.Н.***

*Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*
*e-mail: stirborn@yandex.ru*

## INVESTIGATION OF THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF MULTICOMPONENT GLASS–CERAMIC MATERIALS OF THE $Si–B_4C-ZrB_2$ SYSTEM

***Nikolaev A.N.***

*Federal State Unitary Enterprise Central Research Institute of Construction Materials Prometheus named after I.V. Gorynin of the National Research Center Kurchatov Institute*

Актуальность работы обусловлена необходимостью создания эффективных жаростойких покрытий для углеродных и керамических материалов, работающих в окислительных средах при высоких температурах. Целью исследования являлось изучение влияния наноразмерных частиц $Al_2O_3$, $ZrO_2$, а также углеродных модификаторов (графит, шунгит, сажа) на процессы фазообразования, структуру и свойства материалов в системе $Si–B_4C–ZrB_2$.

Компактные образцы и покрытия на графите и высокоглинозёмистой керамике получали шликерно-обжиговым методом с последующей термообработкой в интервале 1000–1400 °C. Методами ДТА, РФА, СЭМ и АСМ изучены кинетика окисления, фазовый состав и морфология поверхности, а также физико-механические свойства (плотность, пористость, модуль упругости, предел прочности при изгибе) материала покрытия.

Установлено, что при термообработке формируется градиентная структура: поверхностный слой представлен боросиликатным стеклорасплавом, упрочнённым кристаллическими фазами (m-$ZrO_2$, t-$ZrO_2$, $ZrSiO_4$, α-кристобалит), а внутренний слой содержит неокисленные исходные компоненты [1]. Введение $Al_2O_3$ повышает вязкость расплава и твёрдость покрытий на 15 %, а добавки $ZrO_2$ способствуют стабилизации высокотемпературной тетрагональной модификации. Модификация углеродными материалами (особенно сажей и шунгитом) интенсифицирует остекловывание поверхности благодаря локальному перегреву и участию $SiO_2$, входящего в состав шунгита, в формировании расплава [2]. Оптимизация составов позволила повысить модуль упругости на 33 % и прочность при изгибе до 250 МПа. Полученные покрытия обеспечивают защиту графита от выгорания при 1300 °C (прирост массы не более 10–15 мг/см²) и могут использоваться в металлургии, аэрокосмической и химической промышленности. Результаты защищены патентом РФ № 2778741.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 21-73-30019-П).*

**Литература:**

1. Nikolaev A., Bankovskaya I.B., Kolovertnov D.V. Physico-chemical features of the oxidation of glass-ceramic materials in the $Si–B_4C–ZrB_2$ system // NOVYE OGNEUPORY (NEW REFRACTORIES). 2025. Vol. 11. pp. 28-32.

2. Nikolaev A., Bankovskaya I.B., Rozhkova N.N. Composites and Coatings Based on the $Si–B_4C–ZrB_2$ Glass-Forming System Modified with Carbonaceous Materials // Refractories and Industrial Ceramics. 2021. Vol. 62. No. 4. pp. 426-432.

# ПОЛУЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА БОРА

***Николенко А.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов*

*e-mail: kalannarzautlar@gmail.com*

## PRODUCTION OF PROMISSING TRIBILOGICAL MATERIALS BASED ON BORON CRABIDE

***Nikolenko A.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Композиты на основе карбида бора ($B_4C$) и карбида кремния (SiC) применяются в экстремальных условиях благодаря высокой твердости и износостойкости. Цель работы — установление взаимосвязи между составом системы SiC-$B_4C$-C и физико-механическими характеристиками материалов, полученных реакционным спеканием (пропиткой кремнием) [1,2].

Изготовлено 12 образцов (см. таблицу) из смесей $B_4C$-C, $B_4C$-SiC и $B_4C$-SiC-C с техническим углеродом при 1600 °C. Наибольшая плотность (2.78 г/см³) достигнута для образца 4 (без SiC). Введение углерода (5-15 мас. %) незначительно снижает плотность, сохраняя пористость < 0.7 %. При 10 мас. % C наблюдается синергетический эффект: образец 5 (70 % $B_4C$; 30 % SiC; 10 % C) характеризуется максимальным модулем Юнга (390 ГПа). При 14 мас. % C (образец 8) модуль остается высоким (344 ГПа), подтверждая улучшение спекания и формирование зерен карбида кремния.

Выводы: методом реакционного спекания получены плотные низко пористые композиты SiC-$B_4C$. Введение 5-14 % технического углерода оптимизирует структуру, повышая упругие характеристики, что делает такие материалы перспективными для изготовления высоконагруженных износостойких деталей.

**Таблица – Составы и их свойства.**

| № образца | $B_4C$, % | SiC, % | Технический углерод, % | Плотность, г/см³ | Открытая пористость, % | Скорость звука, м/с | Модуль Юнга, GPa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 20 | 80 | 0 | 2.798 | 0.621 | 9600 | 205 |
| 2 | 80 | 20 | 8 | 2.311 | 5.111 | 9050 | 196 |
| 3 | 60 | 40 | 5 | 2.556 | 0.570 | 11250 | 324 |
| 4 | 70 | 30 | 0 | 2.776 | 0.292 | 11150 | 345 |
| 5 | 70 | 30 | 10 | 2.730 | 0.562 | 12050 | 390 |
| 6 | 50 | 50 | 10 | 2.749 | 0.559 | 11000 | 325 |
| 7 | 60 | 40 | 0 | 2.665 | 0.277 | 10708 | 310 |
| 8 | 80 | 20 | 14 | 2.606 | 0.583 | 11445 | 344 |
| 9 | 60 | 40 | 10 | 2.748 | 0.662 | 11000 | 315 |
| 10 | 100 | 0 | 5 | 2.591 | 0.276 | 10900 | 280 |
| 11 | 50 | 50 | 5 | 2.756 | 0.280 | 11050 | 335 |
| 12 | 50 | 50 | 15 | 2.706 | 3.995 | 10400 | 260 |

**Литература:**

1. Перевислов С.Н., Щербак П.В., Томкович М.В. Высокоплотная керамика на основе карбида бора // Новые огнеупоры. 2018. Т. 59. № 1. С. 32-36.

2. Перевислов С.Н., Щербак П.В., Томкович М.В. Фазовый состав и микроструктура материалов из реакционно-связанного карбида бора // Новые огнеупоры. 2018. Т. 59. № 2. С. 179-183.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ПОЛУЧЕНИЮ И СТАБИЛИЗАЦИИ КРАСНОЙ МОДИФИКАЦИИ УЛЬТРАМАРИНОВЫХ ПИГМЕНТОВ

***Перепечин Д.И.*, *Николаева А.Д.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии неорганических веществ*

*e-mail: pdiidp3@gmail.com*

# STUDY OF TECHNOLOGICAL APPROACHES TO OBTAINING AND STABILIZING RED MODIFICATION OF ULTRAMARINE PIGMENTS

***Perepechin D.I.*, *Nikolaeva A.D.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Ультрамариновые пигменты – алюмосиликаты натрия содалитового типа $Na_8[Al_6Si_6O_{24}]S_n$ с серосодержащими анион-радикалами, определяющими цвет. Синий оттенок обусловлен центрами $S^{3-}$, красный стабилизацией $S^{2-}$ и снижением содержания Na [1].

Промышленная схема получения красной модификации включает двухстадийную обработку синего ультрамарина: частичное денатрирование с хлором или хлоридом аммония и последующую обработку парами HCl. Температуры выше 160 °C приводят к аморфизации и потере окраски.

Альтернативно используют ионообмен $Na^+$ на $Li^+$ с LiCl или $LiNO_3$, стабилизирующий $S^{2-}$ и обеспечивающий термостабильный розово-красный оттенок [2], либо синтез из цеолита А с термообработкой и контролируемым окислением для регулирования распределения серных центров [3]. В работе были изучены основные виды ультрамариновых пигментов (см. таблицу).

**Таблица – Состав, режимы и способы обработки исследуемых ультрамариновых пигментов.**

| Цвет | Исходный материал | Реагент | T, °C | $Na_2O$, % мас. |
|---|---|---|---|---|
| Синий | Шихта | Восстановительный обжиг | 750–800 | 19–22 |
| Фиолетовый | Синий ультрамарин | $Cl_2$ / $NH_4Cl$ + воздух | 250–280 | 16–18 |
| Красный | Фиолетовый | HCl (газ) + воздух | 130–150 | 12–15 |
| Розовый | Синий/фиолетовый | $Li^+$-обмен / разб. кислоты | 300–400 / 100–130 | 14–16 |

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение влияния состава шихты и условий термообработки на формирование центров $S^{2-}$ и $S^{3-}$.

**Литература:**

1. Беленький, Е.Ф. Химия и технология пигментов / Е.Ф. Беленький, И.В. Рискин. — Л.: Химия, 1974. — 656 с.

2. Kowalak, S. Synthesis of lithium ultramarine / S. Kowalak, A. Jankowska, J. Laczkowska [et al.] // Microporous and Mesoporous Materials. — 2003. — Vol. 64. — P. 123–130.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ДИБОРИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

***Полетаев К.А.*, *Шарагина О.Н.***

*[1]Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов*

*konstantinpoletaev95@gmail.com*

# STUDY OF THE PROPERTIES OF HIGH-ENTROPY SOLID SOLUTIONS OF TRANSITION METAL DIBORIDES

***Poletaev K.A.*, *Sharagina O.N.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

При создании новых классов высокотемпературных материалов, предназначенных для службы в окислительной среде при температурах 1200-1600 °С необходимо решать задачи повышения температуроустойчивости, окалино- и жаростойкости. Таким комплексом эксплуатационных свойств обладают многокомпонентные композиционные материалы, и потому актуальной задачей является решение вопроса о подборе компонентов, вовлекаемых в создание планируемого материала, а также исследование взаимодействия этих компонентов. Изучение и использование пятикомпонентной системы высокоэнтропийных твёрдых растворов диборидов металлов позволяет найти новые возможности в проектировании материалов для разных условий эксплуатации. Высокоэнтропийные твёрдые растворы диборидов позволяют получать материалы, проявляющие большую абляционную стойкость и обладающие меньшей теплопроводностью, чем однокомпонентные бориды. Целью работы является получение высокоэнтропийного твёрдого раствора диборидов переходных металлов (Zr, Hf, Nb, Ta, Cr), керамики на её основе и исследование её свойств.

Получение высокоэнтропийного твёрдого раствора производилось путём предварительного совместного помола и смешения диборидов переходных металлов IV, V и VI групп (Zr, Hf, Nb, Ta, Cr) в эквимолярном соотношении. Обжиг изготовленных образцов производился двумя способами: методом свободного спекания при T = 2000 ± 50 °С в течение 1,5 часов и методом горячего прессования при T = 1920 °С в течение 15 минут. На образцах были измерены следующие свойства, представленные в таблице, и анализ фазового состава методом РФА и исследована структура и химический состав на СЭМ.

**Таблица - Свойства образцов высокоэнтропийной керамики состава (Zr, Hf, Nb, Ta, Cr)$B_2$ в зависимости от способа спекания.**

| Способ спекания | Кажущаяся плотность, г/см$^3$ | Открытая пористость, % | Относительная плотность, % | Модуль Юнга, ГПа |
|---|---|---|---|---|
| Свободное спекание (2000 ± 50 °С) | 7,54 | 0,2 | 80,3 | 415 |
| Горячее прессование (1920 °С) | 7,19 | 0,0 | 76,6 | 455 |

Также продолжается исследование влияния температуры при длительной экспозиции на устойчивость и состав многокомпонентных твердых растворов.

# ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ФУЛЛЕРЕНОЛА НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ С ТИТАНАТОМ БАРИЯ

***Савинцева А.А.*[1], *Боридько Л.Ш.*[2], *Мякин С.В.*[2]**

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), [1]кафедра инженерного проектирования, [2]кафедра теоретических основ материаловедения*

*e-mail: svmjakin@spbti.ru*

# EFFECT OF FULLERENOL ADDITIVE ON DIELECTRIC PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITES WITH BARIUM TITANATE

***Savintseva A.A., Boridko L.Sh., Mjakin S.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Разработка диэлектрических полимерных композиционных материалов для электронной техники, включая дисплеи, мощные конденсаторы, а также устройства гибкой (эластичной) и «носимой» электроники накопления, является актуальной задачей, для решения которой необходима разработка подходов к комплексному улучшению целевых характеристик композитов, включая повышение диэлектрической проницаемости (ε) и снижение диэлектрических потерь в сочетании с требуемыми механическими свойствами. Ранее было установлено, что указанным требованиям в наилучшей степени удовлетворяют композиты на основе цианэтилового эфира поливинилового спирта (ЦЭПС) и титаната бария ($BaTiO_3$), обладающих одними из наиболее высоких значений диэлектрической проницаемости (соответственно около 20-35 и свыше 4000) среди материалов матрицы и наполнителя [1, 2]. Вместе с тем при отсутствии интенсивного межфазного взаимодействия между компонентами и равномерного распределения наполнителя значения ε композитов не превышают порядка 100, подчиняясь обратно пропорциональному закону по отношению к значениям для связующего и наполнителя и резко снижаясь в результате неконтролируемого агрегирования частиц последнего. Для преодоления указанного недостатка необходимо модифицирование поверхности частиц наполнителя, обеспечивающее его химическое взаимодействие с матрицей с формированием системы связей, предотвращающей агломерацию и способствующей равномерному распределению в связующем.

В данной работе поверхность субмикронных частиц $BaTiO_3$ различной дисперсности модифицировали осаждением фуллеренола – наноуглеродной добавки, представляющей собой функционализированный гидроксильными группами фуллерен $C_{60}(OH)_{42}$. Фуллеренол вводили из водного раствора заданной концентрации в количестве 0,5 мг на 1 г $BaTiO_3$ с последующей сушкой и введением модифицированного титаната бария в раствор ЦЭПС в ранее оптимизированной концентрации. Измерение электрических характеристик полученных композитов показало, что их диэлектрическая проницаемость достигает значений около 350, что значительно превышает значения, ранее достигнутые как в отсутствие модифицирующих добавок, так и при использовании различных модификаторов, включая графен и нанотрубки [1, 2]. Достигнутый результат обусловлен взаимодействием ОН-групп на поверхности модифицированного наполнителя с функциональными группами в составе ЦЭПС, обеспечивающим максимально равномерное распределение частиц титаната бария в матрице.

**Литература:**

1. Sergey Mjakin, Maxim Sychov, Andrey Chekuryaev, Nikolay Sudar // Materials Today: Proceedings. 2020. V. 30. Part 3. P. 603-605.

2. Sychov M., Guan X., Mjakin S., Boridko L., Khristyuk N., Gravit M., Diachenko S. // Nanomaterials. 2024. V. 14. 1232. https://doi.org/10.3390/nano14141232.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ФТОРОФОСФАТНЫХ СТЕКОЛ С НАНОКРИСТАЛЛАМИ ПЕРОВСКИТОВ $CsPbBr_3$ ЛЕГИРОВАННЫХ ИОНАМИ ЕВРОПИЯ

***Самсоненко А.А.*, *Колобкова Е.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов*

*e-mail: snowleopard.2001@mail.ru*

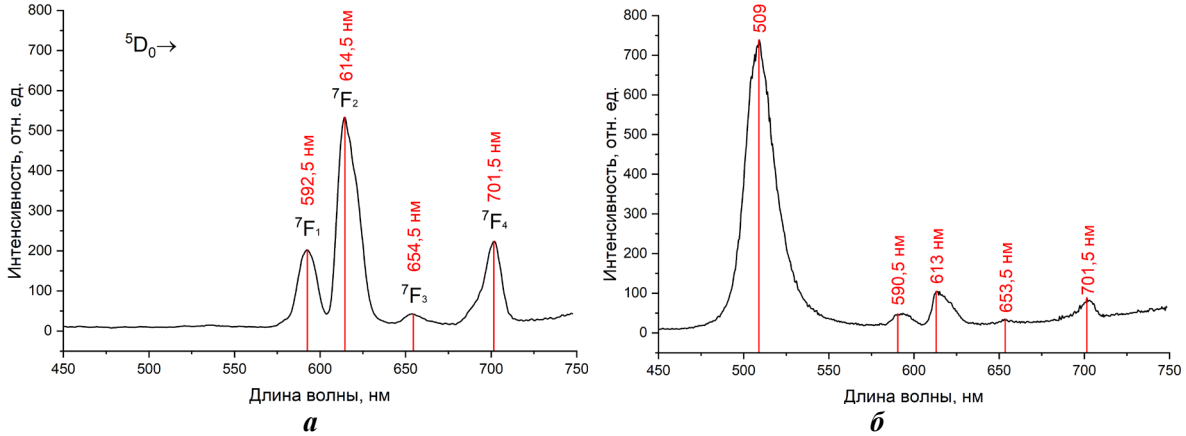
## STUDY OF LUMINESCENCE OF FLUOROPHOSPHATE GLASSES WITH $CsPbBr_3$ PEROVSKITE NANOCRYSTALS DOPED WITH EUROPIUM IONS

***Samsonenko A.A.*, *Kolobkova E.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Нанокристаллы (НК) перовскита состава $CsPbX_3$ (X= Cl, Br, I) в последнее время привлекают всё больше внимания благодаря их уникальным оптическим свойствам, в частности квантовый выход фотолюминесценции (КВ ФЛ) таких материалов достигает 90 %. Также данные материалы обладают узким спектром излучения, регулируемым анионным и катионным замещением, а также размерным квантовым эффектом. Это делает их перспективными материалами для создания солнечных батарей, лазеров, светодиодов, сцинтилляторов и других оптических устройств [1].

В данной работе было исследовано стекло состава $60Ba(PO_3)_2$-$25AlF_3$-$5Cs_2O$-$7PbF_2$-$3BaBr_2$ (в мол. %) с добавкой 1.0-2.0 мол. % $Eu_2O_3$ сверх 100 %. Стекло было синтезировано в закрытом графитовом тигле при температуре 1000 °C в течение 20 минут. Исходное стекло имело свечение красного цвета, обусловленное ФЛ иона $Eu^{3+}$ (Рисунок, *а*). Термообработка бесцветного стекла при 410-420 °C в муфеле в течение 60-300 минут привела к формированию НК $CsPbBr_3$, что визуально подтверждалось изменением свечения образцов при возбуждении λ = 395 нм с красного на зелёный (Рисунок, *б*).




***а*** ***б***

**Рисунок – Спектры люминесценции для исследуемого стекла с перовскитом без термообработки (*а*) и после термообработки (*б*).**

Таким образом, изменяя параметры термообработки в стёклах с нанокристаллами перовскитов можно изменять соотношение интенсивности ФЛ в красной и зеленой области, тем самым изменяя характеристики люминофора (цветовые координаты).

**Литература:**

1. Perovskite Crystals for Tuneable White Light Emission / S. Pathak, N. Sakai, F. Rivarola [et al.]. // Chemistry of Materials. - 2015. - № 27. - С. 8066-8075.

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ 2-ФЕНОКСИЭТАН-1-АМИНОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПУТЕМ АДАПТАЦИИ РЕАКЦИИ МИЦУНОБУ

***Соколова А.Н.*, *Трибулович В.Г.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), научно-исследовательская лаборатория «Молекулярная фармакология»*
*e-mail: sok5552@mail.ru*

# DEVELOPMENT OF A METHOD FOR PRODUCING FUNCTIONALIZED 2-PHENOXYETHANE-1-AMINE COMPOUNDS THROUGH THE ADAPTATION OF THE MITSUNOBU REACTION

***Sokolova A.N.*, *Tribulovich V.G.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Производные 2-феноксиэтан-1-амина являются ключевыми фрагментами ряда биологически активных соединений, способных модулировать активность эстрогеновых рецепторов или подавлять ферментативную активность киназ, в частности, АМФ-активируемой протеинкиназы.

Для введения 2-феноксиэтан-1-аминов в биологически активную молекулу необходимо наличие функциональных групп, например, боросодержащих. Широко распространенным методом введения таких групп является реакция каталитического борилирования с участием бис(пинаколато)диборана и палладиевого катализатора. Несмотря на популярность данного подхода, близкие физико-химические свойства исходных и конечных соединений затрудняют разделение компонентов смеси при неполной конверсии [1].

Предлагаемый нами оригинальный подход для получения функционализированных 2-феноксиэтан-1-аминов заключается в использовании реакции Мицунобу, традиционно применяемой для меж- и внутримолекулярной дегидратации, приводящей к формированию желаемого эфира. В качестве модельной реакции рассматривали взаимодействие пиперидинилэтанола с пинакольным эфиром 4-оксифенилборной кислотой. Целевой продукт реакции (см. рисунок) был получен с полной конверсией, что позволило выделить его в виде стабильного гидрохлорида, а затем перевести в основание. Использование предложенного подхода увеличивает доступность фармакологически ценных производных 2-феноксиэтан-1-аминов, существенно повышая качество продукции.

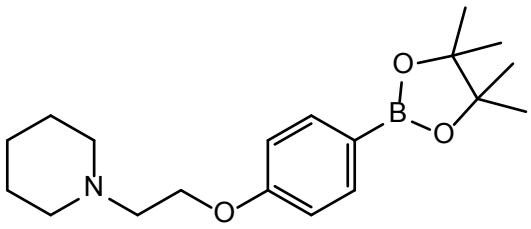



**Рисунок – Целевой продукт модельной реакции.**

**Литература:**

1. Becica, J. Palladium-Catalyzed Cross-Coupling of Alkenyl Carboxylates. / J. Becica, O.R.J. Heath, C.H.M. Zheng, D.C. Leitch // Angew Chem Int Ed Engl. – 2020. V. 59. P. 17277-17281.

2. Ishiyama, T. Palladium(0)-Catalyzed Cross-Coupling Reaction of Alkoxydiboron with Haloarenes: A Direct Procedure for Arylboronic Esters. / T. Ishiyama, M. Murata, N. Miyaura // J. Org. Chem. – 1995. - V. 60. – P. 7508-7510.

# СМАЧИВАНИЕ $TiB_2$ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СВЯЗКОЙ НА ОСНОВЕ Fe И Mo

***Тухватуллина Л.Г.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов*

*e-mail: leska102@yandex.ru*

# WETTING OF $TiB_2$ WITH A METAL BINDER BASED ON Fe AND Mo

***Tukhvatullina L.G.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В технологии порошковой металлургии и производстве твердых сплавов одним из ключевых факторов, определяющих физико-механические свойства готового изделия и его микроструктуру является способность металлической связки смачивать поверхность тугоплавкой фазы.

Целью данной работы являлось изучение смачиваемости $TiB_2$ металлической связкой на основе Fe и Mo.

В ходе работы было изготовлено 4 состава металлической связки с содержанием молибдена 0, 15, 36, 50 мас. %, которые впоследствии были сформованы в полусферы и помещены на предварительно полученные методом горячего прессования подложки из диборида титана. Термообработка проводилась в вакууме в электропечи сопротивления шахтной, вакуумной. Скорость нагрева – 500 °С/час, время выдержки при максимальной температуре (1600 °С) – 20 мин., скорость охлаждения – 1000 °С/час.

После термообработки для всех образцов был измерен краевой угол смачивания (θ). Результаты измерений представлены в таблице.

**Таблица – Результаты измерения краевого угла смачивания.**

| Состав металлической связки | Fe | Fe-Mo (15 мас. %) | Fe-Mo (36 мас. %) | Fe-Mo (50 мас. %) |
|---|---|---|---|---|
| Значение θ | 0° | 0° | 0° | 20° |

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что все изученные составы металлической связки демонстрируют отличное смачивание подложки из $TiB_2$. Увеличение концентрации молибдена до 50 масс. % приводит к незначительному ухудшению смачивания и увеличению краевого угла до 20°.

В процессе термообработки капля расплава за счёт диффузии проникает в подложку с образованием «ложа». После охлаждения, вследствие значительной разницы в коэффициентах термического расширения железа ($11.69 \cdot 10^{-6}$ $К^{-1}$) [1] и диборида титана ($6{,}4 \cdot 10^{-6}$ $К^{-1}$) [2], твёрдая «капля» отслаивается от подложки, благодаря чему можно проследить за проникновением расплава в диборид титана. Во всех образцах, отслаивания капли не происходило, из чего можно сделать вывод, что произошло проникновение расплава металл-связки в диборид титана.

Аналогичный эксперимент в атмосфере аргона привел к резкому ухудшению смачиваемости. Краевые углы смачивания достигли значений порядка 70 – 80 градусов.

**Литература:**

1. Kozlovskii, Yu.M. The linear thermal expansion coefficient of iron in the temperature range of 130–1180 K / Yu.M. Kozlovskii, S.V. Stankus // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – V. 1382. – P. 12-18.

2. Xu, G-F. Microwave sintering and properties of AlN / $TiB_2$ composites / G-F. Xu, Y. Carmel, T. Olorunyolemi, I.K. Lloyd, O.C. Wilson // Journal of Materials Research. – 2003. – V. 18. – P. 66-76.

# ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МНОГОКОМПОНЕНТЫХ ЦЕМЕНТОВ

***Усачева У.О.*, *Воронков М.Е.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов*

*e-mail: ul.usa4eva@yandex.ru*

## MAIN CHALLENGES IN PRODUCTION OF BLENDED CEMENT

***Usacheva U.O.*, *Voronkov M.E.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Помол портландцементного клинкера с комплексом минеральных добавок (шлак, зола-унос, известняк, различные пуццоланы и др.) является более сложной задачей, чем получение бездобавочного цемента, что связано с различием в физико-механических характеристиках исходных минеральных компонентов. Различия в размолоспособности мягких (известняк, пуццоланы) и твердых (шлак, клинкер) компонентов приводят к нестабильности гранулометрического состава цемента: гидравлически активные компоненты остаются в грубой части, в то время как инертные материалы и пуццолана переизмельчаются. Как следствие выпускаемый продукт обладает сниженной активностью, особенно в раннем возрасте, растет водопотребность цементного теста при схожей с бездобавочным продуктом тонине помола. Тонкие частицы налипают на футеровку и мелющую оснастку, снижая эффективность работы мельницы, провоцируют агломерацию [1]. Увеличение времени измельчения для компенсации недомола клинкера приводит к росту операционных расходов предприятия. Наилучшим решением является раздельный помол компонентов с последующим их смешением, однако данная мера требует значительных капитальных затрат на модернизацию всего передела помола и хранения.

Различия в химии поверхности материала накладывают ограничения и на применение интенсификаторов помола (ИП), поскольку продукты на основе разных классов химических соединений показывают различную эффективность при работе с клинкером или минеральными добавками [2], то есть выбор интенсификатора должен производиться с учетом преобладающей в системе твердой фазы. Универсальные ИП при этом могут проигрывать специализированным решениям.

Помолы на лабораторном оборудовании позволяют прогнозировать поведение ИП при работе с промышленным оборудованием непрерывного цикла, подбирать составы ИП для различных комбинаций минеральных добавок, оценивать влияние химии ИП на кинетику гидратации цемента. Вышеперечисленное составляет основной предмет, актуальность, определяет цели и задачи настоящей работы.

**Литература:**

1. Uzun, O., Benzer, A. H., & Uzun, V. Investigation of the Effects of Polymer-Based Grinding Aids on the Surface Chemistry Properties of Cement // Polymers. – 2025. – Vol. 17, N 19. – P. 2691.

2. Hallet, V., Hertel, T., Eykens, L., De Belie, N. et al. Alkanolamines as grinding aids and hydration enhancers in blended cements with iron-rich non-ferrous metallurgy slag // Construction and Building Materials. – 2025. – Vol. 470. – P. 140575.

# УПРАВЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ СТЕКОЛ НА ОСНОВЕ $0{,}73GeSe_2$-$0{,}23Sb_2Se_3$ ВВЕДЕНИЕМ ДОБАВКИ $Ag_2Se$

***Томаев В.В.[1], Мякин С.В.[1], Фомин М.Е.[1], Макушев Р.В.[2]***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), [1]кафедра теоретических основ материаловедения, [2]кафедра механики*

*e-mail: svmjakin@spbti.ru*

## CONTROL OVER MECHANICAL PROPERTIES OF $0{,}73GeSe_2$-$0{,}23Sb_2Se_3$ BASED GLASSES BY THE ADDITION OF $Ag_2Se$

***Tomaev V.V., Mjakin S.V., Fomin M.E., Makushev R.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Халькогенидные стекла используют в различных областях современной техники, включая изготовление сенсорных устройств, специальных светофильтров (в т.ч. в инфракрасной области спектра), а также оптоволоконных кабелей. Оптимальным комплексом свойств, включая широкую область прозрачности, низкие оптические потери в среднем ИК-диапазоне, устойчивость к атмосферной влаге, высокая нелинейность оптических свойств, обладают стекла на основе системы Ge-Sb-Se, в особенности в соотношении $0{,}73GeSe_2$-$0{,}23Sb_2Se_3$. Вместе с тем, помимо особых оптических характеристик, для ряда применений, таких как создание гибких сенсорных устройств, важным условием является снижение хрупкости стекол и придание им пластичности, для чего необходимо модифицирование их состава введением специальных добавок. Перспективным подходом к решению данной задачи является введение пластичных халькогенидов серебра, внедрение которых даже в высоких количествах не приводит к ухудшению стеклообразующих рассматриваемых материалов.

В данной работе посредством сплавления особо чистых элементарных веществ (Ge, Sb, Se, Ag) в требуемых атомных процентах был синтезирован ряд стекол состава $(1\text{-}x)(0{,}27Sb_2Se_3\text{-}0{,}73GeSe_2)\text{-}xAg_2Se$ и измерена их твердость методом Виккерса с использованием прибора KRAUTKRAMER TIV. Полученные результаты (рисунок) показывают, что при превышении критического содержания $Ag_2Se$ 25 мол.% ($x = 0{,}25$) происходит резкое снижение твердости стекла, что обусловлено формированием системы металлофильных связей Ag-Ag и перспективно для создания халькогенидных стекол с заданными механическими свойствами, включая придание требуемой пластичности.

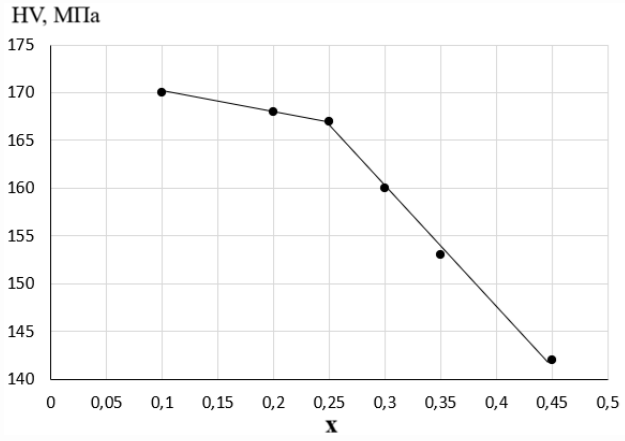
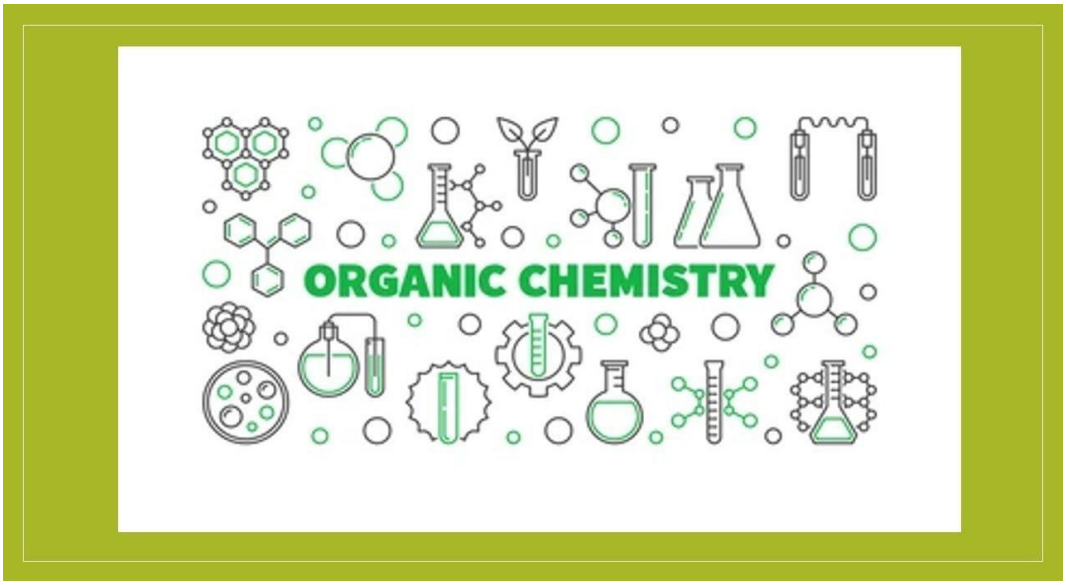



**Рисунок – Зависимость твердости стекол состава $(1\text{-}x)(0{,}27Sb_2Se_3\text{-}0{,}73GeSe_2)\text{-}xAg_2Se$ от содержания $Ag_2Se$.**

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 24-23-00140.*

# СЕКЦИЯ 3.

# ОРГАНИЧЕСКАЯ И ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ



# СИНТЕЗ И ФОТОФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АНИОННЫХ МЕТАЛЛОФТАЛОЦИАНИНОВ НА ОСНОВЕ ТЕТРАЗОЛ-СОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

***Антонова Д.Р., Хотянович Д.В., Максимова Я.С.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии органических красителей и фототропных соединений*

*e-mail: dariia.ant@mail.ru*

**SYNTHESIS AND PHOTOPHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF ANIONIC METALLOPHTHALOCYANINES BASED ON TETRAZOLE-CONTAINING COMPOUNDS**

***Antonova D.R., Khotianovich D.V., Maksimova Y.S.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Металлофталоцианины находят применение в качестве красителей и пигментов, катализаторов, компонентов при изготовлении оптоэлектронных устройств, а также фотосенсибилизаторов в фотодинамической терапии онкологических заболеваний. Применение металлофталоцианинов в ФДТ ограничивается их низкой растворимостью в воде и органических растворителях. Введение в макроцикл тетразольного заместителя позволяет перевести комплекс в водорастворимую анионную форму, а собственная биологическая активность тетразольной группировки [1] повышает синергетический эффект применения замещенных металлофталоцианинов. На данный момент нет известных опубликованных работ, рассматривающих анионные комплексы замещенных тетразол-содержащих металлофталоцианинов, что обуславливает интерес в изучении этой темы.

Схема получения анионного комплекса фталоцианина цинка и соответствующего исходного фталонитрила представлена на рисунке.

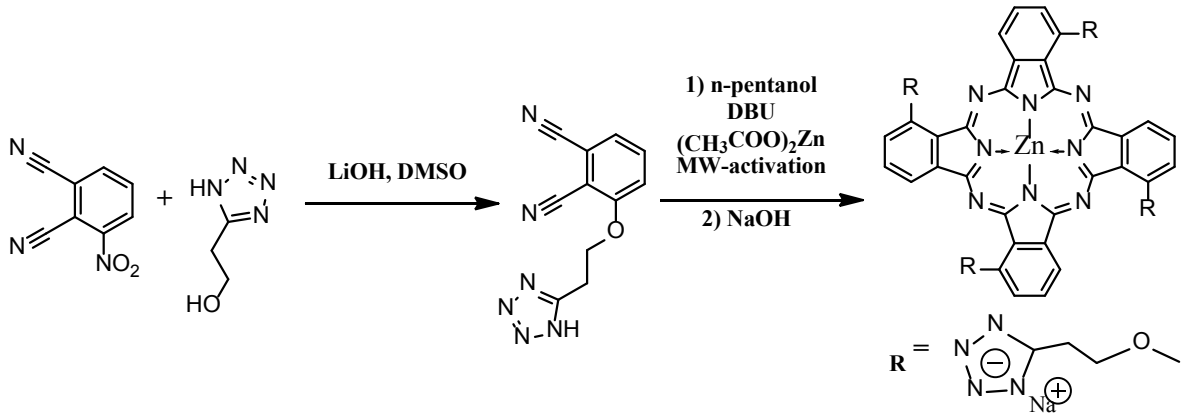



**Рисунок – Схема получения анионного комплекса фталоцианина цинка.**

Строение соединений было подтверждено ЯМР $^{1}H$, $^{13}C$ спектроскопией. Показано, что анионный комплекс фталоцианина цинка растворим в ДМСО и воде. Фотофизико-химические свойства анионного комплекса фталоцианина цинка будут рассмотрены в докладе.

**Литература:**

1. Попова, Е.А. Тетразолы для биомедицины / Е.А. Попова, Р.Е. Трифонов, В.А. Островский // Успехи химии. – 2019. – Т. 88, № 6. – С. 644-676.

# АРИЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ 4-МЕТИЛХИНОЛИН-2(1*H*)-ОНА В УСЛОВИЯХ МИКРОВОЛНОВОЙ АКТИВАЦИИ

***Ворона С.В., Бенедиктов П.М., Яковлева П.А., Новикова Д.С.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии органических красителей и фототропных соединений*

*e-mail: s.vorona@bk.ru*

## ARYLATION OF 4-METHYLQUINOLIN-2(1*H*)-ONE DERIVATIVES UNDER CONDITIONS OF MICROWAVE ACTIVATION

***Vorona S.V., Benediktov P.M., Yakovleva P.A., Novikova D.S.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Современные диагностические инструменты, применяемые в медицинских и исследовательских целях, зачастую связаны с обнаружением ДНК при использовании ДНК-связывающих флуоресцентных красителей. Клеточные красители цианинового ряда обладают способностью к визуализации ДНК, поэтому они широко используются в качестве флуоресцентных зондов.

Особое место среди ДНК-связывающих красителей занимают монометинцианиновые производные на основе тиазолового оранжего. При связывании с дуплексом нуклеиновой кислоты путем интеркаляции их конформация фиксируется в плоском состоянии, что приводит к значительному усилению флуоресценции.

4-Метил-1-фенилхинолин-2-(1*H*)-он является структурным фрагментом ряда ДНК-тропных флуоресцентных клеточных цианиновых красителей, причем фенильное кольцо на атоме азота выступает в роли стерического якоря при интеркаляции. Целью данной работы является усовершенствование метода арилирования ряда 4-метилхинолин-2-(1*H*)-онов путем применения микроволновой активации вместо традиционного конвекционного нагрева (см. схему).

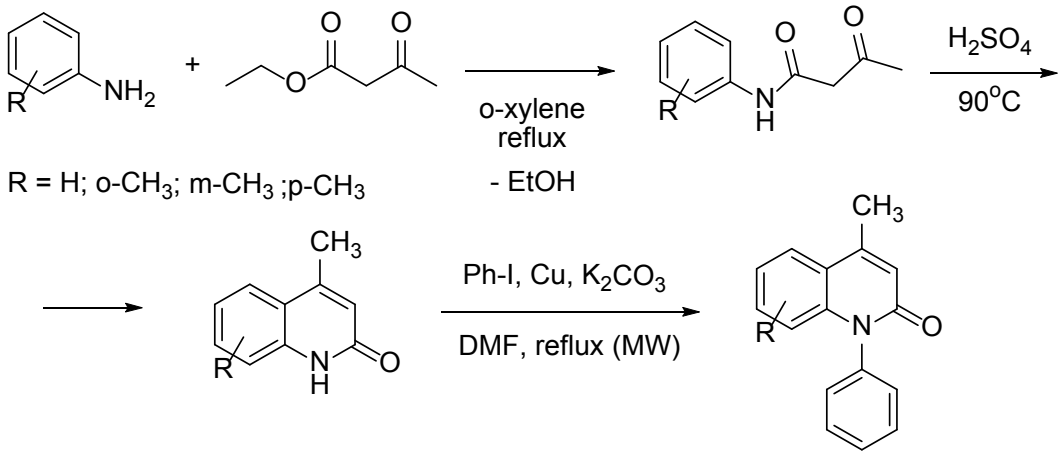



**Схема –Синтез замещенных 4-метил-1-фенилхинолин-2-(1*H*)-онов.**

С помощью микроволнового нагрева нам удалось сократить время протекания реакции арилирования в шесть раз по сравнению с конвекционным нагревом [1] без снижения выхода целевого продукта.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №24–73–10221).*

**Литература:**

1. Domahidy, F. Comprehensive study of thiazole-orange-based DNA dyes / F. Domahidy, B. Kovács, L. Cseri et al. // ChemPhotoChem. – 2024. – V.8. – P. e202400080.

# ПРОГНОЗ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И СИНТЕЗ ГИБРИДНЫХ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ С 1,3,4-ОКСАДИАЗОЛЬНЫМ ФРАГМЕНТОМ НА ОСНОВЕ 2-(5-ФЕНИЛ-2*H*-ТЕТРАЗОЛ-2-ИЛ)АЦЕТОГИДРАЗИДА

***Горлова И.А.*, *Антоненко Д.В.*, *Островский В.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химии и технологии органических соединений азота*

*e-mail: queoeuq@yandex.ru*

# PREDICTION OF BIOLOGICAL ACTIVITY AND SYNTHESIS OF HYBRID HETEROCYCLIC SYSTEMS WITH A 1,3,4-OXADIAZOLE FRAGMENT BASED ON 2-(5-PHENYL-2*H*-TETRAZOL-2-YL)ACETOHYDRAZIDE

***Gorlova I.A.*, *Antonenko D.V.*, *Ostrovskii V.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Азот- и кислородсодержащие гетероциклы нашли широкое применение в медицинской химии. Производные тетразола и оксадиазола распространены на мировом фармацевтическом рынке как вещества, входящие в состав эффективных лекарственных средств. Соединения, содержащие несколько гетероциклических фрагментов, являются перспективными кандидатами на роль активных фармацевтических ингредиентов (АФИ) с мультитаргетным действием, поскольку такая комбинация позволяет достичь более широкого спектра применения [1, 2].

Особый интерес представляют производные тетразолилуксусной кислоты и 1,3,4-оксадиазола, которые являются перспективными фармакофорными фрагментами в уже известных лекарственных средствах.

В рамках нашей работы был проведен предварительный прогноз активности при помощи компьютерной системы PASS 2022, молекулярный докинг для предполагаемых соединений и их синтез. С учетом данных *in silico*, доступности, а также литературных данных, в качестве исходной молекулы был выбран 5-фенил-1*H*-тетразол. В ходе реакций были получены гибридные гетероциклические соединения, содержащие тетразольную систему, связанную метиленовым мостиком с 1,3,4-оксадиазол-2-тиолами с выходами 67–88 % (см. рисунок).

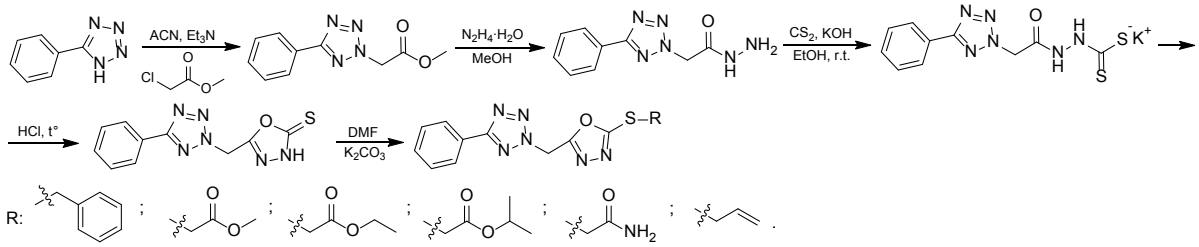



**Рисунок – Схема синтеза гибридных соединений на основе 5-фенил-1*H*-тетразола.**

Строение и индивидуальность полученных соединений подтверждали данными спектроскопии $^{1}$H, $^{13}$C ЯМР, ИК-спектроскопии, ТСХ и масс-спектрометрии высокого разрешения. Полученные соединения будут наработаны и переданы в профильные научные центры для проведения *in vitro* и *in vivo* исследований как возможные лекарственные кандидаты для лечения нейродегенеративных заболеваний, атеросклероза, аллергии, астмы, а также в качестве анальгетика.

**Литература:**

1. Popova, E.A.; Trifonov, R.E.; Ostrovskii, V.A. Tetrazoles for Biomedicine. Russ. Chem. Rev. 2019, 88, 644–676.

2. Kaur, R.; Kaur, P. Synthesis and Pharmacological Activities of 1,3,4-Oxadiazole Derivaties: A Review. EJBPS, 2018, 5(6).

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВ В СИСТЕМЕ *Н*-ОКТАНОЛ-ВОДА В РЯДУ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ВИОЛУРОВОЙ КИСЛОТЫ

***Григорьева Н.Ю.*, Феклистова К.А., Краснова А.А., Папп В.Т., Клименко Д.И., Северова Е.А., Краснов К.А.***

*Научно-клинический центр токсикологии имени С.Н. Голикова Федерального медико-биологического агентства России*

*e-mail: ninela-angel@mail.ru*

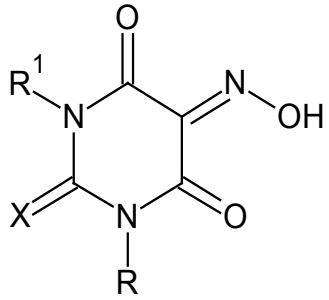
# EXPERIMENTAL STUDY OF THE DISTRIBUTION OF SUBSTANCES IN THE *N*-OCTANOL-WATER SYSTEM IN A SERIES OF NEW DERIVATIVES OF VIOLURIC ACID

***Grigoreva N.U.*, Feklistova K.A., Krasnova A.A., Papp V.T., Klimenko D.I., Severova E.A., Krasnov K.A.***

*Golikov Research Center of Toxicology*

Производные виолуровой кислоты (ВК) (см. таблицу) обладают фармакологической активностью [1]. Эти свойства зависят от природы заместителя при атомах $N_1(N_3)$ и $C_2$, но закономерности структура-активность в ряду производных ВК не изучены.

**Таблица – Структура синтезированных производных и 2-тиоаналогов ВК.**

| | |
|---|---|
|  | X= O, S. R= H, $CH_3$, насыщенные *н*- и разветвленные алкилы, непредельные алкилы, циклоалкилы, алкоксиалкилы, арилалкилы, фенил, арилы с электронодонорными и электроноакцепторными заместителями. $R^1$ = H, $CH_3$. |

Оценка липофильности производных ВК существенна для прогноза их биологических свойств. Цель исследования – выявить закономерности между структурой и коэффициентом распределения *н*-октанол-вода (log P) в ряду производных ВК. Для этого были синтезированы 30 новых производных ВК с разными заместителями при атомах азота $N_1(N_3)$ и экспериментально определены значения log P (спектрофотометрически, при pH = 2) по методике [2]. Было установлено, что наиболее гидрофильное вещество – незамещенная ВК (logP = (-1,15)), а наиболее липофильное – 1-гексил-2-тиовиолуровая кислота (log P = (+2,34), диапазон коэффициента P – 3,5 порядка. Расчет log P для производных ВК в ACD Labs не соответствует полученным данным: отклонения хаотичны и доходят до 2,5 порядков. В дальнейшем предполагается выявить закономерности между липофильностью и токсичностью производных ВК.

**Литература:**

1. Краснов К.А. Виолуровые кислоты: история, фармакология и перспективы (Аналитический обзор) / К.А. Краснов, А.А. Краснова, К.А. Феклистова, В.Т. Папп. – Текст: электронный // Medline.ru. – 2024. – Т. 25. – С. 630–647.

2. Hodges G. et al. A comparison of log Kow (n-octanol–water partition coefficient) values for non-ionic, anionic, cationic and amphoteric surfactants determined using predictions and experimental methods //Environmental Sciences Europe. – 2019. – Т. 31. – №. 1. – С. 1-18

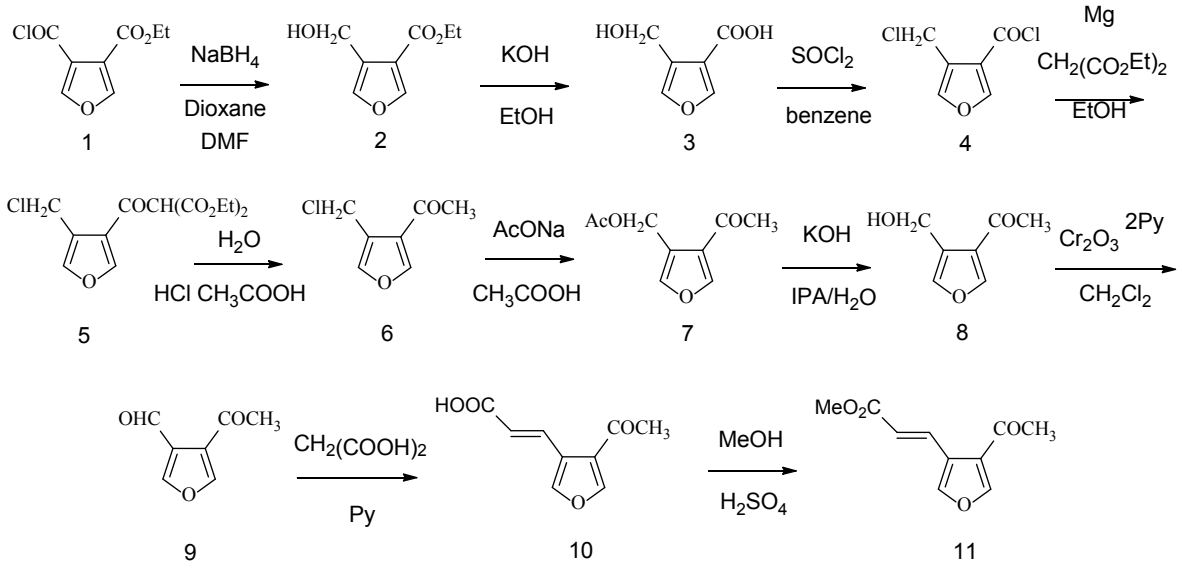
# СИНТЕЗ МЕТИЛ 3-(4-АЦЕТИЛФУРАН-3-ИЛ)АКРИЛАТА

***Дакуо К.Н.*, Певзнер Л.М., Петров М.Л.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра органической химии*
*e-mail: kristiandakuo@mail.ru*

# SYNTHESIS OF METHYL 3-(4-ACETYLFURAN-3-YL)ACRYLATE

***Dakuo K.N.*, Pevzner L.M., Petrov M.L.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Ацетилфуранкарбальдегиды имеют широкий спектр применения в органическом синтезе и фармацевтике [1]. Разработанный ранее новый метод синтеза их 2,3- и 3,2-изомеров исходя из соответствующих (галогенметил)(ацетил)фуранов [2] мы распространили на 4-ацетилфуран-3-карбальдегид. Синтез начинали исходя из доступного предшественника **1,** который подвергли восстановлению боргидридом натрия в среде диоксан/ДМФА до спирта **2**. Щелочным гидролизом соединения **2** под действием KOH в этаноле была получена гидроксикислота **3**. Её обработка тионилхлоридом в бензоле привела к 4-хлорметил-3-фуроилхлориду **4**, который ввели в реакцию ацилирования диэтилмалоната. Кислотный гидролиз полученного ацилмалоната **5** привел к 4-хлорметил-3-ацетилфурану **6**. Действием на соединение **6** ацетата натрия в уксусной кислоте был получен ацетат **7.** Последовательным гидролизом и окислением реактивом Коллинза он был превращен в альдегид **9** из которого в условиях конденсации Кнёвенагеля с малоновой кислотой в пиридине была получена акриловая кислота **10**. Ее этерифицировали метанолом до метилового эфира **11**. Соединения **10**,**11** предполагается использовать в синтезе 4-(фуран-3-ил)-1,2,3-тиа- и -селенодиазолов.




*Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ (FSEN-2026-0003).*

**Литература:**

1. Pevzner, L.M., Ponyaev, A.I. / Russ. J. Gen. Chem., 2023. Vol. 93, no. 3, P. 393. DOI: 10.31857/S0044460X23030083

2. Dakuo, K.N., Pevzner, L.M., Petrov, M.L. / Russ. J. Gen. Chem., 2026. Vol. 96, no. 2, P. 395. DOI: 10.1134/S1070363225604041

# СИНТЕЗ 3-((2-МЕТИЛ-2,3,4,5-ТЕТРАГИДРО-1*H*-ПИРИДО[4,3-b]ИНДОЛ-8-ИЛ)ОКСИ)ФТАЛОНИТРИЛА

***Зимницкая М.В.*, *Форсова К.А.*, *Антонова Д.Р.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии органических красителей и фототропных соединений*

*e-mail: zimnitsckayam@yandex.ru*

# SYNTHESIS OF 3-((2-METHYL-2,3,4,5-TETRAHYDRO-1*H*-PYRIDO[4,3-b]INDOL-8-YL)OXY)PHTHALONITRILE

***Zimnitsckaya M.V.*, *Forsova K.A.*, *Antonova D.R.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Более 70 лет производные 2,3,4,5-тетрагидро-1*H*-пиридо[4,3-b]индолов (ТГПИ) являются объектом исследования фармацевтической химии благодаря своим антигистаминным, противовоспалительным, антидепрессивным свойствам. Выступая в качестве ингибиторов ацетилхолинэстеразы и ионотропных глутаматных рецепторов семейства NMDA (N-метил-D-аспарат), производные ТГПИ в настоящее время одобрены в качестве средств для лечения болезни Альцгеймера [1].

Наличие в молекуле ТГПИ фталонитрильного фрагмента позволяет расширить медицинскую область применения исследуемых соединений, делая возможным синтез производных фталоцианинов, выступающих в качестве фотосенсибилизаторов для фотодинамической терапии рака и антимикробной ФДТ. Для будущего синтеза и изучения данных соединений был синтезирован фталонитрил с заместителем типа ТГПИ, схема синтеза которого представлена на рисунке:

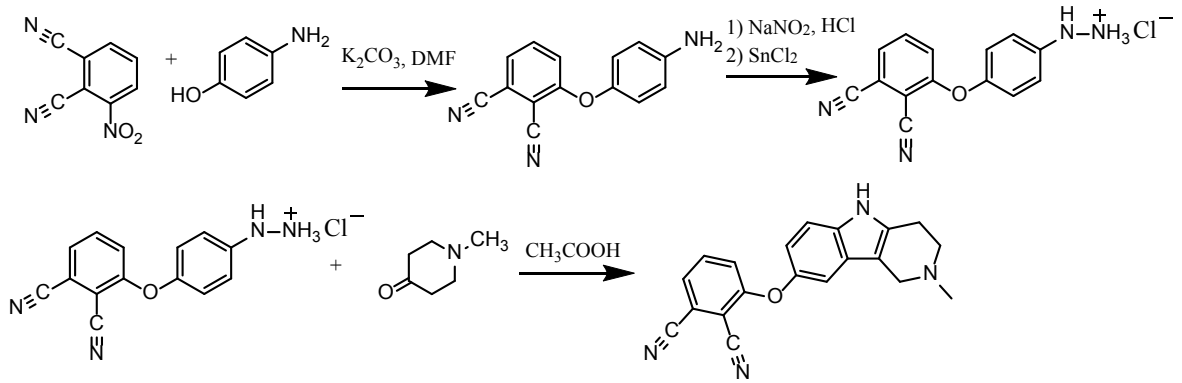



**Рисунок – Схема синтеза 3-((2-метил-2,3,4,5-тетрагидро-1*H*-пиридо[4,3-b]индол-8-ил)окси)фталонитрила.**

Таким образом, была разработана методика синтеза, замещенного фталонитрила, строение которого было подтверждено ИК-, ЯМР $^{1}H$ и $^{13}C$ – спектроскопией. Дальнейшая методика синтеза фталоцианина будет обсуждаться в докладе.

**Литература:**

1. Schwarthoff, S. Evaluation of γ-carboline-phenothiazine conjugates as simultaneous NMDA receptor blockers and cholinesterase inhibitors / S. Schwarthoff, N. Tischer, H. Sager, B. Schatz // Bioorganic & Medicinal Chemistry. – 2021. – V.46. – 116355.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЩЕЛОЧНОГО АГЕНТА НА ОКРАШИВАНИЕ ВОЛОС ОКСИДАЦИОННЫМИ КРАСИТЕЛЯМИ

***Колотилова А.Д.*, *Соколова Н.Б.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технологический университет), кафедра химической технологии органических красителей и фототропных соединений*

*e-mail: kolotilovaanastasia@gmail.com*

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ALKALINE AGENT ON HAIR DYEING WITH OXIDATION DYES

***Kolotilova A.D.*, *Sokolova N.B.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Жизнь в современном обществе сложно представить без существования красок для волос: они помогают продлить молодость, скрывая седину, или позволяют примерить на себе другой образ. Оксидационные красители широко используются в качестве компонентов перманентных красок для волос [1]. В составы таких красок всегда включены различные щелочные агенты, разрыхляющие структуру волос. Как правило, в качестве щелочного агента используется аммиак. Так как аммиак обладает сильно выраженным запахом и негативно воздействует на кожу возникла потребность в поиске безопасной альтернативы и проведении дополнительных исследований влияния щелочных агентов на окрашивание волос оксидационными красителями.

Для исследования использовались такие щелочные агенты, как аммиак, этаноламин, аминометилпропанол и гидроксид натрия. Концентрация индивидуальных щелочных агентов не превышала 2 % от общего объема красящего состава. Также были выбраны следующие оксидационные красители: п-толуилендиамин сульфат, резорцин, м-аминофенол и 2-амино-4-гидроксиэтиламиноанизол сульфат. Для окрашивания данные красители брались в трех смесях с массовым соотношением 2:1, состав смесей: п-толуилендиамин сульфат + резорцин, п-толуилендиамин сульфат + м-аминофенол и п-толуилендиамин сульфат + 2-амино-4-гидроксиэтиламиноанизол сульфат. Исследование проводилось на осветленных волосах. Окрашивание волос осуществлялось красящими составами, приготовленными по рецептуре крем-краски Estel Essex. Было приготовлено 12 красящих смесей.

Результаты исследования показали, что красящие составы с этаноламином и аминометилпропанолом придавали волосам схожие оттенки, более интенсивные, чем при окрашивании составом с аммиаком. Окрашивание волос составом с гидроксидом натрия не принесло удовлетворительных результатов: нужные оттенки не раскрылись в полной мере. Таким образом, по результатам проведенного исследования рекомендуется использовать этаноламин и аминометилпропанол в качестве альтернативы аммиаку в составах, содержащих оксидационные красители.

**Литература:**

1. Венкатераман, К. Химия синтетический красителей. В 6 томах. Том 6. Химия синтетических красителей/ К. Венкатераман, пер. с англ. под ред. Л.С.Эфроса // Санкт-Петербург: Химия, 1977. – Т.6. – 422 с.

# ГИДРАЗИДЫ 3,5-ДИНИТРОБЕНЗОЙНОЙ КИСЛОТЫ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА

***Колчин Д.В.***

*Федеральное государственное унитарное предприятие «Специальное конструкторско-технологическое бюро «Технолог»*

*e-mail: Sergey_mi79@mail.ru*

# THE HYDRAZIDES OF 3,5-DINITROBENZOIC ACID AS A POTENTIAL BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES

***Kolchin D.V.***

*Federal State Unitary Enterprise Special Design and Technological Bureau «Technologist»*

Производные 3,5-динитробензойной кислоты (3,5-ДНБК) проявляют выраженную биологическую активность и находят широкое применение в фармацевтической практике, где они используются в качестве активных компонентов лекарственных препаратов [1-2]. В настоящей работе были синтезированы некоторые производные 3,5-ДНБК ацилированием соответствующего гидразида (схема 1).

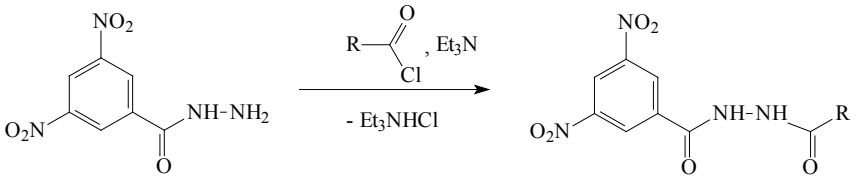



**Схема 1 – Ацилирование гидразида 3,5-ДНБК.**

Кроме того, используя хлорангидрид 3,5-ДНБК был синтезирован продукт двойного ацелирования дигидразида малоновой кислоты (схема 2)

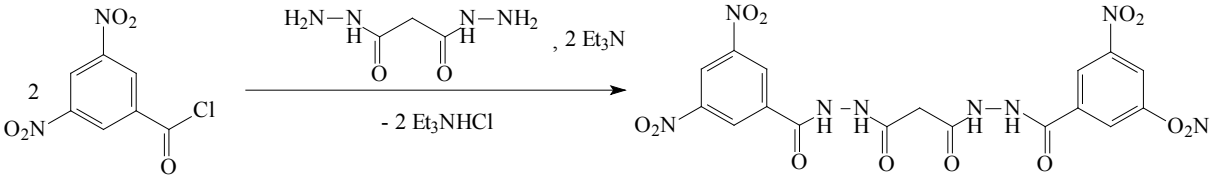



**Схема 2 – Ацилирование дигидразида малоновой кислоты хлорангидридом 3,5-ДНБК.**

Для полученных гидразидов 3,5-ДНБК, с помощью программы Pass Online была спрогнозирована оценка биологической активности. Была подтверждена возможность ингибирующей способности синтезированных соединений фосфатидилсерин декарбоксилазы – фермента, преобразующего фосфатидилсерин в фосфатидилэтаноламин, тем самым регулируя клеточные процессы, особенно важные для нервной системы [3].

**Литература:**

1. Юнникова Л.П., Акентьева Т.А., Лихарева Ю.Е. Новые реакции солей тропилия с гидразидами п-нитробензойной, тио- и карбаминовой кислот или бензилкарбамидом, Журнал органической химии. 2020. Т.56. № 12. – С. 1943-1947.

2. Павлюкова Ю.Н., Шашурина Д.Н., Островский В.А. Кинетика нитрования м-нитробензойной кислоты в водных растворах серной кислоты, Известия СПбГТИ (ТУ). 2022. Т.87 №61. С.57-61.

3. Hermetter A., Synthesis of diacyl and alkylacyl glycerophosphoserines, Chem. Phys. Lipids, 1982, Vol. 30, № 1, p. 35-45.

# 1-АМИНОАЦИЛОКСИГЕРМАТРАН НА ОСНОВЕ L-СЕРИНА: СИНТЕЗ И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ

***Королёнок К.А.*[1,2], *Лёзов Д.В.*[1,2], *Кочина Т.А.*[2]**

[1]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химии и технологии синтетических биологически активных веществ,*

[2]*Филиал Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова Научно-исследовательского центра Курчатовского института - Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова*

*e-mail: korolenokkseniya@gmail.com*

# 1-AMINOACYLOXYGERMATRANE BASED ON L-SERINE: SYNTHESIS AND SPECTROSCOPIC IDENTIFICATION

***Korolionok K.A.*[1,2], *Liozov D.V.*[1,2], *Kochina T.A.*[2]**

[1]*Saint-Petersburg State of Technology,*

[2]*NRC «Kurchatov Institute» – PNPI – IChS*

Гиперкоординированные соединения германия с аминокислотными фрагментами представляют перспективный класс биологически активных веществ, сочетающих уникальную атрановую структуру с высокой биосовместимостью [1]. На основе этого целью работы является синтез и исследование 1-аминоацилоксигерматрана на основе тетракис-(2-гидроксиэтил)этилендиамина (THEED) и L-серина.

Синтез осуществляли двухстадийным методом в водной среде. На первом этапе диоксид германия взаимодействовал с L-серином при 80 ºС в течение 2 ч. На втором этапе добавляли THEED, растворенный в 10 мл воды, и выдерживали при 90 ºС еще 2 ч. После частичного удаления воды продукт выделяли в виде пластинчатого порошка.

Структуру установили методами ИК- и ЯМР-спектроскопии. В ИК-спектре зарегистрированы полосы: 420, 437 $см^{-1}$ (связь N→Ge), 1006-1099 $см^{-1}$ (скелет атранового цикла), 1589 $см^{-1}$ (карбоксильная группа), 2838, 2859 $см^{-1}$ (связанные ОН-группы).

В спектре $^1H$ сигналы этиленовых фрагментов THEED-лиганда проявляются как сложные мультиплеты: 3,90-3,45 м.д. (протоны у О) и 3,25-2,77 м.д. (протоны у N), что свидетельствует о прочной связи N→Ge и жесткой пространственной организации молекулы, а также отдельные сигналы аминокислотной группировки.

Для установления корреляций между протонами применили двумерную спектроскопию COSY $^1H$-$^1H$. В области 3,87-3,75 м.д. выявлены сигналы четырех протонов: дублет дублетов, триплет, а также два геминальных протона $CH_2$-группы (дублет дублетов и триплет дублетов), образующих АВ-систему. Корреляционные пики указывают на спин-спиновое взаимодействие между геминальными протонами. Один из протонов дублета дублетов коррелирует с сигналом при 3,1 м.д. (дублет триплетов).

Прогноз биологической активности методом PASS показал высокую вероятность антигипоксического воздействия (Pa = 0,809) и применения прилечении фобических расстройств (Pa = 0,889). Цитотоксичность на клеточной линии HEp-2 оценена как умеренная ($ЦТД_{50}$ = 3,3 мг/мл).

Полученные данные подтверждают формирование гексакоординированной атрановой структуры, а также перспективность соединения как потенциального адаптогена с антигипоксическими свойствами.

**Литература:**

1. Негребецкий В.В. Необычные координационные состояния элементов 14-й группы: пента- и гексакоординированные комплексы / В.В. Негребецкий, Ю.И. Бауков, А.А. Корлюков // Лаборатория и производство. — 2019. — № 5(9). — С. 72–81.

# РЕАКЦИЯ ДИИЗОПРОПИЛХЛОРЭТИНФОСФОНАТА С *N*-ФЕНИЛБЕНЗАМИДРАЗОНОМ

***Крылов А.С.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра органической химии*

*e-mail: alexandr_krylov@bk.ru*

# THE REACTION OF DIISOPROPYL CHLOROETHYNEPHOSPHONATE WITH *N'*-PHENYLBENZIMIDOHYDRAZIDE

***Krylov A.S.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В последнее десятилетие на кафедре органической химии СПбГТИ активно изучаются реакции гетероциклизации с участием хлорэтинфосфонатов. Так, при взаимодействии их с гетероциклическими *N,N'*-бинуклеофилами образуются пятичленные конденсированных гетероциклы [1, 2]. В тоже время реакции с гетероатомными производными карбоновых кислот, способными выступать в роли бинуклеофилов ранее не были изучены.

Нами исследовано взаимодействие диизопропилхлорэтинфосфоната с *N*-фенилбензамидразоном (см. схему), который может реагировать как в качестве 1,3-, так и 1,4-бинуклеофила. Было установлено, что реакция приводит к образованию фосфорилированных 1,2,4-триазола **1** и имидазола **2** в соотношении 85:15 (по данным спектроскопии ЯМР $^{31}$P). Данные продукты образуются в результате конкурирующих процессов 5-*экзо*-диг и 5-*эндо*-диг циклизаций.

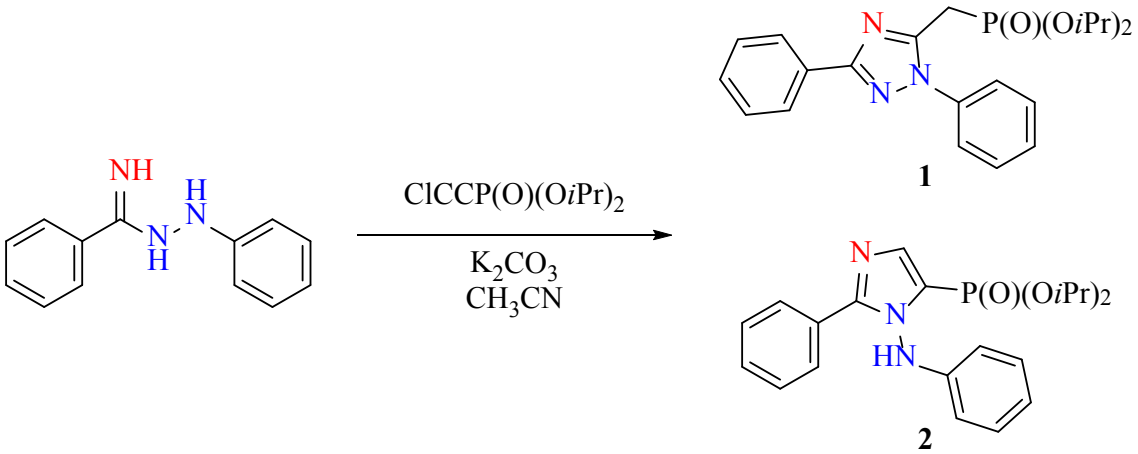



**Схема – Синтез соединений 1 и 2.**

Соединения **1** и **2** выделены колоночной хроматографией, их строение доказано данными ЯМР $^{1}$H, $^{13}$C, $^{31}$P спектроскопии, в том числе гетероядерными (HMBC) экспериментами. Так, химические сдвиги фосфора для соединений **1** и **2** находятся в характерных областях и составляют 18,5 и 8,5 м.д. соответственно.

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание FSEN-2026-0003).*

**Литература:**

1. Krylov, A.S., Kaskevich, K.I., Erkhitueva, E.B., Svintsitskaya, N.I., Dogadina, A.V. // Tetrahedron Lett. 2018. Vol. 59. Iss. 49. P. 4326. DOI: 10.1016/j.tetlet.2018.10.052.

2. Krylov A.S., Petrosian A.A., Piterskaya J.L., Svintsitskaya N.I., Dogadina A.V. // Beilstein J. Org. Chem. 2019. Vol. 15. P. 1563. DOI: 10.3762/bjoc.15.159.

# СИНТЕЗ 2-(4-ГИДРОКСИФЕНИЛ)-3-(2*H*-ТЕТРАЗОЛ-5-ИЛ)-1*H*-ИНДОЛА

***Максимова Я.С.*, *Форсова К.А.*, *Зимницкая М.В.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии органических красителей и фототропных соединений*
*e-mail: ismaksimova2004@gmail.com*

# SYNTHESIS OF 2-(4-HYDROXYPHENYL)-3-(2*H*-TETRAZOLE-5-YL)-1*H*-INDOLE

***Maximova Y.S.*, *Forsova K.A.*, *Zimnitskaya M.V.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В настоящее время в области медицины большой интерес представляют соединения, проявляющие антиканцерогенную, противовоспалительную и противоопухолевую активность. Последние исследования показали, что производные индолов проявляют антимитотическую активность в раковых клетках благодаря способности ингибировать полимеризацию тубулина [1].

Введение в молекулу тетразольного фрагмента позволяет увеличить стабильность молекулы к действию многих ферментов, а также улучшить её липофильность и период полувыведения вещества, что объяснимо его биохимической инертностью.

Предполагается, что 2-(4-гидроксифенил)-3-(2*H*-тетразол-5-ил)-1*H*-индол, схема синтеза которого представлена на рисунке, предрасположен к ускоренному проницанию через клеточные мембраны, а также может выступать в качестве ингибитора обратного захвата серотонина, что способствует процессу восстановления передачи нервного импульса между нейронами, на котором основано действие широкого класса антидепрессантов.

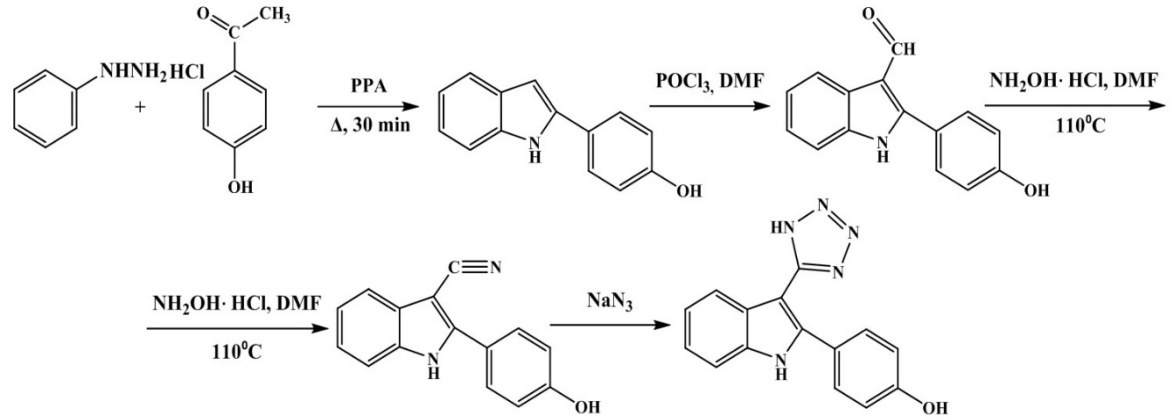



**Рисунок – Схема синтеза 2-(4-гидроксифенил)-3-(2*H*-тетразол-5-ил)-1*H*-индола.**

Синтез целевого индола проводили из коммерчески доступных реактивов реакцией конденсации по Фишеру, формилированием по Вильсмайеру-Хааку с последующим дегидрированием соответствующего оксима и циклизацией нитрильной группы с азидом натрия. Строение всех соединений подтверждалось современными методами ФХМА.

**Литература:**

1. El-Nakkady S.S. Synthesis, molecular docking study and antitumor activity of novel 2-phenylindole derivatives / S.S. El-Nakkady, M.M. Hanna, H.M. Roaiah, Iman A.Y. Ghannam // European Journal of Medicinal Chemistry. – 2012. - V.47. – P. 387-398.

# ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИЙ АЗОМЕТИН-ИЛИДОВ ГЕНЕРИРОВАННЫХ ИЗ ИЗАТИНА И ПЕПТИДОВ С НЕПРЕДЕЛЬНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

***Мкртчян С.С.*, *Бойцов В.М.*, *Степаков А.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра органической химии*

*e-mail: sergey02072001@gmail.com*

# STUDY OF THE REACTIONS OF AZOMETHINYLIDES OBTAINED FROM ISATIN AND PEPTIDE WITH UNSATURATED COMPOUNDS

***Mkrtchyan S.S.*, *Boitsov V.M*, *Stepakov A.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Реакции 1,3-диполярного циклоприсоединения являются одними из важных методов для построения соединений полициклической структуры, в том числе природного происхождения [1]. Азометинилиды, являются важнейшими диполями, используемыми в синтезе пятичленных азотсодержащих гетероциклов [2]. Данная работа посвящена изучению реакций азометин-илидов, генерируемых из простейших пептидов и изатина, с *N*-фенилмалеимидом (см. схему).

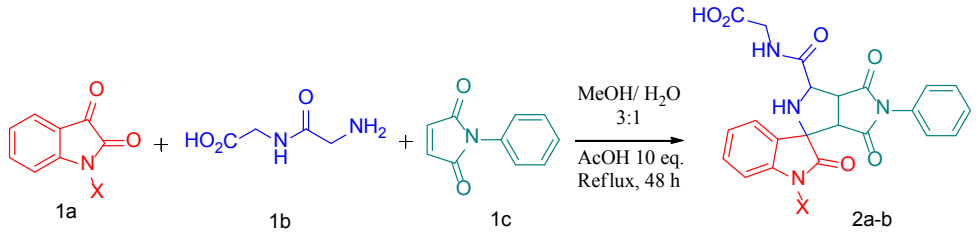



**Схема – Схема синтеза пептидсодержащих гетероциклических соединений.**

В результате проведенного исследования, нами показана возможность протекания реакций 1,3-диполярного циклоприсоединения азометинилидов, генерированных *in situ* из дипептида глицина **1b** и изатина **1a**, к малеимиду **1c**. Описанная реакция протекает с образованием смеси диастереомеров, идендифицируемых при помощи ТСХ и ЯМР, которые могут быть разделены методом препаративной тонкослойной хроматографии. В таблице приведены выходы продуктов.

**Таблица – Выходы продуктов.**

| Соединение | Заместитель | Выход, % |
|---|---|---|
| 2a | H | 45,7 |
| 2b | Ph | 86,5 |

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (проекты FSEN-2026-0003 и FSRM-2026-0027).*

**Литература:**

1. Sebahar P. R.et al. Tetrahedron, Vol. 58 (2002), P. 6311–6322. doi: 10.1016/S0040-4020(02)00630-0.

2. Stepakov, A. V.; Boitsov, V. M. et al. Org. Chem. Front., Vol. 5 (2018), P. 595-605. doi: 10.1039/C7QO00888K.

# АЛКИЛИРОВАНИЕ 5-АЛКИЛСУЛЬФИНИЛ-1*H*-ТЕТРАЗОЛОВ α-МЕТИЛСТИРОЛОМ

***Ниязов М.Г.*, Тищенко Е.А., Лукина В.А., Крепышева Т.А., Мызников Л.В.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии органических красителей и фототропных соединений*
*e-mail: maks.n1981m@yandex.ru*

**ALKYLATION OF 5-ALKYLSULFINYL-1*H*-TETRAZOLES WITH α-METHYLSTYRENE**

***Niyazov M.G., Tishchenko E.A., Lukina V.A., Krepysheva T.A., Myznikov L.V.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

5-Замещенные тетразолы, содержащие заместители при атоме азота, представляют собой обширный класс соединений, находящих широкое применение при разработке новых лекарственных средств, пестицидов и ингибиторов коррозии [1]. В связи с их высокой практической значимостью требуются новые подходы к получению 2,5-дизамещенных тетразолов с самыми разнообразными заместителями.

Среди других 2,5-дизамещенных тетразолов выделяются 2-R-5-алкилсульфинил-1*H*-тетразолы, отличающиеся крайней труднодоступностью. Ранее мы нашли эффективный способ синтеза *N*-незамещенных 5-алкилсульфинил-1*H*-тетразолов. Стоит отметить, что в литературе отсутствуют данные о методах их алкилирования; сульфинилтетразолы, содержащие заместители при атоме азота, получали преимущественно другими методами, которые, как правило, приводят к образованию 1-замещённых сульфинилтетразолов [1]. При этом 2-замещённые аналоги остаются малоизученными вследствие недостаточной разработанности подходов к их целенаправленному синтезу.

Ранее нами было изучено алкилирование 5-алкилсульфинил-1*H*-тетразолов в системе *трет*-бутиловый спирт – хлорная кислота, в результате чего установлено, что сульфинилтетразолы устойчивы в кислой среде, и селективно образуются продукты алкилирования по 2-положению тетразольного цикла. Затем нами было изучено алкилирование 5-алкилсульфинил-1*H*-тетразолов α-метилстиролом в среде трихлоруксусной кислоты, аналогично приводящее к 2-замещенному тетразолу (см. схему).

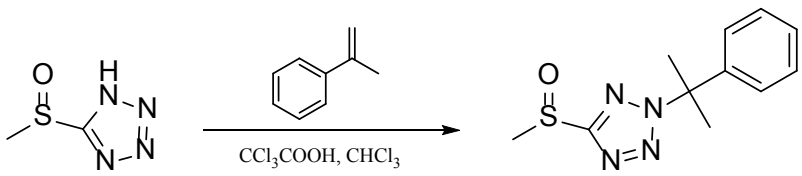



**Схема – Условия алкилирования 5-метисульфинил-1*H*-тетразола.**

При использовании данной методики продукты алкилирования были выделены с высокими выходами, что позволяет рассматривать данную методику алкилирования 5-алкилсульфинил-1*H*-тетразолов в качестве перспективного подхода к синтезу 2-замещенных сульфинилтетразолов.

**Литература:**

1. Мызников, Л.В. Тетразолы с кислород-, серо- и селеносодержащими заместителями / Л.В. Мызников, С.В. Ворона, Т.В. Артамонова, Ю.Э. Зевацкий // Известия Академии наук. Серия химическая. – 2016. - №4. – С. 923- 938.

# ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ ТРЕТ-БУТИЛОВОГО ЭФИРА 3,5-ДИНИТРОБЕНЗОЙНОЙ КИСЛОТЫ

***Норкина Д.Д., Путис С.М.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химии и технологии органических соединений азота*

*e-mail: Sergey_mi79@mail.ru*

## POSSIBILITY OF OBTAINING TERT-BUTYL ETHER OF 3,5-DINITROBENZOIC ACID

***Norkina D.D., Putis S.M.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Среди производных 3,5-динитробензойной кислоты (3,5-ДНБК) в последнее время получили распространение сложные эфиры, обладающие биологической активностью. Выявлено, производные сложных эфиров 3,5-ДНБК проявляют высокую эффективность по отношению к грибковым инфекциям, вызванных штаммом рода *Candida* [1].

Трет-бутиловый эфир – представитель эфиров 3,5-ДНБК с неразветвленной алифатической цепью, которая может выступать в роли «якоря» - части молекулы, которая цепляется за поверхность биологической мишени, позволяя увеличивать время взаимодействия лиганда и мишени. Предварительно выполненная теоретическая оценка биологической активности трет-бутилового эфира 3,5-ДНБК с помощь программного продукта «Pass Online» выявила, что данное соединение будет выступать ингибитором глюкан-эндо-1,6-β-глюкозидазы (фермент клеточной стенки грибов) со значением **Pa = 0,906** при **Pi = 0,003**. Теоретическая оценка энергии связывания между мишенью и лигандом (выполненная благодаря методу молекулярного докинга, в онлайн-программе «1-Click Docking») показала значение от 7,3 до 7,0 ккал/моль. На основании теоретических данных по биологической активности, синтез трет-бутилового эфира 3,5-ДНБК является достаточно актуальной задачей. Нами была выполнена попытка получить соответствующий эфир двумя методами, а именно этерификацией 3,5-ДНБК и и ацелированием хлорангидридом трет-бутилового спирта, в соответствии со схемой:

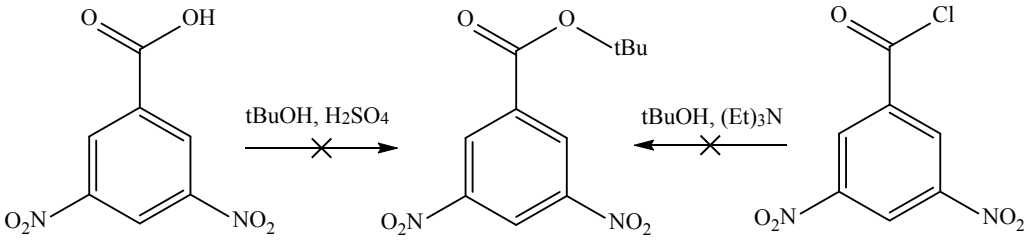



**Схема – Получение трет-бутилового эфира 3,5-ДНБК.**

К сожалению, не первым, не вторым методом получить соответствующий эфир **не удалось**. Анализ реакционной массы методом ТСХ (в случае этерификации) показал, что 3,5-ДНБК не расходуется совсем. В случае ацилирования, в качестве продукт реакции был получен гидролитически нестабильный триэтиламмоний хлорид 3,5-ДНБК (подтверждено методом ЯМР $^1$H), который гидролизовался до соответствующей кислоты на воздухе. Для получения целевого эфира, нами будут исследованы другие методы образования эфирной связи.

**Литература:**

1. Duarte A.B.S., Perez-Castillo Y., Nobrega A.D., et.al. Antifungal activity against Candida albicans of methyl 3,5-dinitrobenzoate loaded, Braz. J. Microbiol. 2024, Vol. 55 (1), P. 25-39 (doi: 10.1007/s42770-023-01214-9).

# СИНТЕЗ МОЛИБДАТОВ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ СОЛЕЙ АММОНИЯ

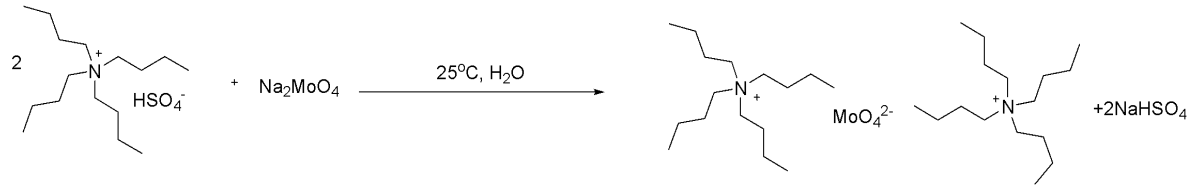
***Перепечин Д.И.*, *Егоров Д.М.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии неорганических веществ*
*e-mail: pdiidp3@gmail.com*

## SYNTHESIS OF MOLYBDATES OF QUATERNARY AMMONIUM SALTS

***Perepechin D.I.*, *Egorov D.M.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Четвертичные соли аммония — это органические соединения, содержащие катион $[R_4N]^+$, в котором атом азота связан с четырьмя органическими заместителями. Они обладают высокой стабильностью и способностью образовывать ионные соединения с различными анионами, что обуславливает их применение в качестве межфазных катализаторов и компонентов ионных систем.

Молибдат аммония используется в качестве катализатора различных процессов окисления, в том числе эпоксидирования, при этом обладает ограниченной растворимостью в органических растворителях. Замена в молибдате иона аммония на четвертичный аммонийный катион может увеличить растворимость в органических растворителях, что позволит повысить эффективность дальнейшего применения.




Синтез молибдата тетрабутиламмония осуществляли смешением раствора тетрабутиламмоний сульфата с раствором молибдата натрия. После смешения выпадал мелкий осадок, который фильтровали под вакуумом и дополнительно промывали 200 мл дистиллированной воды. Строение и состав полученного соединения подтверждали данными ЯМР-спектроскопии $^1H$, $^{13}C$ и элементного анализа.

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FSEN-2026-0003) с использованием оборудования Инжинирингового центра Санкт-Петербургского государственного технологического института.

# ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ГЕТЕРОЦИКЛА НА ЕГО ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЮ В РЯДУ ХАЛКОНОВ

***Соболев А.В.*, *Певзнер Л.М.*, *Петров М.Л.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра органической химии*

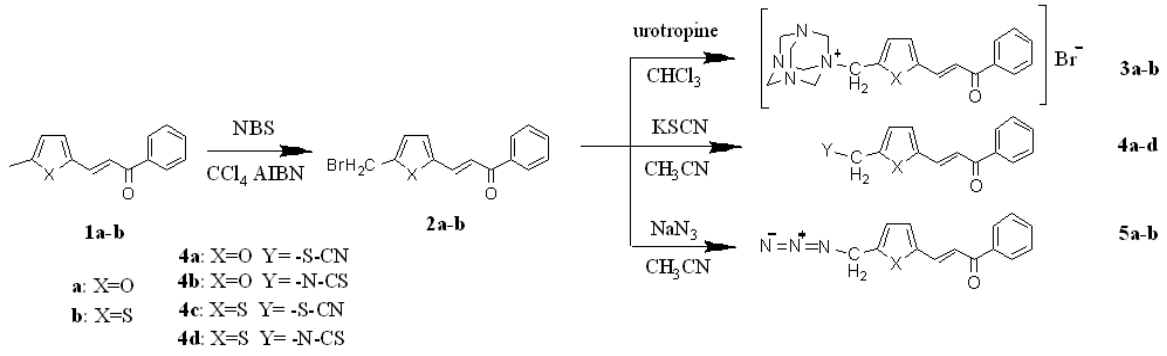
*e-mail: cobolevalexey2004@mail.ru*

## THE INFLUENCE OF THE HETEROCYCLE NATURE ON ITS FUNCTIONALIZATION IN THE CHALCONE SERIES

***Sobolev A.V.*, *Pevzner L.M.*, *Petrov M.L.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Известно, что производные гетероциклических халконов проявляют высокую биологическую активность. Халконы, содержащие фурановый и тиофеновый фрагмент обладают высокой антибактериальной активностью [1,2]. Гетероциклические фрагменты в этих халконах не функционализованы, тогда как ведение фармакофорных групп в них может расширить спектр биологической активности. Поэтому мы решили получить халконы с 5-бромметилфурановым и -тиофеновым фрагментом и изучить влияние природы гетероцикла, на протекание нуклеофильного замещения. Известные халконы **1a-b** бромировали по метильной группе N-бромсукцинимидом до монобромидов **2a-b**. Соединения **2a-b** реагируют с уротропином при комнатной температуре в хлороформе, образуя соли **3a-b**, бромид **2a** реагирует быстрее. При взаимодействии бромида **2a** с амбидентным тиоцианат-ионом в ацетонитриле при комнатной температуре был выделен только тиоцианат **4a** с выходом 67 %, при 80 °C изотиоцианат **4b** с выходом 71 %. В аналогичной реакции с бромидом **2b** образуется смесь тиоцианата **4c** и изотиоцианата **4d** в соотношении 1:0.5 с суммарным выходом 79 % и 85 % при разных температурах. Бромиды **2a-b** реагируют с азидом натрия в ацетонитриле, давая азиды **5a-b** с выходом 83 % и 77 % соответственно.




Следовательно, 5-бромметилфурановое производное и его тиофеновый аналог близки по активности, но в фурановом ряду селективность выше. Строение полученных соединений установлено с помощью спектров ЯМР $^{1}H$ и $^{13}C$, их состав подтвержден масс-спектрами ESI.

*Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ (FSEN-2026-0003).*

**Литература:**

1. Chang-Ji Zheng, Sheng-Ming Jiang, Zhen-Jua Chen, Bai-Jun Ye, Hu-Ri Piao. Pharm. Chem. 2011. doi 10.1002/ardp.201100005

2. Hari Barale Thara, Najma Bajracharya, Sapana Thara, Gan B. Bajracharya. Asian Journal of Chemistry., Vol. 34, No. 11 (2022), P. 2935. doi 10.14233/ajchem.2022.23930

# УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ 4,6-ДИГИДРОКСИ-2-МЕТИЛПИРИМИДИНА

***Сосновенко К.И.***

*Специальное конструкторско-технологическое бюро «Технолог»*
*e-mail: Sergey_mi79@mail.ru*

## AN IMPROVED METHOD FOR PRODUCING OF 4,6-DIHYDROXY-2-METHYLPYRIMIDINE

***Sosnovenko K.I.***

*Special Design and Technology Bureau «Technolog»*

4,6-Дигидрокси-2-метилпиримидин (ДОМП), а также его производные являются биологически активными соединениями, что делает их ценными компонентами в разработке лекарственных препаратов для лечения различных патологических состояний, включая воспалительные процессы, гипертонию и тревожные расстройства. Соединения на основе ДОМП снижают холестерин, лечат атеросклероз и гиперлипидемию [1].

Методы получения ДОМП, разработанные к настоящему моменту, основаны на использовании производных малоновой кислоты [2], однако они имеют недостатки: либо использование металлического натрия (повышающего пожаро-взрывоопасность процесса), либо метилата натрия (отсутствующего в РФ в качестве сырья). Кроме того, к недостатку следует отнести образование отходов в виде смеси растворителей (ИПС/метанол), который практически невозможно разделить даже в промышленных масштабах.

В настоящей работе усовершенствован способ получения ДОМП, основанный на реакции конденсации диамида малоновой кислоты, который широко используется в органическом синтезе и является промежуточным соединением в производстве лекарств [3], с бутилацетатом в среде бутанола в присутствии бутилата натрия (полученного *in-situ* из бутанола и гидроксида натрия), который представлен на следующей схеме:

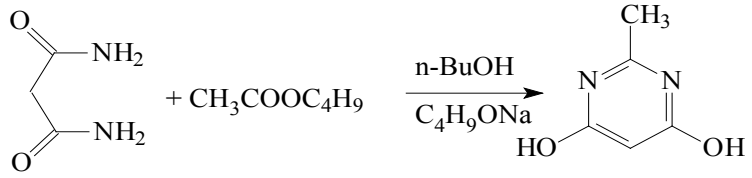



**Схема – Получение ДОМП из диамида малоновой кислоты и бутилацетата.**

Этот способ позволяет получить ДОМП с выходом до 65 % и снизить зависимость использования импортного сырья, кроме того в качестве отхода применяется только бутиловый спирт, который можно использовать повторно. Строение, чистота и подлинность ДОМП охарактеризовано данными физико-химических методов ИК, УФ и ЯМР ($^{1}$H, $^{13}$C) спектроскопии, ТСХ и ВЭЖХ.

**Литература:**

1. Becker I. Preparation of pyrimidine derivatives as potential medicinal agents by the reaction of 2-amino-4-chloro-6-methylpyrimidine with primary and secondary amines, J. Heterocyclic Chem. 2005, Vol. 42 (7), P. 1289-1295.

2. Голубкова Ю.М., Карпычева Ю.С., Кондюков И.З., и др. Исследование альтернативных способов получения 2-метил-4,6-пиримидиндиона. «Успехи в специальной химии и химической технологии». – Москва: РХТУ им. Менделеева, 2025. – С.70-72.

3. Aderibigbe A.D., Day D.P. Syntheses and Applications of Malonamide Derivatives – A Minireview, ChemistrySelect 2020, Vol 5 (48), P. 15222-15232.

# АМИНОКИСЛОТЫ И ГИДРОКСИЭТИЛЭТИЛЕНДИАМИН, КАК ОСНОВА СИНТЕЗА 1-АМИНОАЦИЛОКСИГЕРМАТРАНОВ

***Чистякова Э.П.*[1,2], Королёнок К.А.[2], Лёзов Д.В.[1,2]**

*[1]Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра — Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова,*
*[2]Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химии и технологии синтетических биологически активных веществ*
*e-mail: Elya1605.2004@gmail.com*

**AMINO ACIDS AND HYDROXYETHYLETHYLENEDIAMINE AS THE BASIS FOR THE SYNTHESIS OF 1-AMINOACYLOXYHERMATRANS**

***Chistyakova E.P.*[1,2], Korolionok K.A.[2], Liozov D.V.[1,2]**

*[1]Branch of the Federal State Budgetary Institution «B.P. Konstantinov St. Petersburg Institute of Nuclear Physics of the National Research Center» — I.V. Grebenshchikov Institute of Silicate Chemistry,*
*[2]Saint-Petersburg State of Technology*

В работе представлено изучение взаимодействия диоксида германия с L-*α*-аланином, L-лейцином, а затем взаимодействие полученных комплексов с гидроксиэтилэтилендиамином (HEED) в водной среде при соотношении 1:1. В результате реакции образуются ранее неизученные биологически активные вещества, в составе которых два физиологически активных компонента – сформированная атрановая структура и аминокислотный лиганд [1].

Основные этапы синтеза (см. рисунок):

1. Взаимодействие диоксида германия с аминокислотами в водном растворе при температуре 80 °С и непрерывном перемешивании в течение двух часов;

2. Взаимодействие полученных комплексов L-*α*-аланината германия и L-лейцината германия с аминоспиртом (HEED) при непрерывном перемешивании при температуре 90 °С. Раствор выдерживали два часа.

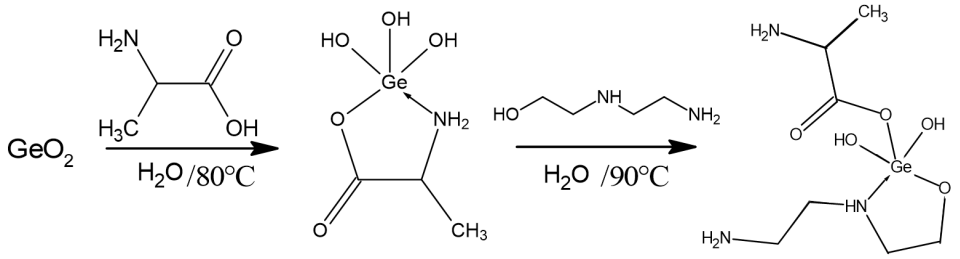



**Рисунок – Схема синтеза 1-аминоацилоксигерматранов на основе HEED.**

Структуры соединений охарактеризованы с помощью ЯМР ($^{1}$H, $^{13}$C) и ИК-спектроскопии. Для анализа поведения конечных соединений, при воздействии различных температур, был проведен термический анализ. Для оценки биологической активности полученных 1-аминоацилоксигерматранов использовали программу PASS.

**Литература:**

1. Негребецкий В.В. Необычные координационные состояния элементов 14-й группы: пента- и гексакоординированные / В.В. Негребецкий, Ю.И. Бауков, А.А. Корлюков // Лаборатория и производство. – 2019. – №5(9). – С. 72-81.

# ФОСФОРИЛИРОВАНИЕ 1-АЛЛИЛЗАМЕЩЕННЫХ И 2-АЛЛИЛЗАМЕЩЕННЫХ 5-АМИНОТЕТРАЗОЛОВ

***Юнусов Г.И., Питерская Ю.Л., Храмчихин А.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра органической химии*

*e-mail: scordude24@mail.ru*

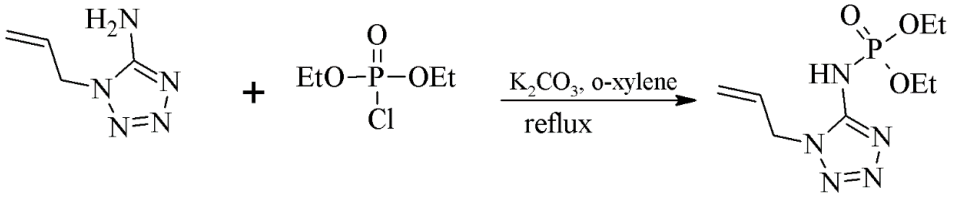
# PHOSPHORYLATION OF 1-ALLYL-SUBSTITUTED AND 2-ALLYL-SUBSTITUTED 5-AMINOTETRAZOLES

***Yunusov G.I., Piterskaya Yu.L., Khramchikhin A.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

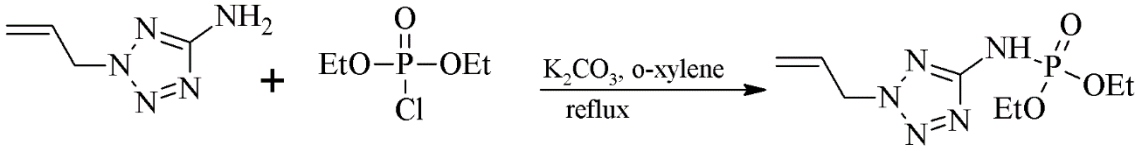
Ранее в нашей лаборатории успешно синтезированы N-фосфорилированные 1-алкил- и 2-алкилзамещённые 5-аминотетразолы [1]. Настоящая работа продолжает этот цикл исследований и направлена на разработку методов получения новых изомерных рядов – N-фосфорилированных 1-аллил- и 2-аллилзамещённых 5-аминотетразолов. С одной стороны, аллильная группа является дополнительным реакционным центром, а с другой – может повлиять на потенциальную биологическую активность.

Получение 1-аллилфосфорилированного **(1)** и 2-аллилфосфорилированного **(2)** 5-аминотетразолов осуществляется при одинаковых экспериментальных условиях и даёт сопоставимые выходы, что упрощает синтетическую методику и повышает её практическую применимость (см. рисунок 1 и 2).




**(1)**

**Рисунок 1 – Реакция фосфорилирования 1-аллилзамещенных 5-аминотетразолов.**




**(2)**

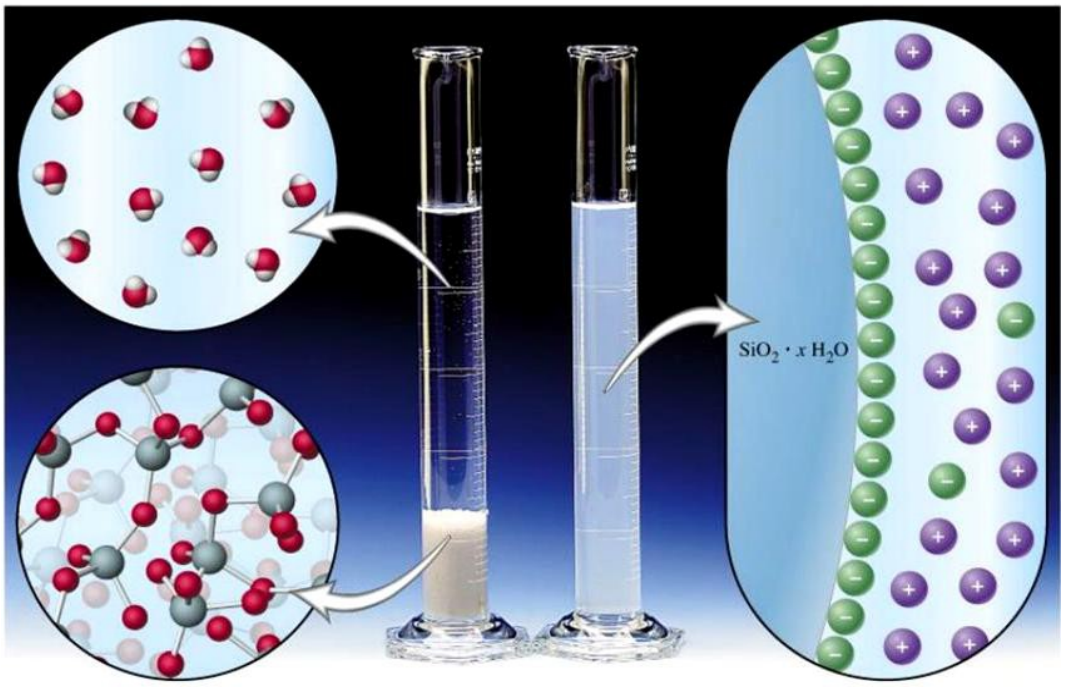
**Рисунок 2 – Реакция фосфорилирования 2-аллилзамещенных 5-аминотетразолов.**

Строение полученных соединений (**1-2**) подтверждено данными ЯМР на ядрах $^{1}H$, $^{13}C$, $^{31}P$ и масс-спектрометрии высокого разрешения.

**Литература:**

1. Юнусов Г.И., Питерская Ю.Л., Храмчихин А.В., Фосфорилирование 1-алкилзамещенных 5-аминотетразолов // Сборник тезисов XV научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых имени профессора, Лауреата Государственной премии СССР А.С. Дудырева «НЕДЕЛЯ НАУКИ-2025. Творчество молодежи – будущему России» (с международным участием). 16–18 апреля 2025 г. – СПб.: 2025. – 87 стр.

# СЕКЦИЯ 4.
# ХИМИЯ ПОЛИМЕРОВ И КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ



# ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ $H_2O$ И ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ НА СКОРОСТЬ ИХ СЕДИМЕНТАЦИИ

***Барыльник И.Н.*, *Ивахнюк К.С.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра инженерной защиты окружающей среды*

*e-mail: inna.barilnik@yandex.ru*

# THE INFLUENCE OF ELECTROPHYSICAL TREATMENT OF $H_2O$ AND CHEMICAL PROPERTIES OF THE SURFACE OF SUSPENDED PARTICLES ON THE RATE OF THEIR SEDIMENTATION

***Barylnik I.N.*, *Ivakhnyuk K.C.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Исследования проводились с использованием седиментометра Вигнера [1]. В качестве дисперсных систем выступали водные суспензии технического углерода (гидрофобные частицы) и маршалита (гидрофильные частицы) при различных концентрациях твердой фазы. Скорость седиментации оценивалась по времени выравнивания уровней жидкости. Полученные результаты представлены в таблице.

**Таблица – Результаты исследования взвешенных частиц.**

| Материал | Концентрация суспензии | Время без обработки, с | Время после обработки, с | Δt, с | Изменение, % |
|---|---|---|---|---|---|
| Технический углерод (Сажа П-803) | 0,5 | 4,43 | 3,93 | 0,50 | 11,3 |
| | 0,25 | 3,83 | 3,08 | 0,75 | 19,6 |
| | 0,125 | 2,91 | 2,47 | 0,44 | 15,1 |
| Маршалит | 0,5 | 3,24 | 2,41 | 0,83 | 25,6 |
| | 0,25 | 2,61 | 2,28 | 0,33 | 12,6 |
| | 0,125 | 2,22 | 2,06 | 0,16 | 7,2 |

Снижение концентрации суспензии сопровождается уменьшением времени седиментации, что связано со снижением интенсивности межчастичных взаимодействий и взаимного торможения частиц при осаждении.

Во всех случаях после электрофизической обработки наблюдается сокращение времени осаждения частиц. Данный эффект может быть объяснен изменением надмолекулярной структуры воды и перераспределением когезионных сил, что влияет на параметры двойного электрического слоя и межчастичные взаимодействия [2].

Различия между гидрофобными и гидрофильными частицами связаны с их химической природой и степенью гидратации, влияющими на устойчивость суспензий и чувствительность к внешнему электрическому воздействию.

**Литература:**

1. Зиганшин М.А., Хачатрян А.А., Сироткин В.А. Практическое руководство к лабораторным работам по коллоидной химии: для студентов Химического института им. А.М. Бутлерова. — Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2023. — С. 54.

2. Гращенков С.И. Электростатическое взаимодействие диэлектрических частиц в электролитическом растворе в режиме сильного экранирования // Коллоидный журнал. — 2025. — Т. 87, № 2. — С. 101–108.

# СКАФФОЛДЫ ДЛЯ ТКАНЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ ЧАСТИЦ

***Леонович М.С.*, Коржиков-Влах В.А., Тенникова Т.Б.**
*Санкт-Петербургский государственный университет*
*e-mail: leonovichmariia@yandex.ru*

# THREE-DIMENSIONAL SCAFFOLDS BASED ON POLYMERIC PARTICLES

***Leonovich M.S.*, Korzhikov-Vlakh V.A., Tennikova T.B.**
*Saint-Petersburg State University*

Потеря костной ткани вследствие травмы, заболевания или возрастных изменений является серьёзным патологическим состоянием, требующим хирургического вмешательства. На сегодняшний день аутографты и аллотрансплантаты считаются «золотым стандартом» для замещения костной ткани, не смотря на ряд серьёзных недостатков: ограниченное количество доступного материала, повреждение донорской зоны и др. [1]. Альтернатива существующим методам костной пластики – тканевая инженерия, предлагающая применение искусственно создаваемых структур, которые способствуют образованию тканей как *in vitro*, так и *in vivo* – скаффолдов.

Идеальный скаффолд должен имитировать естественную внеклеточную матрицу (ВКМ), иметь развитую систему взаимосвязанных поровых каналов, которая способствует миграции и пролиферации клеток, а также транспорту питательных веществ [2]. Кроме того, демонстрировать скорость разложения, материала, сопоставимую скорости регенерации ткани, обладать механическими свойствами, соответствующими механической совместимости с окружающими тканями [3]. Создание подобных матриц представляет научный и практический интерес. Применение полимерных частиц для формирования скаффолдов представляется перспективным подходом к решению вышеуказанной задачи. Комбинирование частиц, содержащих различные биомолекулы, может позволить тонкое регулирование биологических свойств каркасов в соответствии со свойствами регенерируемого участка ткани.

Данное исследование посвящено созданию биосовместимых трехмерных матриц на основе полимерных частиц. Разработаны методы модификации исходных полимеров с целью введения в их структуру ненасыщенных связей, а также подходы к получению частиц различного диаметра на их основе. Частицы исследовали с точки зрения их размера, заряда и морфологии. Получены 3D супермаркопористые структуры на основе смесей различных частиц методами криотропного гелеобразования и 3D-печати. Изучена цитотоксичность полученных частиц и материалов на их основе, а также оценена возможность клеточного роста на выбранных образцах.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства Российской Федерации (КНП № 075-15-2024-553 «Полимеры для устойчивого развития»).*

**Литература:**

1. Hosseini M., Najmoddin N., Zamanlouie S. Chem. Eng. J. Adv. 2026, 26, 101100, DOI: 10.1016/j.ceja.2026.101100.

2. Zang S., Shuai Y., Zhu W., Chen B., Wang J., Wang Q., Xiao C. Materials & Design 2026, 263, 115490, DOI: 10.1016/j.matdes.2026.115490.

3. Wei S., Ma J.X., Xu L., Gu X.S., Ma X.L. Mil. Med. Res. 2020, 7 (1), 54, DOI: 10.1186/s40779-020- 00280-6.

# СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ ГАЛОГЕНИРОВАННОГО ПОЛИЛАКТИДА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ БИОСОВМЕСТИМЫХ МАТЕРИАЛОВ

***Матвиенко В.Д.*, Никифоров А.А., Коржикова-Влах Е.Г.**

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» – Институт высокомолекулярных соединений*

*e-mail: vdmatvienko@gmail.com*

**SYNTHESIS AND APPLICATION OF HALOGENATED POLYLACTIDE FOR THE DEVELOPMENT OF PHOSPHORUS-CONTAINING BIOCOMPATIBLE MATERIALS**

***Matvienko V.D.*, Nikiforov A.A., Korzhikova-Vlakh E.G.**

*Branch of Petersburg Nuclear Physics Institute named by B.P.Konstantinov of National Research Centre «Kurchatov Institute» – Institute of Macromolecular Compounds*

Поли(лактид) (ПЛА) – биосовместимый и биодеградируемый алифатический полиэфир, широко применяемый в биомедицине. Несмотря на множество его положительных качеств, одним из существенных ограничений ПЛА является его гидрофобная природа, которая затрудняет клеточную адгезию. Традиционным подходом к повышению гидрофильности материалов на его основе является введение различных неорганических наполнителей. Однако данный метод имеет ряд недостатков: возможное фазовое расслоение, агломерация частиц наполнителя, неоднородность распределения в полимерной матрице, а также отсутствие ковалентной связи между наполнителем и полимером, что может приводить к вымыванию компонентов и снижению механических свойств композита.

Перспективным решением данной проблемы является химическая модификация полимерной цепи ПЛА путём введения функциональных групп. В частности, фосфорсодержащие фрагменты придают материалам остеокондуктивные свойства, что критически важно для регенерации костной ткани. Однако прямая модификация готового ПЛА затруднена вследствие отсутствия функциональных групп и легкой деструкции полиэфирной макроцепи. Перспективным подходом к функционализации ПЛА является введение функциональных групп на стадии синтеза мономера. Традиционно применяемые для последующей модификации гидроксильные, карбоксильные и аминогруппы могут инициировать полимеризацию лактида, поэтому требуют введения защитных групп. Однако, в условиях деблокирования возможна деструкция основной цепи макромолекулы. В связи с этим галогеновые заместители представляют собой более предпочтительную альтернативу. В отличие от вышеупомянутых групп, они не требуют применения защитных групп, устойчивы в условиях полимеризации с раскрытием цикла и могут быть превращены в широкий спектр функциональных групп посредством реакций нуклеофильного замещения.

В данной работе были синтезированы галогенсодержащие сополимеры поли(лактид-со-бис(хлорметил)гликолид) (Cl-ПЛА) и поли(лактид-со-бис(йодметил)гликолид) (I-ПЛА). На основе полученных сополимеров было реализовано два подхода к введению фосфонатных групп. Первый заключался в фосфонилировании I-ПЛА трибензилфосфитом по реакции Михаэлиса-Арбузова. Второй – в дегидрогалогенировании Cl-ПЛА с образованием поли(лактид-со-диметиленгликолида) с последующим присоединением по Михаэлю тиолсодержащего производного метиленбифосфоната. Сополимеры были охарактеризованы методами ИК-, ЯМР-спектроскопии и гель-проникающей хроматографии.

# СИНТЕЗ ВОДОРАСТВОРИМОГО ПОЛИМЕРА 1-МЕТАКРИЛАМИДОНАФТИОНАТА НАТРИЯ С ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОТИВОВИРУСНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

***Шилова М.П.*[1], *Вагин А.А.*[2]**

[1]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии синтетических биологически активных веществ,*

[2]*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» – Институт высокомолекулярных соединений*

*e-mail: Margaritashilova694@gmail.com*

**SYNTHESIS OF A WATER-SOLUBLE POLYMER OF SODIUM 1-METHACRYLAMIDONAPHTHYANATE WITH POTENTIAL ANTIVIRAL ACTIVITY**

***Shilova M.P.*[1], *Vagin A.A.*[2]**

[1]*Saint-Petersburg State Instute of Technology,*

[2]*Branch of Petersburg Nuclear Physics Institute Named by B.P. Konstantinov of National Research Centre «Kurchatov Institute» – Institute of Macromolecular Compounds*

Одной из задач современной химии полимеров является поиск новых высокомолекулярных соединений с противовирусной активностью и выявление взаимосвязи между их структурными и биологическими характеристиками. Известно, что полианионы обладают противовирусной активностью, а введение ароматических фрагментов в структуру макромолекул приводит к ее увеличению и расширению их спектра действия [1]. Например, полистиролсульфонат натрия проявляет высокую активность в отношении ряда вирусов, в частности, вируса простого герпеса [1]. В данной работе мы синтезировали новый водорастворимый полимер, содержащий в своем составе фрагмент сульфокислоты нафталинового ряда – поли-1-метакриламидонафтионат натрия, представляющий интерес в качестве потенциального противовирусного агента.

Предварительно синтезировали нафтионовую кислоту из сернокислой соли α-нафтиламина, получаемой нейтрализацией α-нафтиламина 70 % $H_2SO_4$ при 120 °С, которую запекали в вакууме при 180 °С в течение 8 ч. 1-метакриламидонафтионат натрия синтезировали путем ацилирования нафтионовой кислоты метакрилоилхлоридом в присутствии $NaHCO_3$ в среде хлороформ-вода при 3-5°С в течение 4 ч. Продукт выделяли высаливанием из водной фазы и перекристаллизовывали из 80 % этанола. Полимеризацию 1-метакриламидонафтионата натрия проводили в воде и ДМСО с использованием в качестве инициаторов 2,2’-азобисметилпропионамидин дигидрохлорида, 2,2’-азоизобутиронитрила и $K_2S_2O_8$ для определения оптимальных условий синтеза полимера. Структуры полученных соединений подтверждали ИК-, УФ- и ЯМР-спектроскопией. По предварительным данным лаборатории химиотерапии вирусных инфекций НИИ гриппа им. А.А. Смородинцева, искомый гомополимер активен в отношении вируса простого герпеса 1 типа.

**Литература:**

1. Schandock F. Macromolecular Antiviral Agents against Zika, Ebola, SARS, and Other Pathogenic Viruses / F. Schandock, C.F. Riber, A. Röcker [et al.] // Advanced Healthcare Materials. - 2017. - V. 6. - № 23. - 1700748.

# СЕКЦИЯ 5.
# ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ



# КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ОБРАЗОВАНИЯ ХЛОРИДА МЕДИ В ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВАХ СИНЕГО ОГНЯ, СОДЕРЖАЩИХ ХЛОРИД АММОНИЯ

***Видякин Е.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра высокоэнергетических процессов*

*e-mail: e.a.vidyakin.hep@spbti.ru*

# QUANTITATIVE ASSESSMENT OF COPPER CHLORIDE FORMATION IN BLUE FIRE PYROTECHNICAL COMPOSITIONS CONTAINING AMMONIUM CHLORIDE

***Vidyakin E.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Пиротехнические составы синего огня широко используются для создания насыщенных синих пламен в фейерверках и сигнальных изделиях.

В синий цвет пламя окрашивает большое количество атомов элементов: бор, мышьяк, селен, теллур, индий, цинк. Однако некоторые из перечисленных элементов либо токсичны, либо дороги, либо же получаемые спектры являются недостаточно насыщенными, поэтому чаще всего применяют соединения меди.

Основным источником синего излучения пиротехнического пламени является монохлорид меди, который можно получить при диссоциации хлорида меди в пламени или в ходе реакции взаимодействия некоторых соединений меди с хлором или хлористым водородом.

В пиротехнических составах цветных пламен для получения синего цвета применяются соединения меди и хлорирующие добавки, которые являются так называемыми усилителями цвета. При разложении хлорирующей добавки образуются активные продукты, такие как хлор, хлористый водород и т.д. Эти продукты вступают в реакцию с соединениями меди, образуя хлориды меди, которые в пламени и дают излучение синего цвета.

В качестве хлорирующей добавки было решено использовать хлорид аммония, который в ходе разложения способен выделять хлористый водород при температуре 350 °C [1].

Цель данной работы является количественно определить образовавшийся хлорид меди при сочетании соединений меди и хлорида аммония.

Данная работа позволит качественно и количественно найти взаимосвязь образования хлористой меди в волне горения с цветовыми характеристиками сигнальных составов синего огня.

**Литература:**

1. Крашенинников С. А. Аммония хлорид // Химическая энциклопедия : в 5 т. / Гл. ред. И. Л. Кнунянц. — М.: Советская энциклопедия, 1988. — Т. 1: А — Дарзана. — С. 155.

# КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ОБРАЗОВАНИЯ ХЛОРИДОВ МЕДИ В ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВАХ СИНЕГО ОГНЯ, СОДЕРЖАЩИХ ВЫСОКОХЛОРИРОВАННЫМИ ПАРАФИНАМИ

***Видякин Е.А.*, *Поварницына Н.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра высокоэнергетических процессов*

*e-mail: hprocess@lti-gti.ru*

# QUANTITATIVE ASSESSMENT OF COPPER CHLORIDE FORMATION IN BLUE FIRE PYROTECHNIC COMPOSITIONS CONTAINING HIGHLY CHLORINATED PARAFFINS

***Vidyakin E.A.*, *Povarnitsyna N.A***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Пиротехнические составы, образующие при горении цветные пламена, находят широкое применение для изготовления сигнальных, трассирующих и фейерверочных изделий. Механизм получения цветного пламени достаточно сложен и до конца не изучен.

Одним из основных излучателей, позволяющих получить пламя синего цвета при горении пиротехнического состава, является монохлорид меди, образующийся в пламени при разложении хлорида меди, или в ходе реакции взаимодействия.

Обычно применяют способ получения соответствующих хлоридов при сочетании соединений меди с хлорсодержащими соединениями, в качестве последних обычно применяют ПВХ, ХП и др.

В качестве последнего было решено использовать высокохлорированные парафины (ХП), которые при термическом разложении образуют хлористый водород.

Для определения выхода хлорида была использована ранее разработанная методика, представленная в работе [1], при помощи которой возможно выявить количество образовавшегося хлорида в ходе реакция взаимодействия соединений меди и хлороводорода.

В работе [2] было установлено, что использование ХП предпочтительнее в связи с более высоким содержанием хлора в соединении по сравнению с ПВХ, поэтому в пламени образуется больше хлорида и, соответственно, лучше цветовые характеристики, что согласуется с уравнением Ломакина – Шайбе, по которому сила излучения прямо пропорциональна концентрации излучателя.

Результаты этого исследования позволят установить количественные выходы хлоридов меди и дать рекомендации по оптимизации компоновки рецептур других цветопламенных составов.

**Литература:**

1. Поварницына Н.А., Видякин Е.А. Исследование механизма образования хлорида меди в пиротехнических составах синего огня. Сборник тезисов XV научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых имени профессора, Лауреата Государственной премии СССР А.С. Дудырева «НЕДЕЛЯ НАУКИ-2025. Творчество молодежи – будущему России» (с международным участием). 16–18 апреля 2025 г. – СПб.: 2025. – С. 106.

2.Павлов Б.Д. Применение хлорпарафина в цветопламенных пиротехнических составах / Б.Д. Павлов, А.С. Дудырев, Е.П. Коваленко [и др.]. // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2019. – №50(76). – С.42-46.

# ИЗУЧЕНИЕ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ДЕСТРУКЦИИ ТОНКОСТЕННЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

***Зубриловская Е.Е.*, *Демьяненко Д.Б.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра высокоэнергетических процессов*

*e-mail: hprocess@lti-gti.ru*

# STUDY OF PYROTECHNIC COMPOSITIONS FOR DESTRUCTION OF THIN-WALLED MULTILAYER STRUCTURES MADE OF DISSIMILAR MATERIALS

***Zubrilovskaya E.E.*, *Demianenko D.B.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В системах пироавтоматики ракетно-космической и других отраслях техники широко применяются устройства с мембранами из различных материалов, которые должны быть разрушены в заданный момент времени [1].

Одним из основных требований к такого рода устройствам является их быстродействие, компактность и высокая стойкость к внешним воздействиям. Среди существующих методов (механическое разрушение, взрывное или термическое воздействие) применение пиротехнических средств занимают особое место благодаря их автономности, быстродействию, отсутствию осколков и возможности работы в широком диапазоне внешних воздействующих факторов. Принцип действия таких устройств основан на сжигании заряда ПС в прочном корпусе с соплом: образующаяся струя с температурой до нескольких тысяч градусов воздействует на преграду, вызывая ее плавление [2]. Такая схема обладает рядом недостатков, основными из которых является наличие герметичного и прочного корпуса и необходимость относительно длительного воздействия струи на разрушаемый материал.

Целью работы является выбор и изучение пиротехнических составов, обеспечивающих формирование высокотемпературной струи продуктов сгорания в негерметичной конструкции и обеспечивающих локальное тепловое разрушение элементов конструкций.

В качестве базовой системы выбрана смесь нитрата бария (окислитель) и тугоплавкого горючего. Данный выбор обусловлен высокими энергетическими характеристиками, доступностью компонентов отечественного производства, а также приемлемыми показателями безопасности при переработке и хранении составов. Варьирование кислородного баланса и введение модифицирующих добавок (металлов, полимеров, дополнительных окислителей) позволяют целенаправленно регулировать скорость горения, температуру струи и характер ее воздействия на преграду.

Произведены термодинамические расчёты смесей в программе PyroTherm, получены данные по тепловым эффектам их сгорания, значения удельных тепловыделений, температурам горения. Проведены эксперименты по воздействию на преграды зарядов изучаемых составов в металлических оболочках диаметром 5,25 мм и картонных оболочках диаметром 10 мм.

Разрабатываемые составы могут найти применение в различных автономных системах, например, для уничтожения информации.

**Литература:**

1. Мельников В.Э. Современная пиротехника. М. «Наука», 2014

2. Демьяненко Д.Б., Дудырев А.С. Средства пироавтоматики для автономных объектов / Современные проблемы технической химии: Материалы докладов Всероссийской научно-технической конференции, Казань 22-23.11.2003 г. / Казанский государственный технологический университет, Казань, 2003, с.142-153

# РАЗРАБОТКА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВОВ С ДОЛГООСТЫВАЮЩИМИ ШЛАКАМИ

***Иванова Е.Р.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра высокоэнергетических процессов*

*e-mail*: *hprocess@lti-gti.ru*

## DEVELOPMENT OF HIGH-TEMPERATURE PYROTECHNIC COMPOSITIONS WITH LONG-COOLING SLAGS

***Ivanova E.R.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Пиротехнические составы, образующие при сгорании долго остывающие шлаки, находят применение для разогрева пищи, приведения в действие источников тока с твёрдыми электролитами, ингаляции лекарственных средств и других целей. В зависимости от поставленной задачи шлаки, образующиеся при сгорании пиротехнического состава, могут быть жидкие или твёрдые, сохранять первоначальную форму изделия или разрушаться и т.д.

Достаточно сложной задачей является поддержание в шлаках высокой температуры достаточно длительное время. Этого можно добиться посредством создания композиций, при сгорании которых образующиеся шлаки будут иметь высокую теплоёмкость при относительно низкой теплопроводности.

Другим перспективным направлением является разработка составов с отрицательным окислительным балансом. После сгорания таких составов избыток горючего будет постепенно доокисляться кислородом воздуха, что и позволит более длительное время поддерживать температуру шлаков.

Аналогичный эффект можно получить, если при горении пиротехнического состава образуются конденсированные продукты сгорания, способные затем окисляться кислородом воздуха или другими окислителями, присутствующими в воздухе (углекислый газ, водяные пары, азот).

Как показали проведённые исследования, достаточно перспективным направлением работ по разработке пиротехнических составов, образующих при сгорании высокотемпературные долго остывающие шлаки, являются составы с высоким содержанием алюминия. После сгорания избыток алюминия будет находиться в жидком состоянии. В таком виде он легко вступает в реакцию с кислородом воздуха, водой и углекислым газом с выделением большого количества тепла. Однако образующаяся при этом плотная окисная плёнка препятствует быстрому окислению, что, с одной стороны, способствует повышению длительности процесса, а с другой – может привести к неполному использования алюминия. Данный процесс можно регулировать посредством введения в пиротехнический состав специальных добавок.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ СВЯЗУЮЩИХ ДЛЯ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ КОМПОЗИЦИЙ

***Романов Е.Ю.***[1,2]

*[1]Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химии и технологии органических соединений азота,*
*[2]Федеральное государственное унитарное предприятие «Специальное конструкторско-технологическое бюро «Технолог»*
*e-mail: romegor1999@yandex.ru*

**INVESTIGATION OF POLYMERIC BINDERS FOR ENERGY-SATURATED COMPOSTIONS**

***Romanov E.Y.***[1,2]

*[1]Saint Petersburg State Institute of Technology,*
*[2]Federal State Unitary Enterprise Special Design and Technological Bureau «Technologist»*

Создание современного литьевого энергонасыщенного материала (ЭНМ) включает в себя поиск полимеров, подходящих на роль связующего этого материала. Выбранное полимерное связующее должно обеспечивать для ЭНМ не только оптимальную чувствительность к внешним воздействиям, но и высокую технологичность при его изготовлении и снаряжении изделий [1].

Наш выбор полимера для исследования пал на полидиенэпоксиуретан с функциональными эпоксидными группами – ПДИ-3А, широко известное связующее, применяемое в смесевых твердых ракетных топлив (СТРТ) [2]. Это позволяет изготавливать ЭНМ на данном связующем по освоенным современным технологиям.

Для создания литьевых ЭНМ на основе ПДИ-3А прежде всего важно выбрать пластификатор и установить его отношение к полимеру для соблюдения баланса между рабочей вязкостью (не более 3 Па·с) и временем отверждения (наличия самого факта отверждения) [3].

В таблице приведены измеренные динамические вязкости (η) композиций на основе ПДИ-3АК (η = 15 Па·с) с использованием двух пластификаторов: ПДИ-0 (нефункциональный ПДИ-3АК) и диоктилсебацинат (ДОС) с различным их содержанием; и их время жизни при отверждении.

**Таблица – Вязкость композиций ПДИ-3АК с использованием двух пластификаторов.**

| ПДИ-3АК, % | ПДИ-0, % | ДОС, % | Вязкость, Па·с | Время жизни, ч |
|---|---|---|---|---|
| 50 | 40 | 10 | 2,5 | 2 |
| | 30 | 20 | 1,4 | 4,5 |
| | 20 | 30 | 0,95 | 6,5 |
| | 10 | 40 | 0,48 | > 13 ч |

**Литература:**

1. Романов, Е.Ю. Основные вопросы создания полимерсодержащих энергонасыщенных материалов / Е.Ю. Романов, С.М. Яковлев, А.С. Козлов // Сб. тез. докл. XV научной конференции «Традиции и Инновации» (Санкт-Петербург, 3-5 декабря 2024 года). – СПб: СПбГТИ(ТУ), 2024. – С. 113.

2. Рогов, Н.Г. Смесевые ракетные твердые топлива: Компоненты. Требования. Свойства.: учебное пособие / Н.Г. Рогов, М.А. Ищенко. – СПб: СПбГТИ(ТУ), 2005. – 195 с.

3. Бестужева, В.В. Полимерные связующие энергетических конденсированных систем / В.В. Бестужева, С.А. Душенок, М.А. Ищенко [и др.] // Известия СПбГТИ(ТУ): Выпуск № 21 (47). – СПб: СПбГТИ(ТУ), 2013. – С. 93-101.

# ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИФИКАТОРА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ КОМПОЗИЦИЙ

***Романов Е.Ю.***[1,2]

*[1]Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химии и технологии органических соединений азота,*
*[2]Федеральное государственное унитарное предприятие «Специальное конструкторско-технологическое бюро «Технолог»*
*e-mail: romegor1999@yandex.ru*

## STUDY OF THE EFFECT OF PLASTICIZER ON THE PROPERTIES OF ENERGY-SATURATED COMPOSITIONS

***Romanov E.Y.***[1,2]

*[1]Saint Petersburg State Institute of Technology,*
*[2]Federal State Unitary Enterprise Special Design and Technological Bureau «Technologist»*

Для регулирования технологических и физико-механических свойств энергонасыщенного материала (ЭНМ) в состав его связующего вводится пластификатор [1]. Из литературы известно, что физико-механические свойства ЭНМ влияют на его чувствительность [2]. Таким образом, изменением соотношения «полимер-пластификатор» при фиксированной суммарной доле полимерной матрицы ЭНМ можно добиться оптимальных значений по его чувствительности к внешним воздействиям.

В таблице приведены результаты измерений вязкости связующих на основе ПДИ-3АК с различным содержанием пластификатора ПДИ-0, а также их физико-механические характеристики в отвержденном состоянии [3]. Дополнительно представлены экспериментально полученные данные по чувствительности к удару и ударно-волновой чувствительности (УВЧ) модельного ЭНМ на основе ПДИ-3АК.

**Таблица – Основные характеристики связующего на основе ПДИ-3АК и модельного ЭНМ.**

| Характеристики связующего на основе ПДИ-3АК | | | |
|---|---|---|---|
| Содержание ПДИ-0 в связующем | Вязкость, Па·с | Усилие на разрыв, МПА | Относительное удлинение, % |
| 20 | 8,6 | 3,5 | 40 |
| 35 | 4,4 | 2,0 | 45 |
| 50 | 3,1 | 1,5 | 55 |
| Характеристики модельного ЭНМ на основе ПДИ-3АК | | | |
| Содержание связующего, % | Содержание ПДИ-0 в связующем, % | Чувствительность к удару, % | УВЧ ($P_{кр}$), кбар |
| 20 | 20 | 84 | 24,6 |
| | 35 | 64 | 26,5 |
| | 50 | 40 | 28,4 |

**Литература:**

1. Рогов, Н.Г. Смесевые ракетные твердые топлива: Компоненты. Требования. Свойства.: учебное пособие / Н.Г. Рогов, М.А. Ищенко. – СПб: СПбГТИ(ТУ), 2005. – 195 с.

2. Литвинов, Б.В. Избранные труды / Б.В. Литвинов; под ред. Е.Н. Аврорина. – Снежинск: Изд-во РФЯЦ-ВНИИТФ, 2014. – 648 с.

3. Бестужева, В.В. Полимерные связующие энергетических конденсированных систем / В.В. Бестужева, С.А. Душенок, М.А. Ищенко [и др.] // Известия СПбГТИ(ТУ): Выпуск № 21 (47). – СПб: СПбГТИ(ТУ), 2013. – С. 93-101.

# РАЗРАБОТКА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЛАМЕННЫХ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВОВ

***Смирнова Т.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра высокоэнергетических процессов*

*e-mail: hprocess@lti-gti.ru*

# DEVELOPMENT OF HIGH-TEMPERATURE FLAMENEOUS PYROTECHNIC COMPOSITIONS

***Smirnova T.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Пиротехнические составы, образующие при горении высокотемпературное пламя, находят применение для освещения местности в ночное время, проведения аэрофотосъёмки, для резки конструкционных материалов и других целей.

Для получения высокотемпературного пламени требуется соответствующий выбор компонентов, прежде всего «окислитель / горючее», а также их соотношение. Окислитель должен содержать много кислорода и достаточно легко его отдавать, а горючее при своём сгорании должно выделять большое количество тепла, с этой целью в качестве горючих целесообразно использовать высококалорийные металлы, а также бор, кремний, углерод и их соединения. В качестве окислителей предпочтительно применять нитраты, хлораты и перхлораты щелочных и щелочно-земельных металлов.

Кроме того, большое влияние на компоновку рецептуры оказывает влияние получение конечного специального эффекта (светового, теплового, режущего и т.д.) и конструктивное оформление изделия.

Конденсированные продукты сгорания должны иметь достаточно высокую излучательную способность. Так, например, хорошо излучают в видимой области спектра оксиды металлов. Оксиды магния и алюминия при высокой температуре особенно интенсивно излучают в коротковолновой области видимого спектра, где их излучательная способность приближается к излучению абсолютно чёрного тела. В инфракрасной области спектра одними из лучших излучателей являются нагретые до достаточно высокой температуры частицы углерода, излучательная способность которых также близка к излучению абсолютно чёрного тела.

Усиления специального эффекта можно также добиться посредством введения в пламя селективных излучателей. Так, например, в видимой области спектра такими излучателями являются пары натрия и его соединений.

Особенностью получения большого по размерам высокотемпературного пламени является сжигание пиротехнических составов с избытком горючего. В этом случае избыточное горючее сгорает за счёт кислорода воздуха, что приводит к увеличению размеров пламени и росту его температуры.

Для достижения необходимой цели помимо указанных подходов требуется также учитывать и термодинамические свойства продуктов сгорания. В частности, конденсированные продукты сгорания должны обладать высокими температурами кипения или диссоциации в пламени.

# ИЗУЧЕНИЕ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВОВ ДЛЯ ДЕСТРУКЦИИ МАТЕРИАЛОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ ПРОДУКТАМИ СГОРАНИЯ

***Феоктистова М.В.*, *Демьяненко Д.Б.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра высокоэнергетических процессов*

*e-mail: hprocess@lti-gti.ru*

# STUDY OF PYROTECHNIC COMPOSITIONS FOR THE DESTRUCTION OF MATERIALS BY HIGH-TEMPERATURE COMBUSTION PRODUCTS

***Feoktistova M.V.*, *Demianenko D.B.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Пиротехнические средства для резки различных материалов (металлов, полимерных композиций и т. д.) функционируют на основе энергии, выделяющейся при горении пиротехнических смесей, протекающих с образованием разогретых до высоких температур конденсированных и газообразных продуктов сгорания. В отличие от газовой резки, такие средства не требуют внешнего подвода газов и громоздкого оборудования, что делает их незаменимыми для аварийно-спасательных работ и при утилизации металлоконструкций в полевых условиях. Эффективность деструкции материалов металла определяется температурой продуктов сгорания, их теплоемкостью и составом, а также продолжительностью их воздействия на поверхность материала.

В работе [1] представлен ряд рецептур пиросоставов для резки металлов. Также указывается, что процесс протекает за счет окисления высококалорийных металлов окислителями и выброса их газообразных и конденсированных продуктов на материал, вызывая его плавление. С помощью окислителей и добавок интенсифицируют процесс сгорания, а модификаторы улучшают адгезию расплава на материале.

В [2] указано, что надежное вскрытие герметизирующих полимерных мембран может быть осуществлено с помощью специальных пиротехнических зарядов.

Вместе с тем, сведения о механизме взаимодействия высокотемпературной струи продуктов сгорания пиросоставов с материалами различной природы (металлы, полимеры, композиционные материалы и др.) отсутствуют.

Целью данной работы является исследование влияния добавок и модификаторов базового состава с различным соотношением компонентов на эффективность резки металлических пластин различной толщины.

В настоящей работе базовый пиротехнический состав основан на смеси высокалорийного тугоплавкого металла с различными оксидами и добавками. Изучаемые составы запрессовывались в металлических оболочках с внутренним диаметром 5,25 мм и картонных оболочках диаметром 10 мм. Получены данные по прожигу металлических пластин толщиной от 0,5 мм до 1,5 мм составами с различным соотношением компонентов, запрессованные под различным давлением и при наличии сопла из керамики. Эффективность композиции определялась по прожигу различных металлических пластин.

**Литература:**

1. Современная пиротехника / В.Э. Мельников. – Москва, 2014. – 480 с.
2. Пиротехника: учебник / Н.М. Вареных [и др.]; Мин-во образ. И науки России. – Казан. Нац. Исслед. Технол. Ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2015. – 472 с.

# ВЛИЯНИЕ СТРОЕНИЯ УГЛЕРОДА НА ПРОЦЕСС РАЗЛОЖЕНИЯ НИТРАТА НАТРИЯ ПРИ НАГРЕВАНИИ

***Четверикова В.А.*, *Павлов Б.Д.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра высокоэнергетических процессов*

*e-mail: hprocess@lti-gti.ru*

# INFLUENCE OF CARBON STRUCTURE ON THE DECOMPOSITION PROCESS OF SODIUM NITRATE DURING HEATING

***Chetverikova V.A.*, *Pavlov B.D.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Углерод и его соединения находят достаточно широкое применение в пиротехнических составах. В элементарном состоянии его используют преимущественно в виде древесного угля, сажи, а также в виде графита.

Кристаллические модификации углерода встречаются в природе в форме графита и алмаза, а аморфные в виде каменного угля. Сравнительно легко получить также углерод в виде древесного угля и сажи. В то же время, известно много других аллотропных модификаций углерода (карбины, фуллерены, графен, стеклоуглерод и др.), которые получены искусственно.

Все эти формы углерода кардинально отличаются друг от друга по своим физическим свойствам: от мягкого к самому твёрдому, от диэлектрика до проводника электричества, от абразива до смазочного материала. Касается это и химической активности различных модификаций углерода. Так, например, графит и алмаз в обычных условиях химически относительно инертны, тогда как аморфные виды углерода, а также карбины, фуллерены, детонационные наноалмазы могут проявлять достаточно высокую химическую активность [1-2].

Большинство из аллотропов углерода очень дороги. Однако в последнее время усиленно разрабатываются промышленные методы их производства, что должно привести к их резкому удешевлению. Поэтому появляется возможность использования их в пиротехнических составах и проведения исследований по влиянию строения углерода на процессы горения в смесях с неорганическими окислителями.

В данной работе рассмотрено влияние на процесс разложения нитрата натрия таких аллотропных модификаций углерода, как графит, сажа, детонационные наноалмазы, древесный и активный уголь.

Исследования проводились на дериватографе марки Q 1500 D со скоростью нагрева 12 градусов в минуту.

В ходе проведённых исследований было установлено, что введение в нитрат натрия 2 % данных модификаций углерода приводит к резкому снижению температуры начала потери его массы. Процесс разложения носит многоступенчатый характер, при этом для аморфных видов углерода при температурах 380÷420 °С отмечается достаточно заметный экзотермический эффект. Для кристаллических модификаций углерода экзотермический эффект практически не проявляется.

**Литература:**

1. Мухин В.М. Производство и применение углеродных адсорбентов: учебное пособие / В.М. Мухин, В.Н. Клушин. - Москва: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. - 305 с. - ISBN 978-5-7237-0905-8.

2. Долматов В.Ю. Детонационные наноалмазы. Получение, свойства, применение / В.Ю. Долматов. – Санкт-Петербург: Изд. НПО «Профессионал», 2011. - 536 с. - ISBN 978-5-91259-073-3.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ МАЛОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭНЕРГОНАСЫЩЕННОГО СОЕДИНЕНИЯ

***Юрикова Д.В.***

*Федеральное государственное унитарное предприятие «Специальное конструкторско-технологическое бюро «Технолог»*
*e-mail: barmashova.darya@yandex.ru*

# INVESTIGATION OF THERMAL STABILITY COMPOSITIONS BASED ON LOW-SENSITIVE ENERGY-SATURATED MATERIAL

***Yurikova D.V.***

*Federal state unitary enterprise «Special design and technology bureau «Technolog»*

Стойкость энергонасыщенных материалов (ЭНМ) при повышенных температурах (термическая стабильность) – способность сохранять неизменными химический состав, основные эксплуатационные характеристики и параметры эффективности при нагревании [1]. Термическая стабильность ЭНМ является важнейшим параметром, определяющим безопасность, надежность и эффективность применения ЭНМ в различных областях.

Для оценки термической стабильности ЭНМ могут применяться следующие методы исследования [2]:

– дериватографический анализ (экспресс-метод определения термической стабильности в неизотермических условиях);

– анализ на комплексе для тепловых испытаний (изучения процессов при высоких степенях разложения);

– дифференциальная сканирующая калориметрия (позволяет проводить исследования на небольших навесках с высокой точностью);

– инженерно-манометрическая проба (измерение давления паров, образующихся при термостатировании веществ в замкнутом объеме в изотермических условиях);

– определение температуры вспышки (при 5-секундной задержке);

– «костровая проба» (определение устойчивости в условиях пожара).

В данной работе было проведено комплексное исследование термической стабильности модельных композиций на основе малочувствительного энергонасыщенного соединения – 1,1-диамино-2,2-динитроэтилена – с высокоплотным ($\rho$ = 1,89) и низкоплотным ($\rho$ = 0,98) органическим связующим. Показано, что рассмотренные композиции обладают удовлетворительной термической стабильностью: температура начала интенсивного разложения – более 230 °С, давление разложения за 14 часов эксперимента при 110 °С на ИВК «Вулкан» – 5 мм рт.ст, температура вспышки при 5-секундной задержке – 350 °С, при проведении «костровой пробы» модельные композиции сгорают без перехода в детонацию.

Таким образом, композиции на основе 1,1-диамино-2,2-динитроэтилена обладают термической стабильностью и требуют дальнейшего изучения с целью оценки возможности применения их в промышленности.

**Литература:**

1. Козлов, А.С. Химическая физика энергонасыщенных материалов. Ч. 1. Термическая стабильность энергонасыщенных материалов / А.С. Козлов, Д.В. Королев – СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2017. – 38 с.

2. Козлов, А.С. Химическая физика энергонасыщенных материалов. Ч. 3. Чувствительность энергонасыщенных материалов к тепловым и электрическим воздействиям / А.С. Козлов, Д.В. Королев. – СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2018. – 15 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ КРИТИЧЕСКИМ ДИАМЕТРОМ И КРИТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ ИНИЦИИРОВАНИЯ ДЕТОНАЦИИ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

***Юрикова Д.В.*, Буковский П.Г.**

*Федеральное государственное унитарное предприятие «Специальное конструкторско-технологическое бюро «Технолог»*

*e-mail: barmashova.darya@yandex.ru*

# INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE CRITICAL DIAMETER AND THE CRITICAL PRESSURE OF DETONATION INITIATION OF ENERGETIC MATERIALS

***Yurikova D.V.*, Bukovskiy P.G.**

*Federal state unitary enterprise «Special design and technology bureau «Technolog»*

Детонационная способность и ударно-волновая чувствительность (УВЧ), критериями которых являются критический диаметр детонации ($d_{кр}$) и критическое давление инициирования детонации ($P_{кр}$), являются важнейшими характеристиками энергонасыщенных материалов (ЭНМ). Эти параметры зависят от одних и тех же факторов: энергии и скорости разложения вещества в ударно-сжатом заряде, газодинамики процесса возбуждения или распространения детонации, размера и дефектности кристаллов, пористости заряда. В работах [1-2] приведены известные эмпирические зависимости между $d_{кр}$ и $P_{кр}$, а также обоснован расчёт критического диаметра с использованием величины критической скорости детонации и характеристик УВЧ.

В данной работе экспериментально исследованы детонационная способность и УВЧ однородных смесей ряда ЭНМ с низкоплотным мягким связующим ($\rho$ = 0,98 г/см$^3$). Содержание ЭНМ в составе варьировалось от 70 до 95 % (мас.). Из каждой бинарной смеси (ЭНМ/связующее) формировались сплошные, практически беспористые шашки для определения УВЧ по барьерной методике [3] и шнуровые заряды методом проходного прессования для определения критического диаметра детонации. С точностью 0,05 мм определены $d_{кр}$ и с точностью 0,1 ГПа $P_{кр}$ всех смесей.

Показано, что зависимость $d_{кр}$ модельных композиций от объёмной доли связующего является монотонной для всех рассмотренных ЭНМ. Полученные результаты подтверждают установленные ранее закономерности для композиций с инертными органическими добавками и влияние ударной сжимаемости добавок [4]. Зависимость $P_{кр}$ составов от объёмной доли полимерного связующего является немонотонной и носит различный характер в зависимости от используемого ЭНМ и его дисперсности. По полученным данным единой прямой корреляционной зависимости между критическим диаметром и критическим давлением инициирования детонации не выявлено.

**Литература:**

1. И.Ф. Кобылкин. Взаимосвязь критического диаметра детонации зарядов взрывчатых веществ с характеристиками их ударно-волновой чувствительности. // Физика горения и взрыва. – 2009. – Т. 45, № 3. – С. 101-105.

2. И.Ф. Кобылкин. Вычисление критического диаметра детонации зарядов взрывчатого вещества по данным их ударно-волнового инициирования. // Физика горения и взрыва. – 2006. – Т. 42, № 2. – С. 112-115.

3. С.Г. Андреев, А.В. Бабкин, Ф.А. Баум и др. Физика взрыва. Под ред. Л.П. Орленко. – Изд. 3-е, переработанное. – В 2 т. – М.: Физматлит, 2002. Т. 1.

4. А.А. Котомин, С.А. Душенок, А.С. Козлов. Эмпирические методы расчета взрывчатых веществ и композиций. — СПб.: Лань, 4-е издание, 2023.

# СЕКЦИЯ 6.

# ОБЩАЯ ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, ОСНОВНОЙ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ



# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЯМР $^{13}$С ДЛЯ АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ ПОЛИЭФИРОВ

***Агафонов А.Е.*, *Петренко Д.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологий нефтехимических и углехимических производств*

*e-mail: alexander-a78@yandex.ru*

## APPLICATION OF NMR $^{13}$C METHOD FOR POLYESTER ANALYSIS

***Agafonov A.E.*, *Petrenko D.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В нефтегазовой отрасли серьёзную проблему представляет собой коррозия оборудования, приводящая к незапланированным остановкам производственного процесса и авариям [1]. Для снижения её негативного воздействия используются ингибиторы коррозии. Среди современных ингибиторов коррозии широкое распространение получили амины, в том числе аминоэфиры [2]. Цель настоящего исследования — предложить способ анализа сложных эфиров методом ЯМР $^{13}$С.

В данной работе исследовались образцы сложных полиэфиров на основе метилдиэтаноламина (МДЭА) и адипиновой кислоты (АК). На спектре были выделены следующие сигналы:

1) Метильные группы МДЭА, находящихся в разных формах (моноэфиров, диэфиров и не вступивших в реакцию);
2) Метиленовые группы, входящие в структуру молекул МДЭА и АК.

Соотношение интегральных интенсивностей сигналов, относящихся к группам $CH_3$, позволяет оценить соотношение процентного содержания молекул МДЭА в разных формах (см. таблицу 1), которые могут использоваться для расчёта соотношения количеств вещества МДЭА/АК. Соотношение интегральных интенсивностей сигналов, относящихся к группам $CH_2$ в составе молекул МДЭА и АК также позволяет определить соотношение количеств вещества МДЭА/АК. Значения в таблице 2 показывают, что анализ состава эфира по группам $CH_3$ и $CH_2$ даёт схожие значения, что указывает на практическую применимость метода.

**Таблица 1 – Процентное содержание МДЭА по формам.**

| Форма МДЭА | Образец 1 | Образец 2 | Образец 3 | Образец 4 |
|---|---|---|---|---|
| Свободный | 5,6 | 45,5 | 0 | 0 |
| Моноэфир | 40,4 | 43,2 | 27,3 | 13,8 |
| Диэфир | 53,9 | 11,3 | 72,7 | 86,2 |

**Таблица 2 – Соотношение количеств вещества МДЭА/АК.**

| Рассматриваемая группа | Образец 1 | Образец 2 | Образец 3 | Образец 4 |
|---|---|---|---|---|
| $CH_2$ | 1,3 | 2,9 | 1,1 | 1,0 |
| $CH_3$ | 1,3 | 3,0 | 1,2 | 1,1 |

**Литература:**

1. Ингибиторы коррозии для защиты технологического оборудования нефтепромышленности, эксплуатируемого в сероводородсодержащих средах / М.Е. Леонтьева, М.О. Агаркова, Ю.В. Демидова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология. – 2025. – Т. 68, № 7. – С. 6-19.

2. Zomorodian A., Behnood A. Review of corrosion inhibitors in reinforced concrete: conventional and green materials // Buildings. – 2023. – Vol. 13. – Article 1170. – DOI: https://doi.org/10.3390/buildings13051170

# ПРИМЕНЕНИЕ ПИНЧ-АНАЛИЗА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛА НА УСТАНОВКЕ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

***Бикмухаметов И.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: i.v.bikmukhametov@gmail.com*

# APPLICATION OF PINCH ANALYSIS TO ENHANCE HEAT RECOVERY EFFICIENCY IN A NATURAL GAS DEHYDRATION UNIT

***Bikmukhametov I.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В условиях современной экономики и жестких требований к снижению углеродного следа повышение энергетической эффективности процессов переработки углеводородов является критически важной задачей. Установка осушки природного газа, предназначенная для удаления влаги, потребляет значительное количество тепловой энергии. Анализ технологической схемы установки адсорбционной осушки показывает, что значительный потенциал тепла, сбрасываемого в атмосферу системой охлаждения (аппараты воздушного охлаждения), а также тепла со вторичных энергетических ресурсов (паровой конденсат), остается неиспользованным.

Для количественной оценки степени рекуперации тепла в существующей технологической схеме был применен метод Пинч-анализа, с помощью которого определено, что степень рекуперации существующей схемы составляет 53 %. Полученное значение свидетельствует о наличии в технологической схеме значительного энергетического потенциала, который можно утилизировать.

Технически реализуемыми решениями для повышения энергетической эффективности существующей схемы адсорбционной осушки являются мероприятия по модернизации теплообменной сети, которые включают внедрение двух новых теплообменных аппаратов: сырьевой газ/паровой конденсат и сырьевой газ/газ регенерации.

На рисунке представлено изменение композитных кривых (слева – существующая схема, справа – после модернизации теплообменной сети).

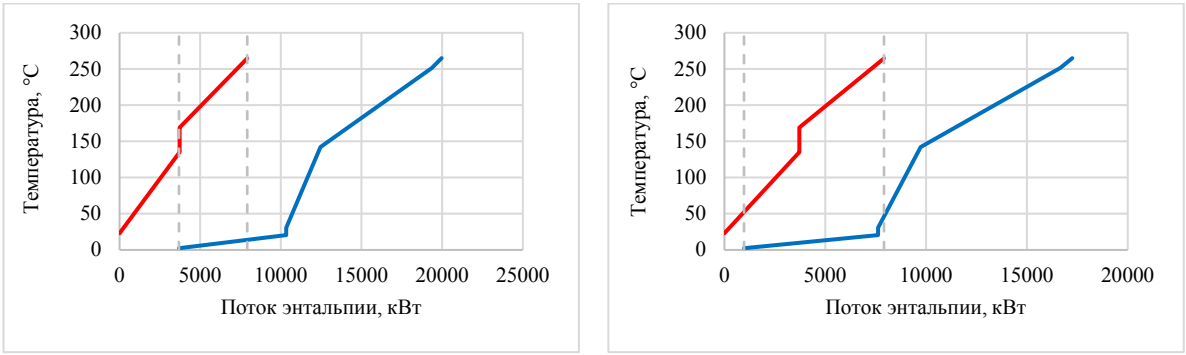



**Рисунок – Изменение композитных кривых после модернизации теплообменной сети.**

По итогам проведенной работы по повышению энергетической эффективности установки осушки природного газа с применением метода Пинч-анализа степень рекуперации тепла может увеличиться до 87 %.

# СИНТЕЗ ВАНАДИЙ ОКИСДНЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ $\gamma$-$Al_2O_3$

***Головин Г.Д.*, *Кульков М.М.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра общей химической технологии и катализа*

*e-mail: gleb.golovin.02@mail.ru*

## SYNTHESIS OF VANADIUM OXIDE CATALYTIC STRUCTURES ON THE SURFACE OF $\gamma$-$AL_2O_3$

***Golovin G.D.*, *Kulkov M.M.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Ежегодный рост на низшие олефины подтверждает актуальность исследований и модернизации процесса дегидрирования легких парафинов. Для проведения реакции селективного разрушения связи С–Н применяются катализаторы на основе оксида алюминия с добавлением металлов платиновой группы и оксидов металлов: хрома, ванадия, галлия, молибдена и др.

Для изучения влияния методов синтеза катализаторов на формирование структуры активных центров на поверхности каталитических масс в качестве активного компонента был выбран ванадий. Природа этого элемента позволяет получать различные поли- и моноядерные структуры оксидных форм $V_xO_y$ на поверхности носителя.

Синтез катализаторов методом влажной пропитки приводит к более вероятному образованию полиядерных структур и кристаллитов $V_2O_5$, интенсифицирующих побочные реакции образования $CO_x$ и кокса на активных центрах [1]. Каталитическая активности алюмованадиевых катализаторов в реакциях дегидрирования обеспечивается формированием изолированных моноядерных структур $VO_x$, что возможно при нанесении активной фазы методом молекулярного наслаивания (МН), который исследуется в данной работе. При синтезе катализаторов методом МН обеспечивается точный контроль состава за счет самоограничивающегося характера реакции хемосорбции хлорокиси ванадия ($VOCl_3$) с поверхностными гидроксильными группами оксида алюминия, количество которых зависит от температурной обработки подложки.

Исследование заключалось в термогравиметрическом контроле характера протекания процессов МН на поверхности. $\gamma$-$Al_2O_3$ ($S_{уд}$ = 180 м$^2$/г). Непосредственно в реакторе были проведены последовательные этапы: подготовка оксидной матрицы (термообработка), химическая реакция паров $VOCl_3$ с поверхностными ОН– группами (стадия хемосорбции), удаление избытка хлорида (стадия десорбции) и замещение атомов Cl (стадия гидролиза).

По результатам термогравиметрического контроля была установлена расчетная поверхностная плотность атомов V при температуре обработки носителя 350 и 500 °С, которая составила 2,5 и 1,4 ат/нм$^2$, соответственно. Полученные значения оказались более чем в 2 раза ниже критической величины начала формирования кристаллитов $V_2O_5$ (5,2 ат/нм$^2$ [1]), что может свидетельствовать о преобладание изолированных структур $VO_x$.

Для получения достоверных выводов о влиянии метода приготовления на активность катализаторов дегидрирования ведется работа по синтезу катализаторов с аналогичным содержанием V методами влажной и химической газофазной пропитки для последующего сравнительного анализа их активности и морфологии.

**Литература:**

1. Harlin, M.E. Alumina-Supported Vanadium Oxide in the Dehydrogenation of Butanes / M.E. Harlin, V.M. Niemi, A.O.I. Krause // Journal of Catalysis. – 2000. – Vol. 195. – P. 67-78.

# СИНТЕЗ НОСИТЕЛЕЙ КАТАЛИЗАТОРОВ ГИДРООЧИСТКИ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕГО БЕМИТА

***Григорьева А.К., Норберт К.Р., Яковлев А.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии неорганических веществ*

*e-mail: avyakovlev96@yandex.ru*

# SYNTHESIS OF HYDROTREATING CATALYST CARRIERS BASED ON SILICON-CONTAINING BOEHMITE

***Grigorieva A.K., Norbert K.R., Yakovlev A.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Высокая востребованность алюмокремниевых систем в каталитической переработке нефтепродуктов обусловлена их способностью формировать носители с развитой и механически прочной пористой структурой, а также генерировать кислотные центры Бренстеда на её поверхности, являющиеся ключевыми для реакций крекинга и изомеризации [1]. Отмечается, что модификация связующих бемитов добавками кремния, в особенности в сочетании с фосфором и бором, приводит к синергетическому эффекту и значительному росту активности катализаторов гидроочистки вакуумного газойля [2].

В настоящее время на российском рынке сырья наблюдается дефицит эффективных алюмогидроксидных связующих, осложняющийся в результате введения импортных ограничений странами Евросоюза. В сложившейся ситуации одним из способов решения актуальных задач по разработке отечественных катализаторов и адсорбентов является использование бемитного и псевдобемитного сырья производства КНР. Апробация данных марок гидроксидов алюминия на российских катализаторных заводах и их внедрение в промышленность предполагает проведение широкого ряда исследований, направленных на определение химического и фазового состава сырья, а также условий его переработки в носители с заданными текстурными характеристиками.

В рамках проведённой работы методом экструзионного формования была синтезирована серия носителей на основе алюмогидроксидного сырья марки «МТ-РВ-301» производства компании Zibo (КНР), содержащего по результатам рентгенофлуоресцентного анализа до 1,2 % мас. $SiO_2$. В результате было установлено, что носители, полученные при использовании величины пептизационного эквивалента (ПЭК) равной 0,06 г $HNO_3$/ г $A_2O_3$ характеризуются высокими значениями влагоёмкости (1,1 $см^3$/г) и механической прочности (4,8 МПа), что подтверждает перспективность использования данного вида алюмогидроксидного сырья. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение кислотно-основных свойств поверхности носителей и синтезу NiMo-катализаторов гидроочистки на их основе.

**Литература:**

1. Дик П.П. и др. Никель-молибденовые алюмосиликатные катализаторы гидрокрекинга вакуумного газойля, ориентированные на повышенный выход дизельной фракции // Катализ в промышленности. 2014. Т. 6. № 3. С. 49-58.

2. Романова Т.С., Надеина К.А., Данилова И.Г. и др. Синергетический эффект при одновременном введении Si и B в псевдобемит: влияние на активность $NiMo/Al_2O_3$ катализатора в гидроочистке вакуумного газойля // РОСКАТАЛИЗ. V Российский конгресс по катализу: тезисы докладов. – Новосибирск: ИК СО РАН, 2025. – С. 343–344.

# ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА ДИАЛКИЛДИТИОКАРБАМАТА МОЛИБДЕНА В РОССИИ

***Зыков В.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии нефтехимических и углехимических производств*
*e-mail: vlad.zykov1998@gmail.com*

# PROSPECTS FOR THE PRODUCTION OF MOLYBDENUM DIALKYL DITHIOCARBAMATE IN RUSSIA

***Zykov V.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В условиях глобальной тенденции к импортозамещению и повышения экологических требований к моторным маслам особую актуальность приобретает разработка отечественных высокоэффективных присадок. Одним из наиболее востребованных компонентов современных масел является молибденорганическое соединение MoDTC (диалкилдитиокарбамат молибдена), отвечающее за снижение трения и экономию топлива.

Целью настоящей работы являлась оценка технологической целесообразности и экономической потребности организации производства присадки MoDTC на территории Российской Федерации.

В ходе исследования проведен аналитический обзор научно-технической литературы и патентных источников, посвященных синтезу, механизму действия и эксплуатационным характеристикам MoDTC. Использованы методы сравнительного анализа свойств с другими модификаторами трения, а также оценка совместимости присадки с современными материалами двигателей. Основное содержание. MoDTC представляет собой модификатор трения, разлагающийся в зоне контакта с образованием слоев дисульфида молибдена ($MoS_2$), что обеспечивает существенное снижение коэффициента трения и защиту от износа. Ключевыми преимуществами данной присадки являются высокая растворимость в маслах, стабильность при хранении и отсутствие фосфора в составе, что исключает отравление катализаторов выхлопных систем и соответствует современным экостандартам. Однако анализ выявил ряд эксплуатационных ограничений: несовместимость с алмазоподобными углеродными покрытиями (DLC), ускоренная деградация в условиях дизельного двигателя (под воздействием сажи) и зависимость эффективности от режимов нагрузки. Несмотря на это, MoDTC остается базовым компонентом в рецептурах премиальных моторных масел, что подтверждает его высокую рыночную значимость.

Таким образом, выявлена высокая востребованность присадки MoDTC на мировом и потенциальном российском рынке. Учитывая курс на интенсивное импортозамещение и экологическую повестку, организация собственного производства диалкилдитиокарбамата молибдена в России является экономически и технологически обоснованной задачей. Решение этой проблемы позволит снизить зависимость от импортных компонентов и повысить конкурентоспособность отечественных смазочных материалов.

# ДОБАВЛЕНИЕ ПОЛИАНИЛИНА В АЛКИДНЫЕ ПОКРЫТИЯ В КАЧЕСТВЕ ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ

***Копылова М.Е.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии нефтехимических и углехимических производств*
*e-mail: kxonelove@mail.ru*

## ADDITION OF POLYANILINE TO ANTICORROSIVE ALKYD COATINGS

***Kopylova M.E.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Полианилин (ПАНи) хорошо изучен в качестве ингибитора коррозии, поскольку его легко можно получить из недорогого мономера как химической, так и электрохимической полимеризацией. Раньше ПАНи применялся в качестве отдельного покрытия, но позже стал использоваться так же в эпоксидных и алкидных покрытиях. Актуальность применения ПАНи в качестве ингибитора коррозии заключается в замене экологически неприемлимых ингибиторов, таких как хромат цинка, фосфат цинка или соединения свинца.

Наиболее часто используемым ингибитором в классических алкидных покрытиях является фосфат цинка [1], который токсичен для водной среды и вреден для здоровья человека. Поэтому применение ПАНи в качестве замены соединений цинка в алкидных покрытиях является очень перспективной областью.

ПАНи для этих целей можно получить методом эмульсионной полимеризации, и добавлять его в алкидные покрытия в диапазоне от 0.5 до 2.5 %. Он улучшает твердость по шкале Мооса, ударную стойкость, гибкость и проводимость чистого алкида. Данные свойства улучшаются с увеличением количества ПАНи [2].

Увеличение значения твердости связано с улучшением адгезии между ПАНи и металлической поверхностью при более высоких концентрациях ПАНи [2].

С увеличением количества ПАНи также происходит первоначальный сдвиг в сторону положительных потенциалов, что указывает на образование оксидной пленки. Это обусловлено тем, что присутствие ПАНи в покрытии способствует окислению ионов железа с образованием пассивного слоя оксида железа. Также улучшение защитных свойств объясняется плотной, непористой, сетчатой структурой.

Также в алкидных покрытиях возможно использование нанокомпозита $CaCO_3$-ПАНи в качестве ингибитора коррозии [3]. Используется эмульсионная полимеризация для получения нанокомпозита с различным количеством $CaCO_3$ в диапазоне от 1 до 8 % масс. от мономера анилина. CaCO3 диспергируется в решетке ПАНи. Присутствие нанокомпозита в алкидном покрытии приводит к лучшей адгезии к металлической поверхности. Коррозионные характеристики с добавкой нанокомпозита улучшаются по сравнению с обычными алкидными покрытиями, плотность тока коррозии снижается.

**Литература:**

1. G.S. Gonalves, A.F. Baldissera, L.F. Rodrigues, E. M.A. Martini, C.A. Ferreira (2011) Alkyd coatings containing polyanilines for corrosion protection of mild steel, Synth Met, 161, 313–323.

2. J. Alam, U. Riaz, S. Ahmad (2009) High performance corrosion resistant polyaniline/alkyd ecofriendly coatings, Curr Appl Phys, 9, 80–86.

3. B.A. Bhanvase, S.H. Sonawane (2010) New approach for simultaneous enhancement of anticorrosive and mechanical properties of coatings: Application of water repellent nano CaCO3-PANI emulsion nanocomposite in alkyd resin, Chem Eng J, 156, 177–183.

# ПИРОЛИЗ СМЕШАННЫХ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ, СОДЕРЖАЩИХ ПОЛИВИНИЛХЛОРИД

***Курушкин А.В.*, *Сладковский Д.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра ресурсосберегающих технологий*

*e-mail: sasha.kurushkin2.0@gmail.com, dmitry.sla@gmail.com*

**PYROLYSIS OF MIXED PLASTIC WASTE CONTAINING POLYVINYL CHLORIDE**

***Kurushkin A.V.*, *Sladkovskiy D.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Смесь пластиков с высоким содержанием ПВХ поступает по линии 3 (см. рисунок) в плавильный реактор Р-1, куда также подается горячий рециркулирующий поток 11 из основного пиролизного реактора Р-2, с целью поддержания тепла для расплавления и реакции дегидрохлорирования. Образующийся газообразный хлористый водород отводится через линию 13 на очистку, а расплав по линии 5 направляется в реактор Р-2. Для связывания остаточных хлоридов в Р-2 по линии 3 вводится тонкодисперсный адсорбент, для выведения паров подается азот по линии 2. Продукты крекинга разделяются: твердый остаток с адсорбентом выводится через линию 4, паровая фаза по линии 6 поступает в конденсатор С-1, а часть жидкой фазы реактора Р-2 по линии 10 возвращается в реактор Р-1. Остаток жидкой фазы по линии 10 направляется в нагреватель Р-3, и возвращается в Р-2 по линии 12, обеспечивая равномерный нагрев. Сконденсированная в аппарате С-1 жидкость по линии 8 проходит стабилизацию в емкости Е-1, после чего по линии 14 подается в адсорберы А-1 и А-2 для финальной очистки от остаточных хлоридов до уровня ниже 10 ppm. Очищенное масло по линии 15 охлаждается и поступает в хранилище Е-3. Отходящие газы сжигаются и очищаются в системе Е-2 после чего сбрасываются в атмосферу [1].

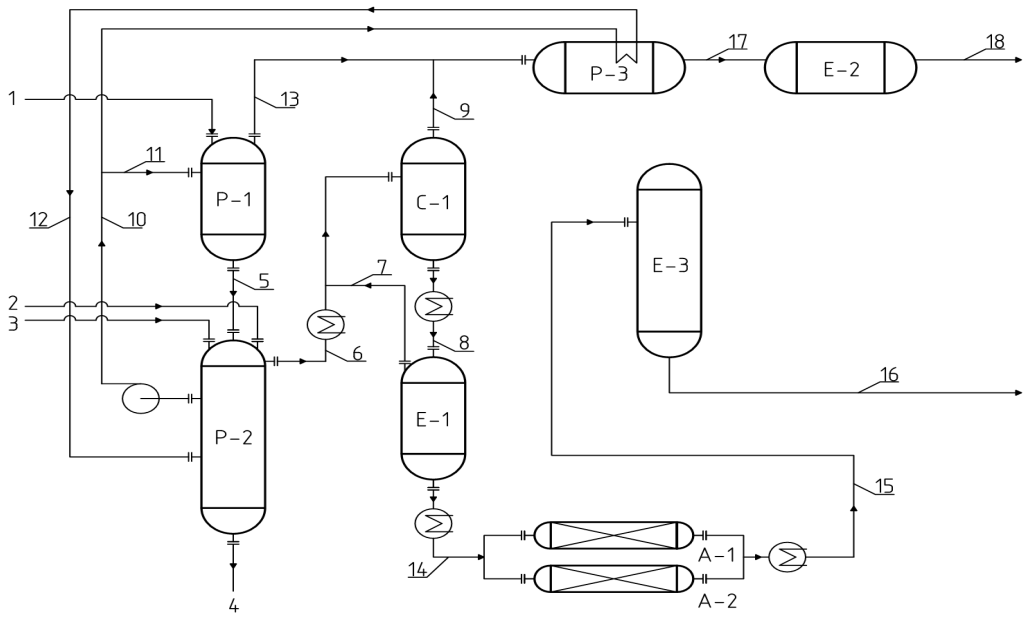



**Рисунок – Технологическая схема установки.**

**Литература:**

1. Мендес-Фелипе, К.; Исуси, И.; Одностадийный метод прямой акрилирования растительных масел: биоматериал для 3D-печати. // Полимеры. — 2023. — Т. 15, № 3136.

# ПЕРЕРАБОТКА ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ В АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО

***Курушкин А.В.*, *Мик И.И.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра ресурсосберегающих технологий*
*sasha.kurushkin2.0@gmail.com*, *mikskreg11@gmail.com*

**RECYCLING OF PLASTIC WASTE INTO ALTERNATIVE FUEL**

***Kurushkin A.V.*, *Mik I.I.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Пиролиз определяется как термическое разложение органических соединений при температурах 450–550°C в бескислородной среде с применением инертных газов, в частности азота, что обеспечивает образование смеси жидких углеводородов, конденсируемых в дальнейшем в жидкий продукт. Установлено, что различные типы пластиков демонстрируют различные термические характеристики: полипропилен подвергается пиролизу при среднем значении температуры 225 °C (продолжительность процесса 214 мин), полиэтилен низкого давления – при 210 °C (235 мин), полиэтилен высокого давления – при 213 °C (220 мин), тогда как смешанные пластики подвергаются термическому разложению при 197 °C (260 мин). Показано, что выход жидкого продукта существенно варьируется в зависимости от исходного полимерного сырья: для полипропилена данный показатель составляет 80 % по массе, для полиэтилена низкого давления – 73 %, для полиэтилена высокого давления – 70 %, тогда как для смеси пластиков – лишь 46 % [1]. Сравнительный анализ физико-химических свойств полученных топлив свидетельствует об их значительном соответствии отраслевым стандартам ASTM (см. таблицу).

**Таблица – Сравнительные характеристики топлива из различных типов пластиков и дизельного топлива.**

| Характеристика | Полипропилен | Полиэтилен низкого давления | Полиэтилен высокого давления | Смесь | Дизель |
|---|---|---|---|---|---|
| Теплота сгорания, МДж/кг | 41,0 | 41,6 | 42,5 | 42,0 | 45,5 |
| Кинематическая вязкость, сСт | 1,968 | 2,311 | 2,421 | 2,640 | 3,200 |
| Удельная плотность | 0,749 | 0,779 | 0,810 | 0,810 | 0,835 |
| Цетановый индекс | 40 | 40 | 51 | 55 | 64 |

Технология позволяет получать из пластиковых отходов продукт, аналогичный дизельному топливу, решая проблему утилизации мусора и снижая зависимость от ископаемых ресурсов в рамках циркулярной экономики.

*Исследование выполнено при стипендиальной поддержке Почетного профессора СПбГТИ(ТУ) А.Н. Чистякова.*

**Литература:**

1. Якуб, Х.; Тан, Э. С.; Али, Х. М.; Онг, Х. К.; Джамиль, М. А.; Фарук, М. У. Environmental Technology & Innovation, 2024, 34, 103467.

# СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПЕНТАЭРИТРИТОВОГО ЭФИРА КАПРОНОВОЙ КИСЛОТЫ

***Лукоянова Д.И.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии нефтехимических и углехимических производств*
*e-mail: lukoyanova.0404@mail.ru*

## SYNTHESIS AND PROPERTIES OF PENTAERYTHRITOL ETHER OF CAPROIC ACID

***Lukoyanova D.I.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Сложные эфиры пентаэритрита являются востребованными компонентами при создании термостабильных технических жидкостей (смазочных материалов для авиа- и автотехники, гидравлических составов) и пластификаторов полимерных систем. Актуальность их синтеза и изучения сегодня определяется стратегией импортозамещения, усилением экологических требований и ростом потребности в биоразлагаемых материалах.

В рамках работы был проведён синтез сложного тетраэфира пентаэритрита и капроновой кислоты по методике [1] с использованием пентаэритрита и капроновой кислоты без катализатора, ранее проводился синтез аналогичного тетрафэфира [2]. Синтез осуществлялся в круглодонной колбе ёмкостью 250 мл, снабжённой мешалкой, обратным холодильником и насадкой Дина — Старка. Реакционная смесь нагревалась при помощи колбонагревателя до 180–190 °C и по достижению расчётного объёма воды синтез был завершен. Характеристика полученного эфира представлена в таблице:

**Таблица – Основные физико-химические показатели тетраэфира.**

| Показатель | Значение |
|---|---|
| Плотность, кг/м$^3$ | 1027 |
| Вязкость при 40 °C, сСт | 16,9 |
| Показатель преломления | 1,4563 |
| Цветность по шкале ЦНТ | 6 |

Полученный эфир характеризуется вязкостью, достаточной для применения полученного продукта в качестве основы смазочного материала для высоконагруженных двигателей. Также материал потенциально применим в производстве композитных материалов или адгезивов, где требуется прозрачная или слабоокрашенная основа с умеренной вязкостью.

**Литература:**

1. Громова, В.В. Применение продуктов основного и нефтехимического синтеза. Лабораторный практикум / В.В. Громова, В.Н. Клементьев, Б.В. Пекаревский. – СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2014. – 120 с.

2. Лукоянова, Д.И. Синтез и свойства пентаэритритового эфира из фракции синтетических жирных кислот / Лукоянова Д.И., Клементьев В.Н // Материалы научной конференции «Традиции и инновации», посвященной 197-й годовщине образования Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) (СПбГТИ(ТУ)). – СПб: 2025. – С. 84

# СИНТЕЗ КАТАЛИЗАТОРА ДЛЯ ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ МЕТАКРОЛЕИНА

***Макулова М.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра ресурсосберегающих технологий*

*e-mail: milanamak12@gmail.com*

## SYNTHESIS OF A CATALYST FOR THE OXIDATION OF METHACROLEIN

***Makulova M.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В настоящее время ведется активный научный поиск высокоселективных катализаторов для процессов тонкого органического синтеза. Одной из важных технологических задач в области промышленного катализа является газофазное окисление метакролеина в метакриловую кислоту. Метакриловая кислота (МАК) – это органическое соединение с химической формулой $C_4H_6O_2$. Она относится к классу карбоновых кислот и является производным акриловой кислоты. Активное производство МАК развивается в связи с повышением спроса на полимеры, которые используются в различных отраслях промышленности – строительстве, машиностроении, электронной промышленности, медицины.

Для проведения процесса газофазного окисления метакролеина в метакриловую кислоту широко применяются гетерогенные катализаторы на основе сложных оксидных систем. В настоящей работе синтезирован и изучен молибдено-цезиевый катализатор, который отличается регулируемыми кислотными характеристиками и оптимальными текстурными свойствами, что делает его перспективным для селективного окисления ненасыщенных карбонильных соединений [1].

Синтезированные образцы катализаторов Mo-Cs/$SiO_2$ охарактеризованы комплексом методов. Насыпная плотность определена методом свободного насыпания в мерный цилиндр. Значение насыпной плотности полученного образца равно 0,655 г/см³ Полученный образец обладает насыпной плотностью, обеспечивающей хорошие диффузионные свойства, и высокой механической прочностью, что критически важно для промышленного применения в реакторах с неподвижным слоем. Прочность на раздавливание измерена путем определения разрушающего усилия для не менее чем 20 отдельных гранул сферической формы с последующим расчетом среднего значения. По результатам механических испытаний, катализатор выдерживает нагрузку до 4,49 кгс/см² (0.44 МПа) перед разрушением. Химический состав поверхности и состояние элементов (Mo, Cs) исследованы методом РФЭС на спектрометре. По данным анализа, поверхностный состав катализатора составил: 29.94 % $MoO_3$ и 3.18 % $Cs_2O$, что соответствует оптимальным значениям для окисления метакролеина, и подтверждает успешность примененного метода синтеза.

В работе синтезирован катализатор Mo-Cs/$SiO_2$ с характеристиками, подходящими для окисления метакролеина.

**Литература:**

1. Европ. пат. EP0686623A1. 13.12.1995. Process for producing methyl methacrylate EP0686623A1. 1995. / Takeno M., Masatoshi N., Masamitsu I.

# ДВУХСТАДИЙНАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ В СРЕДЕ ВЫСОКОКИПЯЩЕГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

***Маратканова П.Н.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: polinabinik@gmail.com*

# TWO-STAGE THERMAL PROCESSING OF POLYMER WASTE IN A HIGH-BOILING HEAT CARRIER

***Maratkanova P.N.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Ежегодный рост объема отходов полимеров требует разработки эффективных и экологичных методов их утилизации. Существующие термические методы часто сталкиваются с проблемами низкой теплопроводности расплава пластика, его спекания и нестабильности выхода целевых продуктов. Использование высококипящего теплоносителя позволяет решить эти проблемы. В работе была разработана и описана технологическая схема переработки пластиковых отходов в двухсекционном реакторе в среде мазута.

Разработанная технологическая схема представлена на рисунке.

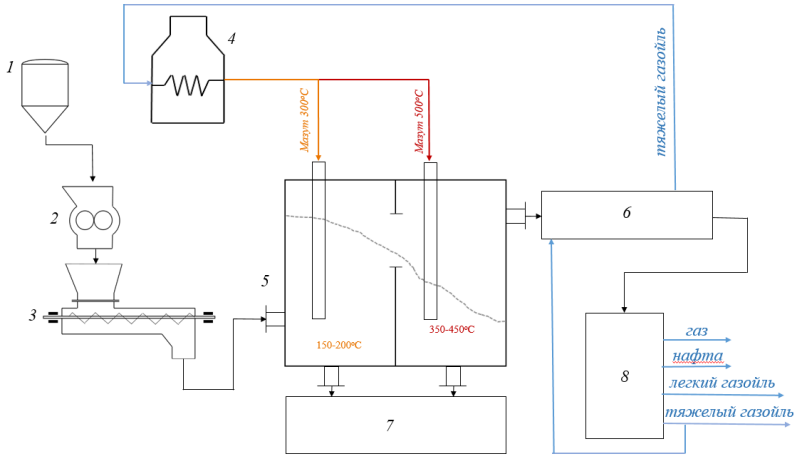



**Рисунок – Технологическая схема двухстадийной переработки полимерных отходов.**

Полимерные отходы из ёмкости *1* поступают в дробилку *2*, откуда измельченная масса подается шнековым дозатором *3* в реакторный блок. Мазут в печи *4* нагревается до рабочей температуры и подается в двухсекционный реактор *5*. В первой секции реактора *5* при температуре 150-200 °С происходит плавление термопластичных компонентов, дегазация и частичная деполимеризация в среде теплоносителя с образованием гомогенной реакционной массы. Во второй секции при 350-450 °С осуществляется крекинг углеродных связей полимеров и углеводородов с образованием парогазовой смеси и твердого углеродистого остатка. Парогазовая смесь проходит через блок рекуперации *6*, после чего подается в блок разделения. Целевые продукты, выходящие из блока *8* – неконденсируемый газ, нафта, легкий газойль и тяжелый газойль. Тяжелый газойль частично через блок рекуперации подается в начало процесса, замыкая цикл. Твердый углеродистый остаток выводится из реактора в емкость *7*. Неконденсируемый газ может быть использован в качестве топлива для нагрева печи, что обеспечивает частичную энергетическую автономность установки.

# АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ГЛУБИНЫ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ ЗА СЧЕТ ИНТЕГРАЦИИ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОГО И КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА ГУДРОНОВ

***Парамонов Р.И.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии нефтехимических и углехимических производств, e-mail: lodokap28095@gmail.com*

## ANALYSIS OF WAYS TO INCREASE THE DEPTH OF OIL REFINING BY INTEGRATING THE PROCESSES OF THERMAL AND CATALYTIC CRACKING OF TAR

***Paramonov R.I.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Проблема углубления переработки нефти остается одной из наиболее актуальных для российской нефтепереработки, где глубина переработки (ГПН) составляет 65–70 %, тогда как в США превышает 86 % [1]. Основным резервом повышения ГПН являются тяжелые остатки, прежде всего гудрон – продукт вакуумной перегонки мазута с температурой кипения выше 500 °C, содержащий смолисто-асфальтеновые вещества, гетероатомные соединения и металлы (V, Ni) [2]. Традиционное использование гудрона как котельного топлива неэффективно, а прямой каталитический крекинг невозможен из-за дезактивации катализаторов.

Наиболее перспективным решением является создание интегрированных комплексов, сочетающих предварительную термическую подготовку гудрона с последующим каталитическим гидрокрекингом. Двухстадийная схема включает: мягкий термический крекинг (висбрекинг) или крекинг с радикальными инициаторами (например, дидодеканоил пероксид), снижающий коксообразование, и гидрокрекинг подготовленного сырья, обеспечивающий глубокое превращение углеводородов и удаление гетероатомов.

Промышленную апробацию получил процесс VCC (Veba Combi Cracking) в составе комплекса «ТАИФ-НК» (Нижнекамск). Технология использует суспендированный слой с угольной добавкой, адсорбирующей металлы, что позволяет получать из гудрона авиакеросин и дизтопливо с содержанием серы менее 5 ppm. Альтернативой выступает процесс гидроконверсии RSH (Russian Slurry Hydroconversion), разработанный ИНХС РАН. При давлении 7–14 МПа с ультрадисперсным катализатором достигается конверсия сырья 92–95 % [3].

Внедрение интегрированных схем повышает ГПН до 90–95 %, что соответствует практически безотходному производству. Обеспечивается также технологический суверенитет за счет использования отечественных разработок (RSH).

Интеграция термических и каталитических процессов переработки гудронов позволяет трансформировать тяжелые остатки в источник высококачественных топлив, соответствующих современным экологическим стандартам.

**Литература**

1. Иванов И.И. Глубокая переработка мазута: технико-экономические аспекты / И.И. Иванов, П.П. Петров // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2021. – XCI, № 3. С. 15-22

2. Химия нефти и газа: Учебное пособие для вузов / В.А. Винокуров, Ю.В. Поконова, Н.Н. Лукьянова, С.Н. Хаджиев. Москва: Миклухо-Маклая, 2020. – 358 с. – ISBN 978-5-04-000000-0.

3. В РФ создана технология практически полной переработки тяжелых нефтяных остатков // Татнефтехиминвест-холдинг. – 2023. – № 5. – С. 22-25.

# НОВЫЙ ПОЛИЭФИРАМИНОВЫЙ ИНГИБИТОР КОРРОЗИИ: СИНТЕЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

***Петренко Д.А.*, *Копылова М.Е.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии нефтехимических и углехимических производств*

*e-mail: dimlet20000@gmail.com*

# NOVEL POLYETHERAMINE CORROSION INGIBITOR: SYNTHESIS AND APPLICATION PROSPECTS

***Petrenko D.A.*, *Kopylova M.E.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Коррозия металлических материалов остаётся одной из серьёзных проблем современной промышленности, приводя к значительным экономическим потерям и снижению надёжности оборудования, особенно в условиях воздействия агрессивных эксплуатационных сред. Одним из наиболее эффективных способов защиты металлов является применение органических ингибиторов коррозии, способных адсорбироваться на поверхности металла и подавлять электрохимические коррозионные процессы [1].

Полиэфираминовые соединения, содержащие в своей структуре аминогруппы и эфирные функциональные группы, представляют значительный интерес в качестве ингибиторов коррозии благодаря высокой адсорбционной способности и возможности формирования устойчивых защитных плёнок [2]. Возможность целенаправленного варьирования химического строения и молекулярной массы полиэфираминов позволяет регулировать их ингибирующие свойства, что делает синтез и исследование новых полиэфираминовых ингибиторов коррозии актуальной научно-практической задачей.

Синтез полиэфираминового ингибитора коррозии осуществляли в две стадии. На первой стадии проводили этерификацию адипиновой кислоты с метилдиэтаноламином в среде ортоксилола при температуре 155 °С и атмосферном давлении (см. рисунок). На второй стадии процесс вели под вакуумом с целью полного удаления растворителя и завершения реакции. Структура и состав полученных продуктов были определены методом ЯМР-спектроскопии. Ожидается, что благодаря наличию в структуре аминогрупп и эфирных функциональных групп синтезированный ингибитор будет обеспечивать высокую степень защиты металлических материалов от коррозии в кислых средах.

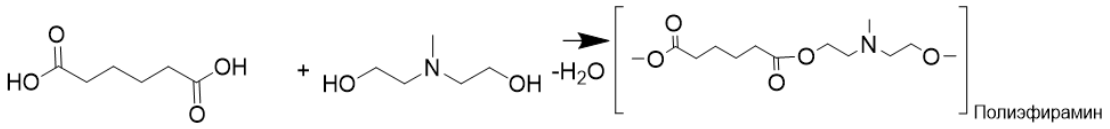



**Рисунок – Реакция получения полиэфираминового ингибитора коррозии.**

**Литература:**

1. Ингибиторы коррозии для защиты технологического оборудования нефтепромышленности, эксплуатируемого в сероводородсодержащих средах / Леонтьева М.Е., Агаркова М.О., Демидова Ю.В., Демидов П.А., Дронов С.В. // Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология. – 2025. – Т. 68, № 7. – С. 6-19.

2. Zhao C., Wei J., Wu J., Li Y., Xiang D., Wu Y., Li H., Hou Z. Synthesis and Characterization of Polyetheramine-type Benzoxazines as Protective Coatings for Low Carbon Steel against Corrosion in Sodium Chloride Solution // International Journal of Electrochemical Science. – 2022. – Vol. 17, No. 6. – DOI: 10.20964/2022.06.43.

# СИНТЕЗ СФЕРИЧЕСКИХ АЛЮМООКСИДНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОГО АЛЮМОГИДРОКСИДНОГО СЫРЬЯ

***Севастьянова А.Д.*, *Яковлев А.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии неорганических веществ*

*e-mail: avyakovlev96@yandex.ru*

# SYNTHESIS OF SPHERICAL ALUMINA SUPPORTS FROM DOMESTIC ALUMINOUS HYDROXIDE RAW MATERIALS

***Sevastyanova A.D.*, *Yakovlev A.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В современных нефтехимических процессах, в частности в каталитическом риформинге бензиновых фракций нефти или дегидрировании пропана, применяются катализаторы сферической формы на основе оксида алюминия [1]. Данные процессы реализуются в реакторах с движущимся слоем и системой непрерывной регенерации катализатора, что накладывает ограничения на выбор технологии и условий синтеза сферических носителей.

Разработка технологии их получения существенно осложняется выраженным дефицитом алюмогидроксидных связующих на внутреннем рынке России [2]. В сложившейся ситуации всё большее значение приобретает продукция Ишимбайского специализированного химического завода катализаторов («ИСХЗК»), являющегося одним из немногих действующих отечественных предприятий, поставляющих широкий ассортимент товарных марок ГОА‑сырья. Проведение синтеза и определение условий получения носителей катализаторов нефтехимических производств на основе данного сырья представляет высокий исследовательский интерес и имеет практическую значимость для решения задач импортозамещения.

В настоящей работе методом углеводородно-аммиачного формования был проведен синтез серии сферических носителей из сырья марки «ПБ-300» производства «ИСХЗК», обладающей высокой химической и фазовой чистотой. При варьировании величин пептизационного (ПЭК) и водного (ВЭК) эквивалентов суспензии были определены оптимальные рецептуры, отвечающие наибольшим показателям величин влагоемкости и механической прочности образцов. При использовании величины ПЭК = 0,11 г $HNO_3$/ г $A_2O_3$ и влажности 78% мас. был получен носитель, характеризующийся правильной сферической формой ($К_{сф}$ = 0,95), влагоёмкостью 0,65 $см^3$/г и механической прочностью 23,6 МПа.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой перспективности использования данного вида сырья в технологии жидкостного формования. Дальнейшая работа будет направлена на комплексное исследование параметров пористой структуры данного носителя (распределения пор и их размеров), а также на проведение синтеза биметаллического $Pt\text{-}Re/Al_2O_3$ катализатора риформинга на его основе.

**Литература:**

1. Марышев, В.Б., Красий, Б.В. Современные отечественные катализаторы риформинга / В.Б. Марышев, Б.В. Красий // Нефтехимия. – 2007. – Т. 47, № 4. – С. 286–297.

2. Фрейман, Л.Л. Рынок катализаторов нефтепереработки. Часть II. Производство / Л.Л. Фрейман // Вестник химической промышленности. – 2017. – № 4. – С. 18–24.

# ПОЛУЧЕНИЕ ДУРОЛА НА УСТАНОВКЕ АРН-2

***Чикунова Е.Н.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра ресурсосберегающих технологий*

*e-mail: eugeniatchikunova@yandex.ru*

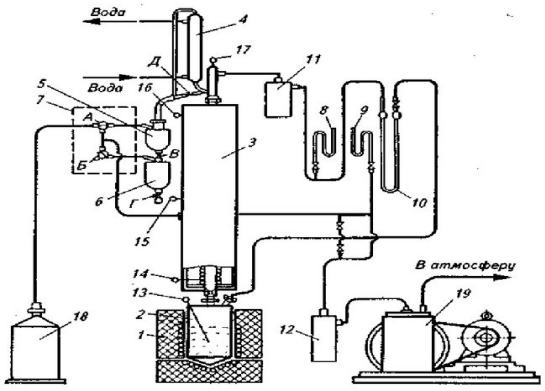
**PRODUCTION OF DURENE AT THE ARN-2 PLANT**

***Chikunova E.N.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Разделение дурола (1,2,4,5 тетраметилбензола) и изодурола (1,2,3,5 тетраметилбензола), сопутствующих в тяжёлых ароматических фракциях риформинга, затруднено близостью температур кипения, что требует дорогостоящих методов вместо традиционной ректификации.

Основным направлением использования дурола является синтез пиромеллитового диангидрида. Важнейшие области его применения - производства полиимсмол и отвердителей для эпоксидных смол, более мелкие - получение водорастворимыхкрасок, ингибиторов коррозии, модификаторов алкидных смол, термостойких смазочных материалов [1].




**1 – электронагревательная печь; 2 – куб; 3 – ректификационная колонна; 4 – конденсатор – холодильник; 5,6 – приемники дистиллята; 7 – манифольд; 8,9 – вакуумметры; 10 – дифманометр; 11, 12 – ловушки; 13-17 – термопары; 18 – буферная емкость; 19 – вакуум-насос; А, Б – трехходовые краны; В, Г, Д – двухходовые краны.**

**Рисунок – Схема установки АРН-2.**

Эксперимент по изучению разделения тяжелой углеводородной фракции от целевого продукта проводились на установке АРН-2 (см. рисунок). Была проведена атмосферная и вакуумная разгонка нефтепродуктов. В процессе разгонки необходимо корректировать значения скорости нагрева в соответствии с методикой нагрева. Постепенно проводился отбор пробы более легких фракций. По достижению температур кипения дурола и изодурола, отдельно отбирали данные продукты. Рассмотренная технология получения дурола и изодурола из фракции С10+ на установке АРН-2 показала высокую эффективность и практическую применимость. В последующем необходимо провести кристаллизацию, которая обеспечивает селективное выделение дурола без необходимости использования сложной ректификации.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (госзадание №123457-ВС).*

**Литература:**

1. Сулимов, А.Д. Производство ароматических углеводородов из нефтяного сырья. Москва: «Химия», 1975. – 304 с.

# НАНЕСЁННЫЕ НИКЕЛЬ-ЦЕРИЕВЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ВОДЯНОГО РИФОРМИНГА ГЛИЦЕРИНА, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ РАСТВОРНОГО ГОРЕНИЯ

***Чистякова А.Г.*, Омаров Ш.О., Матвеева А.Н.**

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра общей химической технологии и катализа*

*e-mail: xoraitop@mail.ru*

## SUPPORTED NICKEL-CERIUM CATALYSTS FOR GLYCEROL STEAM REFORMING, SYNTHESIZED BY SOLUTION COMBUSTION SYNTHESIS

***Chistyakova A.G.*, Omarov Sh.O., Matveyeva A.N.**

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Стремительное развитие производства биодизеля приводит к образованию значительного количества побочного продукта – глицерина, выход которого составляет около 10% от массы исходного сырья [1]. Одним из направлений его переработки является паровой или водяной риформинг с получением водорода. Ключевую роль в эффективности процесса водяной конверсии глицерина играют катализаторы. Никельсодержащие системы привлекают внимание исследователей благодаря высокой активности в реакциях расщепления C–C и C–H связей [2], а также невысокой стоимости по сравнению с благородными металлами. Введение оксида церия в систему позволяет повысить стабильность катализатора.

Известно, что метод синтеза определяет структуру и свойства катализаторов. В отличие от традиционной пропитки, не позволяющей совместить высокую загрузку и дисперсность, метод растворного горения обеспечивает одностадийное получение наноструктурированных материалов с равномерным распределением активного компонента. [3]. В данной работе проведено сравнительное исследование физико-химических свойств массивной и нанесённых на γ-$Al_2O_3$ Ni–Ce систем, полученных горением глицин-нитратного раствора, а также методом пропитки (см. таблица). Показано, что добавление носителя при синтезе горением обеспечивает более высокую дисперсность, уникальное взаимодействие металл–носитель и повышенную каталитическую активность по сравнению с методом пропитки.

**Таблица – Состав и удельная площадь поверхности исследуемых образцов.**

| № | Образец | Метод синтеза | NiO, мас. % | $CeO_2$, мас. % | $S_{уд.}$, $м^2/г$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | CeNi | Горение | 30,3 | 69,7 | 47 |
| 2 | CeNi/γ-$Al_2O_3$-Г | Горение | 15,1 | 34,9 | 128 |
| 3 | CeNi/γ-$Al_2O_3$-П | Пропитка | 15,1 | 34,9 | 132 |

**Литература:**

1. Khan S. A. et al. Valorization glycerol produced as a by-product in the biodiesel industry: an insight into technical and economic studies // Biorefinery of Industrial Effluents for a Sustainable Circular Economy. – Elsevier, 2025. – С. 307–316.

2. Lai Q. et al. Stable single-site organonickel catalyst preferentially hydrogenolyses branched polyolefin C–C bonds // Nature Chemistry. – 2025. – Т. 17. – №. 10. – С. 1488–1496.

3. Matveyeva A. N. et al. $CeO_2$-supported Ni and Co catalysts prepared by a solution combustion method for $H_2$ production from glycerol: the effect of fuel/oxidizer ratio and oxygen excess // Catalysis Science & Technology. – 2023. – Т. 13. – №. 18. – С. 5387–5406.

# СЕКЦИЯ 7.
# ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ



# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЙ УСЛОВИЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ДИСПЕРСНОСТЬ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

***Алексеев Ф.С.*, *Логинов С.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии неорганических веществ*

*e-mail: aleksway833@gmail.com*

# INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF HYDRODYNAMIC CAVITATION TREATMENT CONDITIONS ON THE DISPERSION OF CARBON MATERIALS

***Alekseyev F.S.*, *Loginov S.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Углерод технический П-803 (сажа) - низкодисперсный углеродистый материал, образующийся при неполном сгорании или пиролизе углеводородов [1]. Эффективность его применения в качестве армирующего наполнителя для резин напрямую зависит от дисперсности частиц, повышение которой обеспечивает более высокую прочность, износостойкость и долговечность изделий. Перспективным способом диспергирования частиц сажи является гидродинамическая кавитационная обработка. Этот метод воздействия на жидкости основан на образовании и схлопывании микропузырьков (кавитации) среды, что приводит к возникновению ударных волн и локальных перепадов температуры. Поиск оптимальных условий процесса кавитационного диспергирования материалов представляет, как научный, так и практический интерес.

Нами исследовалось влияние времени гидродинамической кавитационной обработки на дисперсность частиц технического углерода П-803. На рисунке представлены фотографии исследуемых частиц сажи до и после обработки, продолжавшейся 2,5 ч. Изображения получены с помощью оптического микроскопа.

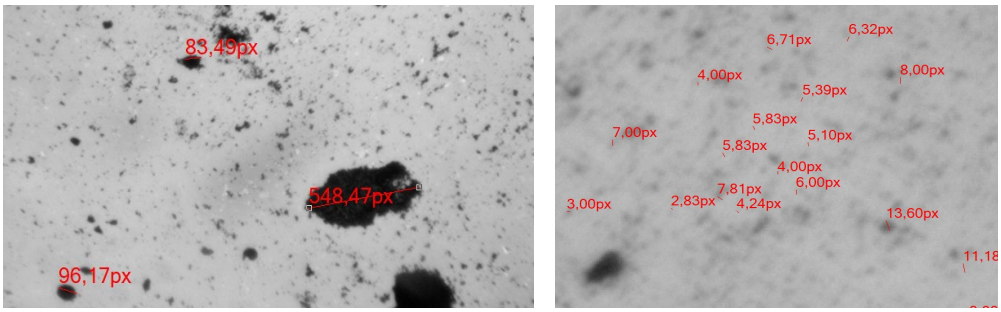



**Рисунок – Образец углеродного материала до кавитации (слева) и после (справа).**

Анализ снимков показал существенное увеличение дисперсности материала после кавитации: установлено, что средний размер частиц снизился с ~329 мкм до ~15 мкм. Таким образом подтверждена эффективность метода для диспергирования данного углеродного материала. Дальнейшие исследования направлены на изучение влияния таких ключевых параметров как давление, температура и геометрия кавитатора на степень диспергирования с оценкой экономической эффективности процесса.

**Литература:**

1. Шашок, Ж.С. Исследование влияния различных марок технического углерода на технические свойства резин / Ж.С. Шашок, Е.П. Усс, А.В. Касперович // Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2016. – №4. – С. 5–10.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ТЕМПЛАТА (КРАУН-ЭФИРА) НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЦЕОЛИТА RHO

***Андреева О.М., Бразовская Е.Ю.***

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра – Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова*

*e-mail: olandreeva23@gmail.com*

## STUDY OF THE EFFECT OF AN ORGANIC TEMPLATE (CROWN ETHER) ON THE STRUCTURAL FORMATION OF ZEOLITE RHO

***Andreeva O.M., Brazovskaya E.Yu.***

*NRC «Kurchatov Institute» – PNPI – IHC*

Синтез цеолита Rho выполнялся гидротермальным методом с использованием краун-эфира в качестве органического структурообразующего агента, а также без органического темплата для повышения экологичности и масштабируемости процесса. Дополнительно был реализован новый подход к синтезу цеолита Rho – метод паровой конверсии сухого геля (состав: $1.8Na_2O$-$0.3Cs_2O$-$Al_2O_3$-$10SiO_2$-0.5(18-C-6)). Установлено, что варьирование содержания $Na_2O$ и сокращение времени кристаллизации с 8 до 2 суток при 100°C позволяет получить однофазный образец цеолита Rho с размером частиц 400 нм.

**Таблица – Условия синтеза, структурные и пористо-текстурные характеристики цеолитов со структурой Rho.**

| № обр. | Химический состав, мас.% | | | | $SiO_2/Al_2O_3$ | $S_{уд}$*, $м^2/г$ | $V_{пор}$*, $см^3/г$ | Размер частиц, мкм |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Na_2O$ | $Cs_2O$ | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | | | | |
| 1 | 8,4±0,1 | 7,5±0,4 | 59,4±0,6 | 9,8±0,1 | 6,0 | 537 | 0,32 | 1,2±0,1 |
| 2 | 8,6±1,1 | 15,4±1,0 | 58,9±0,7 | 17,2±0,4 | 3,4 | 116 | 0,13 | 0,4±0,04 |
| 3 | 6,4±0,8 | 9,8±1,4 | 71,1±0,3 | 12,7±0,6 | 5,6 | 626 | 0,40 | 1,7±0,4 |

где 1 – образец, синтезированный гидротермальным методом, 2 – гидротермальным методом без структурообразующего агента, 3 – паровой конверсией сухого геля.

* – значение площади удельной поверхности и суммарного объема пор приведены для $H^+$-форм цеолита Rho

Синтез в отсутствии органического темплата привел к значительному снижению значения удельной поверхности (116 $м^2/г$), пористости (0,13 $см^3/г$) и силикатного модуля в сравнении с другими образцами. Это объясняется ключевой ролью органического структурообразующего агента в формировании пористой структуры: его отсутствие приводит к образованию более плотного и менее пористого материала. Кроме того, краун-эфир, обладая высокой комплексообразующей способностью, способен избирательно стабилизировать промежуточные кремнийсодержащие фрагменты в процессе кристаллизации, ограничивая включение алюминия в каркас и способствуя формированию более высокомодульной структуры.

Синтез цеолита Rho без органического темплата возможен, но критически зависит от точного подбора соотношения реагентов и времени кристаллизации. Несмотря на это, полученные образцы существенно уступают по пористости и селективности материалам, синтезированным с краун-эфирами. Более эффективным является метод паровой конверсии сухого геля: он ускоряет кристаллизацию в 4 раза и обеспечивает формирование однофазных высокопористых цеолитов с улучшенными сорбционными свойствами. Полученный таким способом цеолит Rho перспективен для создания мембран, предназначенных для селективного разделения газов и улавливания $CO_2$.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-79-00040, https://rscf.ru/project/24-79-00040/*

# ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕОЛИТНОГО СЛОЯ NAY НА ГЕОПОЛИМЕРНОЙ ПОДЛОЖКЕ ИЗ МЕТАКАОЛИНА ГИДРОТЕРМАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

***Андреева О.М.*, *Алексеев А.А.***

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра – Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова*

*e-mail: olandreeva23@gmail.com*

# FORMATION OF A NAY ZEOLITE LAYER ON A METAKAOLIN-BASED GEOPOLYMER SUPPORT BY THE HYDROTHERMAL METHOD

***Andreeva O.M.*, *Alekseev A.A.***

*NRC «Kurchatov Institute» – PNPI – IHC*

Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания гибридных материалов, сочетающих высокие селективные свойства цеолитов с механической прочностью геополимерных матриц. В работе представлен подход к формированию композитного материала «геополимер–цеолит» путем гидротермальной кристаллизации слоя NaY на пористой подложке из метакаолина.

Геополимерная подложка синтезировалась из метакаолина, полученного путем прокаливания каолина (750 °C, 2 ч.). Щелочная активация была проведена с использованием 10М раствора NaOH, также добавлено жидкое стекло в установленном процентном соотношении. Формирование пористой структуры инициировали введением $H_2O_2$ (3 % р-р) и ПАВ (Triton 1 % р-р). Формирование образцов осуществляли в течение 5 суток в эксикаторе с последующей сушкой при 60 °C в течение 2 суток. Синтез цеолитного слоя NaY выполнялся гидротермальным методом (75 °C, 24 ч), где в гель помещались образцы геополимера. После синтеза образцы были многократно промыты дистиллированной водой до нейтрального значения pH и высушены при 60 °C.

В результате синтеза на геополимерной подложке образовался слой цеолита NaY, крепко закрепленный на поверхности метакаолина. Методом рентгенофазового анализа подтверждена кристаллизация фазы цеолита NaY на фоне слабоокристаллизованной геополимерной матрицы. Методом сканирующей электронной микроскопии зафиксирована явная граница раздела между геополимерной подложкой и цеолитным слоем, что свидетельствует об адгезии покрытия. Анализ текстурных характеристик показал, что исходная геополимерная подложка обладает мезопористой структурой (изотерма комбинированного типа III/IV(a) с петлей гистерезиса H3), изотерма синтезированного цеолита NaY соответствует комбинации типов I(a) и IV(a) (петля H4), что подтверждает наличие микропор. Для композитного материала зафиксирована изотерма типа II/IV(a) с петлей гистерезиса H4, указывающая на формирование иерархической пористой системы, сочетающей микропоры цеолита и мезопоры подложки.

Таким образом, экспериментально доказана принципиальная возможность создания композитного материала «геополимер–цеолит» с адгезионным взаимодействием между слоями. Установлено, что гидротермальная обработка позволяет сформировать на поверхности геополимерной подложки кристаллический слой цеолита NaY с сохранением структурной целостности матрицы, что открывает возможность для создания нового типа мембран и адсорбентов.

В рамках дальнейшего исследования необходимо установить соотношение компонентов, позволяющее увеличить долю кристаллической фазы геополимерной подложки, соответствующую цеолитному типу фожазитов. Также необходима дальнейшая оптимизация параметров синтеза, включая состав геля, температурно-временные условия и подготовку поверхности подложки.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-19-00076, https://rscf.ru/project/25-19-00076/*

# ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ НА СВОЙСТВА АЛЮМОКАЛЬЦИЕВЫХ НОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПАРОВОЙ КОНВЕРСИИ МЕТАНА

***Богун А.Б.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра общей химической технологии и катализа*

*e-mail: boguna535@gmail.com*

## INFLUENCE OF THE RATIO OF COMPONENTS ON THE PROPERTIES OF ALUMINUM-CALCIUM CARRIERS FOR STEAM CONVERSION OF METHANE

***Bogun A.B.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Носители на основе оксида алюминия широко применяются в каталитических процессах переработки углеводородного сырья, в частности, в паровой конверсии метана. Введение добавок, таких как оксид кальция, позволяет направленно регулировать физико-химические свойства алюмооксидной матрицы, влияя на ее фазовый состав, текстуру и механическую прочность. Целью данной работы являлось изучение влияния различных CaO содержащих компонентов на свойства алюмокальциевых носителей.

Образцы носителей готовили из псевдобемита (Ишимбай) с добавлением соединений кальция. В качестве пептизатора использовали азотную кислоту, а связующего – воду. Компоненты тщательно перемешивали в ступке до получения пластичной массы, из которой формовали цилиндрические гранулы. Термическую обработку проводили ступенчато: сначала при 600 °C для удаления остаточной воды и оксидов азота, затем при 1400 °C для формирования целевых фаз.

**Таблица – Физические свойства образцов.**

| $P_{□}$, МПа | Δ, г/см$^3$ | VΣ,см3/г | Sуд, м2/г |
|---|---|---|---|
| Метод смешения Ca(OH)2 : 9 AlOOH | | | |
| 10,0 | 0,36 | 1,38 | 110 |
| Метод наслаивания Ca(NO3)2 : AlOOH | | | |
| 35,7 | 0,56 | 0,69 | 78 |
| Метод смешения 4CaCO3 : 9AlOOH | | | |
| 15 | 0,469 | 0,818 | 89 |
| Метод смешения Ca(NO3)2 : 9 AlOOH | | | |
| 11,1 | 0,398 | 1,05 | 101 |

В результате предварительных исследований (см. таблицу) установлено, что природа кальцийсодержащего компонента и способ его введения влияют на физические свойства алюмокальциевых носителей, однако работа находится на стадии развития, и для установления закономерностей требуются дополнительные эксперименты.

# ПОЛУЧЕНИЕ ФАЗЫ ХИББОНИТА ($CaAl_{12}O_{19}$) ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ И ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ

***Богун А.Б.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра общей химической технологии и катализа*

*e-mail: boguna535@gmail.com*

# OBTAINING THE HIBBONITE PHASE ($CaAl_{12}O_{19}$) BY THE SOL-GEL METHOD USING CITRIC ACID AND ETHYLENE GLYCOL

***Bogun A.B.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Фаза хиббонита ($CaAl_{12}O_{19}$) привлекает значительный интерес в качестве носителя для катализаторов паровой конверсии метана благодаря своей высокой термической стабильности и уникальной структуре. Катализатор на основе хиббонит-обогащенного носителя обеспечивает высокую активность и стабильность в жестких условиях эксплуатации.

Традиционный твердофазный синтез $CaAl_{12}O_{19}$ требует высоких температур обработки. Исследования показывают, что для получения хиббонита твердофазным методом необходима температура 1400-1600 °C в течение 4 часов. Это существенно ограничивает его практическое применение и увеличивает энергозатраты. Целью данной работы является анализ получения фазы хиббонита при пониженной температуре (1200 °C) с использованием золь-гель метода на основе лимонной кислоты и этиленгликоля.

Золь-гель метод с использованием лимонной кислоты и этиленгликоля (известный как метод Печини) позволяет достичь равномерного распределения компонентов на молекулярном уровне в полимерном прекурсоре. Лимонная кислота выступает в роли хелатирующего агента, связывая ионы металлов, а этиленгликоль участвует в реакции полиэтерификации, формируя полимерную сетку, которая удерживает катионы в гомогенно распределенном состоянии. Снижение температуры синтеза хиббонита подтверждается литературными данными. Цитируемая работа [1] демонстрирует, что использование цитратного прекурсора позволяет получить $CaAl_{12}O_{19}$, свободный от промежуточных фаз, уже при 1300 °C в течение 1 часа. Авторы объясняют это быстрой реакцией компонентов благодаря равномерному распределению катионов на атомарном уровне в цитратном прекурсоре, что происходит до завершения фазового перехода $\gamma\text{-}Al_2O_3 \rightarrow \alpha\text{-}Al_2O_3$.

На основе анализа литературных данных показано, что золь-гель метод с использованием лимонной кислоты и этиленгликоля (метод Печини) является перспективным подходом для получения фазы хиббонита $CaAl_{12}O_{19}$ при температуре 1200 °C, что на 300-400 °C ниже, чем при традиционном твердофазном синтезе.

**Литература:**

1. Cinibulk M.K. Effect of precursors and dopants on the synthesis and grain growth of calcium hexaluminate // Journal of the American Ceramic Society. – 1998. – Vol. 81, No. 12. – P. 3157-3168.

# ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ БЛЕСКООБРАЗУЮЩЕЙ ДОБАВКИ ZINCOSTAR НА СТРУКТУРУ ЦИНКОВОГО ПОКРЫТИЯ

***Грищук Е.М.*, *Печенкина Е.С.*, *Крутилин В.Е.*, *Лян Д.С***.
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии электрохимических производств*
*e-mail: lizagrisuk25985@gmail.com*

## STUDYING THE EFFECT OF THE ZINCOSTAR GLASSIFICATION ADDITIVE ON THE STRUCTURE OF A ZINC COATING

***Grishchuk E.M.*, *Pechenkina E.S.*, *Krutilin V.E.*, *Liang D.S***.
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В области гальванических покрытий цинкование имеет наибольшую востребованность. Цинк является анодным покрытием по отношению к железу, следовательно, он хорошо защищает сталь от коррозионных разрушений. Для хорошей защиты от коррозии покрытия должны быть мелкозернистыми, плотными и равномерными. Достижение указанных свойств обеспечивается оптимизацией технологического режима электроосаждения и введением в состав электролита эффективных поверхностно-активных веществ (ПАВ) [1, 2].

Целью данной работы являлось изучение влияния блескообразующих добавок ZINCOSTAR 3027 и ZINCOSTAR 3127 на структуру цинкового покрытия. Проведены исследования покрытий, электроосажденных из стандартного электролита цинкования состава согласно ГОСТ 9.305-84 «Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Операции технологических процессов получения покрытия», карта №30, состав №9 без ПАВ и с добавлением блескообразующей добавки, на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA3.

Установлено, что при добавлении блескообразующей добавки ZINCOSTAR структура цинкового покрытия становится мелкокристаллической и более плотной. Размер зерна уменьшился больше, чем в 20 раз в сравнении со стандартным матовым покрытием.

**Литература:**

1. Высоцкая, Н.А. Характеристика цинковых покрытий, полученных из кислого электролита с ПАВ / Н.А. Высоцкая, Б.Н. Кабылбекова, К.А. Бекжигитова [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2018. - №11. – С. 7-11.

2. Фазлутдинов, К.К. Механизм и технология гальванического цинкования. Структура и свойства гальванических процессов / К.К. Фазлутдинов. – Текст: электронный // НПП Электрохимия: интернет-портал. – URL: https://zctc.ru/sections/zinc (дата обращения: 03.03.2026).

# ФАЗООБРАЗОВАНИЕ В СИСТЕМЕ $Al_2O_3$-CaO ПРИ СИНТЕЗЕ ГРАНУЛИРОВАННЫХ НОСИТЕЛЕЙ

***Гущина М.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра общей химической технологии и катализа*

*e-mail: gushina03maria@gmail.com*

# PHASE FORMATION IN THE $Al_2O_3$-CaO SYSTEM DURING THE SYNTHESIS OF GRANULAR CARRIERS

***Gushchina M.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Высокоглиноземистые алюминаты кальция, в частности гроссит ($CaAl_4O_7$) и хибонит ($CaAl_{12}O_{19}$), являются перспективными носителями для никелевых катализаторов процесса паровой конверсии метана. Такие катализаторы обладают высокой термической стабильностью и устойчивы к закоксовыванию. Исследование закономерностей фазообразования при синтезе носителей на основе алюминатов кальция с использованием различных исходных соединений необходимо для направленного синтеза носителей с заданными свойствами и фазовым составом.

Для приготовления образцов использовался псевдобемит (ПБ) марок ИшХЗК200 (образцы № 1–4) и ИшХЗК300 (образцы № 5–7) и мелкодисперсный порошок $Ca(OH)_2$.

Носители синтезированы методом смешения порошков при мольном соотношении оксидов $Al_2O_3$:CaO от 5:1 до 7:1 с добавлением воды и азотной кислоты в качестве пептизирующего агента. Высушенные при 110 °C экструдаты прокаливали при температурах 1000 °C и 1200 °C в течение 3 часов.

Результаты рентгенофазового анализа образцов приведены в таблице. Фазовый состав прокалённых образцов зависит от удельной поверхности исходного ПБ, температуры прокаливания и соотношения оксидов в образцах. Поскольку оксид алюминия вводится в избытке, в составе всех образцов присутствует корунд $\alpha$-$Al_2O_3$. Дифрактограмма образца №1, прокаленного при температуре 1000 °C, показала наличие непрореагировавшего исходного оксида кальция CaO и промежуточной фазы $\delta$-$Al_2O_3$, что свидетельствует о неполноте твердофазного взаимодействия при данной температуре. Повышение температуры прокаливания интенсифицирует взаимодействие, однако при соотношении оксидов 5:1 в составе обнаруживаются фазы майенита $Ca_{12}Al_{14}O_{33}$ и моноалюмината кальция $CaAl_2O_4$, наличие которых нежелательно ввиду их возможной гидратации в ходе проведения каталитического процесса паровой конверсии метана. Увеличение доли оксида алюминия в составе позволяет минимизировать количество образующихся алюмокальциевых фаз.

Благодаря высокой удельной поверхности ПБ марки ИшХЗК300 ($S_{уд.}$ = 389 м$^2$/г) достигается более полное взаимодействие с оксидом кальция и при мольном соотношении 6:1 в составе присутствует только фаза гроссита ($CaAl_4O_7$).

**Таблица – Условия синтеза и фазовый состав образцов.**

| № | $Al_2O_3$:CaO | $T_{прокаливания}$, °C | Фазовый состав |
|---|---|---|---|
| 1 | 5:1 | 1000 | CaO, $CaAl_2O_4$, $CaAl_4O_7$, $\alpha$-$Al_2O_3$, $\delta$-$Al_2O_3$ |
| 2 | 5:1 | 1200 | $CaAl_2O_4$, $CaAl_4O_7$, $Ca_{12}Al_{14}O_{33}$, $\alpha$-$Al_2O_3$ |
| 3 | 6:1 | 1200 | $CaAl_2O_4$, $CaAl_4O_7$, $\alpha$-$Al_2O_3$ |
| 4 | 7:1 | 1200 | $CaAl_4O_7$, $\alpha$-$Al_2O_3$ |
| 5 | 5:1 | 1200 | $CaAl_2O_4$, $CaAl_4O_7$, $Ca_{12}Al_{14}O_{33}$, $\alpha$-$Al_2O_3$ |
| 6 | 6:1 | 1200 | $CaAl_4O_7$, $\alpha$-$Al_2O_3$ |
| 7 | 7:1 | 1200 | $CaAl_4O_7$, $\alpha$-$Al_2O_3$ |

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ХРОМА И ЦЕРИЯ В СОСТАВЕ МЕДЬ-ЦИНК СОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ

***Даниличева П.Д., Сафина Е.В., Александрова Ю.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра общей химической технологии и катализа*

*e-mail: dimkacats1@yandex.ru*

# EVALUAION OF THE EFFECT OF CHROMIUM AND CERIUM COMPOUNDS IN COPPER-ZINC CONTAINING CATALYSTS

***Danilicheva P.D., Safina E.V., Alexandrova J.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Паровая конверсия CO – один из ключевых химико-технологических процессов, применяемых в промышленности для получения водорода, производства аммиака, метанола, синтетического топлива и водорода. В состав многих промышленных катализаторов конверсии CO входят не только соединения меди, цинка, но и промоторы, среди которых соединения хрома (III и VI), повышающих класс опасности таких систем до II (высокого) или III (умеренно опасны).

В данной работе объектом исследования были катализаторы общей формулы $CuO + ZnO + MeO_x = 90$ и $Al_2O_3 = 10$ масс. % при CuO:ZnO = 1:1 без и с внесением промоторов церия и хрома из $Cr_2O_3$ и $Ce(NO_3)_3*6H_2O$ в количестве 1-3 масс.%. Порошки ZnO, $CuCO_3*Cu(OH)_2$ смешивали с промышленным псевдобемитом ($Al_2O_3$), водой и промотирующим предшественником до получения формовочной пасты, полученные с помощью плунжерного экструдера гранулы сушили (3 ч., 120 ºС) и прокаливали (3 ч., 450 ºС). Структурно-прочностные свойства определяли: механическую прочность по торцу/образующей ($P_т$ /$P_{об}$, МПа) – на приборе МП-2С из объема выборки 10 шт., удельную поверхность ($S_{уд}$,$м^2$/г) – хроматографическим методом по тепловой десорбции $N_2$, суммарный объем пор ($V_Σ$, $см^3$/г) – по пикнометрической жидкости (воде), каталитическую активность - на примере модельной реакции окисления CO кислородом воздуха по Т зажигания (Тз) и величинам 50 % и 100 % степени превращения ($X_{CO}$).

Не смотря на широкое применение в катализаторах паровой конверсии соединений хрома, последовательное внесение в безхромовую систему NTK-4 $Cr_2O_3$ = 1 масс.% (образец NTK-4-Cr-1) ведет к понижению $P_т$ /$P_{об}$, одновременное введение $Cr_2O_3$ и $CeO_2$ не значительно улучшает $P_т$ (2,3→2,9 МПа), при этом введение 1 и 3 масс.% $CeO_2$ значительно улучшает прочностные параметры по сравнению с хромовыми системами и сказывается на значениях активности – снижая Т зажигания и величину 100 % конверсии.

**Таблица – Структурно-прочностные и каталитические свойства образцов.**

| Образец | $P_т$ /$P_{об}$, МПа | $S_{уд}$, $м^2$/г | Тз, $T_{50\%}$, $T_{100\%}$, ºС (CO →$CO_2$) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| NTK-4 | 3,8/ 1,2 | 99 | 130 | 160 | 195 |
| $Cr_2O_3$– 1 | 2,3/ 1,2 | 50 | - | - | - |
| $Cr_2O_3$– 1, $CeO_2$ -1 | 2,9/ 0,9 | 55 | 130 | 160 | 195 |
| $CeO_2$ – 1 | 3,3/ 1,4 | 49 | 120 | 160 | 189 |
| $CeO_2$ – 3 | 3,4/ 1,2 | 44 | 126 | 150 | 185 |

Таким образом, внесение в состав $CeO_2$ = 1 масс.% ведет к формированию каталитически активного катализатора, обладающего достаточной механической прочностью при некотором снижении $S_{уд}$ с 99 до 49 $м^2$/г, по сравнению с непромотированным. Кроме того, замена соединений хрома на $CeO_2$ является предпочтительней не только с технологической, но и с экологической точки зрения, поскольку позволяет снизить класс опасности катализатора и уменьшить экономические затраты при его утилизации.

# ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДЫ ИСХОДНЫХ ГИДРОКСИДОВ И ОКСИДОВ АЛЮМИНИЯ НА ПРОЦЕСС ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ГИДРОКСИДОМ КАЛЬЦИЯ В ЖИДКОЙ СРЕДЕ

***Загузова Е.Е.*, *Пахомов Н.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра общей химической технологии и катализа*

*e-mail: zaguzova.k@mail.ru*

# STUDY OF THE INFLUENCE OF THE NATURE OF THE INITIAL ALUMINIUM HYDROXIDES AND OXIDES ON THE PROCESS OF INTERACTION WITH CALCIUM HYDROXIDE IN A LIQUID MEDIUM

***Zaguzova E.E.*, *Pakhomov N.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Алюминаты кальция представляют собой важный класс неорганических соединений кальция и алюминия, характеризуются высокой термической и химической стабильностью. В зависимости от мольного соотношения $CaO:Al_2O_3$, широкое применение получили следующие фазы: $CaAl_2O_4$ (CA, моноалюминат кальция); $CaAl_4O_7$ (CA2, гроссит); $Ca_3Al_2O_6$ (C3A, трикальцийалюминат); $Ca_{12}Al_{14}O_{33}$ (C12A7, майенит); $CaAl_{12}O_{19}$ (CA6, хибонит) [1].

В настоящее время существуют различные технологические подходы к синтезу алюминатов кальция. Основной интерес исследователей направлен на поиск условий синтеза алюминатов кальция при более низких температурах прокаливания. Одним из подходов может заключаться в осуществлении взаимодействия компонентов на стадии смешения их в жидкой фазе. Однако, в литературных источниках широко не освящается вопрос влияния природы различных гидроксидов и оксидов алюминия на процесс взаимодействия с гидроксидом кальция в жидкой фазе и влияния глубины этого взаимодействия на процесс формирования фазового состава при прокаливании.

В настоящей работе объектами исследования были промышленные образцы псевдобемита, гиббсита, продуктов термоактивации гиббсита (ТХА), и синтезированные хи-фаза и аморфная фаза оксида алюминия. Порошки исходных компонентов, взятые в мольном соотношении в пересчёте на оксиды 1:1, помещались в реактор с дистиллированной водой и выдерживались при перемешивании при комнатной температуре в течение 6 часов. Каждая из проб, отобранная через равные промежутки времени, подвергалась центрифугированию. Твёрдая фаза высушивалась, затем проводилось параллельное прокаливание при трех различных температурах (500 °C, 700 °C, 900 °C). Высушенные и прокаленные образцы исследовали методом рентгенофазового анализа.

Были идентифицированы различные фазы гидроксоалюминатов кальция и составлен ряд реакционной способности исходного алюмосодержащего сырья. В рамках работы была показана принципиальная возможность получения алюминатов кальция при сравнительно низких температурах (500 – 900 °C) с использованием жидкофазного метода; установлено, что глубина взаимодействия при смешении в жидкой фазе и природа образующихся гидроксоалюминатов кальция оказывает значительное влияние на фазовый состав продуктов при термической обработке. Показано, что наиболее выраженное формирование майенита наблюдается при взаимодействии $Ca(OH)_2$ с аморфным оксидом алюминия и продуктами термоактивации гиббсита.

**Литература:**

1. Якерсон, В.И. Катализаторы и цементы / В.И. Якерсон, Е.З. Голосман. – Москва: Химия, 1992 – 256 с.

# ПРОМОТИРУЮЩИЕ ДОБАВКИ ВАНАДИЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ОКИСЛЕНИЯ ДИОКСИДА СЕРЫ

***Ижукова Ю.С.*, *Лаврищева С.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра общей химической технологии и катализа*

*e-mail: yuliaizhukova@yandex.ru*

## ADDITIVES FOR VANADIUM CATALYSTS TO OXIDIZE SULFUR DIOXIDE

***Izhukova Y.S.*, *Lavrishcheva C.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Для повышения активности и термической стабильности ванадиевых катализаторов окисления $SO_2$ используются промотирующие добавки. Промоторы выполняют несколько функций: участвуют в формировании активной фазы (поливанадатов), снижают температуру плавления и вязкость расплава активного компонента, стабилизируют пятивалентную форму ванадия и препятствуют образованию неактивных фаз. Наиболее распространены соединения щелочных металлов [1]. Активность катализаторов возрастает с увеличением атомного номера щелочного металла: K, Rb и Cs эффективнее, чем Na и Li, которые склонны к образованию неактивных кислородных бронз. В ряду от K к Cs стабилизация активной фазы усиливается, что понижает температуру образования эвтектики и вязкость расплава, улучшая распределение активного компонента [2]. Также в состав катализаторов вводят следующие соединения: $H_3PO_4$, $B_2O_3$, $MoO_3$, $WO_3$, $MnO_2$. $H_3PO_4$ снижает температуру зажигания на 20-30 °C за счет образования гетерополикислот, как и $B_2O_3$, однако может уменьшать удельную поверхность. $MoO_3$ повышает активность $V_2O_5$, образуя ванадико-молибдаты, в которых ванадий стабилизирован в пятивалентной форме. Такое же действие может оказывать и $WO_3$ [2]. $MnO_2$ увеличивает дисперсность $V_2O_5$, повышает окислительно-восстановительный потенциал расплава, способствуя регенерации $V^{5+}$ [3]. Перспективным направлением является использование неодима для низкотемпературной активации, однако в настоящее время наиболее эффективными промоторами остаются калиевые и цезиевые [1].

**Литература:**

1. Patent № US 20110250124 A1, Int. C01B 17/79; B01J 37/04; B01J 37/02; B01J 27/055. Catalyst for the oxidation of $SO_2$ to $SO_3$ : field 12.04.2010 : posted by 13.10.2011 / Kramer M., Schubert M., Lautensack T., Hill T., Korner R., Rosowski F., Zuhlke J.; assignee BASF SE, Ludwigshafen. - 7 p.

2. Илларионов, В.В. Ванадиевые сернокислотные катализаторы / В.В. Илларионов // Ванадиевые катализаторы для контактного производства серной кислоты: сборник статей. - Москва: Госхимиздат, 1963. - С. 176.

3. Simecek, A. The Addition Effect of Sodium Oxide and Manganese Dioxide on the Activity of a Vanadium Catalyst for Sulfur Dioxide Oxidation / A. Simecek // Journal of catalysis. - 1970. - V. 18. - P. 83-89.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА МАГНЕЗИАЛЬНО-СИЛИКАТНОЙ ТОРКРЕТ-МАССЫ И ЕЁ СТРУКТУРЫ КАК ПЕРСПЕКТИВНОГО МАТЕРИАЛА РАБОЧЕГО СЛОЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША

***Качалов С.И.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов*

*e-mail: semjon-kachalov@mail.ru*

# RESEARCH OF THE COMPOSITION OF MAGNESIA-SILICATE TORCRET-MASS AND ITS STRUCTURE AS A PROMISING MATERIAL FOR THE WORKING LAYER OF THE TUNDISH

***Kachalov S.I.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Магнезиальные торкрет-массы на основе периклаза (MgO) являются одним из наиболее востребованных огнеупорных материалов для футеровки рабочего слоя промежуточного ковша машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Они обеспечивают высокую огнеупорность (свыше 1580 °C), отличную химическую стойкость к агрессивному воздействию расплава стали и шлаков, а также достаточную механическую прочность при циклических термических и эрозионных нагрузках. Длительный контакт с жидким металлом (до 20–25 часов), интенсивный тепловой поток и коррозионные процессы приводят к постепенному разрушению футеровки, что делает актуальным поиск путей повышения её стойкости путём оптимизации состава и структуры материала.

Цель исследования заключалась в изучении влияния различных модифицирующих добавок на технологические и эксплуатационные свойства магнезиально-силикатной торкрет-массы, предназначенной для формирования рабочего слоя промежуточного ковша.

В ходе работы было приготовлено и всесторонне исследовано 8 экспериментальных составов на базе типовой магнезиальной рецептуры. Введение модификаторов осуществлялось с целью улучшения пластичности, адгезии, снижения усадки и повышения прочностных характеристик после высокотемпературной обработки. Образцы формовали в виде кубов, подвергали сушке и обжигу при температуре, моделирующей условия эксплуатации. Определялись водопотребность (по показателю растекаемости), открытая пористость, предел прочности при сжатии после обжига, линейная усадка, а также выполнялся комплекс дополнительных анализов для оценки структурных изменений и фазового состава.

Полученные результаты свидетельствуют, что все 8 экспериментальных образцов удовлетворяют основным требованиям, предъявляемым к магнезиальным торкрет-массам промышленного назначения. Предел прочности при сжатии после обжига достиг значений до 43 МПа, линейная усадка не превышала 3 %. Оптимальные значения пористости и водопотребности способствовали формированию благоприятной структуры, обеспечивающей высокую адгезию к подложке, минимальный отскок материала при торкретировании и отсутствие сползания нанесённого слоя. Наиболее заметное положительное влияние на совокупность свойств оказали определённые комбинации модифицирующих добавок, которые одновременно улучшили прочность, пластичность и снизили усадочные деформации. Статистическая обработка экспериментальных данных подтвердила достоверное и значимое улучшение ключевых эксплуатационных характеристик за счёт целенаправленного подбора модификаторов.

Таким образом, разработанные составы магнезиально-силикатной торкрет-массы с оптимизированной структурой и повышенными механическими показателями представляют практический интерес для металлургической промышленности.

# ВОПРОСЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЛОЧНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НОСИТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ПРЕССОВАНИЯ

***Малахова К.А.*, *Беляков Н.А.*, *Копылова О.И.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра общей химической технологии и катализа*

*e-mail: masha-aldoshina@mail.ru*

**ISSUES OF MANUFACTURING BLOCK METAL CARRIERS BY PRESSING METHOD**

***Malakhova K.A.*, *Belyakov N.A.*, *Kopylova O.I.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В технологии очистки газовых выбросов от целого ряда соединений широко применяются гранулированные катализаторы. Последние имеют ряд недостатков: неполное использование объёма, повышенное гидравлическое сопротивление, высокий температурный градиент. В качестве альтернативы рассматривается использование отходов металлообработки для получения катализаторов на основе высокопроницаемых ячеистых носителей.

В качестве исходного материала для формирования блочных носителей выбрана металлическая стружка из стали 12Х18Н10Т в виде колец диаметром (2,22 ± 0,03) см. Навеска массой (8,20 ± 0,05) г прессуется на гидравлическом прессе ПГПР в течение двух минут под давлением (50 ÷ 90) кгс/см$^2$. Получена зависимость кажущейся плотности от давления прессования (см. рисунок), по значению которой оцениваются характеристики формируемых блоков.

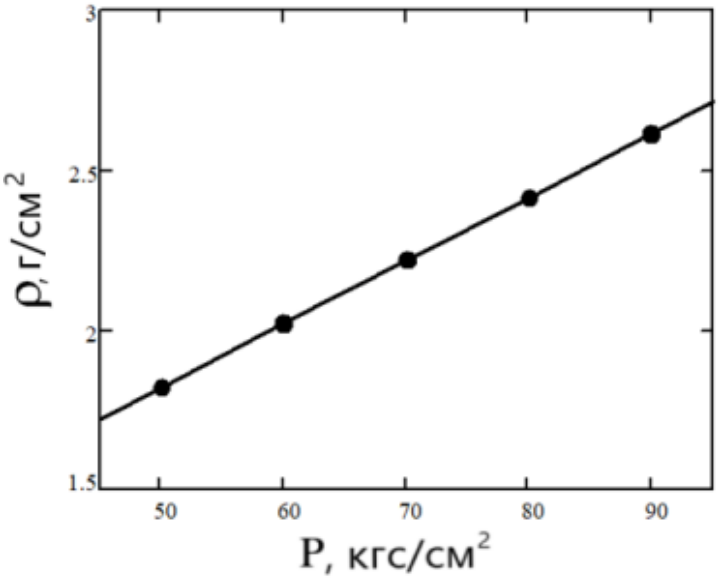



**Рисунок — Зависимость кажущейся плотности от давления прессования.**

Полученные изделия предназначены для нанесения вторичных носителей – например, оксидов кремния и алюминия – и разносоставных тонкослойных каталитических покрытий, применяемых в процессах окисления диоксида серы, монооксида углерода, углеводородов, а также восстановления окислов азота.

Варьирование давления прессования позволяет привести получаемые изделия к соответствию выставляемым им требованиям, оптимизируя газодинамическое сопротивление и формируемую структуру блоков, толщину каталитического слоя и соотношение массы активного компонента к массе изделия.

# КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ АКТИВНОЙ МОДИФИКАЦИИ ГЛИНОЗЕМА

***Маркова А.И.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов*

*e-mail: markovasasha357@gmail.com*

## COMPOSITE BINDERS BASED ON ACTIVE ALUMINA MODIFICATION

***Markova A.I.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Огнеупорные бетоны – это вид композиционных технических материалов, которые по своим физико-химическим свойствам являются огнеупорами, но по методам изготовления и способам применения могут относиться к бетонам [1]. Важной тенденцией в области применения неформованных огнеупоров остается рост доли низко- и сверхнизкоцементных, а также бесцементных (БЦОБ) огнеупорных бетонов, так как содержание CaO свыше 2,5 % в глиноземистых огнеупорных бетонах приводит к снижению их коррозионной стойкости и огнеупорности. Актуальность исследований в данной области связана с тем, что снижение содержания глиноземистого цемента в данных огнеупорах, в том числе замещение его на альтернативные компоненты, является эффективным способом улучшения их эксплуатационных характеристик. Одним из ультрадисперсных порошков, используемых для модификации огнеупорных бетонов, является продукт дегидратации гидроокиси алюминия, обладающий гидравлической активностью, повышенной активностью при повышенных температурах, а также в щелочной среде.

На настоящий момент, в ходе экспериментальной части исследования были изготовлены три опытных вида активированного глинозема, отличающиеся температурой активации – 600, 700 и 800 °C, синтезированы образцы с использованием изготовленного активированного глинозема, высокоглиноземистого цемента, реактивного глинозема, исследованы усадка и предел прочности образцов. Отмечено улучшение показателей для состава, содержащего 50 % высокоглиноземистого цемента и 50 % молотого активированного глинозема, в сравнении с образцами из чистого активированного глинозема и образцами, изготовленными с использованием немолотого активированного глинозема. Сделан вывод о том, что замещение высокоглиноземистого цемента реактивным глиноземом сильно ухудшило физико-механические показатели образцов.

В дальнейшем планируется изготовление огнеупорных композиционных вяжущих варьирующихся составов, а также исследование влияния условий помола активированного глинозема, используемого при их изготовлении. Будут сделаны выводы о возможности и практической выгоде замещения высокоглиноземистого цемента активной модификацией глинозема.

**Литература:**

1. Огнеупорные бетоны / Замятин С.Р., Пургин А.К., Хорошавин Л.Б. [и др.]. – Москва: Металлургия, 1982. – 192 с.

# СРАВНЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАТАЛИЗАТОРОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ НА ОСНОВЕ ЦЕОЛИТОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ МЕДЬЮ

***Миронова И.Ю.*, *Чернышова К.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра общей химической технологии и катализа*

*e-mail: mirina811@yandex.ru*

# COMPARISON OF THE STRUCTURAL PARAMETERS OF CATALYSTS SYNTHESIZED ON COPPER-MODIFIED ZEOLITES

***Mironova I.Yu.*, *Chernyshova K.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Разработка катализаторов на основе цеолитов является актуальной задачей на сегодняшний день. Данный тип катализаторов активно используется для очистки отходящих газов, риформинга нефтяного сырья, получения углеводородов, алкилирования ароматических соединений. Модификация катализаторов на основе цеолитов различными добавками открывает дополнительные возможности для управления их свойствами в зависимости от исходных задач.

В ходе работы было приготовлено и изучено три образца на основе цеолитов типа пентасила и фожазита, модифицированных ионами меди с целью улучшения их кислотно-основных характеристик и усиления окислительно-восстановительной активности. Промотирующая добавка была внесена в образцы методом ионного обмена. Наличие добавки в виде ионов меди оказывает влияние на каталитические свойства готового катализатора, такие как селективность и активность, а также снижает температуру начала реакции, повышает устойчивость и стабильность готового катализатора [1].

С помощью метода мокрого смешения получено три суспензии. После их концентрирования подсушкой при 20–40 °С были сформованы образцы гранул катализатора путем экструзии. Затем гранулы подверглись термообработке при 140 °С. Основные характеристики гранул по результатам исследования приведены в таблице ниже. Исследование позволяет сделать вывод о влиянии различной структуры цеолитов, входящих в состав суспензий, на основные структурно-прочностные свойства готовых катализаторов.

**Таблица −Результаты исследования структурных параметров образцов катализаторов.**

| Характеристика | Образец №1 | Образец №2 | Образец №3 |
|---|---|---|---|
| Механическая прочность, Ро, МПа | 5,2 | 15,5 | 2,6 |
| Удельная поверхность по БЭТ, $S_{уд.}$, $м^2/г$ | 571 | 554 | 544 |
| Суммарный объем пор, $V_\Sigma$, $см^3/г$ | 0,82 | 1,18 | 0,71 |
| Кажущаяся плотность, δ, $г/см^3$ | 0,71 | 0,98 | 0,72 |

**Литература:**

1. Кузнецова Л.И. Цеолитные катализаторы в нефтепереработке / Л.И. Кузнецова, В.Н. Панченко.− Москва: ООО «Техномира», 2004.− 216 с.

# ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРНО-ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРУНДА КАК НОСИТЕЛЯ КАТАЛИЗАТОРА ПАРОВОЙ КОНВЕРСИИ МЕТАНА

***Потапова К.К.*, *Пахомов Н.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра общей химической технологии и катализа,*
*e-mail: kpotapova020204@yandex.ru*

# INFLUENCE OF FORMATION CONDITIONS ON THE STRUCTURAL AND STRENGTH CHARACTERISTICS OF CORUNDUM AS A CARRIER CATALYST FOR STEAM METHANE REFORMING

***Potapova K.K.*, *Pakhomov N.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Корунд ($\alpha$-$Al_2O_3$) – наиболее термодинамически стабильная фаза оксида алюминия, применяемая в катализе благодаря исключительной термической и химической стойкости. В процессах паровой конверсии метана (ПКМ), где используются высокие температуры (700–1100 °C) и агрессивные среды ($H_2O$, CO, $H_2$), $\alpha$-$Al_2O_3$ служит идеальным носителем для активных металлов (Ni, Co, Fe) [1].

Целью настоящей работы является определение оптимальных условий формирования корунда из отечественного сырья – псевдобемита, производимого на Ишимбайском специализированном химическом заводе катализаторов (ИСХЗК) двух марок ПБ200 и ПБ300. Образцы готовили путем смешения порошка псевдобемита, раствора азотной кислоты и дистиллированной воды. Полученную смесь формовали и термообрабатывали (сушка – 120 °C 4 ч.; прокаливание – 1200-1250 3 ч.). Механическую прочность образцов (P, МПа) определяли на приборе Vinci-Technologies, удельную поверхность - одноточечным методом тепловой десорбции азота ($S_{уд}$ $м^2/г$) и на приборе AUTOSORB 6 ISA программным обеспечением по многоточечному БЭТ ($S_{БЭТ}$, $м^2/г$), суммарный объем пор – по пикнометрической жидкости (воде) ($V_{\sum влаг}$, $см^3/г$) и на приборе AUTOSORB 6 ISA ($V_{\sum сорб}$, $см^3/г$), суммарный объем и диаметр пор ($D_{пор}$, нм) определяли по методу BJH по десорбционной кривой, рентгенофазовый анализ проводили на дифрактометре XRD-6100 фирмы «Shimadzu».

**Таблица – Текстурно-прочностные свойства образцов.**

| Образец | Состав | $T_{обр}$, °C | P, МПа | $D_{пор}$, нм | $S_{БЭТ}$, $м^2/г$ | $S_{уд}$, $м^2/г$ | $V_{\sum влаг}$, $см^3/г$ | $V_{\sum сорб}$, $см^3/г$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Н1 | ПБ200 | 1200 | 15,6 | - | - | 15,1 | 0,32 | - |
| Н2 | ПБ200 | 1250 | 13,5 | 76 | 14,5 | 11,8 | 0,35 | 0,3 |
| Н4 | ПБ300 | 1200 | 30,3 | 71 | 14,6 | 12,1 | 0,4 | 0,28 |
| Н5 | ПБ300 | 1250 | 11,6 | - | - | 12,3 | 0,35 | - |

Рентгенофазовый анализ подтвердил наличие $\alpha$-$Al_2O_3$ во всех образцах, однако в образце Н1 обнаружено присутствие $\theta$-$Al_2O_3$. На основе носителей Н2 и Н4 приготовлены катализаторы паровой конверсии метана, проведено сравнение их каталитической активности с промышленным образцом Reformax 210 LDP. Катализатор на носителе Н2 показал более высокую активность, тогда как образец на Н4 показал значительно более низкие результаты. Для получения эффективных катализаторов в качестве исходного сырья рекомендуется использовать псевдобемит ПБ200.

**Литература:**

1. Marturano, M. $\alpha$-$Al_2O_3$ Catalyst supports for synthesis gas production: influence of different alumina bonding agents on support and catalyst properties / M. Marturano, E.F. Aglietti, O. Ferretti // Materials Chemistry and Physics — 1997. —V. 47 — P. 252-256.

# ВЛИЯНИЕ ЭТАПА МЕХАНИЧЕСКОГО АКТИВИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРНО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА Cu-Zn-СОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ

***Сафина Е.В.**, Александрова Ю.В.*

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра общей химической технологии и катализа*

*e-mail: safinaelena486@gmail.com*

# INFLUENCE OF THE MECHANICAL ACTIVATION STAGE ON THE STRUCTURAL AND STRENGTH PROPERTIES OF Cu-Zn-CONTAINING CATALYSTS

***Safina E.V.**, Alexandrova J.V.*

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Фракционный состав исходных порошков является ключевым фактором, определяющим эксплуатационные характеристики катализаторов. Неоптимальная дисперсность приводит к снижению механической прочности гранул и развитию диффузионных торможений, затрудняющих доступ реагентов к активным центрам. В связи с этим контроль гранулометрического состава шихты – важный инструмент оптимизации эксплуатационных показателей готового катализатора.

Образцы NTK-1 и NTK-1-30 (состав $CuO:ZnO:Al_2O_3$ = 40:40:20 масс.%). готовили смешением ZnO, $CuCO_3*Cu(OH)_2$ и промышленного псевдобемита ($Al_2O_3$) с добавлением воды до получения формовочной пасты. Для оценки влияния фракционного состава на эксплуатационные свойства образца NTK-1 перед смешением проводили этап механического активирования **МХА** в ножевой мельнице в течение 30 с. Формование осуществляли на плунжерном экструдере с последующей термообработкой гранул: сушка (3 ч, 120 °С), прокаливание (3 ч 450 °С). Структурно-прочностные свойства образцов определяли: механическую прочность по торцу/ образующей ($P_т$ / $P_{об}$, МПа) – на приборе МП-2С из объема выборки 10 шт., удельную поверхность ($S_{уд}$, $м^2/г$) – хроматографическим методом по тепловой десорбции $N_2$, суммарный объем пор ($V_Σ$, $см^3/г$) – по пикнометрической жидкости (воде).

Гранулометрический состав порошков контролировали методом лазерной дифракции на анализаторе SALD-2300 (Shimadzu) с ультразвуковой дезагрегацией проб. Выбор времени **МХА** (30 с) в NTK-1-30 обусловлен результатами кинетики измельчения исходных порошков: при данной длительности медианный диаметр частиц снижается с 41,2 мкм (для образца NTK-1 без активации) до 13,9 мкм в NTK-1-30, а доля фракции 0,4–4 мкм возрастает до 20 об.% соответственно. Дальнейшее увеличение времени **МХА** до 50 с. не приводит к значимому изменению этих параметров.

**Таблица – Структурно-прочностные свойства образцов.**

| Образец | Условия | $S_{уд}$, $м^2/г$ | $P_т/P_{об}$, МПа | Δ, $г/см^3$ | $V_{\sum}$, $см^3/г$ |
|---|---|---|---|---|---|
| NTK-1 | без активации | 82,3 | 5,1 / 2,0 | 0,9 | 0,4 |
| NTK-1-30 | 30 с. активации | 84,0 | 5,3 /2,2 | 0,8 | 0,5 |

Таким образом, **МХА** в течение 30 с привело к увеличению $P_т/P_{об}$ на 4 % и 10 % соответственно, незначительному снижению насыпной плотности Δ (с 0,9 до 0,8 $г/см^3$), что привело к характерному росту $V_{\sum}$ на 25 %. Положительный эффект обусловлен повышением дисперсности шихты: разрушение крупных агломератов и рост доли мелких частиц обеспечивают более плотную и однородную упаковку при формовании, увеличивая число контактов между частицами и формируя развитую систему транспортных пор. На следующем этапе планируется оценить каталитическую активность полученных образцов в модельной реакции окисления CO в проточном реакторе при атмосферном давлении в интервале температур 50–300 °С с определением температур зажигания ($T_з$) и 100 %-ного превращения ($T_{100}$ %).

# ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ $LiCoPO_4$ ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СУПЕРФЛЮИДНОГО СИНТЕЗА

***Силиверстов А.А., Полякова Л.С., Трофимец Д.А., Агафонов Д.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии электрохимических производств*

*e-mail: siliverstov04@mail.ru*

# ELECTROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF $LiCoPO_4$ PRODUCED BY SUPERFLUID SYNTHESIS

***Siliverstov A.A., Polyakova L.S., Trofimets D.A., Agafonov D.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Литий-кобальт-фосфат $LiCoPO_4$ является перспективным катодным материалом для литий-ионных аккумуляторов (ЛИА), обладающим диапазоном рабочих потенциалов выше, чем у большинства известных катодных материалов (3-5,1 В) и теоретической емкостью 166 мАч/г [1].

Известны различные способы синтеза $LiCoPO_4$: твердофазный метод, золь-гель метод, гидротермальный синтез и т.д. Однако все эти методы являются многостадийными и требующими значительных затрат времени и энергоресурсов.

В то же время применение метода суперфлюидного синтеза позволяет многократно сократить продолжительность синтеза и получать при этом наноразмерный продукт, что необходимо для создания катодов с развитой поверхностью.

Синтез проводился в непроточном реакторе с рабочим объемом 1000 мл. Водные растворы карбоната лития и ацетата кобальта (II) в молярном соотношении 1:1 и фосфорную кислоту, взятую с 5 %-ым избытком, заливали в реактор. В качестве восстановителя вводился избыток гидразин гидрата в количествах 5 и 10 мл. Объем жидкости в реакторе доводился до 400 мл. Рабочая температура составляла 400 °С, а время синтеза 20 минут.

Для исследования электрохимических характеристик синтезированных образцов $LiCoPO_4$ были собраны макеты на основе серийных корпусов CR2032 с литиевым противоэлектродом. Гальваностатическое циклирование проводилось в диапазоне потенциалов 3-4,9 (В) током 0,2С.

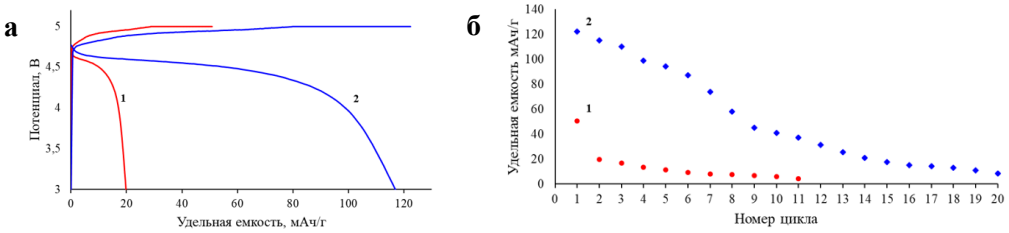



**Рисунок – Электрохимические характеристики образцов $LiCoPO_4$.**
**а – зарядно-разрядные кривые; б – циклическая стабильность**
**1 – 5 мл гидразин гидрата; 2 – 10 мл гидразин гидрата**

Образец 1 показал удельную емкость 59 мАч/г с обратимостью 39 % на первом цикле, а образец 2 – 122 мАч/г с обратимостью 94 % (рисунок а). В случае $LiCoPO_4$-1 потеря емкости к 11 циклу составила 91 %, тогда как емкость $LiCoPO_4$-2 уменьшилась на 94 % к 20 циклу (рисунок б).

**Литература:**

1. Neef, C. Morphology-controlled two-step synthesis and electrochemical studies on hierarchically structured $LiCoPO_4$/ C. Neef, H.P. Meyer, R. Klingeler// Solid State Sciences. – 2015. – V. 48. – P. 270-277.

# ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗОСТАТИЧЕСКОГО ПРЕССОВАНИЯ НА ДЕФЕКТНОСТЬ КЕРАМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРНЫХ ЗАГОТОВОК

***Сулим Ю.С.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов*

*e-mail: iuliasulim@yandex.ru*

# DEPENDENCE OF CERAMIC CAPACITOR BLANKS DEFECTIVENESS ON ISOSTATIC PRESSING PARAMETERS

***Sulim. J.S.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Изостатическое прессование является важным этапом в технологии изготовления многослойных керамических конденсаторов. Этот метод обеспечивает всестороннее равномерное давление на сырую заготовку, сформированную из чередующихся слоёв керамической ленты и внутренних электродов. Основная задача изостатического прессования – создание однородной по плотности структуры с минимальными внутренними напряжениями, что определяет её целостность в ходе последующего высокотемпературного обжига (спекания).

Целью данной работы является исследование влияния времени прессования и давления на образование трещин и расслоений в керамических заготовках при обжиге.

В качестве основного сырья использовали $BaTiO_3$ с добавками $Nb_2O_5$, $Co_2O_3$, $Nd_2O_3$, $Mn_3O_4$ и $2ZnO \cdot 3B_2O_3 \cdot 3{,}5H_2O$. Шликер изготовливали смешиванием керамических порошков с ПВБ, пластификатором и диспергатором в шаровой мельнице 6–8 ч с оксидциркониевыми мелющими телами. Из шликера отливали плёнку толщиной 26±2 мкм. Керамические пластины металлизировали пастой Ag–Pt, после чего собирали групповые пакеты и прессовали их на изостатическом прессе при 27±2 МПа, 60±5 °С в течение 20±3 мин. Пакеты разрезали на заготовки 12,0×10,0 мм и подвергали совместному утильному и основному обжигу в камерной печи при 1110±10 °С с выдержкой 150±15 мин. Качество изделий контролировали визуально и методом оптической микроскопии поперечных шлифов.

При использовании давления 27±3МПа и времени выдержки 20±3 минут на боковых поверхностях и в объёме заготовок после обжига наблюдаются явные расслоения по границам между керамическими слоями. Возникновение дефектов при обжиге заготовок, обусловлено рядом взаимосвязанных факторов. Формирование остаточных напряжений и анизотропии плотности. При спекании возникает дифференциальная усадка из‑за разной начальной плотности участков материала: сильно уплотнённые зоны (например, по краям) усаживаются меньше, чем менее плотные (в центре). Это создаёт сдвиговые и растягивающие напряжения на границах слоёв, провоцируя микротрещины и расслоения. Нарушение кинетики удаления связующего усугубляет проблему: в переуплотнённых областях затруднена диффузия продуктов разложения при выгорании органики (на стадии медленного нагрева). Это вызывает локальные перегревы и неоднородность вязкости керамической массы на ранних стадиях спекания, что способствует образованию дефектов.

Снижение параметров прессования до 18±3 МПа по давлению и 15±3 минут по времени привело к значительному улучшению качества. Количество макроскопических расслоений сократилось на 80–90 %. Снижение давления и времени прессования даёт технологический компромисс: обеспечивается достаточная плотность для прочности заготовки без критических напряжений, сохраняется микропористость для удаления летучих продуктов и достигается однородность усадки, что минимизирует трещины и расслоения.

# ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ВАНАДИЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЖИДКИХ СИЛИКАТНЫХ ДОБАВОК

***Суханова Д.А.*, *Чернец Ю.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии неорганических веществ*

*e-mail: sukharik505@gmail.com*

# FORMATION OF PROPERTIES OF VANADIUM CATALYSTS USING LIQUID SILICATE ADDITIVES

***Sukhanova D.A.*, *Chernets Y.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Важнейшим этапом производства ванадиевых катализаторов для окисления диоксида серы является формовка гранул, где эффективным методом считается таблетирование, обеспечивающее высокую механическую прочность. Данный способ является относительно затратным, поэтому актуальна задача обеспечения необходимой прочности получаемых в итоге катализаторов более дешёвыми методами, например, экструзией. Перспективным путем считается введение силикатных упрочняющих добавок, таких, как кремнезоль [1]. Изучение влияния таких добавок на механическую прочность катализаторов определило цели и задачи исследования.

Формовочные пасты готовились по ранее разработанной оптимальной рецептуре. Добавление 4–5 мас. % коллоидного $SiO_2$ (кремнезоля) обеспечивало хорошую формуемость. Введение в качестве модифицирующей добавки волластонита (1,9–3,6 % мас.) снижало пластичность пасты, делая её трудной для формовки. Снижение доли кремнезоля до 1–2 мас. % при том же содержании волластонита приводило к избытку жидкости и деформации гранул.

Добавка $K_2O$ при концентрациях $\leq$ 1,0 мас. % увеличивала пластичность, при 1,7–2,0 мас. % - вызывала ускоренное гелеобразование и ухудшала формуемость. Оптимальное массовое содержание воды в пасте составило 18–22 %; отклонения от указанного диапазона концентраций приводили к растрескиванию или "расплыванию" гранул.

Наибольшая прочность гранул (до 5,3 МПа) достигнута при содержании 4–5 мас. % кремнезоля и около 1,9 мас. % волластонита с содержанием $K_2O$ ~1 мас. %.

В совокупности полученные результаты могут быть использованы для оптимизации промышленного процесса формовки ванадиевых катализаторов; планируется исследование влияния замены силикагеля кремнезолем, стабилизированным в кислых и щелочных средах, на важнейшие характеристики получаемых катализаторов.

**Литература:**

1. Лукашевич О.Д., Лотов В.А., Усова Н.Т., Лукашевич В.Н. Получение водостойких, прочных силикатных материалов на основе природного и техногенного сырья // Вестник ТГАСУ. 2017. № 6 (65).

# СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ WC-Co

***Туманов П.А.***[1,2]

*[1]Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов,*
*[2]Общество с ограниченной ответственностью «Вириал»*
*e-mail: TumanovPA@virial.ru*

## MODERN METHODS FOR THE SYNTHESIS OF NANOSTRUCTURED WC-Co POWDERS

***Tumanov P.A.***[1,2]

*[1]Saint-Petersburg State Institute of Technology,*
*[2]Virial LTD*

Твердые сплавы – одни из важнейших материалов в металлообрабатывающей промышленности. Высокие эксплуатационные характеристики инструментов из твёрдых сплавов достигаются благодаря оптимальному сочетанию твёрдости каркаса из WC и пластичности металлической связки Co. Уменьшение размера зерна WC позволяет дополнительно повысить эксплуатационные свойства таких инструментов, что делает эту задачу приоритетной в современных исследованиях.

Классическая технология получения твёрдого сплава основана на механическом смешении готовых порошков WC и Co в шаровых мельницах с последующей грануляцией и спеканием. Однако при смешении нано- и субмикронных порошков возникает риск агломерации и неравномерного распределения кобальта.

Современные подходы позволяют преодолеть эти ограничения за счёт смешения компонентов, содержащих вольфрам, кобальт и углерод, с получением суспензии и ее грануляции методом распылительной сушки для синтеза композиционного порошка WC-Co. Такой способ подготовки обеспечивает более однородное распределение компонентов, контроль размера и морфологии частиц, что позволяет получать порошки WC-Co с минимальным ростом зерна. Совместный синтез карбида вольфрама и кобальта способствует более равномерному распределению кобальтовой связки между карбидными зернами.

В работе в качестве исходных компонентов использовались оксиды вольфрама и кобальта, сажа, а также оксид ванадия для получения карбида ванадия, выполняющего роль ингибитора роста зерна при последующем спекании сплава. В работах [1,2] применяли водорастворимые соли вольфрама и кобальта, а в качестве источника углерода – сажу, глюкозу и крахмал.

Преимуществом использования водорастворимых соединений является более высокая степень гомогенизации вследствие равномерного распределения компонентов в объёме раствора. Применение водорастворимых источников углерода дополнительно повышает однородность системы, поскольку сажа не растворяется и склонна к агломерации и расслоению в суспензии, что может приводить к локальным отклонениям по содержанию углерода.

**Литература:**

1. Morphology and carbon content of WC-6%Co nanosized composite powders prepared using glucose as carbon source / Guo S. D., Bao R., Yang P. et al. // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – 2018. –Vol. 28, № 4. – P. 722-728.

2. Synthesis and characterization of WC-Co nanosized composite powders with in situ carbon and gas carbon sources / Yang Q., Yang J., Yang H. et al. // Metals and Materials International. – 2016. – Vol. 22, № 4. – P. 663-669.

# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ГИДРОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ КАК УСКОРИТЕЛЕЙ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА

***Федоскина В.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов*

*e-mail: va-kuznetsovaa@yandex.ru*

## EFFECTIVENESS OF HIGHLY DISPERSED CALCIUM SILICATE HYDRATES AS ACCELERATORS FOR CONCRETE HARDENING

***Fedoskina V.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Современные требования к снижению энергоемкости производства железобетонных изделий и широкое применение низкоклинкерных цементов актуализируют поиск эффективных ускорителей твердения. Перспективным направлением является использование высокодисперсных синтетических гидросиликатов кальция (C-S-H), которые, выполняя функцию центров кристаллизации, инициируют раннее образование C-S-H геля, сокращая индукционный период гидратации. Цель работы – синтез высокодисперсных гидросиликатов кальция и оценка их влияния на кинетику набора прочности бетонов при различных режимах твердения.

Синтез гидросиликатов кальция проводили методом соосаждения из растворов (мольное отношение Ca/Si = 1, pH 11,7) с применением стабилизатора анионного типа. Средний размер частиц (d50) синтезированной суспензии составил менее 1 мкм.

Исследование влияния добавки проводили на портландцементах ЦЕМ 0 42,5Н и ЦЕМ II/В-Ш 42,5Н. Эффективность синтезированной добавки в качестве ускорителя твердения оценивали на бетонных образцах-кубах, изготовленных в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012 при выдержке в нормально-влажностных условиях (НВУ) и при тепловлажностной обработке (ТВО) по режимам: предварительная выдержка + подъем температуры + изотермическая выдержка (температура). Бетонные смеси готовили равноподвижными с осадкой конуса 21-23 см по ГОСТ 10181-2014 с использованием суперпластификатора в дозировке 0,1-0,2 % от массы цемента. Результаты испытаний приведены в таблице.

**Таблица - Результаты испытаний бетонных образцов на прочность при сжатии, Мпа.**

| Тип цемента | Дозировка C-S-H, % от массы цемента | Условия твердения образцов | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | НВУ, 1 сут | ТВО 1-1-6 (40) | ТВО 3-1-4 (40) | ТВО 1-1-6 (60) | ТВО 3-1-4 (60) |
| ЦЕМ 0 42,5Н | 0 | 6,5 | 7,0 | 4,8 | 14,4 | 10 |
| | 2,5 | 8,6 | 9,0 | 6,8 | 16,3 | 12,2 |
| | 4,5 | 7,9 | 8,6 | 9 | 16 | 15,8 |
| ЦЕМ II/В-Ш 42,5Н | 0 | 2,9 | 4,1 | 2,8 | 9,1 | 6,1 |
| | 2,5 | 4,1 | 5 | 3,4 | 11,3 | 9,9 |
| | 4,5 | 3,8 | 4,9 | 4,6 | 8,4 | 7,6 |

Анализ результатов позволяет заключить, что синтезированные высокодисперсные гидросиликаты кальция являются эффективными ускорителями твердения для цементов различных типов. Оптимальная дозировка C-S-H, обеспечивающая максимальный прирост прочности при различных режимах твердения, составляет 2,5 % от массы цемента. Применение 2,5 % C-S-H позволяет сократить продолжительность изотермической выдержки на 2 часа или снизить температуру прогрева при ТВО на 20 °С без потери прочности, что открывает перспективы для энергосберегающих технологий производства сборного железобетона.

# ФОРМИРОВАНИЕ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КАРБИДОКРЕМНИЕВОЙ КЕРАМИКЕ МЕТОДОМ РЕАКЦИОННОГО СВАРИВАНИЯ

***Чекуряев А.Г.*, *Беляков А.Н.***

*Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*
*e-mail: achekuryaev@bk.ru*

# FORMATION OF PERMANENT JOINTS IN SILICON CARBIDE CERAMICS USING REACTION WELDING

***Chekuryaev A.G.*, *Belyakov A.N.***

*The Federal State Unitary Enterprise «Central Research Institute of Structural Materials «Prometey» named by I.V. Gorynin of National Research Centre «Kurchatov Institute»*

Высокая твердость и хрупкость карбида кремния обусловливают значительные технологические трудности при изготовлении геометрически сложных керамических изделий [1-2]. Традиционные методы соединения, такие как пайка или механическое крепление, часто неприменимы из-за тугоплавкости материала и риска концентрации напряжений. Перспективным решением является получение неразъемных соединений непосредственно в процессе реакционного спекания. В работе исследована возможность соединения керамических элементов путем реакционного сваривания с использованием промежуточной композиции на основе фенолформальдегидной смолы. Образцы изготавливали методом полусухого прессования с последующей полимеризацией. После разрушения на торцы наносили суспензию связующего с варьируемым содержанием наполнителя (шихты SiC и углерода) от 20 до 80 мас. %. Соединенные фрагменты подвергали силицированию в вакууме при 1550 °C. В процессе высокотемпературной обработки пиролиз связующего и последующее взаимодействие углерода с расплавом кремния инициируют образование в шве вторичного карбида кремния. Показано, что структура зоны соединения представляет собой двухслойную систему: центральная область, обогащенная кремнием, и переходные слои с повышенным содержанием SiC. Толщина кремниевой прослойки закономерно снижается с 130 до 20 мкм при увеличении доли наполнителя в исходной суспензии. Микротвердость в центральной части шва (11,8–13,4 ГПа) соответствует чистому кремнию, в то время как на границе с основой она приближается к значениям монолитной керамики (24 ГПа). Установлена корреляция между толщиной остаточного кремниевого слоя и прочностью. Уменьшение толщины прослойки до 20–30 мкм при максимальном содержании шихты (80 мас. %) позволило достичь предела прочности при изгибе 250 МПа, что составляет 75 % от прочности бесшовного материала. Плотность полученных соединений составляла 3,08 г/см³. Регулирование состава соединяющей суспензии является эффективным инструментом управления фазовым составом и механическими характеристиками неразъемного стыка.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (Проект № 21-73-30019-П).*

**Литература:**

1. Belyakov A.N. Contemporary materials and their application in the construction of special engineering high-temperature objects / A.N. Belyakov, M.A. Markov, I.N. A.D. Kashtanov, D.A. Dyuskina, A.D. Bykova, A.G. Chekuryaev // Refractories and industrial ceramics. – 2023. – V. 64, № 3. – P. 256-264. – DOI:10.1007/s11148-024-00835-3.

2. Markov M.A. Methods of forming geometrically complex manufactured products from silicon-carbide based, heat-resistant, ceramic materials / M.A. Markov, A.N. Belyakov, D.A. Dyuskina, A.G. Chekuryaev, A.D. Bykova, S.N. Perevislov, A.D. Kashtanov // Glass and ceramics. – 2023. Vol. 80, № 7-8. – P. 277-282. – DOI:10.1007/s10717-023-00598-2.

# ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ СИЛИКАТНЫХ ПРОМОТИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ПРОЧНОСТЬ ВАНАДИЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

***Чернец Ю.А.*, *Суханова Д.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии неорганических веществ*

*e-mail: uliacernec970@gmail.com*

# EFFECT OF SOLID SILICATE ADDITIVES ON THE STRENGTH OF VANADIUM CATALYSTS

***Chernets Y.A.*, *Sukhanova D.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Ванадиевые катализаторы традиционно занимают ведущие позиции в процессах окисления диоксида серы до триоксида серы при производстве серной кислоты, а также в других промышленно значимых реакциях окисления благодаря их высокой активности, селективности и термостабильности.

Постоянный рост объемов производства серной кислоты и модернизация процессов её получения требуют разработки новых катализаторов или совершенствования прежних рецептур. Актуальной становится задача изучения влияния промотирующих добавок на текстурные характеристики и на прочность ванадиевых катализаторов, которая определяет их устойчивость к механическим и термическим воздействиям, а также на срок службы в промышленных условиях [1].

В рамках исследования было проведено изучение влияния различных твердых силикатных добавок, таких как силикаты кальция, на прочностные характеристики ванадиевых катализаторов. Готовились и испытывались три образца: №1 (стандартная рецептура с добавлением 1 % волластонита), №2 (стандартная рецептура с добавлением 1 % силиката кальция), №3 (стандартная рецептура с добавлением 5 % силиката кальция). Результаты анализа прочности полученных катализаторов представлены в таблице.

**Таблица – Значения прочности ванадиевых катализаторов.**

| Название образца | Давление p, МПа |
|---|---|
| Стандартный | 0,54 |
| №1 | 1,16 |
| №2 | 1,23 |
| №3 | 1,30 |

Планируются исследования, направленные на определение влияния добавок не только на прочностные характеристики катализаторов, но и на их термостабильность при сохранении исходной удельной поверхности и активности.

**Литература:**

1. Постнов А.Ю. Перспективы применения силикатных отходов в технологии ванадиевых катализаторов / А.Ю. Постнов, С.А. Лаврищева, О.И. Копылова, Ю.В. Александрова // Известия СПбГТИ (ТУ). – 2022. – № 63 (89).

# ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ОБЖИГА РАЗЛИЧНЫХ ФРАКЦИЙ ГИПСОВОГО КАМНЯ

***Шангина Е.О.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов*

*e-mail: evasangina7@gmail.com*

**STUDY OF HEAT TREATMENTPARAMETERS OF DIFFERENT FRACTIONS OF GYPSUM STONE**

***Shangina E.O.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В работе исследуется влияние условий обжига гипсового камня различных фракций для определения оптимального способа производства гипсового вяжущего. Обжиг проводился в сушильном шкафу при температуре ~160-170 ºС. Полученные результаты зависимости времени обжига гипсового камня от размера фракции и масс навески представлены в таблице. Потеря массы в 15-17 % соответствует обжигу на получение полуводного гипсового вяжущего.

**Таблица – Время обжига гипса разной степени помола, мин.**

| Масса навески 50 г | | | |
|---|---|---|---|
| Степень помола, мм | Потери при обжиге | | |
| | До 15 % | 15-17 % | Более 17 % |
| >10 | 80 | 110 | 140 |
| 10>…>5 | 80 | 110 | 140 |
| 5>…>2,5 | 80 | 110 | 140 |
| 2,5>…>0,63 | 80 | 120 | 160 |
| 0,63>…>0,160 | 80 | 120 | 170 |
| 0,160> | 80 | 120 | 170 |
| Масса навески 100 г | | | |
| Степень помола, мм | Потери при обжиге | | |
| | До 15 % | 15-17 % | Более 17 % |
| >10 | 110 | 170 | 240 |
| 10>…>5 | 110 | 170 | 240 |
| 5>…>2,5 | 110 | 190 | 240 |
| 2,5>…>0,63 | 110 | 190 | 260 |
| 0,63>…>0,160 | 130 | 210 | 260 |
| 0,160> | 130 | 210 | 260 |
| Масса навески 200 г | | | |
| Степень помола, мм | Потери при обжиге | | |
| | До 15 % | 15-17 % | Более 17 % |
| >10 | 160 | 260 | 340 |
| 10>…>5 | 150 | 250 | 330 |
| 5>…>2,5 | 160 | 260 | 340 |
| 2,5>…>0,63 | 190 | 280 | 390 |
| 0,63>…>0,160 | 190 | 280 | 390 |
| 0,160> | 190 | 310 | 420 |

Таким образом, оптимальная фракция по времени обжига – 10>…>5 мм, она показывает наименьшее время обжига во всех вариациях массы загрузки гипсового камня (50, 100 и 200 г). Можно сделать вывод, что целесообразнее изначально дробить гипсовый камень и обжигать его, а затем уже молоть для получения гипсового вяжущего.

# ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ВАНАДИЕВЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ОКИСЛЕНИЯ ДИОКСИДА СЕРЫ

***Шаповалова В.А.*, *Копылова О.И.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра общей химической технологии и катализа*

*e-mail: followmekitten@gmail.com*

# EFFECT OF STRUCTURING ADDITIVES ON VANADIUM CATALYSTFOROXIDATION OF SULFUR DIOXIDE

***Shapovalova V.A.*, *Kopylova O.I.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Структурирующие и порообразующие добавки влияют на размерный диапазон пор и удельную поверхность, от которых зависят диффузия $SO_2/SO_3$ внутри гранулы и эффективность использования активной фазы ванадиевых катализаторов [1]. Такие добавки как калиевое и натриевое жидкое стекло позволяют не только увеличить прочность гранул, но и способствуют образованию оптимальной пористой структуры, а также являются дополнительными источниками ионов $K^+$ и $Na^+$ снижающих энергию активации и повышающих активность [2]. На стадии экструзии или таблетирования в небольших количествах применяются органические добавки: крахмал, целлюлоза, графит, поливиниловый спирт. Они действуют как пластификаторы и связывающие агенты, повышая прочность сырой гранулы, а при прокаливании как порообразующие добавки, дополняющие тонкопористую структуру основных носителей диатомита и силикагеля, что позволяет снизить диффузионные торможения в процессе катализа. Введение нетрадиционных силикатных материалов в состав носителя, таких как микрокремнезем, белая сажа способствуют улучшению структурно-прочностных характеристик катализаторов [4]. При этом именно структура носителя во многом определяет степень использования активного компонента и стабильность ванадиевого катализатора в процессе контактного окисления диоксида серы [3]. Таким образом, в результате подбора носителя и структурирующих добавок удаётся создать ванадиевые катализаторы с оптимальной комбинацией высокой удельной поверхности, развитой системы мезо- и макропор, хорошей механической прочностью и устойчивостью к дезактивации.

**Литература:**

1. Симонова Л.Г. Влияние структуры носителя – силикагеля на текстуру и каталитические свойства ванадиевых катализаторов окисления сернистого ангидрида / Л.Г. Симонова [и др.] // Кинетика и катализ. – 1982. – Т. 23, № 2. – С. 462–468.

2. RU 2111051 C1. Катализатор для окисления сернистого ангидрида / А.С. Третьяков [и др.]; заявитель и патентообладатель: НПО «Теплоэнергомаш». – № 92008301/04; заявл. 25.11.1992; опубл. 20.05.1998. – 5 с.

3. Patent № US 20110250124 A1, Int. C01B 17/79; B01J 37/04; B01J 37/02; B01J 27/055. Catalyst for the oxidation of $SO_2$ to $SO_3$: field 12.04.2010: posted by 13.10.2011 / Kramer M., Schubert M., Lautensack T., Hill T., Korner R., Rosowski F., Zuhlke J.; assignee BASF SE, Ludwigshafen. - 7 p.

4. Постнов А.Ю. Перспективы применения силикатных отходов в технологии ванадиевых катализаторов / А.Ю. Постнов [и др.] // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2022. – № 63 (89). – С. 3–8. – DOI: 10.36807/1998-9849-2022-63-89-3-8.

# ПОЛУЧЕНИЕ СИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ ИЗ ОТХОДОВ СОДОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

***Шишаева С.М., Николаева А.Д., Логинов С.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии неорганических веществ*

*e-mail: shishaeva.sofya@gmail.com*

## OBTAINING CALCIUM SILICATES FROM SODA PRODUCTION WASTE

***Shishaeva S.M., Nikolaeva A.D., Loginov S.V***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Одним из наиболее востребованных продуктов химической промышленности является кальцинированная сода, производимая преимущественно по методу Э. Сольве. К достоинствам метода относятся стабильность процессов, небольшие значения температуры и давления, доступность сырья (хлорид натрия и известняк) и высокое качество получаемой продукции. Однако при производстве образуется большое количество отходов, в частности – дистиллерная жидкость.

Основными компонентами дистиллерной жидкости являются $CaCl_2$ и NaCl [1]. Вследствие содержания хлорид-ионов и высокого pH, дистиллерная жидкость представляет собой опасность для окружающей среды. Её сброс приводит к минерализации водоёмов, что наносит ущерб не только водным организмам, но и системам водоснабжения. Описанные проблемы подчёркивают необходимость поиска путей переработки дистиллерной жидкости. Наиболее перспективным является использование дистиллерной жидкости в качестве источника хлорида кальция.

Хлорид кальция может быть применен для получения силикатов кальция, используемых в производстве керамики, красок, композитных материалов, а также в цветной металлургии. Так, например, волластонит используется в качестве наполнителя для эпоксидных покрытий и цемента, как материал для изоляции стальных каркасов зданий, применяется для частичной замены растительных волокон в производстве бумаги и в стоматологии – для изготовления зубных протезов.

В ходе исследования была проведена серия опытов по получению силикатов кальция в лабораторных условиях путём взаимодействия дистиллерной жидкости с натриевым жидким стеклом. К 100 г. дистиллерной жидкости с АО «Крымский содовый завод» при постоянном перемешивании приливалось жидкое стекло в соотношениях 1:1, 1:2 и 2:1. Образовавшиеся осадки промывались дистиллированной водой и подвергались сушке при 100 °C. Полученные образцы были изучены с помощью современных методов анализа для определения их структуры и состава.

Проведенные исследования подтверждают возможность получения из дистиллерной жидкости волластонита при определенных условиях. Дальнейшие исследования будут направлены на определение условий получения волластонита из жидкости АО «Крымский содовый завод», а также на изучение влияния примесей, содержащихся в этой жидкости, на особенности протекания реакции.

**Литература:**

1. Тульянова, Ш.Н. Хлористый кальций - побочный продукт при производстве соды / Ш.Н. Тульянова // Наука и техника Казахстана. -2020 - № 2 - С. 75.

# СЕКЦИЯ 8.

# ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛИМЕРОВ И МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ



# ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОТВЕРЖДЕНИЯ АЛКИДНО-УРЕТАНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

***Блинов И.Е.*, *Ковжина А.Л.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: lb.saf@mail.ru*

# STUDY OF THE CURING PROCESS OF ALKYD-URETANE COMPOSITIONS

***Blinov I.E.*, *Kovzhina A.L.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Алкидно-уретановые лакокрасочные материалы широко востребованы в промышленности благодаря сбалансированному комплексу эксплуатационных свойств покрытий на их основе [1]. Для органорастворимых алкидно-уретановых лакокрасочных материалов скорость отверждения определяется летучестью растворителей и скоростью протекания процесса окислительной полимеризации пленкообразователя. При увеличении толщины пленки возрастает роль диффузионных ограничений, что может приводить к возникновению градиентов значений показателей по толщине, снижению скорости набора твердости и к образованию дефектов, включая «сморщивание» в многослойных системах. Изучение влияния толщины пленки на кинетику отверждения алкидно-уретановых пленкооборазователей необходимо для оптимизации промышленных режимов сушки и минимизации производственного брака при окрашивании изделий.

В работе были получены непигментированные композиции на основе алкидно-уретанового лака (с массовой долей нелетучих веществ (56,1 ± 0,1) %) с введением свинцово-марганцевого сиккатива и метилэтилкетоксима. Покрытия формировали в естественных условиях сушки при двух толщинах «мокрого слоя»: 0,05 и 0,10 мм. Время высыхания композиций определяли по ГОСТ 19007‑2023 при (20 ± 2) °С. Замедление протекания процесса окислительной полимеризации у образцов с толщиной «мокрого слоя» 0,10 мм приводит к увеличению времени высыхания до степени 3 в 1,5 раза. О дальнейшем протекании процесса пленкообразования в работе судили по изменению показателя твердости по ГОСТ 5233‑2021 (маятник А) в интервале 3,5–2000 ч. Полученные экспериментальные данные показали неравномерный по времени набор свойств: на ранней стадии пленкообразования наблюдается интенсивный рост твердости, затем процесс замедляется и выходит на постоянный уровень. При этом толщина пленки оказывает существенное влияние: образцы с меньшей толщиной «мокрого слоя» (0,05 мм) достигают более высоких значений твердости и различие к концу измерений составляет порядка 25 %. Для оценки кинетических параметров отверждения при проведении исследований была построена аппроксимационная модель зависимости изменения показателя твердости покрытий от времени их формирования. Рассчитанные константы скорости показывают замедление набора твердости у покрытий с большей толщиной, позволяют прогнозировать режимы сушки и минимизировать риск возникновения дефектов лакокрасочных покрытий.

**Литература:**

1. Мюллер, Б. Лакокрасочные материалы и покрытия. Принципы составления рецептур / Б. Мюллер, У. Пот. – Москва: ООО «Пэйнт-Медиа», 2007. - 237 с. – ISBN 5-902904-04-8.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕРМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭПОКСИ(МЕТ)АКРИЛАТОВ

***Болотова Л.Д.*, *Муравский А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: bolotova.lyubov1@yandex.ru*

# INVESTIGATION OF PHYSICO-MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES OF PRODUCTS BASED ON MODIFIED EPOXY(MET)ACRYLATES

***Bolotova L.D.*, *Muravsky A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

На сегодняшний день изделия на основе эпокси(мет)акрилатов (ЭМ) находят широкое применение в различных отраслях промышленности: строительстве, судостроении, автомобилестроении, при изготовлении оборудования в химической промышленности и других. В связи с этим исследование их свойств является актуальной научно-практической задачей, направленной на получение материалов с прогнозируемым комплексом эксплуатационных характеристик.

В рамках данной работы проводили исследование физико-механических и термических свойств изделий, на основе модифицированных эпоксидно-метакрилатных олигоэфиров. Образцы для проведения анализа и испытаний получали в три этапа: синтез ЭМ, получение на их основе отверждаемых смол и отверждение их по свободно-радикальному механизму. Синтез ЭМ осуществляли взаимодействием метакриловой кислоты со смесью триглицидилового эфира полиоксипропилентриола (ТГЭПТ) и диглицидилового эфира дифенилолпропана (ДГЭДФП) (в мольных соотношениях ТГЭПТ к ДГЭДФП 0:1, 0,1:1, 0,25:1, 0,4:1 и 0,6:1 соответственно) по методике, представленной в работе [1]. Для получения смол, пригодных для отверждения, синтезированные ЭМ смешивали со стиролом. Отверждение полученных винилэфирных смол (ВЭС) проводили инициирующей системой Akperox C45 с октоатом кобальта. Определение прочности при изгибе отвержденных образцов осуществляли по ГОСТ 4648-2014 на разрывной машине Shimadzu AG-X Plus. Температуру стеклования ($T_g$,) изделий определяли методом дифференциальной сканирующей калориметрии в соответствии с ГОСТ Р 56724-2015. Полученные результаты представлены в таблице.

**Таблица – Физико-механические и термические характеристики образцов.**

| Смола | Мольное соотношение ТГЭПТ:ДГЭДФП | Максимальное напряжение при изгибе, МПа | $T_g$, °C |
|---|---|---|---|
| ВЭС-1 | 0:1 | 76,2±5,9 | 99 |
| ВЭС-2 | 0,1:1 | 96,3±5,14 | 61 |
| ВЭС-3 | 0,25:1 | 107,8±11,1 | 53 |
| ВЭС-4 | 0,4:1 | 57,8±5,5 | 104 |
| ВЭС-5 | 0,6:1 | 51,7±9,2 | 106 |

Установлено, что наибольшей прочностью при изгибе обладают образцы, полученные на основе ВЭС-3, характеризующиеся также наименьшей $T_g$. Дальнейшее увеличение доли ТГЭПТ приводит к снижению прочностных характеристик изделий.

**Литература:**

1. Тухватулина Е.А., Болотова Л.Д. Разработка способа регулирования реологических характеристик модифицированных олигоэфир(мет)акрилатов // Сборник материалов XIV Межвузовской конференции научных работ студентов имени члена-корреспондента АН СССР Александра Александровича Яковкина. СПб.: Типография «Дуит», 2025. С.91-92.

# ВЛИЯНИЕ ЗАГУСТИТЕЛЕЙ НА ДЕКОРАТИВНЫЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ИЗ ВОДНО–ДИСПЕРСИОННЫХ КРАСОК НА ОСНОВЕ АКРИЛАТНОГО ЛАТЕКСА

***Гребенникова Н.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: n4dezhdagrebennik0va@gmail.com*

# INFLUENCE OF THICKENERS ON THE DECORATIVE PROPERTIES OF COATINGS FROM WATERBORNE PAINTS BASED ON ACRYLATE LATEX

***Grebennikova N.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В настоящее время водно-дисперсионные лакокрасочные материалы (ВД ЛКМ) занимают лидирующие позиции на рынке благодаря экологической безопасности, технологичности нанесения и возможности колеровки в широкий спектр оттенков. Они активно применяются как в профессиональном строительстве, так и в быту, постепенно вытесняя органорастворимые лакокрасочные материалы. Требованиями к современным материалам являются не только высокие защитные свойства, но и стабильность декоративных характеристик в процессе формирования и эксплуатации покрытий на их основе. Регулирование реологических показателей ВД ЛКМ осуществляется преимущественно за счет введения загустителей различной природы, которые могут существенно влиять на процессы пленкообразования и, как следствие, на оптические свойства покрытий [1].

Было изучено влияние природы и концентрации загустителей на декоративные свойства (цвет и блеск) покрытий, сформированных из водно-дисперсионных красок на основе синтетического латекса акрилатного сополимера. В качестве объектов исследования использовали загустители трех типов: акриловые, полиуретановые и целлюлозные. Оценка загущающей способности образцов при введении их в пигментированную основу, проводимая с применением вискозиметра Брукфильда (5 шп., при (20±2) °С), позволила установить необходимую концентрацию загустителей для достижения требуемого уровня показателя вязкости.

Для оценки изменения цвета в процессе хранения ВД ЛКМ и при формировании покрытий из пигментированных составов проводили колориметрические измерения с фиксацией показателя полного цветового различия (ΔЕ) через контрольные промежутки времени. Параллельно определяли динамику изменения показателя блеска покрытий (при 60°). Проведенные исследования позволили установить тип полимерного загустителя, обеспечивающего наиболее высокий уровень блеска покрытий из ВД ЛКМ разных цветов при минимальном значении показателя ΔЕ при длительном хранении составов.

**Литература:**

1.Толмачев, И.А. Водно-дисперсионные краски: краткое руководство для инженеров-технологов / И.А. Толмачев, Н.А. Петренко. – Москва: Пэйнт-Медиа, 2015. – 106 с. – ISBN 978-5-902904-12-0.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ПОЛИ-2-МЕТИЛ-5-ВИНИЛТЕТРАЗОЛА, СИНТЕЗИРОВАННОГО RAFT-ПОЛИМЕРИЗАЦИЕЙ

***Гудкин А.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра процессов и аппаратов*

*e-mail: gudkinartur@gmail.com*

# DETERMINATION OF THE SPECIFIC HEAT CAPACITY OF POLY-2-METHYL-5-VINYLTETRAZOLE SYNTHESIZED BY RAFT POLYMERIZATION

***Gudkin A.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Тетразолы широко применяются в медицине и технике, являясь структурным компонентом множества лекарственных препаратов, а также энергонасыщенных композиций (взрывчатые вещества, ракетные топлива) [1]. Особый интерес представляют винильные производные тетразола, так как они легко полимеризуются по радикальному механизму, образуя многофункциональные полимеры.

Гомополимер 2-метил-5-винилтетразола (ПМВТ) используется в качестве активного связующего в твердых ракетных топливах [2]. Введение ПМВТ в энергетические композиции приводит к увеличению скорости горения топлива.

Существенный недостаток таких полимеров – широкое распределение молекулярных масс, что может отрицательно сказываться на физико-механических и термических свойствах.

Оптимальным решением проблемы может быть использование методики контролируемой радикальной полимеризации с обратимой передачей цепи по механизму присоединения-фрагментации (RAFT полимеризация).

Ранее этим методом в присутствии агента обратимой передачи цепи 2-(((додецилтио)карбонотиол)тио)-2-метилпропановой кислоты нами был получен узкодисперсный ПМВТ с заданными молекулярными массами в диапазоне от $10^4$ до $1.5\times10^5$ [3].

В данной работе были определены некоторые термические характеристики синтезированного ПМВТ. Удельная теплоемкость полученных образцов была определена на дифференциальном сканирующем калориметре Shimadzu DSC-60 Plus по методике, указанной в ГОСТ Р 56754-2015 (ISO 11357-4:2005) «Пластмассы. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК). Часть 4. Определение удельной теплоемкости». Также были получены зависимости удельной теплоемкости от температуры в стеклообразном и высокоэластичном состоянии.

**Литература:**

1. Колдобский, Г.И. Тетразолы / В.А. Островский, Г.И. Колдобский // Успехи химии. – 1994. – Т. 63, № 10. – С. 847-865.

2. Volkova, N.N. Regularities of the high-temperature transformation of poly-2-methyl-5-vinyltetrazole and solid fuel compositions based on it in the nitrogen atmosphere / N.N. Volkova, D.V. Dashko, A.F. Zholudev, M.B. Kislov, L.S. Yanovskii // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – V. 1891. – Pp. 012059.

3. Гудкин, А.В. Контролируемая радикальная гомополимеризация 2-метил-5-винилтетразола в присутствии 2-(((додецилтио)карбонотиол)тио)-2-метилпропановой кислоты / А.В. Гудкин, Д.М. Крыгина, Е.В. Сивцов // 17-я Санкт-Петербургская конференция молодых ученых с международным участием «Современные проблемы науки о полимерах». – Программа и тезисы докладов. – Санкт-Петербург. – 27-30 октября, 2025 г. – С. 68-68.

# ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ПРОТИВОИОНА НА ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕТЕРОГЕННОЙ ИОНООБМЕННОЙ МЕМБРАНЫ МК-40

***Давтян А.А.*, *Потапов К.А.*, *Долженко А.*, *Печенкина Е.С.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии электрохимических производств*
*e-mail: arman_dawtyan@mail.ru*

# INFLUENCE OF THE NATURE OF THE COUNTERION ON THE VOLT-AMPERE CHARACTERISTICS OF THE HETEROGENEOUS ION-EXCHANGE MEMBRANE MK-40

***Davtyan A.A.*, *Potapov K.A.*, *Dolzhenko A.*, *Pechenkina E.S.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В настоящее время широкое распространение в области защиты окружающей среды получили мембранные методы очистки сточных вод [1]. Важнейшей характеристикой массопереноса в электромембранных системах являются вольтамперные характеристики (ВАХ) мембран, позволяющие определить их электрохимические параметры [2].

Целью данной работы является исследование влияния ионов поливалентных металлов на ВАХ отечественных гетерогенных ионообменных мембран МК-40, уравновешенных в растворах сульфатов натрия, никеля и меди концентрациями 0,01Н, 0,05Н и 0,1Н. Снятие ВАХ проводилось в четырёхкамерной ячейке в потенциодинамическом режиме, скорость протока электролита составляла 1 мл/мин.

Во всех растворах были получены типичные ВАХ (см. рисунок) с тремя ярко выраженными участками. Величину предельного электродиффузионного тока определяли графически путём нахождения точки пересечения касательных к омическому участку и «плато» предельного тока, также были определены потенциалы перехода системы в предельное и сверхпредельное состояния.

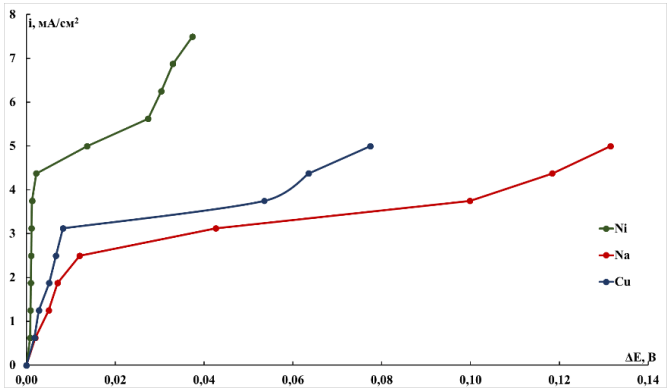



**Рисунок – ВАХ ионообменной мембраны МК-40 в исследуемых 0,1Н растворах.**

Установлено, что величина предельного тока для $Ni^{2+}$ и $Cu^{2+}$ катионов выше, чем для $Na^{+}$, при этом для мембраны, уравновешенной с раствором $NiSO_4$ выше, чем в эквинормальных растворах $CuSO_4$. Из рисунка видно, что переход электромембранной системы в предельное и сверхпредельное состояния в растворах $NiSO_4$ происходит при меньших значениях потенциалов, чем в других растворах. При переходе от $Na_2SO_4$ к растворам $NiSO_4$ и $CuSO_4$ наблюдается сокращение "плато" предельного тока, причём в растворе $NiSO_4$ оно наименьшее.

**Литература:**

1. Березина, Н.П. Электрохимия мембранных систем. Краснодар: Изд-во Кубан. гос. ун-та. 2009. - 137 с.

2. Лоза Н.В., Кононенко Н.А., Шкирская С.А., Березина Н.П. // Электрохимия.– 2006.– Т. 42,N 8.– С.907-915.

# СИНТЕЗ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ СМОЛ И СОЗДАНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ИХ ОСНОВЕ

***Дорошенко К.С.*, *Ильина М.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: konstantindoroshenko57@yandex.ru*

# SYNTHESIS OF ORGANOSILICON RESINS AND PREPARATION OF COATINGS BASED ON THEM

***Doroshenko K.S.*, *Ilina M.A.***

*Saint Petersburg State Technological Institute*

Создание защитных покрытий, сочетающих в себе хорошие эксплуатационные характеристики наряду с высокой гидрофобностью и адгезией, а как следствие увеличение долговечности окрашиваемых объектов в условиях агрессивных сред и сложных климатических условий, является актуальной задачей для различных областей применения начиная от бытовой сферы и заканчивая разработкой покрытий специального назначения.

Кремнийорганические полимеры (полиорганосилоксаны) являются перспективным классом материалов для создания защитных покрытий благодаря уникальной комбинации таких свойств, как атмосферостойкость, низкая поверхностная энергия, гидрофобность, устойчивость к ультрафиолетовому излучению, эластичность, термостабильность, высоких противокоррозионных и противообрастающих свойств покрытий на их основе. Возможность варьировать тип и соотношение структурных единиц (M, D, T, Q) позволяет прогнозируемо синтезировать материалы, адаптированные под конкретные задачи [1].

Целью исследования является синтез кремнийорганических смол, установление корреляции между структурой смол и свойствами получаемых покрытий на их основе.

В работе использовали различные исходные силаны (см. таблицу). Серию синтезов проводили методом гидролитической поликонденсации в присутствии кислотного катализатора. Получили кремнийорганические смолы с различной структурой и соотношением звеньев - MQ, MDQ, MT и DT.

**Таблица – Исходные силаны.**

| Исходный силан | Обозначение типа звена |
|---|---|
| Тетраэтоксисилан | Q-звено |
| Диметилдихлорсилан | D-звено |
| Метилфенилдихлорсилан | |
| Метилтрифторпропилдихлорсилан | |
| Метилтриэтоксисилан | T-звено |
| Триметилхлорсилан | M-звено |

Для подтверждения структуры и состава синтезированных смол использовали комплекс методов: ИК-спектроскопию, ЯМР-спектроскопию и гель-проникающую хроматографию. Физико-механические свойства отверждённых покрытий оценивали в соответствии с ГОСТ 4765-2024, ГОСТ 31149-2014, ГОСТ 6806-2024.

**Литература:**

1. Robeyns, C. Synthesis, characterization and modification of silicone resins: An «Augmented Review» / C. Robeyns, L. Picard, F. Ganachaud // Progress in Organic Coatings. – 2018. – Vol. 125. – P. 287-315.

# ПЕРЕРАБОТКА И ОТВЕРЖДЕНИЕ НЕНАСЫЩЕННЫХ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ ПЕРЕЭТЕРИФИКАЦИИ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА И ТРИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ

***Калинин В.В.*, *Сторожек Г.О.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: vitaliy.kalinin.04@list.ru*

**PROCESSING AND HARDENING OF UNSATURATED POLYETHYLENE TEREPHTHALATE RESINS BASED ON POLYETHYLENE TEREPHTHALATE REETHERIFICATION WITH TRIETHYLENE GLYCOL**

***Kalinin V.V.*, *Storozhek G.O.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Ключевыми факторами востребованности полиэтилентерефталата (ПЭТФ) в аддитивных технологиях служат его эксплуатационные преимущества: высокая ударная вязкость и низкий коэффициент усадки. При этом рост объемов применения сопровождается пропорциональным увеличением количества отходов. По имеющимся данным, до 30% исходного сырья уходит на изготовление вспомогательных элементов, непригодных для вторичного использования напрямую, что актуализирует вопрос создания технологии их переработки.

По способу, описанному из работы [1] проводился синтез полиола на основе ПЭТФ с триэтиленгликолем (ТЭГ), а после равновесная поликонденсация с малеиновым ангидридом. К полученной непредельной полиэфирной смоле (НПС) добавляли 30 масс. % стирола и перемешивали при 60-80 °С. Смесь отверждали перекисью метилэтилкетона (МЕКП) для дальнейшего изучения свойств отвержденных продуктов, указанных в таблице.

**Таблица – Сравнительные характеристики исследуемых ламелей.**

| | Ускоритель – $Co^{2+}$ 1,5% (м.ч.) | Инициатор – МЕКП (м.ч.) | Удлинение образца (%) |
|---|---|---|---|
| Образец 1 | 3 | 2 | 15 |
| Образец 2 | 4 | 2 | 14 |
| Образец 3 | 6 | 2 | 11 |

В результате отверждения НПС и анализа на физико-механические свойства, опытным путем был выяснен ряд преимуществ полученного материала: упругость и эластичность, высокая ударная вязкость и низкие значения усадки. Недостатком является в среднем трёхчасовое время гелеобразование с присутствующей липкостью, однако это компенсируют вышеперчисленные плюсы.

Синтез на триэтиленгликоле имеет специфические, но перспективные качества для решения назревших экологических и экономических проблем в мире, а итоговый продукт возможен в эксплуатации различными сферами потребления.

**Литература:**

1. Калинин В.В., Сторожек Г.О. Влияние 1,4-бисгидроксиметилциклогексана в составе вторичного сырья на физико-механические свойства ненасыщенной полиэфирной смолы // Материалы XVI научной конференции «Традиции и Инновации». - 2025. - №16. - С. 108.

# СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕНАСЫЩЕННЫХ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ ПЕРЕЭТЕРИФИКАЦИИ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА С ЭТИЛЕНГЛИКОЛЕМ И ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЕМ

***Калинин В.В.*, *Сторожек Г.О.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: vitaliy.kalinin.04@list.ru*

# COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF UNSATURATED POLYETHYLENE TEREPHTHALATE RESINS BASED ON POLYETHYLENE TEREPHTHALATE REETHERIFICATION PRODUCTS WITH ETHYLENE GLYCOL AND PROPYLENE GLYCOL

***Kalinin V.V.*, *Storozhek G.O.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

На данный момент проблема загрязнения пластиком распространена повсеместно. С середины XX века отмечается устойчивый рост полимерных материалов во многих областях промышленности, что помимо удобств использования несет в себе также и ряд минусов. Около одной трети конструкционных материалов не могут использоваться повторно, что вынуждает бороться с проблемой как с экологической, так и с экономической стороны.

Используя метод рециклинга из работы [1] было проведено аналитическое исследование свойств и применения отвержденных полиэфирных смол на основе реакции переэтерификации полиэтилентерефталата (ПЭТФ) с диэтиленгликолем (ДЭГ) и триэтиленгликолем (ТЭГ), представленные в таблице.

**Таблица – Сравнительные характеристика продуктов на основе ДЭГ м ТЭГ.**

| | Время геля (ч) | Прочность на растяжение (МПа) | Прочность на изгиб (МПа) | Удлинение (%) | Липкость |
|---|---|---|---|---|---|
| ДЭГ | 2 | 45,3 | 143,2 | 1 | Нет |
| ТЭГ | 3 | – | – | 11 | Есть |

Исходя из гликоля, на котором происходит синтез полиола можно предположить увеличенный модуль упругости у диэтиленгликоля и пониженную прочность в сравнении с триэтиленголем. На практике из-за возможно некорректного количества ингибитора гидрохинона, время отверждения ненасыщенной полиэфирной смолы (НПС) на ТЭГ увеличилось и процесс сшивки произошёл не до конца в сравнении с ДЭГ. Отличиями двух смол также являются высокоэластические свойства у второго синтеза совместно с модулем удлинения, что нельзя сказать про первую.

Заявленные результаты свидетельствуют о возможном применении материала помимо повторно конструкционных материалов в новых сферах человеческой деятельности. Новые разработанные технологии рециклинга дают возможность сделать наш мир лучше

**Литература:**

1. Калинин В.В., Сторожек Г.О. Влияние 1,4-бисгидроксиметилциклогексана в составе вторичного сырья на физико-механические свойства ненасыщенной полиэфирной смолы // Материалы XVI научной конференции «Традиции и Инновации». - 2025. - №16. - С. 108.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА И КОНЦЕНТРАЦИИ УСКОРИТЕЛЕЙ ОТВЕРЖДЕНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ

***Каторкина Л.В.*, *Толченкова А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: linakatorkina@mail.ru*

# INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE TYPE AND CONCENTRATION OF CURING ACCELERATORS ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF EPOXY FOAMS

***Katorkina L.V.*, *Tolchenkova A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Объектом исследования послужила полимерная композиция на основе смеси олигомеров – производных 2,2-бис(4-гидроксифенил)пропана и 4,4-дигидроксидифенилметана. Для модификации кинетических параметров процесса в систему вводили ускорители различной химической природы: гидроксибензол (1), 2,4,6-трис[(диметиламино)метил)]фенол (2) и N,N-диметил-1-фенилметанамин (3). Концентрация добавок варьировалась в диапазоне 1-3 масс.ч. на 100 масс.ч. смолы.

Степень завершенности процесса формирования трехмерной сетки оценивали по содержанию гель-фракции. Для корректного сравнения прочностных характеристик образцов, имеющих небольшие отклонения по плотности в зависимости от состава, был произведен расчет приведенной прочности (плотности 175 кг/м$^3$). Результаты испытаний представлены в таблице.

**Таблица – Влияние состава композиции на степень отверждения и физико-механические характеристики пеноматериала.**

| Тип ускорителя | Содержание ускорителя | Гель-фракция, % | Приведенная прочность при сжатии, МПа | Приведенная прочность при изгибе, МПа |
|---|---|---|---|---|
| Отсутствует | | 86,7 ± 0,7 | 1,74 ± 0,12 | 1,41 ± 0,01 |
| 1 | 1 | 87,1 ± 0,5 | 1,74 ± 0,02 | 1,39 ± 0,26 |
| | 2 | 88,8 ± 0,2 | 1,77 ± 0,08 | 1,60 ± 0,30 |
| | 3 | 88,6 ± 0,5 | 1,87 ± 0,10 | 1,68 ± 0,39 |
| 2 | 1 | 88,8 ± 5,3 | 1,65 ± 0,08 | 1,86 ± 0,31 |
| | 2 | 92,3 ± 3,5 | 1,55 ± 0,06 | 1,60 ± 0,38 |
| | 3 | 81,3 ± 1,6 | 1,56 ± 0,08 | 1,04 ± 0,18 |
| 3 | 1 | 83,6 ± 1,4 | 1,43 ± 0,08 | 0,98 ± 0,09 |
| | 2 | 79,3 ± 0,6 | 1,26 ± 0,30 | 0,72 ± 0,17 |
| | 3 | 83,1 ± 1,9 | 1,03 ± 0,09 | 0,57 ± 0,04 |

Анализ данных показывает, что введение гидроксибензола способствует плавному росту содержания гель-фракции и упрочнению полимерного каркаса. При его максимальной концентрации наблюдается повышение приведенной прочности при сжатии до 1,87 МПа и изгибе до 1,68 МПа, что на 7,5 % и 19,1 % выше контрольного образца. Использование высокоактивного ускорителя 2,4,6-трис[(диметиламино)метил)]фенола при концентрации 2 масс.ч. позволяет достичь максимальной степени структурирования матрицы (гель-фракция – 92,3 %). Содержание гель-фракции и прочностные характеристики неуклонно снижаются при увеличении концентрации N,N-диметил-1-фенилметанамина.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ 2,4,6-ТРИС[(ДИМЕТИЛАМИНО)МЕТИЛ)]ФЕНОЛА НА ТЕРМОКИНЕТИКУ ОТВЕРЖДЕНИЯ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ

***Каторкина Л.В.**, Толченкова А.А.*

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: linakatorkina@mail.ru*

# INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE CONCENTRATION OF 2,4,6-TRIS[(DIMETHYLAMINO)METHYL]PHENOL ON THE THERMOKINETICS OF CURING EPOXY RESINS

***Katorkina L.V.**, Tolchenkova A.A.*

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В качестве основы для пеноматериалов использовалась смесь олигомеров – производных 2,2-бис(4-гидроксифенил)пропана и 4,4-дигидроксидифенилметана в массовом соотношении 90:10. Совмещение всех компонентов композиции с отвердителем осуществлялось в соответствие с ранее описанной рецептурой [1]. В качестве ускорителя в систему вводили 2,4,6-трис[(диметиламино)метил)]фенол. Концентрация добавки варьировалась в диапазоне 1-3 масс.ч. на 100 масс.ч. смолы.

Для оценки влияния концентрации ускорителя на реакционную способность полученных систем было изучено изменение температурного профиля в процессе отверждения и формирования образца пеноматериала. Были получены экспериментальные зависимости изменения температуры композиции от времени для композиций с разной концентрацией ускорителя (см. рисунок).

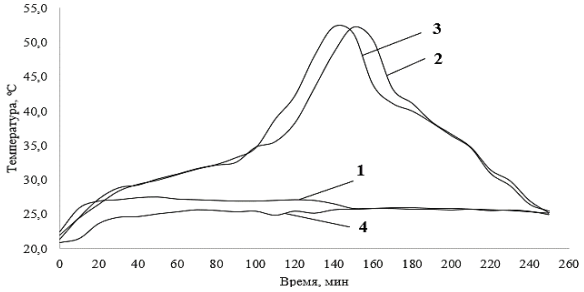



**Рисунок – Зависимость температуры композиций от времени после смешения при содержании 2,4,6-трис[(диметиламино)метил)]фенола 0 (1); 1 (2); 2 (3); 3 (4) масс.ч. соответственно.**

При введении ускорителя наблюдается интенсивный саморазогрев системы, максимальная температура 52,2-52,3 °С достигается на 140-150 минутах. Значительный температурный прирост ($\Delta T \approx 31$ °С относительно начальной температуры) свидетельствует о высокой скорости экзотермической реакции. Однако, при введении 3 масс.ч. ускорителя фиксировалась низкая активность, что может указывать на существование его предельной концентрации.

Ускоритель 2,4,6-трис[(диметиламино)метил]фенол обеспечивает скорость набора температуры до 0,221 °С/мин. Его применение обеспечивает наиболее интенсивный экзотермический эффект, создающий необходимые термодинамические условия для активации процесса пенообразования.

**Литература:**

1. Исследование влияния полиэфирамидов на основе вторичного ПЭТ на процесс отверждения и свойства эпоксидных заливочных композиций / Полякова Ю.В., Аликин М.Б., Панфилов Д.А., Дворко И.М., Лавров Н.А. // Пластические массы. 2023. № 5-6. С. 27-30.

# ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ УФ-ЗАСВЕТКИ НА ПРОЧНОСТЬ ОБРАЗЦОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ SLA-ПЕЧАТИ

***Клунко А.Г.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: angelinaklunko4@gmail.com*

# INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF UV EXPOSURE TIME ON THE STRENGTH OF SLA-PRINTED SPECIMENS

***Klunko A.G.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Лазерная стереолитография (SLA-технология) – это процесс аддитивного производства, при котором готовое изделие формируется путем послойного отверждения фотополимерной смолы под действием УФ-излучения луча лазера. После окончания печати изделие нуждается в дополнительной обработке, так как содержит небольшое количество непрореагировавшего фотоинициатора и несвязанного олигомера. Этот фактор оказывает негативное влияние на физико-механические характеристики изделий и вызывает склонность к изменению цвета под действием ультрафиолетового излучения, что особенно заметно на прозрачных и неокрашенных материалах. Именно УФ-обработка завершает полимеризацию и стабилизирует механические свойства изделий, полученных по SLA-технологии.

В данной работе проводилось изучение влияния УФ-излучения на физико-механические характеристики изделий, полученных по SLA-технологии. В качестве фотополимерной смолы использовался эпокси(мет)акрилатный олигомер. Методом стериолитографии были получены образцы для проведения испытания на определение прочности при сжатии (ГОСТ 4651-2014). Результаты измерений представлены на рисунке.

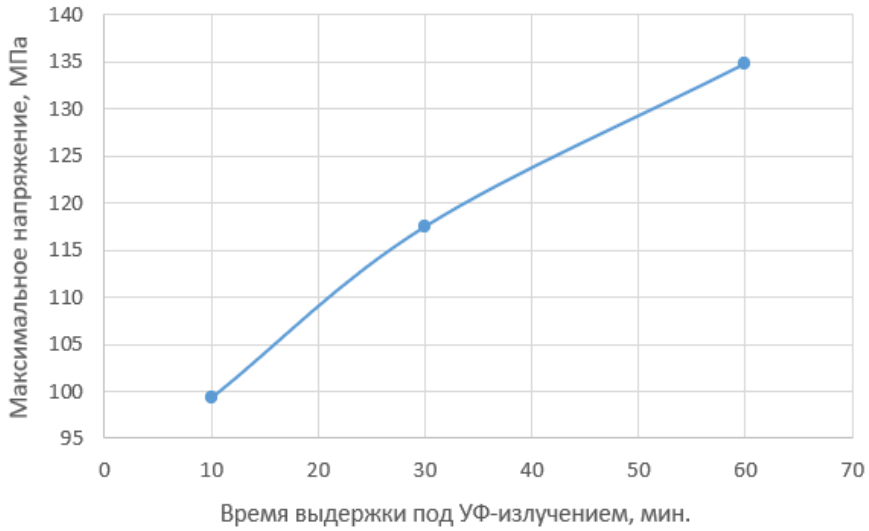



**Рисунок – Зависимость максимального напряжения при сжатии от времени выдержки образцов под УФ-излучением.**

Было установлено, что увеличение времени выдержки образцов под УФ-излучением приводит к повышению прочности при сжатии. При увеличении продолжительности УФ-доотверждения образцов до 30 минут зафиксирован рост прочности на 18 %, а доведение времени выдержки до 60 минут обеспечило повышение показателя на 36 %.

# ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ЭПОКСИДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПУТЕМ МОДИФИКАЦИИ ЧАСТИЦ НАПОЛНИТЕЛЯ

***Козловский П.С.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: paul2004.kozlovskiy@gmail.com*

# INCREASING THE THERMAL CONDUCTIVITY OF AN EPOXY COMPOSITE MATERIAL BY MODIFYING THE FILLER PARTICLES

***Kozlovsky P.S.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Прогресс в областях энергетики и электроники обусловливает ужесточение предъявляемых требований к теплофизическим характеристикам полимерных композиционных материалов (ПКМ), используемых в качестве заливочного материала для герметизации и изоляции компонентов радиоэлектронной аппаратуры. Теплопроводность указанных композитов определяется комплексом параметров, связанных с природой и морфологией наполнителя: коэффициент собственной теплопроводности наполнителя, его дисперсность, характер распределения в объёме полимерной матрицы, степень ориентации частиц, а также интенсивность адгезионного взаимодействия на межфазной границе «полимер – наполнитель». А также немаловажным фактором, оказывающий влияние на эффективность переноса тепла являются геометрические параметры частиц, а именно их размер и форма.

Основным подходом к увеличению прочности межфазного взаимодействия в системе «полимер – наполнитель» является адгезионное упрочнение контактной зоны. В ПКМ данная задача решается путём введения промежуточного слоя, формируемого при помощи аппретов. Аппреты представляют собой алкоксисиланы, выполняющие функцию связующего мостика: их функциональные группы способны к сорбции на поверхности наполнителя и последующему связыванию с функциональными группами полимерной матрицы и наполнителя, что обеспечивает формирование прочной межфазной границы. Результаты температуропроводности представлены на рисунке.

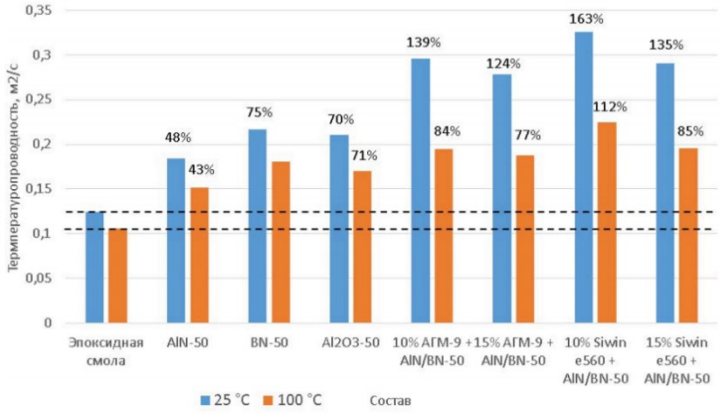



**Рисунок - Диаграмма изменения температуропроводности в зависимости от состава композиции.**

Экспериментально показано, что синергизм разноразмерных наполнителей ведёт к формированию протяжённых теплопроводящих путей за счёт оптимизации упаковки частиц, а введение в такую систему алкоксисиланов способствует к созданию дополнительного связующего мостика на межфазной границе. Эти факторы обеспечивают снижение термического сопротивления и, как следствие, значительный рост теплопроводности композита.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕФТЕПОЛИМЕРНЫХ СМОЛ НА СВОЙСТВА ПОРОШКОВОЙ ЭПОКСИДНОЙ ГРУНТОВКИ

***Коломиец С.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: svk4604@gmail.com*

## INFLUENCE OF THE ADDING OF PETROLEUM POLYMER RESINS ON THE PROPERTIES OF POWDER EPOXY PRIMER

***Kolomiets S.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В современных экономических условиях важным показателем эффективности использования и востребованности промышленно выпускаемого лакокрасочного материала является соотношение «цена-качество». Для удешевления в рецептуру порошкового ЛКМ вводят не только неорганические наполнители, но и полимерные добавки на основе дешёвых плёнкообразующих веществ [1].

Объектом исследования в данной работе стала порошковая эпоксидная грунтовка, используемая в качестве праймера в трёхслойной системе внешней изоляции трубопроводов. Эпоксидный праймер в трёхслойном покрытии обеспечивает как высокую исходную адгезию к стали, так и высокую адгезию в условиях катодной защиты, а также повышенную устойчивость к длительному воздействию воды [2].

Для удешевления в рецептуру эпоксидной порошковой грунтовки в качестве полимерного наполнителя вводили термопластичные нефтеполимерные смолы (НПС) «Пиропласт-2К СП» и «Пиропласт-2К СП 10-30» в количестве 2,5 - 10,0 % (масс.). Для полученных образцов определяли время гелеобразования по CAN/CSA Z245.20 (метод 12.1), растекаемость по ТУ 2329-103-05034239-2016, исходную адгезию методом отрыва по ГОСТ 32299-2013, когезионную прочность по ГОСТ 18299-72.

Оптимальным значением введения НПС в рецептуру явилось 5,0 % масс. от плёнкообразующей системы. При этом физико-механические свойства покрытия лишь незначительно снижаются или остаются неизменными при одновременном значительном понижении себестоимости грунтовки. Значения температур стеклования порошкового ЛКМ и отверждённого покрытия также не изменились. При повышении доли НПС до 10 % (масс.) происходит резкое ухудшение внешнего вида покрытия и его прочностных характеристик.

По результатам работы можно сделать следующий вывод: при невысоких долях введения НПС наблюдается технологическая совместимость эпоксидного плёнкообразователя и термопластичной НПС, что позволяет снизить себестоимость рецептуры без критического снижения эксплуатационных свойств лакокрасочного покрытия.

**Литература:**

1. Яковлев, А.Д. Порошковые краски / А.Д. Яковлев. – Л.: Химия, 1987. – 216 с.

2. Низьев, С.Г. О противокоррозионной защите магистральных и промысловых трубопроводов современными полимерными покрытиями // Территория Нефтегаз. – 2009. – №10. – С. 34-43.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНОГО ОЛИГОМЕРА НА ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОРОШКОВОЙ ЭПОКСИДНОЙ ГРУНТОВКИ

***Коломиец С.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: svk4604@gmail.com*

## INFLUENCE OF THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF EPOXY RESIN ON THE ANTI-CORROSION PROPERTIES OF POWDER EPOXY PRIMER

***Kolomiets S.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Одной из тенденций современного лакокрасочного производства является использование порошковых красок, имеющих ряд экономических, экологических и технологических преимуществ перед традиционными лакокрасочными материалами. Основным видом промышленно выпускаемых порошковых красок являются материалы на основе термореактивных плёнкообразователей, среди которых лидирующее положение занимают эпоксидные олигомеры (ЭО). ЭО способны придавать лакокрасочной композиции высокие эксплуатационные свойства [1] Важной особенностью эпоксидных материалов является возможность регулирования свойств покрытий, получаемых на их основе, за счёт подбора физико-химических показателей плёнкообразователя.

Одной из важнейших областей применения эпоксидных материалов является защита трубопроводов. Основным видом внешней изоляции трубопроводов считается трехслойное покрытие, состоящее из эпоксидного праймера, адгезионного подслоя и завершающего полиэтиленового слоя. Эпоксидный праймер должен обладать высокой адгезией к поверхности труб и одновременно к адгезионному подслою, обеспечивая тем самым необходимую защитную способность трёхслойного покрытия.

Трубы эксплуатируются в весьма жёстких условиях, поэтому требования к их защитной способности постоянно повышаются. Фактором, определяющим их защитную способность, является адгезия эпоксидного праймера к поверхности трубы. Величину адгезии можно регулировать составом плёнкообразующей системы. За объект исследования была взята рецептура эпоксидной грунтовки, в которую в количестве 68 % входит ЭО с ЭЧ = 4,73 %. В ходе работы исследовали влияние введения в рецептуру ЭО с ЭЧ = 5,78 %.

Из приготовленных образцов грунтовки получали однослойное покрытие и измеряли адгезию методом отрыва по ГОСТ 32299-2013, когезионную прочность по ГОСТ 18299-72 и стойкость к катодному отслаиванию по ГОСТ 9.602-2005.

Оптимальные результаты физико-механических и защитных свойств получены при соотношении смол 5:3, ЭЧ смеси равно 5,11 %. Значение адгезионной прочности к стали повысилось с 18,3 МПа до 22,5 МПа. При этом когезионная прочность свободной плёнки не изменилась. Площадь отслаивания защитного покрытия при катодной поляризации существенно уменьшилась: с 19,6 $см^2$ (R = 2,5 см) для исходного образца до 9,1 $см^2$ (R = 1,7 см). Таким образом, в ходе оптимизации рецептуры экспериментальные данные свидетельствуют о повышении противокоррозионной способности эпоксидного праймера.

**Литература:**

1 Яковлев, А.Д. Порошковые краски / А.Д. Яковлев. – Л.: Химия, 1987. – 216 с.

# ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПЛЁНКООБРАЗОВАНИЯ ВОДНО-ДИСПЕРСИОННЫХ КОМПОЗИЦИЙ

***Костецкая А.А.*, *Ковжина А.Л.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: orgpokr@lti-gti.ru*

# STUDY OF THE FILM-FORMING PROCESS OF WATER-DISPERSIVE COMPOSITIONS

***Kostetskaya A.A.*, *Kovzhina A.L.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Повышение спроса на водно-дисперсионные системы связано с их экологичностью: отсутствием органических растворителей в составе, низким содержанием летучих органических соединений. Данные особенности позволяют широко использовать водно-дисперсионные лакокрасочные материалы (ВД ЛКМ) в строительстве. Эксплуатационные характеристики покрытий на их основе определяются многими факторами, включая химическую природу пленкообразователя, объемное содержание пигментов и наполнителей (ОСП) [1]. В настоящее время в качестве пленкообразователей ВД ЛКМ преимущественно используются синтетические латексы акрилатных и стирол-акрилатных сополимеров. В данной работе для разработки рецептур пигментированного ВД ЛКМ использован синтетический латекс стирол-акрилатного сополимера отечественного производства с массовой долей нелетучих веществ (32,8±0,6) %. Изучение процесса плёнкообразования синтетического латекса проводили путем измерения показателей оптических свойств (при $\lambda = 670$ нм на КФК-2) и твердости покрытий (на маятниковом приборе ТМЛ 2124 (маятник А) по ГОСТ 5233-2021). Установлено, что образование необратимого геля (завершение второй стадии пленкообразования) происходит в течение 40 минут. Время образования гомогенной плёнки (завершение третьей, заключительной стадии) составляет 24 часа. На этой стадии показатель твёрдости покрытий выходит на постоянное значение, что свидетельствует о завершении протекания в них аутогезионных процессов.

С целью разработки материала с максимально возможным значением ОСП было исследовано влияние природы и объемного содержания минеральных наполнителей на физико-механические и декоративные свойства покрытий. В качестве пигмента использовали диоксид титана разных марок. Влияние количества введенных пигмента и наполнителей оценивали по следующим показателям: адгезии (ГОСТ 31149-2014), белизны (ГОСТ 16873-92), укрывистости (ГОСТ 8784-75), эластичности (ГОСТ 6806-2024), твёрдости (ГОСТ 5233-2021), блеска (ГОСТ 31975-2017, ГОСТ 896-2021), водостойкости (ГОСТ 9.403-2022) сформированных покрытий. Установлено соотношение пигмент/наполнитель в рецептурах ВД ЛКМ для оптимального баланса декоративных и механических свойств покрытий белого цвета.

**Литература:**

1. Толмачев, И.А. Водно-дисперсионные краски: краткое руководство для инженеров-технологов / И.А. Толмачев, Н.А. Петренко. – Москва: Пэйнт-Медиа, 2015. – 106 с. – ISBN 978-5-902904-12-0

# ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ОЛИГОГИДРИДСИЛОКСАНОВ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ ВЯЗКОСТЬ

***Лебедева А.Д.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: AnastasiaLebedevamail.ru@yandex.ru*

## INFLUENCE OF THE STRUCTURE OF SYNTHESIZED OLIGOHYDRIDESILOXANES ON DYNAMIC VISCOSITY

***Lebedeva A.D.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Олигогидридсилоксаны (ОГС) широко используются в качестве гидрофобизаторов, сшивающих агентов в аддитивных силиконовых резинах и как компоненты для модификации поверхностей. Одним из важных показателей при их применении является динамическая вязкость.

В ходе исследования синтезировали серию сополимеров полидиметилсилоксана и метилгидросилоксана (ОГС1-5) с различной молекулярной массой и содержанием кремнийгидридных групп (см. рисунок, таблицу).

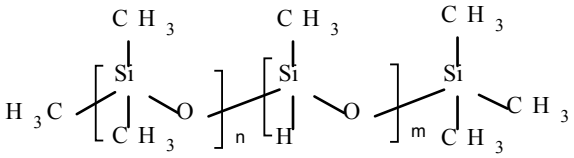


**Рисунок – Структурная формула олигогидридсилоксанов.**

**Таблица – Характеристики образцов ОГС.**

| Показатель | Образцы ОГС | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ОГС1 | ОГС2 | ОГС3 | ОГС4 | ОГС5 |
| Процентное соотношение звеньев n/m | 50/50 | 50/50 | 50/50 | 25/75 | 75/25 |
| Среднечисловая молекулярная масса $M_n$ | 723 | 9336 | 11853 | 14125 | 8068 |
| Среднемассовая молекулярная масса $M_w$ | 1227 | 17893 | 164343 | 113693 | 13357 |
| Показатель полидисперсности $M_w/M_n$ | 1,70 | 1,92 | 13,86 | 8,04 | 1,66 |
| Динамическая вязкость, мПа·с: при 100 об/мин | 12 | 40 | 53 | 28 | 60 |
| при 150 об/мин | 11 | 40 | 53 | 27 | 60 |
| при 200 об/мин | 10 | 38 | 52 | 26 | 60 |

Динамическая вязкость олигогидридсилоксанов при одинаковом соотношении звеньев *n* и *m* увеличивается по мере роста молекулярных масс с 10 до 52 мПа·с. Повышенное содержание диметилсилокси-звеньев (*n*) приводит к возрастанию вязкости (60 мПа·с для ОГС5 против 38 мПа·с для ОГС2), что связано с ограничением подвижности силоксановых цепей при наличии второй метильной группы при атоме кремния. Повышенное содержание кремнийгидридных групп наоборот вызывает снижение динамической вязкости даже для образца с максимальной молекулярной массой (ОГС4).

# ПОЛУЧЕНИЕ СОРБЕНТА ДЛЯ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ БИОМОЛЕКУЛ С КОНТРОЛИРУЕМЫМ РАЗМЕРОМ ПОР

***Малова В.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: malova.valeria.1@mail.ru*

# FABRICATION OF SORBENT FOR CHROMATOGRAPHIC PURIFICATION OF BIOMOLECULES WITH CONTROLLED PORE SIZE

***Malova V.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

На сегодняшний день хроматографические методы разделения биомолекул стали типичными методами очистки и выделения в биотехнологической промышленности [1]. Ключевую роль в эффективности подобных систем играют хроматографические среды. Вследствие высокой гидрофильности, низкого уровня неспецифического связывания разделяемых молекул, уникальной структуры пор, обеспечивающей высокое разрешение в ходе хроматографии, наиболее распространенными хроматографическими средами являются сорбенты на основе агарозных микросфер. Эти свойства позволили применять сорбенты на основе агарозы как хроматографические среды первого выбора для промежуточной очистки и «полировки» при производстве векторных вакцин или удаления вирусов при очистке многих белковых соединений, используемых в терапии [1]. Однако нативная агароза обладает довольно низкими механической прочностью и химической устойчивостью. Поперечная-сшивка позволяет устранить вышеописанные недостатки. Путем сшивания микросфер можно достичь значительного повышения эффективности хроматографии, в частности за счет увеличения скоростей потока и, соответственно, снижения временных затрат в ходе downstream процесса, а также за счет регулирования структуры и размера пор агарозных матриц и, соотвественно, увеличения разрешающей способностьи. Эти параметры особенно важны для хроматографических сред, используемых в высокоразрешающей и высокоэффективной хроматографии.

В настоящей работе были получены сорбенты на основе поперечно-сшитой агарозы сочетающие высокие механические свойства (максимальная скорость потока составляет более 6000 см/ч), химическую стойкость (устойчива в диапазоне pH от 2 до 14) а также контролируемый размер пор. Было изучено влияние типа сшивателя (использовались бифункциональные, монофункциональные и многофункциональные сшиватели), его количества, а также количества поперечных сшивок, на пористость и механические свойства получаемых сорбентов. Показано, что последовательное сочетание поперечных сшивок с использованием многофункционального сшивателя с длиной цепью (6 и более углеродных звеньев), а также короткоцепочечного бифункционального сшивателя позволяет достичь лучшие механические характеристики, химическую устойчивость и более низкие пределы эксклюзии, по сравнению с использованием только бифункциональных сшивателей. Показано, что введение сшивателя непосредственно в процессе получения агарозных микросфер с последующей поперечной сшивкой позволяет достичь наибольших предельных скоростей потока.

Пористость и механические свойства сорбентов оценивались хроматографически, моделями служили белки с узким молекулярно-массовым распределением.

**Литература:**

1. Junter G.-A., Lebrun L. Polysaccharide-based chromatographic adsorbents for virus purification and viral clearance / Junter G.-A., Lebrun L. // Journal of Pharmaceutical Analysis. — 2020. — № 10. — С. 291-312

# ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОГНЕСТОЙКИХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВОДОРАСТВОРИМЫМИ ПОЛИАЛКИЛЕНГЛИКОЛЯМИ

***Марахова К.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: ksenia2004.spb@mail.ru*

# INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF FIRE-RESISTANT HYDRAULIC FLUIDS MODIFIED WITH WATER-SOLUBLE POLYALKYLENEGLYCOLS

***Marakhova K.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В настоящее время огнестойкие гидравлические жидкости типа HFC широко применяются в разных отраслях промышленности благодаря своей устойчивости к высоким и низким температурам, экологической безопасности. Огнестойкие гидравлические жидкости типа HFC - это современный невоспламеняющийся аналог масел ИГП (индустриальных гидравлических масел с присадками) [1]. Масла ИГП, получаемые из продуктов переработки нефти (путем глубокой селективной очистки дистиллятных и остаточных нефтяных фракций) не огнестойки, а также они замерзают при температуре около -15 °С. Целью данного исследования является изучение влияния состава огнестойких гидравлических жидкостей типа HFC на их эксплуатационные характеристики.

Был получен ряд гидравлических жидкостей на основе воды для достижения огнестойкости, водорастворимых полиалкиленгликолей в качестве загустителей для достижения требуемого значения показателя вязкости, ингибиторов коррозии для достижения антикоррозионных свойств и гликолей для достижения низких температур замерзания. В качестве загустителей были использованы полиалкиленгликоли с различной молекулярной массой – от 270 до 70000. Изучено влияние температуры, концентрации и природы полиалкиленгликолей на показатель вязкости составов. Эффективность вводимых ингибиторов коррозии оценивали на образцах черных и цветных металлов. Получены данные по трибологическим характеристикам гидравлических жидкостей на четырехшариковой машине, такие как нагрузка сваривания, критическая нагрузка и диаметр пятна износа.

Установлено, что исследованные огнестойкие гидравлические жидкости типа HFC характеризуются более высокими эксплуатационными показателями по сравнению с маслами ИГП.

**Литература:**

1. Totten, G.E. Fuels and Lubricants Handbook: Technology, Properties, Performance, and Testing / G.E. Totten [et al.]. 2nd ed. - West Conshohocken: ASTM International, 2019. - 1144 p. (ASTM Manual Series; vol. 37). - ISBN 978-0-8031-7094-8.

# МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ АЛКОКСИСИЛАНАМИ

***Ревенко А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: revenko_alesha@mail.ru*

# MODIFICATION OF SURFACE PROPERTIES OF ORGANOSILICON COATINGS WITH FUNCTIONAL ALKOXYSILANES

***Revenko A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Гидрофобные поверхности привлекают большое внимание научного и промышленного сообществ благодаря их высокой водоотталкивающей способности, которая влечет за собой ряд других положительных свойств, таких как защита от коррозии, самоочищение, защита от обледенения, антиадгезионные свойства, снижение биообрастания и т.д. Таким образом актуальность разработки и получения гидрофобных покрытий обусловлена широким спектром практических задач, связанных с защитой материалов от влаги, повышением их долговечности и снижением эксплуатационных затрат [1].

Для создания гидрофобных покрытий применяются кремнийорганические полимеры, в частности полисилазаны. Покрытия на их основе обладают рядом преимуществ перед другими пленкообразователями: гидрофобностью (краевой угол смачивания водой свыше 90°), термостойкостью, инертностью к химически-агресссивным средам, а также высокими физико-механическими характеристиками. Для повышения гидрофобных свойств покрытий часто используют фторированные соединения, однако с целью повышения экологичности разрабатываемых материалов в качестве альтернативы фторированным силанам предлагается использовать алкоксисиланы с длинными алкильными заместителями.

В данной работе был получен ряд кремнийорганических покрытий на основе полисилазана с применением фторированных (перфтордецилтриметоксисилан) и нефторированных (октилтриэтоксисилан и цетилтриметоксисилан) модификаторов. Исследовано влияние структуры модификаторов (длины алифатического заместителя и его природы), а также их содержания на гидрофобность и поверхностную энергию покрытий. Кроме поверхностных свойств произведен анализ физико-механических свойств покрытий (прочность при прямом и обратном ударе, адгезии методом решетчатого надреза и эластичности) в соответствии с ГОСТ 4765-2024, ГОСТ 31149-2014 и ГОСТ 6806-2024.

Анализ полученных результатов показал, что разработанные композиции могут применяться для создания долговечных, прозрачных, тонкослойных гидрофобных покрытий с высокой адгезией и эксплуатационными характеристиками. Такие покрытия могут использоваться для обработки бетонных, каменных и металлических поверхностей, что важно для защиты строительных конструкций, фасадов, мостов и инженерных сооружений в условиях высокой влажности и перепадов температур.

**Литература:**

1. Furtat, P. Synthesis of fluorine-modified polysilazanes via Si–H bond activation and their application as protective hydrophobic coatings / P. Furtat, M. Lenz-Leite, E. Ionescu, R. A. F. Machado, G. Motz // The Royal Society of Chemistry. – 2017. – P. 13.

# ИНФРАКРАСНОЕ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

***Родин А.С.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: andrearodin@mail.ru*

# INFRARED SPECTROSCOPIC EXAMINATION OF POLYVINYL ALCOHOL

***Rodin A.S.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Несмотря на важную роль поливинилового спирта (ПВС) и большое число спектральных исследований данного вещества, проблема отнесения полос в ИК-спектрах остается актуальной [1], особенно для промышленных марок, таких как поливиниловый спирт марки 17-88.

На рисунке представлены ИК-Фурье спектры поливинилового спирта марки 17-88. Широкая интенсивная полоса в области 3307 $см^{-1}$ соответствует валентным колебаниям гидроксильных групп О–Н, связанных межмолекулярными водородными связями. Сигналы при 2939 $см^{-1}$ и 2910 $см^{-1}$ характеризуют симметричные и асимметричные растяжения С–Н-связей в углеводородном скелете ($CH_2$ и СН-группах) поливинилового спирта. Присутствие остаточных ацетатных фрагментов, характерных для данной степени гидролиза, подтверждается дублетом карбонильных групп С=О при 1732 $см^{-1}$ и 1720 $см^{-1}$. Деформационные колебания С–Н (метиленовых групп) проявляются при 1431 $см^{-1}$, 1373 $см^{-1}$ и 1325 $см^{-1}$. Полоса при 1238 $см^{-1}$ может быть связана с валентными колебаниями сложноэфирных связей С–О–С или деформационными колебаниями О–Н. Интенсивные полосы в области 1085 $см^{-1}$ и 1024 $см^{-1}$ обусловлены валентными колебаниями связи С–О вторичных спиртовых групп, а также колебаниями скелета полимерной цепи [1].

Полученные данные можно использовать для определения структуры поливинилового спирта, а также для прогнозирования изменений ИК-спектров при его реакции с другими веществами

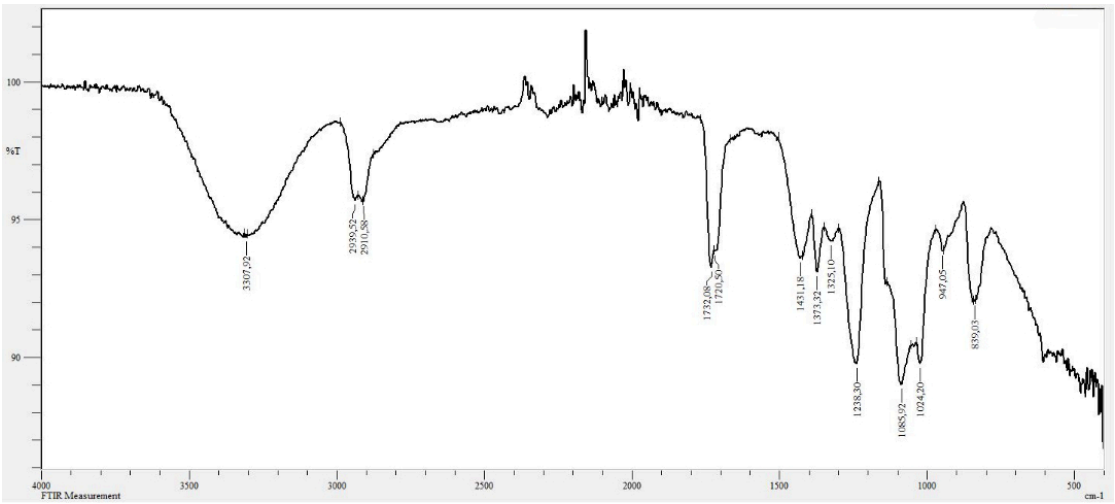



**Рисунок – ИК-Фурье спектры измельченного поливинилового спирта.**

**Литература:**

1. Енейкина, Т.А. Исследование стабилизационных свойств поливинилового спирта / Т.А. Енейкина, Н.А. Романько, Р.О. Альмашев [и др.] // Бутлеровские сообщения. – 2012. – Т. 29, № 3. – С. 92-99. – EDN PAEUGT.

# ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ НЕПИГМЕНТИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ АЛКИДНО-УРЕТАНОВЫХ ПЛЁНКООБРАЗОВАТЕЛЕЙ

***Рыбалко Д.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: dashrub57@gmail.com*

# RESEARCHING PROPERTIES OF UNPIGMENTED COATINGS BASED ON ALCYD-URETHANE FILM-FORMING AGENT

***Rybalko D.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Алкидно-уретановые плёнкообразователи представляют собой алкидные смолы, модифицированные изоцианатами путем частичной замены ими на стадии синтеза фталевого ангидрида [1]. Алкидно-уретановые лакокрасочные материалы являются однокомпонентными составами, покрытия на их основе имеют высокие показатели деформационно-прочностных свойств, стойкости к воде и к химическим реагентам, особенно к щелочам. Природа изоцианатного компонента оказывает влияние на физико-механические свойства покрытий. Так, покрытия на основе пленкообразователей, содержащих уретановую группу с ароматическим кольцом (например, толуилендиизоцианат) будут отличаться большей твердостью, чем покрытия на основе связующих, имеющих алифатическое строение уретановой группы (например, гексаметилендиизоцианат). Наличие бензольного кольца снижает гибкость макромолекул, что приводит к увеличению значения показателя твердости покрытий [2].

В работе были получены непигментированные композиции с использованием алкидно-уретановых лаков отечественного производства. В качестве ускорителей процесса окислительной полимеризации использовались свинцово-марганцевые сиккативы разных производителей; в качестве добавки, предотвращающей полимеризацию составов при хранении их в таре – метилэтилкетоксим.

Измерение твердости покрытий проводилось на маятниковом приборе ТМЛ 2124 по ГОСТ 5233-2021. В течении времени проведения исследования (60 суток) было установлено, что через 45 суток формирования покрытий в естественных условиях (Т (25±2) °С) показатели твердости всех образцов вышли на плато постоянных значений. Было установлено, что толщина наносимого слоя непигментированной композиции оказывает существенное влияние на значение твердости покрытий: при увеличении толщины слоя в два раза, твердость покрытий снижается ~ в 1,3 раза. При этом химическое строение алкидно-уретанового пленкообразователя влияет на деформационно-прочностные свойства сформированных покрытий.

**Литература:**

1. Мюллер, Б. Лакокрасочные материалы и покрытия. Принципы составления рецептур / Б. Мюллер, У. Пот; Под редакцией О. Н. Скороходова. – Москва: ООО «Пэйнт-Медиа», 2007. – 234 с. – ISBN 5-902904-04-8.

2. Куис, О.В. Антикоррозионная защита металлов: перспективы получения и применения алкидно-уретановых материалов / О.В. Куис, Н.Р. Прокопчук // Труды БГТУ. – 2016. - №6. – С. 25-34.

# СРАВНЕНИЕ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ ПЕНОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНО-НОВОЛАЧНЫХ БЛОК-СООЛИГОМЕРОВ

***Рябинина А.И.*, *Панфилов Д.А.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*
*e-mail: sasharyabinina2003@mail.ru*

# COMPARISON OF HEAT RESISTANCE OF FOAM MATERIALS BASED ON EPOXY-NOVOLAC BLOCK-COOLIGOMERS

***Ryabinina A.I.*, *Panfilov D.A.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Использование эпоксидно-новолачного блок-соолигомера (ЭНБС) в качестве связующего для получения пенопластов представляет особый интерес, поскольку такие материалы характеризуются низкой плотностью, хорошими диэлектрическими, физико-механическими свойствами, а также стойкостью к воздействию влаги и химическим веществам.

Одним из важных параметров, определяющих область применения конструкционных пенопластов, является теплостойкость. В связи с этим, исследование факторов, влияющих на теплостойкость, и возможность ее повышения за счет варьирования состава связующего открывают перспективы создания материалов, адаптированных для эксплуатации в условиях повышенных температур.

Целью работы является изучение и сравнение теплостойкости образцов пеноматериалов. Порошковые композиции получали двух видов: на основе промышленного ЭНБС марки 16ЭН60-1 и синтезированного ЭНБС, который получали путем сплавления новолачной фенолоформальдегидной смолы (НФФС) марки СФ-0112 и эпоксидно-новолачной смолы (ЭНС) в трёх разных соотношениях. Композиции вспенивали в закрытых формах в течение 6 часов при температуре 110 °С. Оценку теплостойкости и деформационного поведения образцов пеноматериалов осуществляли с помощью термомеханического анализа с использованием модифицированного консистометра Хепплера. Полученные термомеханические кривые представлены на рисунке.

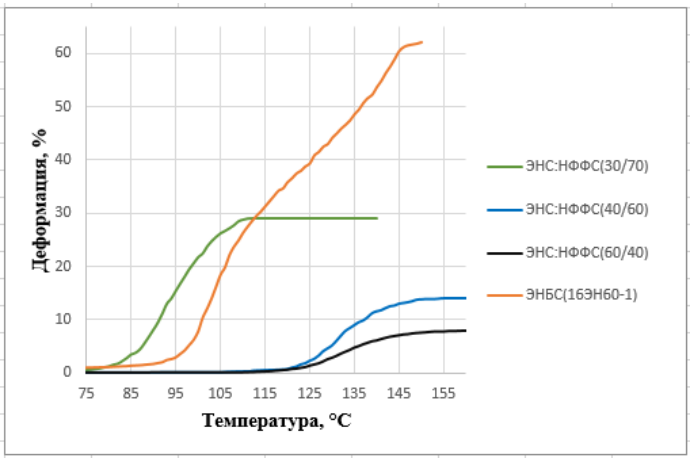



**Рисунок – Термомеханические кривые образцов пеноматериалов.**

Экспериментально установлено, что образец с максимальным содержанием ЭНС (60/40) продемонстрировал наиболее высокую температуру начала деструкции и наименьшую деформацию во всем исследуемом диапазоне температур. Полученные данные подтверждают эффективность варьирования состава связующего как инструмента направленного регулирования теплостойкости пеноматериалов.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАТОРА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНО-НОВОЛАЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

***Рябинина А.И., Панфилов Д.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: sasharyabinina2003@mail.ru*

# INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF A MODIFIER ON THE TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF EPOXY-NOVOLAC COMPOSITIONS

***Ryabinina A.I., Panfilov D.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Полимерные пеноматериалы находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности благодаря их оптимальному сочетанию низкой плотности и высоких прочностных характеристик. Перспективным направлением развития конструкционных пенопластов является их целенаправленная модификация с целью повышения физико-механических, теплоизоляционных, диэлектрических и других важных для материалов свойств. Любой способ изменения рецептуры отражается на кинетике формирования полимерной матрицы, поэтому при достижении заданных характеристик необходимо контролировать такие параметры как время гелеобразования и степень сшивки полимерной матрицы, которые имеют ключевую роль в определении структуры, прочностных и термических характеристик.

В работе представлено влияние модификатора триглицидилизоцианурата (ТГИЦ) на свойства композиций на основе эпоксидно-новолачного блок-соолигомера (ЭНБС). Модифицированные порошковые композиции, полученные путем механического смешения компонентов в бисерной мельнице, исследовали на время гелеобразования с использованием полимеризационной плитки в соответствии с ГОСТ 18694-2017. В качестве катализатора отверждения использовали триэтаноламин (ТЭА). Степень сшивки определяли по содержанию гель-фракции отвержденных композиций. Полученные результаты представлены в таблице.

**Таблица – Результаты испытаний.**

| Содержание ТГИЦ, масс.ч. | Время гелеобразования, мин | Содержание гель-фракции, % |
|---|---|---|
| 0 | 41,96 | - |
| 5 | 38,81 | 98,08 |
| 10 | 33,52 | 94,63 |
| 20 | 30,02 | 91,92 |
| 25 | 28,75 | 90,09 |
| 50 | 27,62 | 82,47 |

В результате исследований установлено, что введение модификатора снижает время гелеобразования. Изменяя соотношения исходных веществ можно регулировать время гелеобразования и осуществлять подбор оптимального режима отверждения порошковых композиций. Однако повышение концентрации ТГИЦ сопровождается снижением содержания гель-фракции с 98,08 % (при 5 масс.ч.) до 82,47 % (при 50 масс.ч.), указывая на формирование менее плотной сшитой структуры.

Также можно сделать вывод, что оптимальное содержание ТГИЦ в композициях составляет 20 масс.ч. Превышение концентрации модификатора (до 50 масс.ч.) является нецелесообразным, так как это приводит к существенному снижению содержания гель-фракции, что негативно скажется на эксплуатационных характеристиках. Образцы с малым содержанием ТГИЦ имеют высокую плотность сшивки, но характеризуются максимальным временем гелеобразования, что может быть технологически невыгодно.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АКТИВНЫХ МОНОМЕРОВ-РАЗБАВИТЕЛЕЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОЛИГОЭФИР(МЕТ)АКРИЛАТОВ

***Тухватулина Е.А.*, *Болотова Л.Д.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*
*e-mail: elenatu377@gmail.com*

# INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ACTIVE DILUENT MONOMERS ON THE TECHNOLOGICAL AND OPERATIONAL PROPERTIES OF MODIFIED OLIGOESTERS (MET)ACRYLATES

***Tukhvatulina E.A.*, *Bolotova L.D.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Ранее в работе [1] было установлено, что сочетание эпоксидных олигомеров различной функциональности позволяет регулировать реологические свойства целевых (мет)акрилатных связующих. Развивая данное направление, в настоящем исследовании осуществлен синтез олигоэфир(мет)акрилата взаимодействием метакриловой кислоты со смесью триглицидилового эфира полиоксипропилентриола и диглицидилового эфира дифенилолпропана (мольное соотношение 1:1) с последующим изучением влияния природы и содержания активных мономеров-разбавителей на комплекс технологических и эксплуатационных свойств данного олигомера.

В качестве активных мономеров-разбавителей использовали стирол и диметакриловый эфир триэтиленгликоля (ТГМ-3) в количестве 5, 15 и 25 масс. ч. Измерение динамической вязкости полученных винилэфирных смол (ВЭС) осуществляли на реометре Anton Paar PHYSICA MCR 302 (Австрия). Отверждение ВЭС проводили инициирующей системой Akperox C45 с октоатом кобальта. Прочность отвержденных образцов при разрыве определяли на разрывной машине Shimadzu AG-X Plus (Япония). Результаты измерений представлены на рисунке.

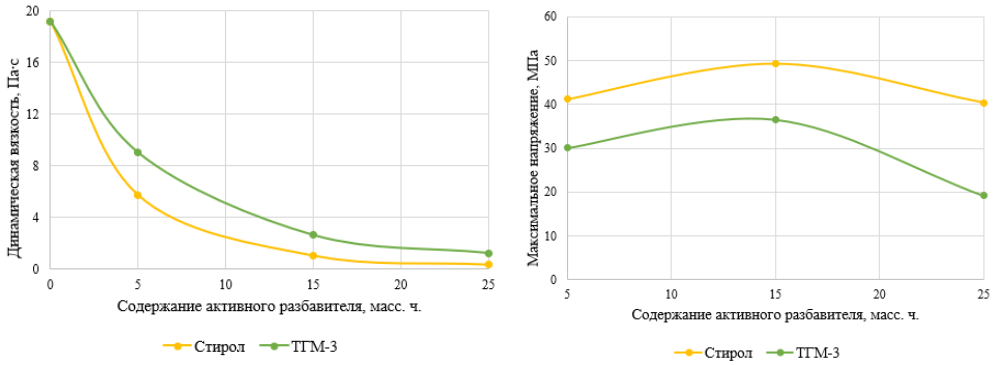



**Рисунок – Зависимость динамической вязкости (а) и максимального напряжения при разрыве (б) ВЭС от содержания активного разбавителя.**

Установлено, что увеличение содержания стирола и ТГМ-3 приводит к снижению вязкости ВЭС, при этом оптимальная концентрация разбавителей, обеспечивающая наилучшие физико-механические характеристики образцов, составляет 15 масс. ч.

**Литература:**

1. Тухватулина Е.А., Болотова Л.Д. Разработка способа регулирования реологических характеристик модифицированных олигоэфир(мет)акрилатов // Сборник материалов XIV Межвузовской конференции научных работ студентов имени члена-корреспондента АН СССР Александра Александровича Яковкина. СПб.: Типография «Дуит», 2025. С.91-92.

# СИНТЕЗ И СВОЙСТВА АДДУКТОВ ДЛЯ ОТВЕРЖДЕНИЯ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ

***Тяпкина Д.А., Муравский А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: tda03-st@mail.ru*

# SYNTHESIS AND PROPERTIES OF ADDUCTS FOR EPOXY RESINS

***Tyapkina D.A., Muravsky A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Актуальность синтеза новых отвердителей для эпоксидных смол обусловлена растущими требованиями к прочности, термостойкости и долговечности полимерных материалов. Современные отрасли промышленности нуждаются в композициях с улучшенной адгезией, химической стойкостью и пониженной токсичностью. Разработка новых отвердителей позволяет регулировать скорость отверждения, эксплуатационные свойства и экологическую безопасность эпоксидных систем.

В рамках данной работы было принято решение синтезировать аддукт в качестве отвердителя для эпоксидных смол. Для этого проводили реакцию присоединения между изофорондиамином (ИФДА) и триглицидиловым эфиром полиоксипропилентриола. Количество реагентов изменяли таким образом, чтобы соотношение аддукта и чистого ИФДА в конечной смеси варьировали от 30:70 до 80:20 соответственно с шагом в 10 %. Синтез проводили в одногорлой колбе, оснащенной механическим перемешивающим устройством, в течение 4 часов при температуре 80 °С.

Для получения изделий к смоле ЭД-20 добавляли синтезированный отвердитель. Массы компонентов рассчитывали исходя из мольного соотношения 1:1. Для исследования свойств образцов отвердитель добавляли в недостатке и в избытке. Отверждение проводили при комнатной температуре в течение суток с последующим доотверждением при 80 °С в течение 8 часов.

У полученных образцов определяли температуру стеклования методом дифференциальной сканирующей калориметрии. Установлены максимальные значения этого параметра, для каждого синтезированного аддукта. Данные представлены в таблице.

**Таблица – Зависимость температуры стеклования полученных образцов от содержания компонентов.**

| Соотношение аддукт : ИФДА, % | Соотношение отвердитель : ЭД-20, масс.ч. | Максимальная температура стеклования, °С |
|---|---|---|
| 30:70 | 100:26 | 115,8 |
| 40:60 | 100:32 | 136,5 |
| 50:50 | 100:34 | 129,9 |
| 60:40 | 100:39 | 119,6 |
| 70:30 | 100:42 | 133,6 |
| 80:20 | 100:44 | 96,3 |

Анализ полученных данных показывает, что зависимость температуры стеклования от соотношения аддукта к чистому ИФДА носит экстремальный характер. Как правило, по отношению к эпоксидной смоле отвердитель берется в небольшом избытке от эквимолярного соотношения (10-15 %). Более высокая температура стеклования характерна для образцов с плотной трехмерной сеткой, что указывает на низкий аминный эквивалентный вес отвердителя и, как следствие, более высокие прочностные характеристики.

# ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕНОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ (МЕТ)АКРИЛАТОВ

***Халтурин А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: artemrtew@mail.ru*

# INFLUENCE OF FILLER ON PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF FOAM MATERIALS BASED ON (METH)ACRYLATES

***Khalturin A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Пеноматериалы на данный момент занимают важное место среди современных конструкционных материалов, что обусловлено совокупностью их свойств: низкой плотностью и хорошими физико-механическими характеристиками.

В рамках данного исследования было изучено влияние наполнителя – гидроксида алюминия с размером частиц 5 мкм на физико-механические характеристики пеноматериалов на основе (мет)акрилатов. Процесс вспенивания композиций с различным содержанием вспенивающего агента (от 1 до 4 масс.ч.) проводили в морозильной камере при температуре около -20 °С. В результате получили ряд образцов с широким диапазоном физико-механических характеристик. Кажущуюся плотность полученных пеноматериалов определяли по ГОСТ 409-2017, а максимальные напряжения при сжатии – по ГОСТ 23206-2017 на разрывной машине Shimadzu AG-X при скорости траверса 10 мм/мин. Результаты представлены на рисунке ниже.

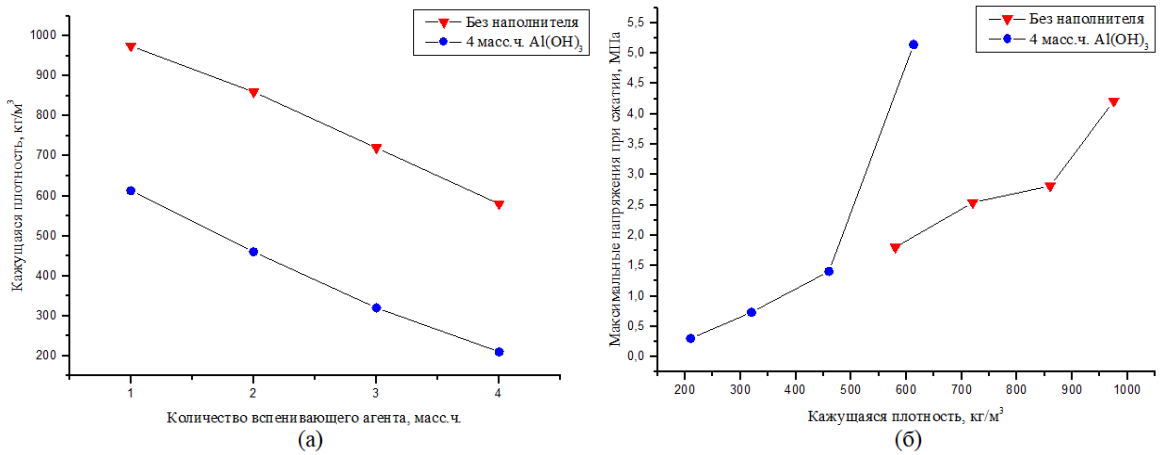



**Рисунок – Зависимость кажущейся плотности от содержания вспенивающего агента (а); зависимость максимального напряжения при сжатии от кажущейся плотности (б).**

Стоит отметить, что использование гидроксида алюминия в качестве наполнителя положительно сказалось на всех физико-механических характеристиках, полученных пеноматериалов. Так кажущаяся плотность образцов значительно уменьшилась и достигла 210 кг/м$^3$, причиной этого может быть увеличение количество центров газообразования. Кроме того, при сравнении механических свойств наполненных и ненаполненных пеноматериалов можно заметить, что при равных значениях кажущейся плотности (около 600 кг/м$^3$), прочностные характеристики наполненных образцов значительно превосходят ненаполненные, так максимальное напряжение при сжатии увеличилось в 2,8 раза для наполненных систем. Все вышесказанное позволяет сделать вывод о том, что наполнение гидроксидом алюминия способствует существенному увеличению физико-механических свойств (мет)акрилатных пеноматериалов и дает возможность регулировать кажущуюся плотность в более широких интервалах, позволяя расширить возможные сферы применения.

# ВЛИЯНИЕ НАПОЛНЕНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТООТВЕРЖДАЕМОЙ ПОЛИМЕРНОЙ АКРИЛАТНОЙ КОМПОЗИЦИИ

***Шепсман В.Д.*, *Аликин М.Б.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: lerash62@gmail.com*

## THE EFFECT OF FILLING ON THE PHYSICO-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF A PHOTO-CURABLE POLYMER ACRYLATE COMPOSITION

***Shepsman V.D.*, *Alikin M.B.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Важными параметрами при разработке полимерного композиционного материала для 3Д-печати являются физико-механические характеристики получаемого на его основе изделия. Целью данного исследования является установление зависимости физико-механических характеристик от содержания наполнителя разрабатываемой фотоотверждаемой полимерной композиции на основе мономеров и олигомеров акрилового ряда. В качестве наполнителя использовался оксид алюминия $Al_2O_3$ с диапазоном диаметров частиц (0,01-10) мкм.

Методика исследования заключалась в приготовлении трех композиций следующего состава: соотношение «гидроксиэтилметакрилат : эпокси(мет)акрилат» = (45 : 55), фотоинициатор – триметилбензоилдифенилфосфиноксид (ТПО). Содержание наполнителя варьировалось от 0 до 15 массовых частей. Результаты испытаний, напечатанных из данных композиций образцов приведены в таблице.

**Таблица – Результаты испытаний.**

| Содержание наполнителя, масс. ч. | Максимальное напряжение, МПа | Максимальная деформация, % | Модуль упругости, МПа |
|---|---|---|---|
| Испытание на сжатие | | | |
| 0 | 50,1±0,1 | 15,0±0,0 | 121,0±0,2 |
| 10 | 54,3±0,4 | 14,9±0,0 | 130,3±0,4 |
| 15 | 78,2±0,1 | 10,8±0,2 | 146,3±0,4 |
| Испытание на изгиб | | | |
| 0 | 131,4±0,9 | 4,1±0,1 | 4171,8±0,6 |
| 10 | 114,1±0,9 | 3,6±0,1 | 3795,4±0,4 |
| 15 | 63,9±0,9 | 3,5±0,1 | 2079,2±0,4 |
| Испытание на растяжение | | | |
| 0 | 9,2±0,9 | 0,5±0,1 | 3097,9±0,9 |
| 10 | 40,0±0,9 | 3,4±0,2 | 2797,9±0,9 |
| 15 | 41,0±0,9 | 3,8±0,2 | 2687,9±0,9 |

Таким образом, с увеличением содержания наполнителя возрастают модуль упругости и максимальное напряжение при сжатии, что связано с перераспределением напряжений между частицами наполнителя. Материал становится более жестким. При испытании на изгиб и растяжение наблюдается уменьшение модуля упругости. Это может быть связано с значительной потерей эластичности и формированием внутренних напряжений на границе раздела фаз между частицами наполнителя и полимерной матрицы, что провоцирует образование дефектов при приложении нагрузки на образец.

# ВЛИЯНИЕ ФОТОИНИЦИАТОРА НА КОНВЕРСИЮ НЕНАСЫЩЕННЫХ СВЯЗЕЙ ПРИ ФОТООТВЕРЖДЕНИИ

***Шепсман В.Д.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров*

*e-mail: lerash62@gmail.com*

# THE EFFECT OF THE PHOTOINITIATOR ON THE CONVERSION OF UNSATURATED BONDS DURING PHOTO-CURING

***Shepsman V.D.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Одним из этапов разработки фотополимерного композиционного материала для 3Д-печати является выбор и определение количества фотоинициатора. Цель исследования – рассмотрение зависимости конверсии двойных связей фотополимеракрилатной композиции от времени засветки слоя при варьировании количества фотоинициатора, добавляемого в систему.

Конверсия определялась с помощью метода ИК-спектроскопии по колебательным спектрам карбоксильных групп и двойных связей системы на основе мономеров акрилового ряда и эпокси(мет)акрилата. Результаты снимались с шагом времени засветки – 1 секунда. Расчет конверсии К (в %) производился по формуле:

$$К = (1 - \frac{A_{дt} / A_{кt}}{A_{д0} / A_{к0}}) \cdot 100\%,$$

где $A_{д0}$ и $A_{дt}$ – интенсивность пика двойной связи в момент времени засветки 0 секунд и t секунд соответственно,

$A_{к0}$ и $A_{кt}$ – интенсивность пика карбоксильной группы в момент времени засветки 0 секунд и t секунд соответственно.

На рисунке приведен полученный график зависимости конверсии от времени засветки при различных количествах добавленного фотоинициатора – триметилбензоилдифенилфосфиноксида (ТПО).

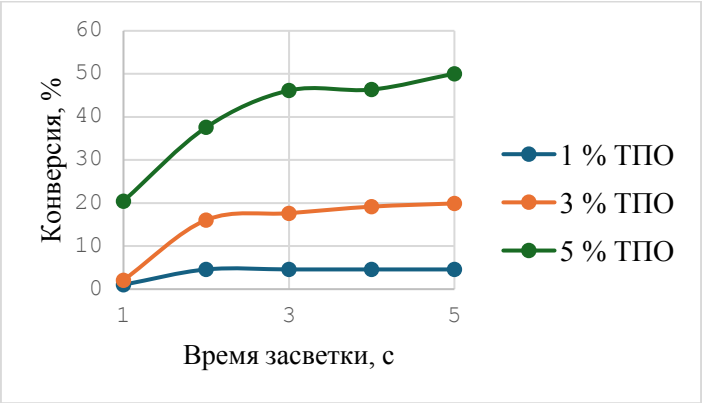



**Рисунок – Зависимость конверсии фотополимеризующейся системы от времени засветки.**

Таким образом, увеличение количества фотоинициатора способствует увеличению конверсии ненасыщенных связей системы.

# СЕКЦИЯ 9.

# ТЕХНОЛОГИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ



# ФУЛЛЕРЕНОЛЫ ДЛЯ БИОМЕДИЦИНСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

***Барканова Т.А.*[1], *Маркова М.А.*[1,2], *Лютова Ж.Б.*[1,2]**

[1]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра радиационной технологии,*

[2]*Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

*e-mail: tbarkanova03@gmail.com*

# FULLERENOLS FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS

***Barkanova T.A.*[1], *Markova M.A.*[1,2], *Lyutova Zh.B.*[1,2]**

[1]*Saint-Petersburg State Institute of Technology,*

[2]*Petersburg Nuclear Physics Institute named by B.P. Konstantinov of National Research Centre «Kurchatov Institute»*

Углеродные наноматериалы, представленные широким спектром аллотропных модификаций (фуллерены, нанотрубки, графен и его производные, и т.п.), демонстрируют уникальные физико-химические свойства, определяющие интерес к их использованию в биомедицине. Среди них выделяются фуллеренолы — простейшие водорастворимые производные фуллерена $C_{60}$ или $C_{70}$, функционализированные гидроксильными группами. Благодаря уникальному строению — гидрофильной оболочке из гидроксильных групп и гидрофобному углеродному ядру — фуллеренолы проявляют амфифильные свойства, которые в сочетании с биосовместимостью и антирадикальной активностью обусловливает высокий биомедицинский потенциал [1].

Биомедицинский потенциал фуллеренолов раскрывается в ряде перспективных направлений, фундаментально обусловленных их уникальными физико-химическими свойствами. Ключевым механизмом, лежащим в основе нейропротекторного и противоаллергического действия, является способность этих наноструктур выступать в роли эффективных ловушек активных форм кислорода, что позволяет рассматривать их как средства для борьбы с нейродегенеративными заболеваниями (например, болезнью Альцгеймера) и для снижения выброса гистамина при аллергических реакциях [2].

Другие важные эффекты реализуются через прямое взаимодействие фуллеренолов с патогенами и клетками. Противовирусная активность в отношении ВИЧ, вирусов гепатита и герпеса достигается за счет связывания с липопротеиновой оболочкой вирусов и ингибирования вирусных протеаз. Антибактериальное и фунгицидное действие (стафилококки, кандиду) связано с нарушением целостности мембран микроорганизмов благодаря высокой липофильности молекулы фуллеренола. В противоопухолевой терапии фуллеренолы перспективны как фотосенсибилизаторы для фотодинамической терапии и как платформы для адресной доставки лекарств, которые подавляют пролиферацию опухолевых клеток [2].

В рамках данной работы предполагается изучение биомедицинского применения фуллеренолов $C_{60}$ и $C_{70}$ с точки зрения их антирадикальной и антибактериальной активности. Проведенный сравнительный анализ позволит установить, какой из типов фуллеренолов проявляет более выраженные свойства, что имеет значение для их дальнейшего применения в терапевтических целях.

**Литература:**

1. H. Hu, Fullerenols Mitigate Radiation-Induced Myocardial Injury. Adv. Healthcare Mater.2023, 12, 2300819.

2. Khrapunova D.R. et al. Application of water-soluble fullerene derivatives for biomedical purposes // www.issledo.ru Editorial Board. – 2019. – P. 38.

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЗООГУМУСА НА СОДЕРЖАНИЕ КАРОТИНОИДОВ В СОЦВЕТИЯХ КАЛЕНДУЛЫ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ ЭКСТРАКЦИИ

***Кондратьева А.О.*[1], *Пухальский Я.В.*[2], *Лоскутов С.И.*[2]**

[1]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии полимеров,*

[2]*Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российской академии наук*

*e-mail: alyonakndrtv@gmail.com*

**ASSESSMENT OF ZOOHUMUS EFFECT ON CAROTENOID CONTENT IN CALENDULA INFLORESCENCES USING DIFFERENT EXTRACTION METHODS**

***Kondrateva A.O.*[1], *Puhalsky J.V.*[2], *Loscutov S.I.*[2]**

[1]*Saint Petersburg State Institute of Technology,*

[2]*VNIIIPD — Branch of the V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences*

Каротиноиды календулы – ценные биологически активные вещества с антиоксидантной активностью. В растениеводстве существует перспектива использования стимулирующих добавок на основе органических удобрений для повышения их биосинтеза в соцветиях. Одним из таких удобрений нового типа является зоогумус - продукт жизнедеятельности личинок синантропной мухи черная львинка., аналог птичьего помета [1]. Для корректной оценки его влияния на качество сырья необходим выбор метода экстракции, так как разные способы могут давать систематические различия. Цель работы – сравнить эффективность мацерации и экстракции в аппарате Сокслета для извлечения каротиноидов из сухих цветков календулы.

Экстракцию проводили из одной партии сырья двумя способами: мацерация (н-гексан, 25 °C, гидромодуль 1:10, 2×60 мин) и метод Сокслета (н-гексан, 68–70 °C, гидромодуль 1:20, 4 ч). Концентрацию каротиноидов определяли спектрофотометрически при 450 нм с использованием коэффициента поглощения β-каротина. Содержание каротиноидов выражали в мг на 100 г воздушно-сухого сырья (мг %).

Установлено, что выход каротиноидов зависит от метода. При использовании мацерации концентрация каротиноидов в гексановом экстракте составила 9.34 мкг/мл, что в пересчёте на сырье соответствует 18.68 мг/100 г. Метод Сокслета обеспечил концентрацию 3.34 мкг/мл, что соответствует 13.36 мг/100 г. Более высокий выход каротиноидов при мацерации по сравнению с методом Сокслета, вероятно, связан с отсутствием термической деградации, так как процесс проводили при комнатной температуре. В методе Сокслета длительный нагрев (68–70 °C, 4 ч.) мог вызвать частичную изомеризацию и разложение термолабильных каротиноидов. Полученные значения согласуются с литературными данными [1, 2].

Таким образом, мацерация при комнатной температуре позволяет избежать потерь при экстракции и может быть рекомендована для анализа каротиноидов при оценке влияния агроприёмов, включая внесение зоогумуса. Выбранная методика будет применена для изучения его действия на календулу в условиях защищённого грунта.

**Литература:**

1. Shahnazari S., Azizi A., Zarei M. Influence of Organics and Bio Fertilizers on Biochemical Properties of Calendula officinalis L. 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.29988.63367.

2. Nada R.S. et al. Effect of Organic Fertilizer and Plant Growth-Promoting Microbes on Growth, Flowering, and Oleanolic Acid Content in Calendula officinalis // Egypt. J. Soil Sci. 2024. Vol. 64, No. 3. P. 815–831.

# ПРИМЕНЕНИЕ БИОНАНОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ТЕРАПИИ ВИЧ-1

***Костикова Ю.А.*, *Смирнова А.В.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра молекулярной биотехнологии*
*e-mail: kostikova.yulia@gmail.com*

## APPLICATION OF BIONANOTECHNOLOGIES FOR HIV-1 THERAPY

***Kostikova Y.A.*, *Smirnova A.V.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Вирус иммунодефицита человека типа 1 (ВИЧ-1) относится к семейству *Retroviridae*, роду *Lentivirus*. Он характеризуется высокой скоростью мутаций, сложным жизненным циклом и способностью переходить в латентное состояние, что обеспечивает устойчивость к терапии. ВИЧ-1 представляет собой сферическую частицу диаметром 100–120 нм, содержащую липидную оболочку с gp120/gp41, конический капсид p24 и двухцепочечный РНК‑геном длиной около 9,7 тыс. нуклеотидов, ферменты: обратную транскриптазу, интегразу и протеазу, а также набор регуляторных и вспомогательных белков, обеспечивающих репликацию и уклонение от иммунного ответа.

Целью работы было обосновать научные и технологические подходы к созданию вирусных ловушек на примере ВИЧ‑1, используя детальный анализ его жизненного цикла и взаимодействия с иммунной системой.

Рассмотрены ловушки, действующие на разных этапах жизненного цикла вируса. На стадии прикрепления вируса к клетке возможно использование экстрацеллюлярных ловушек в виде наночастиц, покрытых пептидными фрагментами клеточного рецептора CD4 или рекомбинантными доменами CD4/CCR5, связывающих gp120 и предотвращающих заражение. На этапах обратной транскрипции и интеграции мишенями выступают обратная транскриптаза, интеграза, вспомогательный белок Vpr и белки ядерного импорта. На стадии сборки и созревания эффективны РНК-наноструктуры с так называемыми STL-мотивами, конкурирующие с геномной РНК и нарушающие формирование вирионов, а также ингибиторы вспомогательного белка Vpu, препятствующие выходу зрелых частиц [1].

Отдельно рассматриваются ловушки, влияющие на клеточную гибель. Одним из наиболее изученных подходов является применение антагонистов корецепторов CCR5 и CXCR4 [2]. Данные соединения блокируют $Ca^{2+}$-зависимую активацию фермента пептидиларгининдеиминазы 4-го типа, тем самым ограничивая развитие нетоза.

Проведённый анализ жизненного цикла ВИЧ‑1 и механизмов его взаимодействия с клетками хозяина демонстрирует, что разработка вирусных ловушек представляет собой перспективное направление, объединяющее нанотехнологии, иммуномодуляцию и таргетированное вмешательство в репликационный цикл ВИЧ-1, что может приблизить создание функциональных стратегий контроля инфекции.

**Литература:**

1. Zhang Q., Mi Z., Huang Y., Ma L., Ding J., Wang J., Zhang Y., Chen Y., Zhou J., Guo F., et al., 2-Thio-6-Azauridine Inhibits Vpu Mediated BST-2 Degradation, Retrovirology, 2016, 13, 13. doi:10.1186/s12977-016-0247-z

2. Liu YL, Tsai IC, Chang CW, Liao YF, Liu GY, Hung HC. Functional roles of the non-catalytic calcium-binding sites in the N-terminal domain of human peptidylarginine deiminase 4. PLoS One. 2013;8(1):e51660. doi: 10.1371/journal.pone.0051660. Epub 2013 Jan 30. PMID: 23382808; PMCID: PMC3559651.

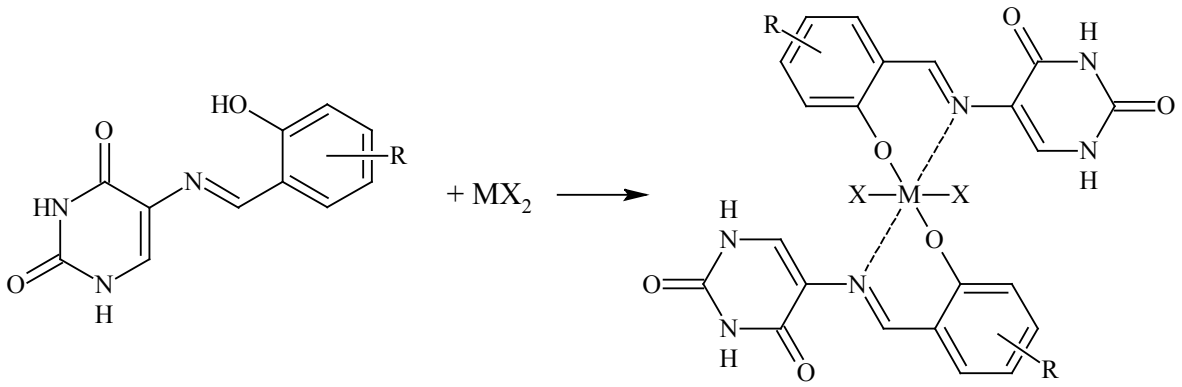
# МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСЫ 5-АРИЛИДЕНАМИНОУРАЦИЛОВ

***Кузнецов А.С.*, *Лопушкова Т.Н.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химии и технологии синтетических биологически активных веществ*
*e-mail: kruerk@yandex.ru*

**METAL COMPLEXES OF 5-ARYLIDENAMINOURACILS**

***Kuznetsov A.S.*, *Lopushkova T.N.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Ранее на кафедре химии и технологии синтетических биологически активных веществ был синтезирован ряд 5-арилиденаминоурацилов (I). Указанные соединения проявили высокую активность по отношению к штаммам микобактерий, дрожжевых грибов и бактерий, но обладают существенным недостатком: плохой растворимостью в воде. Синтез натриевых, калиевых и аммониевых солей соединений I, а именно они были получены для устранения подобного недостатка, не привел к желаемому результату.




(I) (II)

где M – катион металла, X- анион (галоген, $NO_2$).

В настоящей работе осуществлен синтез комплексов азометинов (I) с солями цинка и меди (II). В таблице представлены сравнительный данные по антибактериальной активности соединений I и II. Ингибирующая активность цинковых комплексов (II) по отношению к штаммам *C. albicans, A. niger* и *M. tuberculosis* заметно превышает таковую для азометинов. Причем сильнее всего активность возрастает при наличие гидроксильной группы во втором положении бензольного кольца.

**Таблица – Данные по биологической активности соединений I и II.**

| № | R | Уровень биологической активности, $MIC_{100}$, мкг/мл | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Бактерии | | Грибы | | Микобактерии |
| | | *Escherichia coli* | *Staph. Aureus* | *Candida albicans* | *Aspergillus niger* | *Mycobacterium tuberculosis* |
| Iа | 3-$NO_2$ | >100 | >100 | >100 | >100 | >100 |
| IIа | | >100 | >100 | 100 | >100 | >100 |
| Iб | 2-Cl | >100 | >100 | >100 | >100 | >100 |
| IIв | | >100 | >100 | 50 | 100 | 50 |
| Iв | 2-OH-3,5-$Cl_2$ | >100 | >100 | >100 | >100 | >100 |
| IIв | | >100 | >100 | 50 | 100 | 50 |
| Iг | 2-OH-5-Cl | >100 | >100 | 100 | >100 | >100 |
| IIг | | >100 | 6.2 | 100 | >100 | >100 |

# НОВЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ АМИНИРОВАННЫХ ФУЛЛЕРЕНОВ $C_{60}$ И $C_{70}$ С ФОЛИЕВОЙ КИСЛОТОЙ – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРЕПАРАТЫ ДЛЯ ЦЕЛЕВОЙ ДОСТАВКИ К ОПУХОЛЯМ

***Растегаева С.А.*[1], *Титова А.В.*[1,2], *Седов В.П.*[2], *Борисенкова А.А.*[1,2]**

*[1]Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра радиационной технологии,*

*[2]Петербургский институт ядерной физики имени Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

*e-mail: rastsphand@gmail.com*

# NEW DERIVATIVES OF AMINATED FULLERENES $C_{60}$ AND $C_{70}$ WITH FOLATE ARE PROMISING DRUGS FOR TARGETED DELIVERY TO TUMORS

***Rastegaeva S.A.*[1], *Titova A.V.*[1,2], *Sedov V.P.*[2], *Borisenkova A.A.*[1,2]**

*[1]Saint Petersburg State Institute of Technology,*

*[2]Petersburg Nuclear Physics Institute named by B.P. Konstantinov of National Research Centre «Kurchatov Institute»*

Современное использование радиоизотопов для терапии онкологических заболеваний основано на возможности доставки радиофармпрепарата непосредственно в опухолевые клетки. Фуллерены и их производные обладают широким спектром биологической активности. Кроме того, перспективным является внедрение радиоактивных изотопов в фуллереновую молекулу для дальнейшей их доставки к очагу опухоли в организме для точечного лечения. Так, было показано, что биосовместимые конъюгаты фуллеренов с фолиевой кислотой (ФК) перспективны для целевой доставки к опухолевым клеткам, обладающим повышенной экспрессией фолатных рецепторов на поверхности [1].

Целью данной работы являлся синтез и характеризация аминопроизводных фуллеренов $C_{60}$ и $C_{70}$, конъюгированных с ФК.

Аминирование фуллеренов $C_{60}$ и $C_{70}$ производили реакцией с этилендиамином (ЭДА). Затем аминопроизводные производные фуллеренов были модифицированы N-гидроксисукцинимидным эфиром ФК (ФК-NHS), предварительно полученным из ФК с помощью DCC/NHS реакции. Для определения химического состава образцов были проведены элементный анализ и термогравиметрический анализ (ТГА). Кроме того, образцы были дополнительно исследованы с помощью ЯМР, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, УФ- и ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье. Оценена активность соединений против модельных стабильных радикалов (ДФПГ и АБТС) и активных форм кислорода (гидроксильный радикал, супероксид, синглетный кислород). Поведение частиц аминопроизводных $C_{60}$ и $C_{70}$ и их конъюгатов с ФК в водных и физиологических растворах оценено методом динамического рассеяния света (ДРС) и измерения дзета-потенциала.

**Литература:**

1. Borisenkova A.A. et al. Fullerene $C_{60}$ Conjugate with Folic Acid and Polyvinylpyrrolidone for Targeted Delivery to Tumor Cells // International Journal of Molecular Sciences. 2024. V. 25. No. 10. P. 5350.

# РАЗЛОЖЕНИЕ N-ГИДРОКСИСУКЦИНИМИДНОГО ЭФИРА ФОЛИЕВОЙ КИСЛОТЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ УФ- И ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

***Федорова Ю.А.*[1], *Растегаева С.А.*[1], *Титова А.В.*[1,2], *Борисенкова А.А.*[1,2]**

[1]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра радиационной технологии,*

[2]*Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра — Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова*

*e-mail: julifed2003@gmail.com*

## DEGRADATION OF N-HYDROXYSUCCINIMIDE ESTER OF FOLIC ACID UNDER THE INFLUENCE OF UV AND ELECTRON IRRADIATION

***Fedorova Yu.A.*[1], *Rastegaeva S.A.*[1], *Titova A.V.*[1,2], *Borisenkova A.A.*[1,2]**

[1]*Saint-Petersburg State Institute of Technology,*

[2]*Branch of the Federal State Budgetary Institution «B.P. Konstantinov St. Petersburg Institute of Nuclear Physics of the National Research Center»— I.V. Grebenshchikov Institute of Silicate Chemistry*

Поглощение фолиевой кислоты (ФК) опосредовано фолатными рецепторами, сверхэкспрессируемыми некоторыми типами раковых клеток. Эта особенность традиционно используется для разработки систем селективной доставки лекарств, включая радиоизотопы. Одним из промежуточных продуктов синтеза подобных систем с ФК является N-гидроксисукцинимидный эфир ФК (ФК-NHS), структурная формула которого представлена на рисунке. ФК-NHS эфир используется для модификации поверхности наночастиц, химио- или радиофармацевтических препаратов с целью улучшения их интернализации в опухолевые клетки, и, как следствие, повышения эффективности терапии [1,2].

Известно, что ФК разлагается под воздействием УФ- и ионизирующего излучения, поэтому целью данной работы стало изучение фотолиза и радиолиза ФК-NHS в средах с различным pH, что является актуальным при синтезе конъюгатов с помощью этого эфира.

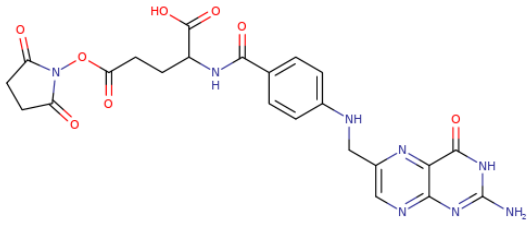


**Рисунок – Структурная формула ФК-NHS эфира.**

ФК-NHS был синтезирован из ФК с помощью DCC/NHS реакции в ДМФА. С помощью УФ-спектрофотометрии установлены особенности фотолиза и радиолиза в зависимости от pH среды (4,5; 7,2; 10,7). Определен радиационно-химический выход разрушения ФК-NHS. Установлено влияние среды на процесс радиолиза и фотолиза: эфир ФК-NHS является более устойчивым к воздействию УФ- и ионизирующего излучения в кислой среде.

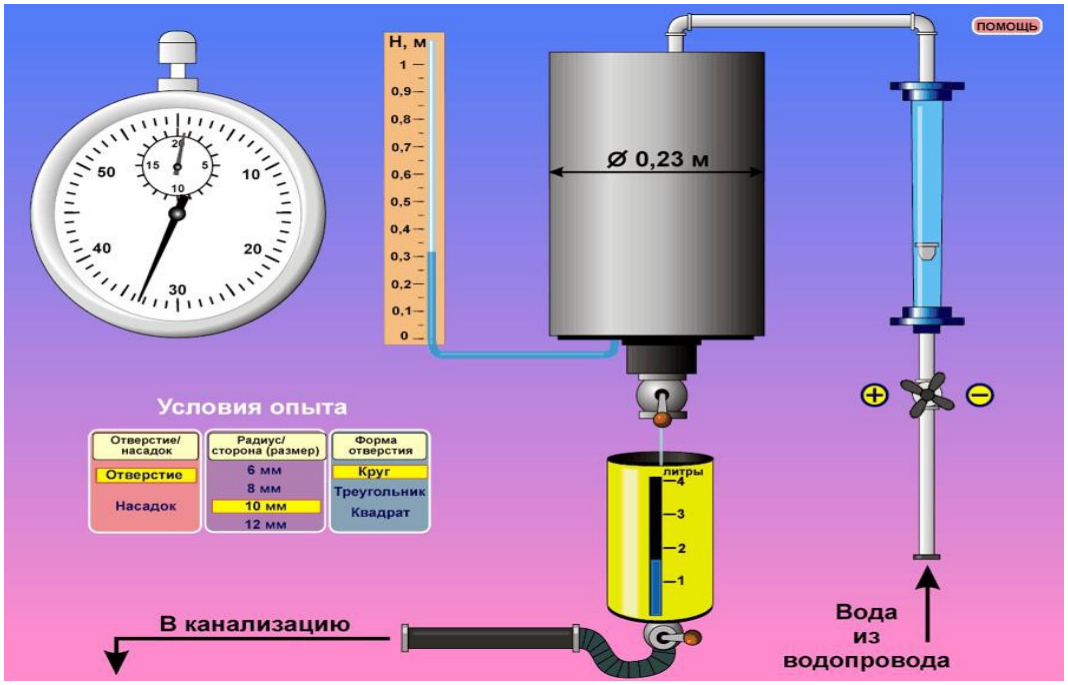
**Литература:**

1. Singh S. K., Singh R. Surface Plasmon Resonance, a Novel technique for sensing Cancer Biomarker: Folate receptor and nanoparticles interface //Cancer Biomarkers: Methods and Protocols. – New York, NY : Springer US, 2022. – С. 211-228.

2. San H. H. M. et al. Folic acid-grafted chitosan-alginate nanocapsules as effective targeted nanocarriers for delivery of turmeric oil for breast cancer therapy //Pharmaceutics. – 2022. – Т. 15. – №. 1. – С. 110.

# СЕКЦИЯ 10.

# ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ



# СРАВНЕНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ВИХРЕВЫХ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ С РАЗЛИЧНЫМИ УГЛАМИ НАКЛОНА ЛОПАТОК

***Артамонов А.А.*, *Абиев Р.Ш.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры*

*e-mail: giperbol123@gmail.com*

# COMPARISON OF THE HYDRODYNAMICS ON SWIRLED FLOW CONTACT DEVICES WITH DIFFERENT BLADE INCLINATION ANGLES

***Artamonov A.A.*, *Abiev R.Sh.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Газожидкостные реакторы различных типов широко распространены в химической, нефтехимической и биотехнологической промышленности. Ряд технологических процессов, таких как гидрирование, галогенирование, сульфирование, нитрование, окисление органических и неорганических веществ [1], а также рост биомассы аэробных клеточных культур и биосинтез, протекают в системах газ-жидкость [2].

Целью данной работы являлась оценка влияния углов наклона лопаток завихрителей θ (24, 30, 45°) вихревого контактного устройства (ВКУ) на среднюю удельную скорость диссипации энергии $\varepsilon_{av}$ в рабочей зоне аппарата. В качестве сплошной рабочей среды использовалась вода. Зависимость средней удельной скорости диссипации энергии $\varepsilon_{av}$ от скорости жидкости, приведенной к сечению завихрителя, *w* представлена на рисунке.

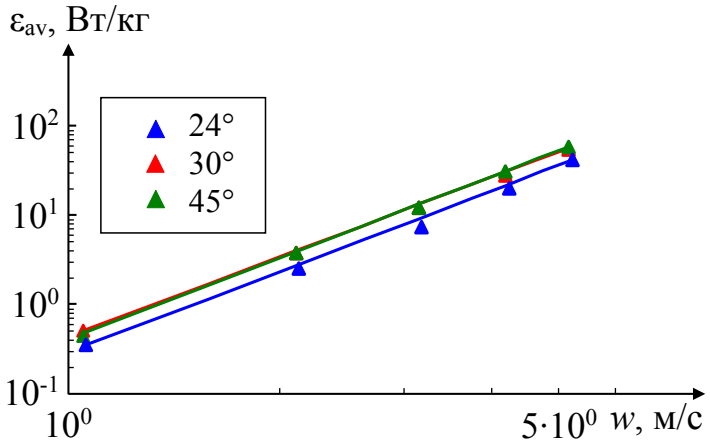



**Рисунок – Зависимость средней удельной скорости диссипации энергии от скорости жидкости, приведенной к сечению завихрителя, в логарифмических координатах.**

В ходе работы было показано, что завихрители с углами наклона лопаток θ = 30° и θ = 45° дают ~ в 1.40 раз более высокие значения средней удельной скорости диссипации энергии $\varepsilon_{av}$, чем аналогичная конфигурация с θ = 24° в 1.40 раз. Полученные данные позволяют прогнозировать более эффективное дробление газовых пузырей и высокие значения коэффициентов массопередачи для ВКУ с углами наклона лопаток завихрителей θ = 30° и θ = 45°.

**Литература:**

1. Pisu M., Cincotti A., Cao G. et al. Simulation of the effect of mass transfer limitations in complex gas-liquid reactions // Stud. Surf. Sci. Catal. 2001. Т. 133. С. 471-476.

2. Соколов В.Н., Яблокова М.А. Аппаратура микробиологической промышленности. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988.

# РАСПЫЛИТЕЛЬНАЯ ФОРСУНКА НА ОСНОВЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

***Брюхов Р.Р.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра процессов и аппаратов*

*e-mail: b2roman@yandex.ru*

## SPRAY NOZZLE BASED ON A PULSE JET ENGINE

***Bruhov R.R.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В данной работе будет рассмотрен вариант пневматической распылительной форсунки, в которой для распыления жидкости в качестве источника газового потока используется пульсирующий воздушно-реактивный двигатель (ПуВРД).

В качестве основы форсунки применяется бесклапанный ПуВРД с U-образным движением газа (см. рисунок) с установленным жиклером подачи распыляемого вещества в выходной трубе.

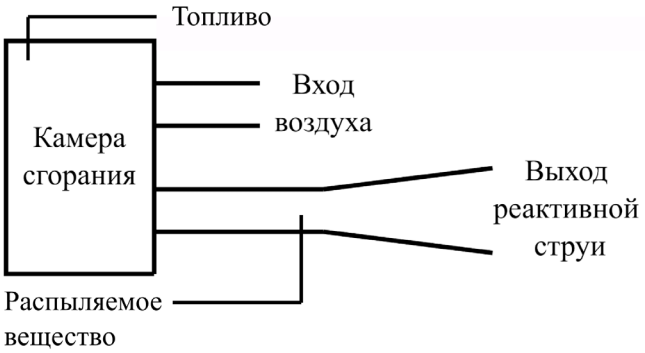



**Рисунок - Принципиальная схема бесклапанного ПуВРД.**

Бесклапанная модификация является более предпочтительной ввиду отсутствия лепесткового или иного клапана, который подвержен быстрому износу под воздействием высоких температур и знакопеременных высокочастотных механических нагрузок.

В зависимости от вида используемого топлива и конструкции двигатель способен выдавать пульсирующий поток газа, температура которого может превышать 1500 °C, а скорость приближается к скорости звука.

Указанный набор характеристик делает применение такого двигателя перспективным в области распылительной сушки, одной из основных проблем которой, является налипание неиспарившихся капель на внутреннюю поверхность корпуса сушильного аппарата.

Высокая скорость газового потока дробит распыляемое вещество на мелкие капли, размер которых ожидается значительно меньше, чем при применении классических пневматических форсунок, работающих на сжатом воздухе. Также упрощается распыление вязких материалов и суспензий. Высокая температура газа приводит к ускоренной сушке уже уменьшенных капель. Таким образом капли будут успевать высохнуть до соприкосновения со внутренней стенкой, что значительно снизит налипание.

Предложенная форсунка способна увеличить производительность установок распылительной сушки и в отдельных случаях улучшить качество выпускаемого продукта. Например, при сушке суспензий ожидается уменьшение среднего размера агломератов твердых частиц.

# БЛОЧНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА В РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМАХ

***Гилевская О.В.*, *Марков А.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра процессов и аппаратов*

*e-mail: olga4er@gmail.com, markov-av@yandex.ru*

# BULK POLYMERIZATION OF METHYL METHACRYLATE IN VARIOUS TEMPERATURE CONDITIONS

***Gilevskaya O.V.*, *Markov A.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Полимеризация в массе (блочная полимеризация), осуществляемая без перемешивания и без участия растворителей (разбавителей), отличается рядом существенных преимуществ. Полимеризация метилметакрилата протекает по радикальному механизму со значительным выделением тепла (Q = 0,545 МДж/кг). Для предотвращения перегрева процесс ведут с невысокой скоростью в охлаждаемом реакторе с тонким слоем реакционной массы. Установлено, что увеличить равномерность прогрева реакционной массы и тем самым повысить качество готового продукта можно путем использования переменного во времени температурного режима реактора. Согласно [1,2] оптимальный температурный режим реактора соответствует критерию: $\tau_{общ} = f\,(T_{R1},\, T_{R2}) \rightarrow \min$ при ограничении: $\tau_{15}/\tau_{общ} > 0{,}5$. Здесь $\tau_{общ}$ – общее время процесса; $\tau_{15}$ – отрезок времени, в течение которого перепад температур по высоте слоя не превышает 15К; $T_{R1}$, $T_{R2}$ – температуры хладоагента в рубашке реактора.

Показатели процесса блочной полимеризации метилметакрилата в различных температурных режимах приведены в таблице.

**Таблица – Показатели периодического процесса блочной полимеризации метилметакрилата.**

| Показатели процесса и свойства продукта | Температурный режим реактора | |
|---|---|---|
| | $T_R$ = 71 ºС<br>Режим 1 | $T_{R1}$ = 71 ºС при 0 мин,<br>$T_{R2}$ = 85 ºС при 50 мин<br>Режим 2 |
| Высота слоя, мм | 5 | 5 |
| Начальная температура, ºС | 20 | 20 |
| Максимальная температура $T_{max}$, ºС | 92,2 | 95 |
| Глубина полимеризации | 0,9 | 0,9 |
| Общее время процесса, мин | 165,4 | 90,5 |
| Средняя молекулярная масса $M_w$ | $0{,}24\cdot10^6$ | $0{,}24\cdot10^6$ |

Можно видеть, что режим реактора с переключением температур хладоагента обеспечивает значительное сокращение общей продолжительности процесса без ухудшения качества продукции.

**Литература:**

1. Гилевская О.В., Марков А.В. Температурные режимы химического реактора для жидкофазных процессов в неподвижном слое // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), 2023. - №66. – С. 92-96.

2. Гилевская О.В., Марков А.В. Математическая модель процесса блочной полимеризации изопрена при неравномерном тепловом режиме реактора // Математические методы в технологиях и технике, 2022. - №9. – С. 35-39.

# ПРИМЕНЕНИЕ ПРИЖИМНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЛЕНТ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

***Дмитриев Д.Д., Арефьев Е.М.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра механики*

*e-mail: danchester2002@mail.ru*

# APPLICATION OF PRESSURE DEVICES TO INCREASE BELT DURABILITY OF BELT CONVEYORS

***Dmitriev D.D., Arefiev E.M.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Ленточный конвейер является одним из ключевых механизмов непрерывного транспорта в горнодобывающей, химической и других отраслях промышленности. Основной, наиболее дорогой и наименее долговечный элемент конвейера, который является одновременно грузонесущим и тяговым органом – это конвейерная лента. В связи с чем актуальна проблема повышения ее долговечности.

Теоретической основой для расчета тяговой способности является классическая формула Эйлера:

$$F = S_{\text{нб}} - S_{\text{сб}} = S_{\text{сб}} \cdot e^{\mu\alpha}$$

Таким образом, тяговая способность зависит от коэффициента трения между лентой и барабаном (μ), углом обхвата лентой барабана (α) и разности сил натяжения в набегающей ($S_{нб}$) и сбегающей ($S_{сб}$) ветвях ленты [1].

Для повышения тяговой способности используются следующие классические методы: многобарабанные приводы, нажимные и тяговые дополнительные ленты, прижимные устройства, модификация поверхности барабана. Современными методами являются: применение приводов на основе низкооборотных двигателей с постоянными магнитами и частотно-регулируемых электроприводов [2].

Среди всех методов, использование прижимных устройств является наиболее сбалансированным способом повышения тяговой способности, так как воздействуют на два ключевых параметра – угол обхвата и коэффициент трения. Также, прижимные устройства обладают меньшей металлоемкостью, повышенной надежностью, высокой технологической гибкостью и проще в монтаже и обслуживание.

**Литература:**

1. Евневич А.В. Горные транспортные машины. Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. И доп. – М.: Недра, 1976. – 440 с

2. Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. Машины непрерывного транспорта. М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.

# СРАВНЕНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ В ДВУХСТУПЕНЧАТЫХ МИКРОРЕАКТОРАХ С ЗАКРУЧЕННЫМИ ПОТОКАМИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ПОДАЧИ ЖИДКОСТИ

***Ермакова Д.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры*
*e-mail: abiev.rufat@gmail.com*

## COMPARISON OF HYDRODYNAMICS IN TWO-STAGE MICROREACTOR WITH INTENSEVLY SWIRLED FLOWS FOR VARIOUS LIQUID SUPPLY METHODS

***Ermakova D.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В последние годы вырос интерес к микрореакторному синтезу наночастиц, а именно с использованием метода совместного осаждения. В отличие от традиционного «капельного» метода, здесь растворы солей и осадителя подаются с равными (или сопоставимыми) расходами [1]. Ключевой характеристикой, позволяющей оценить качество микросмешения, выступает удельная скорость диссипации энергии (ε). Целью работы являлось экспериментальное определение и сравнительный анализ удельной скорости диссипации энергии в микрореакторе с двумя соплами (MRISF-2-2) относительно конфигурации с одним соплом (MRSIF-2) [1] для оценки эффективности микросмешения.

Растворы подавались в аппарат двумя способами - тангенциальный верхний и центральный (TU1+C), два верхних тангенциальных (TU1+TU2).

Зависимость удельной скорости диссипации энергии аппроксимировали формулой:

$$\varepsilon = A_1 Q^{n_1}$$

**Таблица - Параметры аппроксимационных кривых для двух способов подачи жидкости в MRSIF-2-2.**

| Наименование параметра | (TU1+C) | (TU1+TU2) |
|---|---|---|
| $A_1$ | 1,279 | 0,838 |
| $n_1$ | 2,989 | 3,164 |
| $R^2$ | 0,999 | 0,996 |

Полученные значения показателя $n_1$ во всех случаях близки к 3 (см. таблицу), что соответствует теоретическим представлениям.

Результаты гидродинамических исследований MRSIF-2-2 показали, что подача исходных растворов через центральный и верхний тангенциальный патрубки обеспечивает более высокие значения удельной скорости диссипации энергии по сравнению с MRSIF-2.

Для каждого типа конфигурации наблюдается рост локальной удельной скорости диссипации энергии с увеличением расхода. В диапазоне суммарных расходов 1-5 л/мин для MRSIF-2-2 значения ε составили от 1,06 до 118 кВт/кг, что в несколько раз выше при максимальных расходах, чем в MRSIF-2. Это объясняется наличием дополнительного сопротивления, обусловленного сужением потока во втором сопле в MRSIF-2-2.

**Литература:**

1. Абиев Р.Ш., Макушева И.В. // Теоретические основы химической технологии, 2022. - том 56, № 2. - С. 137-147.

# ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ КИСЛЫХ ГАЗОВ В ТАРЕЛЬЧАТОМ АБСОРБЕРЕ

***Жихарева А.С.*, *Гилевская О.В.*, *Банных О.П.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра процессов и аппаратов*
*e-mail: annzhiha04@mail.ru, olga4er@gmail.com*

## TECHNOLOGY OF CLEANING ACID GASES IN A PLATE-TYPE ABSORBER

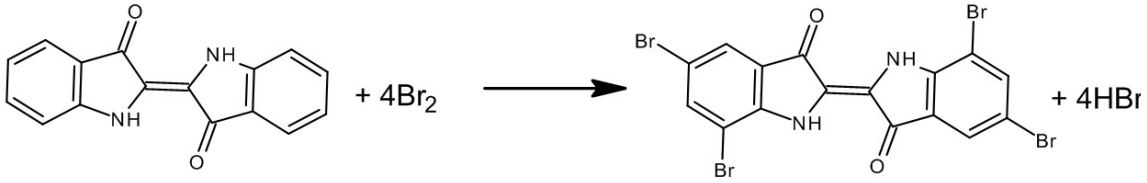
***Zhikhareva A.S.*, *Gilevskaya O.V.*, *Bannykh O.P.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Органические красители находят широчайшее применение в самых различных производственных областях. Особый практический интерес для текстильной промышленности специального назначения представляют галогензамещенные производные индиго. Среди них значительную ценность имеет 5,5',7,7'-тетраброминдиго (ТБИ), это обусловлено его уникальными спектральными свойствами, проявляющимися в ближнем инфракрасном диапазоне. Существует перспектива применения ТБИ для создания тканей с маскировочной окраской, что обеспечивает высокую степень защиты от обнаружения современными оптико-электронными средствами наблюдения [1].

Исходя из последних «зеленых» тенденций, в настоящее время приоритетом любого производства является минимизация вредных выбросов. В частности, при синтезе 5,5',7,7'-тетраброминдиго методом бромирования индиго в сернокислой среде образуются кислые газы, представляющие собой один из основных отходов этого производства.

$$2NaBr + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + 2HBr$$

$$2HBr + H_2SO_4 = Br_2 + SO_2 + 2H_2O$$




Ключевой задачей является разработка и оптимизация технологии взаимной нейтрализации, которая позволит очищать отходящие газы, содержащие $SO_2$, путем их контакта с щелочными сточными водами, образующимися при фильтрации красителя. В тарельчатом абсорбере такой подход обеспечит обезвреживание кислых выбросов и утилизацию части жидких отходов производства, что решает одновременно две экологические задачи.

Была разработана технологическая схема, предполагающая рециркуляцию абсорбента с целью экономии щелочи и уменьшения количества сточных вод. Такая схема предусматривает многократный проход абсорбента через тарельчатый абсорбер, обеспечивая тем самым наиболее полное и эффективное насыщение жидкости улавливаемым газом. Произведен расчет тарельчатой абсорбционной колонны. Подобрано стандартное оборудование.

**Литература:**

1. Патент № 2326197 C2 Российская Федерация, МПК D06P 3/24. Текстильный материал из нитей окрашенного волокна и использование его для изготовления камуфляжных изделий: № 2005104110/4: заявл. 16.08.2003: опубл. 10.06.2008 / Г. Краббе, Х.-Р. Мах.

# РАЗРАБОТКА МЕХАТРОННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ВЫСОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА БАЗЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА

***Иванов Ф.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра мехатронных технологических комплексов*

*e-mail: ivannov.fadya@gmail.com*

# DESIGN OF MECHATRONIC COMPLEX FOR HIGH-ENERGY MATERIALS PRODUCTS BASED ON A PNEUMATIC MANIPULATOR

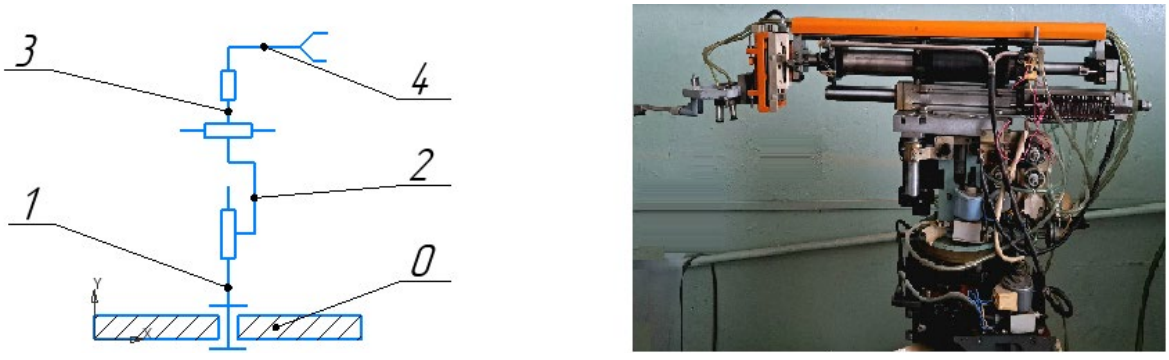
***Ivanov F.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Основой многих мехатронных технологических комплексов в производствах изделий из высокоэнергетических материалов часто являются промышленные роботы. В связи с пожаро- и взрывоопасностью производства манипуляторы с пневматическими приводами являются наиболее предпочтительными, хотя, несмотря на преимущества в скорости и безопасности, имеют ограничениями по точности из-за упругих свойств рабочего тела.

При разработке мехатронного комплекса первоначально определяют функциональность и геометрию движений манипулятора. Вторым этапом разработки манипулятора является построение кинематической схемы – упрощённого графического представления механизма, которое отражает последовательность соединения звеньев и типы кинематических пар. Одновременно задаются геометрические и функциональные ограничения – максимальные углы поворота суставов, пределы хода пневмоцилиндров, зоны недопустимых положений.

Например, представленный на рисунке манипулятор осуществляет загрузочно-разгрузочные операции: захват заготовки и транспортирование детали. Для выполнения этих операций манипулятор имеет 4 степени свободы: модуль поворота; модуль подъема; перемещение вдоль горизонтальной оси (двух- и многопредельный пневмоцилиндры); захват (кисть).




**1 – вращательная пара, 2, 3, 4 – поступательные пары**
**Рисунок – Кинематическая схема промышленного пневматического манипулятора.**

На следующем этапе выполняют 3-хмерное моделирование и динамический анализ, определяются общие зависимости между силами (моментами сил), действующими на звенья механизма, и кинематическими параметрами механизма с учётом масс (моментов инерции) его звеньев, для чего обычно используют системы САПР, такие как Солидворкс или Компас. Далее приступают к разработке системы управления манипулятором, чаще всего на базе микроконтроллера.

# СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ КОМПАКТНОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УЛАВЛИВАНИЯ $CO_2$

***Ковалева А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*
*e-mail: akov13.17@gmail.com*

## SYSTEM ANALYSIS OF COMPACT SPRAY SYSTEM FOR $CO_2$ CAPTURE

***Kovaleva A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Большая озабоченность увеличением выбросов парниковых газов и последствиями изменения климата стимулировала разработку технологий противодействия, среди которых улавливание углерода привлекло особое внимание в последние десятилетия [1]. Однако высокие капитальные и эксплуатационные затраты ограничивают её внедрение.

Традиционные насадочные колонны абсорбции углекислого газа характеризуются высокой металлоёмкостью, значительными гидравлическими потерями и энергозатратами на циркуляцию растворителя. В работе проведён системный анализ компактной распылительной системы, где абсорбер заменён аппаратом с форсунками для образования капель растворителя, обеспечивающих усиленный массоперенос за счёт увеличенной удельной поверхности.

Моделирование в Aspen Plus осуществлялось для двух вариантов процесса: традиционного с насадочной колонной (насыпная насадка типа колец Палля) и компактного с распылительным абсорбером и компрессором дымовых газов (имитация капельного режима путём варьирования коэффициента заполнения).

Ключевые аппаратурные преимущества компактной системы:

1. Снижение расхода моноэтаноламина (MEA) за счёт улучшения коэффициента объёмного массообмена при капельном массопереносе;
2. Уменьшение тепловой нагрузки на ребойлер отпарной колонны;
3. Значительная компактность абсорбера по сравнению с насадочной колонной.

Приведённая стоимость улавливания углерода оказалась чувствительной к энергопотреблению компрессора (перепад давления, основная доля эксплуатационных затрат). Анализ чувствительности выявил потенциал значительного снижения затрат при оптимизации компрессорного оборудования и конструкций форсунок.

Компактная распылительная технология демонстрирует выраженные технические преимущества и обладает хорошим потенциалом экономической эффективности при дальнейшей оптимизации. Рекомендуется экспериментальная верификация коэффициентов массообмена и моделирование вычислительной гидродинамикой для подтверждения моделированных эффектов.

**Литература:**

1. Дмитриевский, А.Н. Геологическое захоронение диоксида углерода. Теория, история и методология: сборник научных трудов / А.Н. Дмитриевский, С.А. Хан, В.Г. Дорохин. — Москва: ФЛИНТА, 2023. — 296 с. — ISBN 978-5-9765-5282-1.

# ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ФИЛЬТР СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ АРГОНА

***Копейкин М.Р.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра мехатронных технологических комплексов*

*e-mail: hadzekage.cu-152@mail.ru*

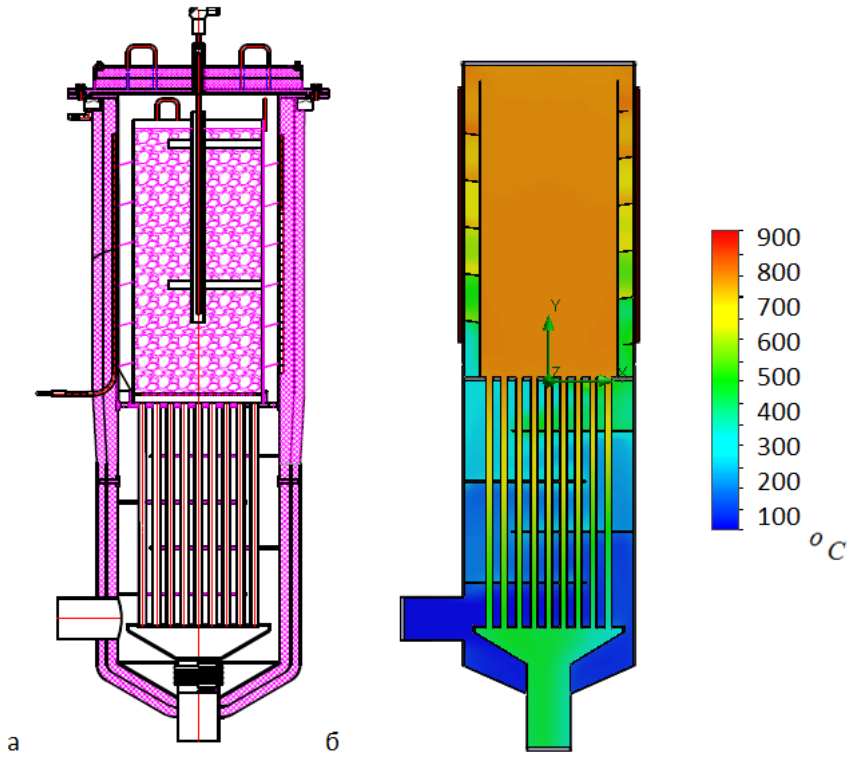
# HIGH TEMPERATURE FILTER FOR ARGON PURIFICATION SYSTEM

***Kopeykin M.R.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Обеспечение высокого качества сварки химически активных сплавов, в частности титановых, решается путём создания защитной, постоянно очищаемой, инертной среды из аргона в обитаемой сварочной камере. Очистка аргона происходит в несколько этапов: предварительная осушка в адсорбере; высокотемпературная очистка от кислорода и азота в высокотемпературном фильтре; термическая очистка от водорода; охлаждение; и финальная осушка.

На рисунке представлена модернизированная конструкция высокотемпературного фильтра. Фильтр работает с рекуперацией тепла, нагрев аргона происходит до 800-850 °С, в центральной части аппарата, заполненной титановой губкой аргон контактирует с химически активным металлом, который связывает остаточные примеси кислорода и азота, образуя стойкие соединения (нитриды и оксиды титана), далее охлаждается в теплообменнике до 400 °С и поступает для очистки от водорода в низкотемпературный фильтр.




**а – конструкция; б – температурное поле**

**Рисунок – Высокотемпературный фильтр.**

Результаты моделирования в программе SolidWorks подтверждают, что предложенная конструкция фильтра обеспечивает эффективные рабочие температуры аргона 800-850 °С и 400 °С при рекуперации тепла, что снижает общие энергозатраты системы и обеспечивает эффективную очистку аргона.

# ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА МИКРОСМЕШЕНИЯ ПРИ ПОДАЧЕ В ДВА И ТРИ ПАТРУБКА ДВУХСТУПЕНЧАТОГО МИКРОРЕАКТОРА С ЗАКРУЧЕННЫМИ ПОТОКАМИ

***Макушева И.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры*

*e-mail: makusheva2012@yandex.ru*

# THE STUDY OF THE QUALITY OF MICROMIXING WHEN FEEDING TO TWO AND THREE PIPES OF A TWO-STAGE MICROREACTOR WITH SLIRING FLOWS

***Makusheva I.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Одним из главных параметров, влияющих на размер наночастиц, является качество смешения, играющее решающую роль в быстрых жидкофазных реакциях. При исследовании смешения в химических реакторах учитываются следующие уровни смешения: макро-, мезо- и микросмешение [1]. Процессы смешения на микроуровне могут влиять на процессы осаждения, конверсию и селективность химической реакции. Скорость микросмешения также влияет на распределение размеров частиц при их нуклеации и росте.

Микросмешение в микрореакторе определялось по йодид-иодатной методике.

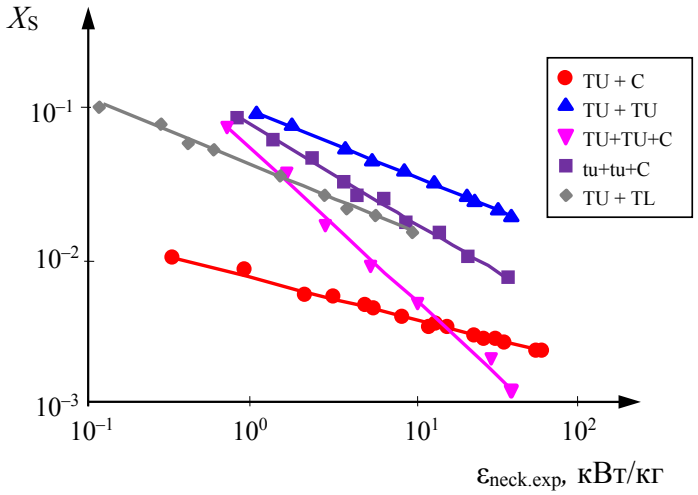



**Рисунок – Зависимость индекса сегрегации от удельной скорости диссипации энергии в двухступенчатом микрореакторе с закрученными потоками MRISF-2: точки – экспериментальные данные, линии – результат аппроксимации.**

Зависимость индекса сегрегации от удельной скорости диссипации энергии в двухступенчатом микрореакторе с закрученными потоками показана на рисунке.

Наилучшее качество микросмешения практически во всем диапазоне $\varepsilon_{neck.exp}$ наблюдается при использовании способа подачи **TU+C**, тогда как при высоких значениях $\varepsilon_{neck.exp}$ при использовании метода **TU+TU+C** оно чуть выше (наименьшее значение индекса сегрегации из рассмотренных). Наихудшие результаты наблюдаются при использовании метода **TU+TU** (наибольшее значение индекса сегрегации).

**Литература:**

1. Абиев Р.Ш., Макушева И.В. Влияние макро-и микросмешения на процессы растворного синтеза частиц оксидных материалов в микроаппаратах с интенсивно закрученными потоками //Теор. основы хим. технол. – 2022. – Т. 56. – №. – С. 141.

# УТОЧНЁННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ КРУТОНАКЛОННЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ И ЛЕНТ С ПОПЕРЕЧНЫМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ

***Мансуров П.А.*, *Арефьев Е.М.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра механики*

*e-mail: manspa04@mail.ru*

# UPDATED CLASSIFICATION OF INCLINED BELT CONVEYORS AND BELTS WITH CROSS-SECTIONAL BEDS

***Mansurov P.A.*, *Arefiev E.M.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Транспортировка груза под углами до 90° является важной проблемой в химической промышленности. Из-за просыпания и скатывания материала обычные ленточные конвейеры ограничены углом подъема до 20°. Для решения данной задачи необходимо выбрать наиболее подходящий тип ленты - это ключевой фактор для получения наибольшей эффективности.

Целью работы является определение параметров ленты с поперечными перегородками для заданных условий эксплуатации, а также разработка удобной классификации крутонаклонных конвейеров и типов перегородок.

Предложена классификация крутонаклонных конвейеров по способу удержания груза в отличии от традиционного способа деления по виду трассы. Выделены четыре основных типа: конвейеры с прижимной лентой (универсальные, до 90°), с перегородками на ленте (простые, до 90°), карманного (ячеистого) типа (для хрупких грузов), трубчатые (герметичные, до 35°) [1].

Данная классификация позволяет на этапе технического задания выбрать схему конвейера в зависимости от требуемого угла подъема и физико-механических свойств материала.

Анализ существующих решений позволил систематизировать типы перегородок. Они разделены на группы по геометрическим признакам: текстурированная поверхность (рифление, до 30°), шевронные профили (высота 5-32 мм, до 45°), высокие поперечные перегородки (40-280 мм, часто с гофробортами) [2]. Предложенная группировка увязывает форму перегородки с диапазоном рабочих углов конвейера и крупностью транспортируемого материала, что упрощает выбор типоразмера ленты при проектировании.

Практическую ценность представляет разработанная классификация связывает конструктивную схему конвейера, тип несущей поверхности ленты и условия эксплуатации, что позволяет минимизировать риски просыпания и повысить эффективность транспортировки.

**Литература:**

1. Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. Машины непрерывного транспорта. М.: Машиностроение, 1987 – 432 с.

2. Киселев Б.Р., Колобов М.Ю. Ленточный конвейер. Расчет и проектирование основных узлов. Учебное пособие. – Иваново: ИГХТУ, 2019 – 179 с.

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В АВТОКЛАВЕ С ИНФРАКРАСНЫМ НАГРЕВОМ

***Потехин Д.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры*
*e-mail: dmitripotehin@yandex.ru*

**NUMERICAL MODELING OF THERMAL PROCESSES IN AN INFRARED HEATED AUTOCLAVE**

***Potekhin D.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Автоклавные установки широко применяются в химической технологии для проведения реакций и термической обработки веществ при повышенных температурах и давлениях. Одним из перспективных способов подвода тепловой энергии к рабочему объёму аппарата является использование инфракрасного (ИК) излучения, обеспечивающего высокую плотность теплового потока и возможность быстрого нагрева оборудования. Однако при проектировании и эксплуатации подобных установок возникает задача оценки теплового режима аппарата и распределения температур в его элементах, что требует применения методов математического моделирования.

Целью работы является разработка численной модели нестационарного теплового режима автоклава с инфракрасным нагревом и проточным трубчатым реактором.

В работе рассматривается тепловое взаимодействие между основными элементами системы: инфракрасными лампами, стенками корпуса автоклава, теплоизоляционным слоем, воздушной средой внутри аппарата и трубчатым реактором с протекающей жидкостью. При построении модели учитываются основные механизмы теплопередачи: поглощение и отражение инфракрасного излучения поверхностями аппарата, конвективный теплообмен между стенками корпуса и воздухом, теплопередача через слой теплоизоляции, а также тепловые потери в окружающую среду. Подобные процессы характерны для большинства теплообменных аппаратов химической технологии и подробно рассматриваются в классических работах по процессам и аппаратам химических производств [1].

Для описания динамики изменения температуры в элементах аппарата составлены уравнения теплового баланса, учитывающие накопление тепла в материалах конструкций, теплообмен между отдельными элементами системы и тепловой поток от источников инфракрасного излучения. При моделировании трубчатого реактора дополнительно учитывается перенос тепла протекающей жидкостью. Теплофизические свойства воды и воздуха задаются как функции температуры на основе табличных данных. Численное решение системы уравнений выполняется методом конечных разностей на пространственно-временной сетке, что соответствует подходам, применяемым при решении задач вычислительной гидродинамики и тепломассообмена [2].

Разработанная модель позволяет исследовать динамику прогрева автоклава, оценивать влияние мощности инфракрасных ламп, параметров теплоизоляции и расхода жидкости на температурный режим работы аппарата. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и оптимизации режимов работы автоклавных установок.

**Литература:**

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753 с.

2. Абиев Р.Ш. Вычислительная гидродинамика и тепломассообмен. Введение в метод конечных разностей: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во НИИХимии СПбГУ, 2002. – 576 с.

# ВЫБОР CAE-СИСТЕМЫ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ

***Родина М.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра мехатронных технологических комплексов*

*e-mail: pogibelnaya2015@mail.ru*

# CHOOSING A CAE SYSTEM FOR NUMERICAL MODELING OF DISPERSED PHASE MOVEMENT

***Rodina M.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

При создании новых аппаратов разработка начинается с создания 3д модели, с которой в дальнейшем проводят гидродинамические исследования. В настоящее время на производствах 3д модель разрабатывают в отечественной программе Компас-3D, а исследования проводятся в иностранных программах. Для оптимизации процесса целесообразно работать в одной программе. В программе Компас-3D существует приложение Компас Flow, с которым большинство пользователей не работает, предпочитая производить расчеты в программе Solid Works Flow Simulation, Ansys.

Была разработана 3д модель лабораторного коалесцера в программе Компас-3D. С ее помощью проводилось численное моделирование движения дисперсной фазы в приложениях Компас Flow, Solid Works Flow Simulation и Ansys. Коалесцер предназначен для очищения сточных вод от капель нефтепродукта размера порядка нескольких микрон в малых концентрациях.

Компас Flow позиционируется как программа для экспресс-анализа. Инструмент позволяет быстро проверить влияние изменений геометрии на эффективность устройства, отсеивая заведомо неподходящие варианты исполнения. В Kompas Flow можно создать модель отстойника, увидите общую картину течения воды, но не увидите, как именно движутся капли нефти. Для вышеуказанной задачи расчет будет некорректен, так как фазы будут вести себя как одна смесь.

Solid Works Flow Simulation – профессиональная система гидрогазодинамического анализа. Предназначена для более глубокого анализа, чем Компас-3D. Существуют данные позволяющие сделать выводы, что проведение виртуальных исследований в программе Solid Works заменят значительную часть физических исследований. Несмотря на достоинства именно для поставленной задачи программа не подходит. Стандартный Flow Simulation не имеет моделей, которые необходимы для точного прогнозирования поведения микронных капель при малых концентрациях с учетом коалесценции.

Ansys – универсальная программная система анализа методом конечных элементов для автоматизированных инженерных расчётов. В программе присутствуют специализированные многофазные модели, с помощью их комбинаций возможен учет тонких физических эффектов. В данном исследовании позволит количественно оценить влияние микрофизики на эффективность разделения. Программа успешно применяется для расчета эффективности разделения при размере глобул вплоть до 5 микрон.

На данный момент существует необходимость в совершенствовании приложения Компас Flow для возможности проведения всех этапов разработки аппаратов в одной отечественной программе. В настоящее время для численного моделирования процесса очистки сточных вод от нефтепродуктов размером несколько микрон в малых концентрациях необходимо работать в программе Ansys.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЛАБОРАТОРНОГО КОАЛЕСЦЕРА

***Родина М.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра мехатронных технологических комплексов*

*e-mail: pogibelnaya2015@mail.ru*

## USE OF VARIABLES IN LABORATORY COALESCER MODELING

***Rodina M.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

При разработке новых лабораторных установок неизвестны конечные размеры деталей. Сначала определяются с принципом действия установки, потом с топологией сборки и потом начинают проводить исследования, в ходе которых возникает необходимость изменения деталей сборки.

Была разработана 3д модель лабораторного коалесцера в программе Компас-3D. С ее помощью проводилось численное моделирование движения дисперсной фазы. В ходе многочисленных итераций моделирования появляется необходимость изменить размеры деталей коалесцера. Изменение размеров вручную, ввиду их большого количества, займет много времени. В данном случае, когда не меняется топология, но меняются размеры, целесообразно использовать панель переменных (см. рисунок).

| | Имя | Комментарий | Выражение | Значение |
|---|---|---|---|---|
| | b1 | Ширина короба | 500 | 500 |
| | a | Высота короба | 500 | 500 |
| | b | Длина короба | 1500 | 1500 |
| | aa | Диаметр входного отверстия | 89 | 89 |
| | aa1 | Диаметр выходного отверстия | 108 | 108 |
| | b2 | Высота перегородок | 300 | 300 |
| | c | Толщина стенок короба | 3 | 3 |
| | c1 | Толщина перегородок | 3 | 3 |
| | d | Высота расположения выходного отверстия | 80 | 80 |
| | s | Расстояние между перегородками | 150 | 150 |
| | x | Расстояние от дна до перегородки | 50 | 50 |
| | z | Расстояние перегородки от стенки выхода | 150 | 150 |
| | f | Высота пластин коалесце | 350 | 350 |
| | g | Количество пластин коалесц | 32 | 32 |
| i | j | Ширина блока коалесцирующего | b1-70 | 430 |

**Рисунок – Панель переменных.**

Необходимо присвоить каждому размеру в каждом эскизе каждой детали имя переменной и сделать ее внешней, это позволит редактировать её не из файла детали, а из файла сборки, что сэкономит время. Для удобства изменений моделей можно записывать выражения как системные функции, операторы, константы, целые выражения. При изменении выражения, значение размера изменится, и сборка перестроится.

В переменных для коалесцера есть такие значения как ширина короба «b1» и ширина блока коалесценции «j». При любых результатах численного моделирования движения дисперсной фазы известно, что ширина блока коалесцирующего должна быть меньше ширины блока короба, в данном случае на 70 мм. Эта информация позволяет записать выражение для значения ширины блока коалесцирующего как «b1-70». При необходимости изменения ширины короба, автоматически изменится и ширина блока коалесцеров.

# РАЗРАБОТКА МИКРОРЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СИНТЕЗА СФЕРИЧЕСКИХ МИКРОКАПЕЛЬ В МИКРОГЕЛИ

***Романова В.В.***

*Институт аналитического приборостроения Российской академии наук*

*e-mail: romanova.vv@iapran.ru*

# DEVELOPMENT OF A MICROREACTOR SYSTEM FOR THE SYNTHESIS OF SPHERICAL MICRODROPLETS INTO MICROGELS

***Romanova V.V.***

*Institute for Analytical Instrumentation of the Russian Academy of Sciences*

В настоящее время разработки микрореакторов для получения микрогелей нашли широкое применение в биомедицине. Преимуществом таких систем, в отличие от традиционных реакторов с мешалками, является стабильный и непрерывный процесс образования однородных капель с необходимыми формами и размерами за счет геометрии канала, скоростей потока и физико-химических свойств жидкостей, а также контроля над тепло- и массопередачей [1].

Разработана установка для формирования монодисперсных сферических микрокапель с последующим получением микрогеля. Для апробации установки раствор альгината натрия (дисперсная фаза 1) и раствор хлорида кальция (дисперсная фаза 2) подавались с помощью насосов в стеклянный микроканал, заполненный потоком вазелинового масла (сплошная фаза). Подача реагентов осуществлялась через Т-образный соединитель с использованием двух капилляров, введенных на различную глубину. Благодаря этому сначала в микроканале формировались капли альгината натрия, которые затем, продвигаясь по каналу, контактировали с ионами кальция, что приводило к их сшивке и образованию микрогеля. Готовые частицы выводились из канала в сборник, как показано на рисунке.

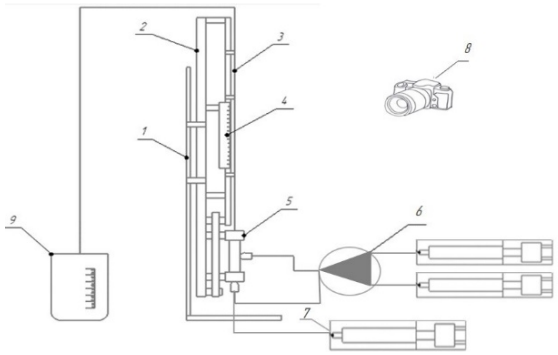



**Рисунок – Схема экспериментальной установки:**
**1 – штатив; 2 – корпус установки; 3 – микроканал с внутренним диаметром 1,6 мм; 5 – Т-образный блок сопряжения трубок подвода фаз; 6,7 - шприцевые насосы с растворами; 8 - цифровая фотокамера; 9 – сборник.**

Конструктивное решение разработанной установки для синтеза сферических микрогелей обеспечивает последовательное протекание стадий образования капель и гелеобразования в едином канале, что позволяет получать монодисперсные частицы с контролируемыми размерами. Проведенные эксперименты подтвердили высокую эффективность установки, ее технологическую безопасность и экономичность. Разработанная установка может применяться в биомедицине и других областях для получения микрогелей.

**Литература:**

1. Moreira A. et al. Production of hydrogel microparticles in microfluidic devices: a review // Microfluid. Nanofluidics. 2021. Vol. 25. P. 1–24.

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КРИТЕРИЯ МОЩНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНО-ПУЛЬСАЦИОННЫХ И ТУРБИННОЙ МЕШАЛОК

***Сидоров Н.Э.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры*

*e-mail: Nikita.E.Sidorov@gmail.com*

# COMPARATIVE STUDY OF THE POWER NUMBER OF CENTRIFUGAL-PULSED AND TURBINE IMPELLERS

***Sidorov N.***

*Saint Petersburg State Institute of Technology*

Перемешивание с помощью вращающихся на валу мешалок относится к классу гидромеханических процессов, в которых гидродинамика оказывает ключевое влияние на показатели качества и скорости получения конечного продукта. Эффективное перемешивание способствует интенсификации процессов массопереноса, теплообмена и проведения химических реакций.

Конструкция перемешивающего устройства непосредственно влияет на формирование профилей скорости и характеристик турбулентного и конвективного переноса. Ключевым параметром энергоэффективности мешалок служит критерий мощности $K_N$, определяемый по формуле:

$$K_N = \frac{N}{\rho n^3 d_m^5}$$

В работе проведены экспериментальные измерения критерия мощности турбинной мешалки и центробежно-пульсационных мешалок [1] в синфазном (ЦПМ-СМ) и противофазном (ЦПМ-ПМ) положениях, представленные на рисунке. Измерение крутящего момент в процессе перемешивания осуществлялось по методу мотор-весы на статоре двигателя при помощи тензометрических датчиков.

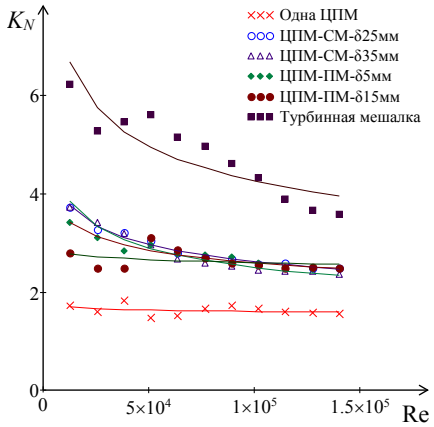



**Рисунок – Зависимость критерия мощности мешалок от числа Рейнольдса.**

В работе были найдены значения критерия мощности одной и пары центробежно-пульсационных мешалок в двух характерных положениях: синфазном и противофазном, а также проведена сравнительная оценка найденных значений критерия $K_N$ с турбинной мешалкой.

**Литература:**

1. Абиев Р.Ш. Пульсационно-центробежный смеситель. Патент на изобретение RU 2379098 C1, 20.01.2010. Заявка № 2008142995/15 от 29.10.2008.

# СТАТИЧЕСКИЕ КАВИТАТОРЫ

***Солнцев А.Ю.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра мехатронных технологических комплексов*

*e-mail: solncev.01@bk.ru*

# STATIC CAVITATORS

***Solncev A.Y.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В современной практике обработки жидких сред применяются три основных вида кавитационных устройств: роторно-импульсные аппараты (РИА), статические кавитаторы и акустические установки.

Не смотря на большое гидравлическое сопротивление для крупнотоннажных производств наиболее предпочтительными являются статические кавитаторы, в связи с простотой их конструкции, отсутствием движущихся частей и уплотняемых подвижных соединений, отсутствием застойных зон, лёгкостью обслуживания, высокой прочностью и герметичностью.

При проходе потока через статический кавитатор возникают вихреобразования, отрывные течения; кавитация, которая воздействует на частицы жидкости и способствует их интенсивному дроблению и гомогенизации, срыву пограничных слоёв на частицах; микромасштабные пульсации и выбросы кумулятивных струек, которые воздействуют на частицы обрабатываемой жидкости и на жидкость в целом, интенсифицируя тепло- и массообменные процессы.

Типовыми элементами конструкции статических кавитаторов являются:

Перегородки с отверстиями. Например, диск с несколькими каналами для прохождения жидкости, которые равномерно распределены на рабочей поверхности диска и могут иметь различную форму и размер.

Винтовые элементы или тангенциальный ввод потока жидкости в рабочую камеру. Способствуют завихрению всего потока жидкости, протекающего через кавитатор, и усиливают кавитационные и вихревые эффекты.

Резкое расширение или сужение канала. Изменение размеров и конфигураций отверстий вызывает изменение скорости потока рабочей среды и возникновение мощного вихреобразования.

Условно можно выделить два основных типа статических кавитаторов: однокамерные и многокамерные.

Однокамерные кавитаторы представляют собой цилиндрическую трубу с одной или несколькими внутренними перегородками, формирующими камеры. В перегородках формируют одно или несколько отверстий (каналов) с заданным профилем. Рабочих камер может быть несколько.

Многокамерные статические кавитационные устройства. Содержат проточный канал с первой и второй камерами, в которых устанавливаются разные давления. Дисперсная система образуется за счёт образования кавитационных пузырьков на выходе из первой камеры и схлопывания этих пузырьков при статическом давлении во второй камере.

Результатом обработки потока является снижение вязкости продукта без потерь его химических свойств и изменения его фракционного состава, при одновременном обеспечении выделения воды из связанного состояния в свободное.

# СЕКЦИЯ 11.
# МЕДИЦИНСКАЯ ХИМИЯ



# [3+2]-ДИПОЛЯРНОЕ ЦИКЛОПРИСОЕДИНЕНИЕ КАК МЕТОД СИНТЕЗА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СПИРО-ПИРРОЛИЗИДИНОВ

***Бережная Е.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра органической химии*

*e-mail: imberezhnaya@yandex.ru*

# [3+2]-DIPOLAR CYCLOADDITION AS A METHOD OF SYNTHESIS OF BIOLOGICALLY ACTIVE SPIRO-PYRROLIZIDINES

***Berezhnaya E.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

[3+2]-диполярное циклоприсоединение – одна из наиболее востребованных перициклических реакций в органическом синтезе, позволяющая эффективно получать би- и полициклические конденсированные или спиросоединённые структуры с несколькими хиральными центрами при высоком регио- и стереоконтроле. Использование азометин-илидов в качестве диполей делает метод особенно ценным для построения пирролизидиновых каркасов, которые часто входят в состав природных алкалоидов и обладают выраженной биологической активностью [1, 2]. Настоящая работа является изучением [3+2]-диполярного циклоприсоединения стабильного азометин-илида **1**, полученного на основе нингидрина и L-пролина, с различными неактивированными алкенами **2a-pp**, в результате которого были получены соответствующие спиро-пирролизидины **3a-pp** с высокой регио- и стереоселективностью и выходами до 96 % (см. рисунок). Вследствие наличия фармакофорного фрагмента пирролизидина ожидаются положительные результаты при анализе на биологическую активность полученных продуктов.

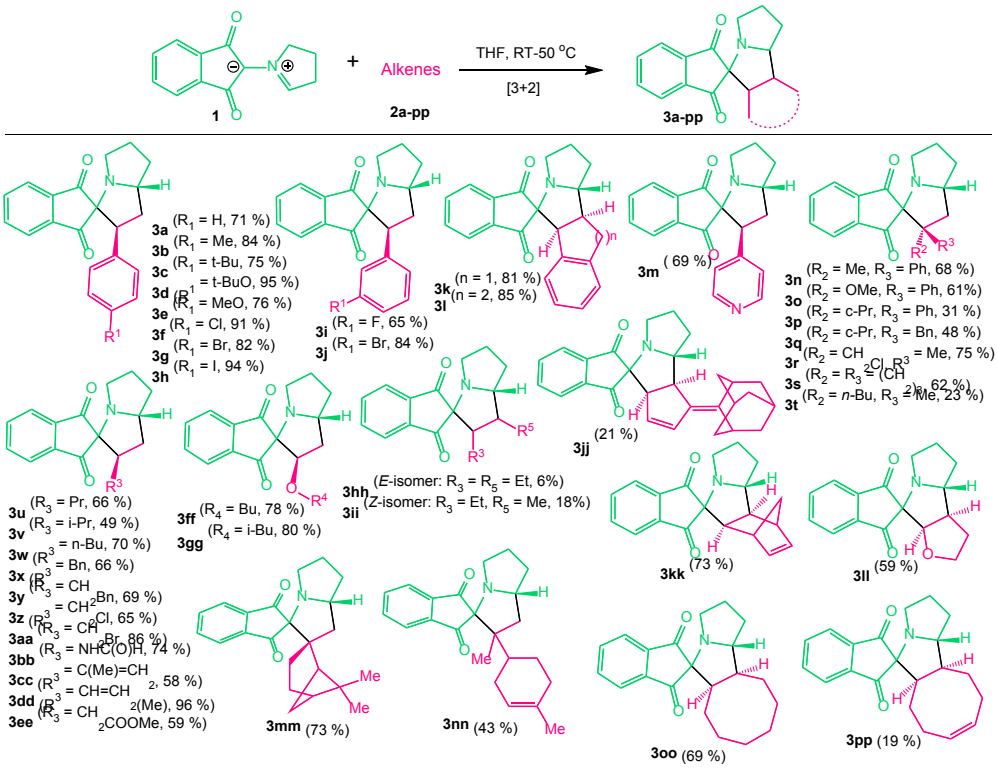



**Рисунок – Синтез спироциклических пирролизидинов 3a-pp.**

## Литература:

1. Biswas, R. G.; Singh, V. K. Tetrahedron Lett. 2021, 69, 1–6.
2. Robertson, J.; Stevens, K. Nat. Prod. Rep. 2014, 31, 1721–1788.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДОРСОМОРФИНА И ЕГО АНАЛОГА В КАЧЕСТВЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИНГИБИТОРОВ P-gp

***Ворожейкина Я.Д.*, *Трибулович В.Г.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), научно-исследовательская лаборатория «Молекулярная фармакология»*

*e-mail: vorozheikina12@yandex.ru*

**STUDY ON DORSOMORPHIN AND ITS ANALOG AS PROMISSING P-gp INHIBITORS**

***Vorozheykina Ya.D.*, *Tribulovich V.G.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Онкологические заболевания являются одной из ведущих причин смерти в мире, что обуславливает высокую актуальность поиска эффективных подходов к их лечению. Одним из факторов, снижающих эффективность противораковой терапии, является развитие множественной лекарственной устойчивости (МЛУ) к применяемым препаратам. Ингибирование активности Р-гликопротеина (P-gp), ответственного за быстрое выведение из клетки различных низкомолекулярных веществ, является одним из перспективных направлений в работе по преодолению МЛУ.

Ранее в лаборатории была получена панель клеточных линий, резистентность которых обусловлена изменениями, возникающими при длительном применении цитостатического препарата паклитаксела [1]. Такие клеточные линии являются удобным инструментом для исследования P-gp, так как было показано, что сниженная чувствительность линий к противоопухолевым препаратам связана преимущественно с гиперэкспрессией этого транспортного белка.

Основной сложностью при разработке ингибиторов P-gp является тот факт, что такие структуры не обладают собственной активностью, но вызывают сенсибилизацию опухолевых клеток к препаратам. Поэтому оценку их эффективности проводят опосредованно при сочетанном применении. Тем не менее, было обнаружено, что потенциальной P-gp-ингибирующей активностью обладает дорсоморфин [2], который был выявлен в 2001 году как ингибитор АМФ-активируемой протеинкиназы. Был разработан метод синтеза и получен ряд структурных аналогов [3], один из которых исследован на способность сенсибилизировать резистентные клетки HCT116 наряду с дорсоморфином.

Целью данной работы стала оценка P-gp-ингибирующей активности избранного аналога дорсоморфина при сочетанной обработке с паклитакселом, а также его собственной потенциальной противоопухолевой активности. Согласно полученным данным, аналог обладает менее выраженным противоопухолевым действием на клетки HCT116, чем дорсоморфин, однако при сочетанной обработке на резистентных линиях оба исследуемых соединения проявляют одинаковую эффективность. Таким образом, можно говорить о потенциале структурного аналога дорсоморфина в качестве препарата для комбинированной терапии.

**Литература:**

1. Grigoreva T., Sagaidak A., Romanova A. et al Establishment of drug-resistant cell lines under the treatment with chemicals acting through different mechanisms // Chemico-Biological Interactions. – 2021. – Vol. 344. – P. 109510.

2. Grigoreva T.A., Sagaidak A., Novikova D.S., Tribulovich V.G. PROTAC-attractive site as a new target for suppressing P-glycoprotein activity // Archives of Biochemistry and Biophysics. – 2025. – Vol. 764. – P. 110258.

3. Novikova D., Vorona S., Zenina A. et al Adaptation of the Mitsunobu reaction for facile synthesis of dorsomorphin-based library // *Molecules*. – 2025. – Vol. 30. – P. 2258.

# РАЗРАБОТКА ПРОТОКОЛА ОЦЕНКИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИНГИБИТОРОВ АМФ-АКТИВИРУЕМОЙ ПРОТЕИНКИНАЗЫ IN VITRO

***Зенина А.Д.*, *Новикова Д.С.***

*Санкт-Петербургский государственных технологический институт (технологический университет), научно-исследовательская лаборатория «Молекулярная фармакология»*

*e-mail: asyazen@mail.ru*

# DEVELOPMENT OF A PROTOCOL FOR EVALUATING THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF PROMISING AMP-ACTIVATED PROTEIN KINASE INHIBITORS IN VITRO

***Zenina A.D.*, *Novikova D.S.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

АМФ-активируемая протеинкиназа (АМФК) – ключевой регулятор энергетического метаболизма. Под ее контролем протекают практические все важнейшие процессы, от катаболизма глюкозы до биосинтеза белка. Исследования в области модуляции активности АМФК позволяют контролировать важнейшие метаболические каскады и, как следствие, ключевые процессы жизнедеятельности клетки, такие как выживаемость и пролиферация.

Целью настоящего исследования являлась разработка быстрого и эффективного протокола in vitro для оценки степени подавления киназной активности АМФК при действии потенциальных низкомолекулярных ингибиторов киназы. В качестве фермента исследовали два варианта рекомбинантных гетеротримерных комплексов АМФК: коммерчески доступная АМФКα1β1γ1, наработанная в клетках Sf9, и рекомбинантная АМФКα1β2γ1, полученная путем бактериальной экспрессии вектора, содержащего коммерчески доступную генетическую конструкцию. В качестве киназного субстрата использовали SAMS-пептид, детектирование киназной активности осуществляли по накоплению АДФ с помощью коммерческого набора ADP-Glo. Для изначальной активации применяли естественный аллостерический активатор – АМФ.

Для разработки протокола in vitro использовали два модельных ингибитора АМФК: дорсоморфин (compound C), который является одним из трех общепризнанных АМФ-конкурентных ингибиторов и проявляет существенную активность по отношению к АМФК, и модифицированное производное дорсоморфина, compound $C_2$, проявляющее чуть меньшую активность, но обладающее более благоприятными физико-химическими характеристиками. В ходе исследования было показано, что обе киназы реагируют на внесение ингибиторов схожим образом, несмотря на различный субъединичный состав. Значения, полученные в ходе оценки ингибирующей активности, в полной мере согласуются с литературными данными. При этом базальная активность АМФК бактериального происхождения оказалась существенно выше, что позволяет обеспечить более широкий динамический диапазон и зафиксировать небольшие изменения в активности при разработке собственной серии ингибиторов АМФК.

Таким образом, в ходе исследования был осуществлен подбор условий проведения киназной реакции in vitro, проведена оптимизация отдельных стадий протокола и валидация с использованием низкомолекулярных ингибиторов АМФК. Разработанный протокол будет в дальнейшем использован для выявления структурно новых АМФ-конкурентных ингибиторов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №24–73–10221).*

# ОСОБЕННОСТИ ДИАЗОПЕРЕНОСА В РЯДУ НИТРОПРОИЗВОДНЫХ 1,2,3-ТРИАЗОЛОВ

***Зыкова Д.А., Ким К.А, Непочатый Г.Д.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра органической химии*

*e-mail: zikovadascha@yandex.ru*

## STUDY OF THE REACTIVITY OF DIAZ DERIVATIVES OF AZOHETEROCYCLES

***Zykova D.A., Kim K.A., Nepochaty G.D.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Диазосоединения активно используются для получения карбенов, а также в процессах создания гетероциклических, спироциклических и прочих структурно сложных молекул. Особенный интерес представляют диазопроизводные с метиленовой группой, расположенной в α-положении к гетероциклу, так как пониженная кислотность их CH-фрагментов усложняет процесс диазопереноса.

В рамках данной работы были получены новые 1,2,3-триазолсодержащие (см. рисунок). Наилучшими условиями для реакции диазопереноса по Регицу стала комбинация тозил-азида с диазобициклоундеценом, позволившая провести диазоперенос с выходом до 81 %. Были изучены условия диазоперноса для нитропроизводных 1,2,3-триазолсодержащих субстратов. Соединение **2** было получено с выходом 81 % при 0 °C, тогда как соединение **4** в аналогичных условиях было получено с выходом 27 %. В случае соединения **6** реакция протекала с интенсивным осмолением, что привело к снижению выхода до 6 %. Эффективность диазопереноса в ряду нитропроизводных существенно зависит от структуры субстрата, наблюдаемое снижение выходов реакции требует дальнейшего исследования.

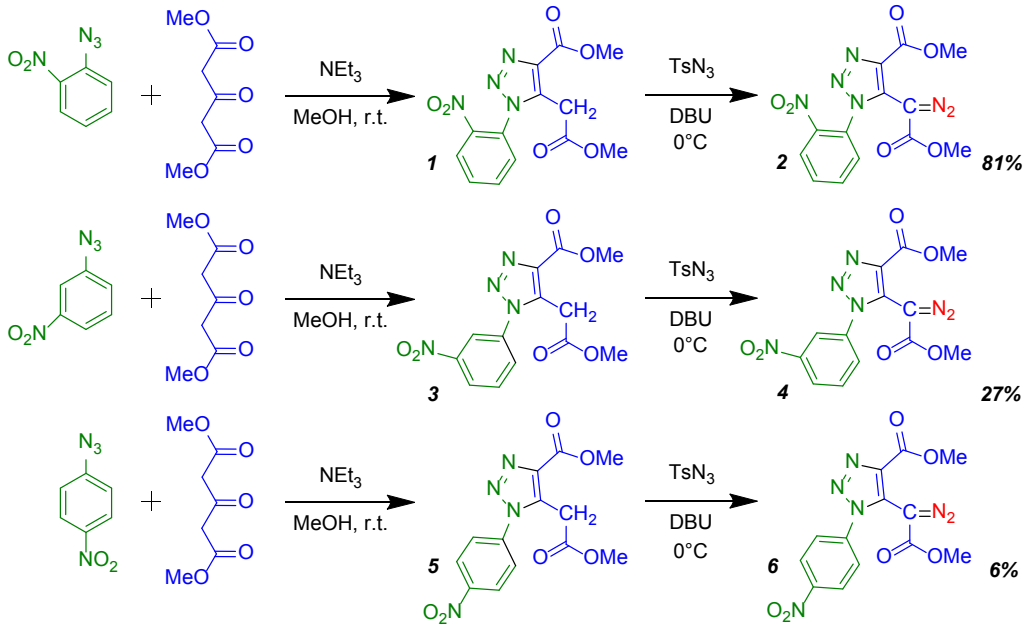



**Рисунок – Схема синтеза полученных соединений.**

# ПОЛУЧЕНИЕ БИЦИКЛИЧЕСКИХ АЗИРИДИНОВ И ИХ РАСКРЫТИЕ АЛИФАТИЧЕСКИМИ АМИНАМИ

***Ким К.А.*, Зыкова Д.А., Непочатый Г.Д**

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра органической химии*

*e-mail: kristinakim943@gmail.com*

# OBTAINING BICYCLIC AZIRIDINES AND THEIR DISCLOSURE WITH ALIPHATIC AMINES

***Kim K.A.*, Zykova D.A., Nepochaty G.D.**

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Азиридины, простейшие аза-гетероциклы, широко используются в синтетической химии благодаря значительному напряжению кольца и поляризованным связям углерод-гетероатом, что делает их исключительно реакционноспособными в различных типах превращений, включая реакции циклоприсоединения, перегруппировки и изомеризации. Способность азиридинов вступать в реакции раскрытия кольца с образованием 1,2-аминофункционализированных продуктов особенно ценна в синтезе сложных молекул, включая природные соединения и фармацевтические препараты.

В ходе проведения настоящей научно-исследовательской работы нами был синтезирован ряд бициклических азиридинов. В дальнейшем было установлено, что данные азиридины легко вступают в реакцию раскрытия сукцинимидного фрагмента под действием первичных аминов с получением моноциклических азиридинов **2a-2b** (см. рисунок). Реакции протекают без растворителя, или в бензоле при 60 °C. Полученные моноциклические азиридины с двумя амидными группами, далее участвуют в реакциях циклоприсоединения с малеимидами. Реакции проходят в среде хлорбензола, в течение 30 мин. В результате образуется смесь диастериомерных циклоаддуктов, один из которых можно выделить индивидуально с помощью кристаллизации или препаративной тонкослойной хроматографии.

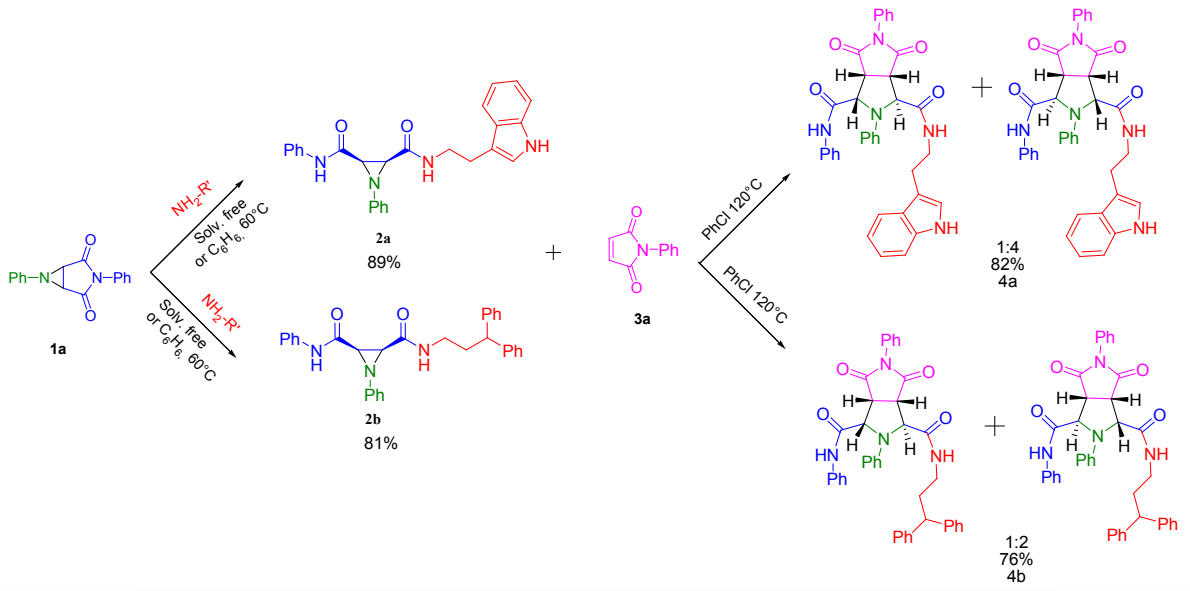



**Рисунок – Схема синтеза азиридинов и их дальнейшие превращения.**

# АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗИСТЕНТНЫХ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОЧНЫХ ЛИНИЙ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ УСТОЙЧИВОСТИ В ДОКЛИНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

***Марголина К.Я.*, *Григорьева Т.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), научно-исследовательская лаборатория «Молекулярная фармакология»*

*e-mail: kira.margolina@gmail.com*

# ANALYSIS OF THE INFORMATIONAL APPLICATION OF RESISTANT TUMOR CELL LINES WITH DIFFERENT TYPES OF RESISTANCE IN PRECLINICAL RESEARCH

***Margolina K.Ya.*, *Grigoreva T.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Паклитаксел – один из наиболее распространенных цитостатических препаратов, применяющихся при терапии онкологических заболеваний. Он обладает выраженной противоопухолевой активностью против широкого спектра злокачественных новообразований, включая рак молочной железы, легких, саркому Капоши, колоректальный рак и т.д. Однако в 90 % случаев причина несостоятельности химиотерапии связывается с множественной лекарственной устойчивости. На этапе доклинических исследований данного явления необходима работа с устойчивыми клеточными моделями, получение которых в лаборатории представляет отдельную задачу. Существует несколько групп методов получения резистентных клеточных линий, среди которых можно выделить две наиболее распространенные - методы селекции и генетические модификации. Приобретенная устойчивость достигается длительной обработкой родительской клеточной линии химиотерапевтическим препаратом и последующей селекцией адаптировавшихся особей. Индуцированная устойчивость, получаемая в результате генетических модификаций, является результатом манипуляций с генетическим материалом (например, трансфекцией соответствующей плазмидной ДНК в опухолевые клетки) [1]. Ген MDR1, применяющийся для формирования генетически сконструированной устойчивости, кодирует один из наиболее известных ABC-транспортеров - P-гликопротеин. Активность данного эффлюксного насоса считается причиной возникновения МЛУ опухолевых клеток к ряду препаратов, среди которых винка-алкалоиды, актиномицин D, антрациклины и паклитаксел [2].

В рамках данной работы проведен сравнительный анализ опухолевых клеток, полученных с помощью экзогенного и эндогенного метода выработки резистентности, в рамках сочетанного метода исследования транспортной активности и жизнеспособности опухолевых клеток в условиях потенциальной терапии.

**Литература:**

1. Emran, T.B. et al. Multidrug Resistance in Cancer: Understanding Molecular Mechanisms, Immunoprevention and Therapeutic Approaches. *Front Oncol*. 2022, 12, 891652.

2. Mengistu, B.A. *et al.* Comprehensive review of drug resistance in mammalian cancer stem cells: implications for cancer therapy. *Cancer Cell Int* 2024, 24, 406.

# СКРИНИНГ ПРОДУКТОВ ОКИСЛЕНИЯ КСЕНОБИОТИКОВ НА МИШЕНИ МЕТОДОМ МАЛДИ-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

***Некрасова Е.А., Хомяк А.Е., Северова Е.А., Кельциева О.А.***

*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-клинический центр токсикологии имени академика С.Н. Голикова Федерального медико-биологического агентства»*

*e-mail: nekrasovaelizabeth@mail.ru*

## SCREENING OF XENOBIOTIC OXIDATION PRODUCTS ON TARGET BY MALDI MASS SPECTROMETRY

***Nekrasova E.A., Khomyak A.E., Severova E.A., Keltsieva O.A.***

*The Federal State-Financed Institution Golikov Research Clinical Center of Toxicology under the Federal Medical Biological Agency*

Ксенобиотики – это химические вещества, чужеродные для живого организма, которые способны оказывать токсическое воздействие. Моделирование процессов окисления ксенобиотиков позволяет описать и предсказать механизм их метаболизма. Одним из эффективных методов моделирования и анализа продуктов окисления (ПО) является комбинация фотокаталитического окисления (ФКО) и матрично-активированной лазерной десорбции ионизации с масс-спектрометрией (МАЛДИ-МС). На данный момент этот подход использовали только для водорастворимых ксенобиотиков, а многие токсичные ксенобиотики, включая пестициды, мало растворимы в воде.

Цель исследования – оптимизация методики скрининга для ПО малорастворимых веществ методом МАЛДИ-МС. Для проверки методики используется противоопухолевый препарат циклофосфамид, метаболиты которого уже изучены и описаны. В качестве плохо растворимого в воде соединения был выбран системный фунгицид карбендазим, механизм метаболизма которого также известен.

Суспензию диоксида титана $TiO_2$ (2 мг/мл) наносили на поверхность МАЛДИ мишени по 2 мкл и высушивали при комнатной температуре. На высушенную суспензию $TiO_2$ наносили 9 мкл дистиллированной воды и 1 мкл водного раствора циклофосфамида (1 мг/мл). После нанесения образцов МАЛДИ мишень помещали под УФ-лампу на 30 минут для проведения ФКО. Затем мишень вынимали из-под лампы, отбирали 1 мкл из капли и переносили на соседнюю ячейку, добавляли 1 мкл матрицы (альфа-циано-4-гидроксикоричная кислота (7 мг/мл)) и записывали МАЛДИ масс-спектр. При анализе масс-спектры регистрировали в диапазоне *m/z* 170-1300 в режиме детектирования положительных ионов. Для одного спектра суммировалось 15000 актов облучения образца лазером.

В масс-спектре были детектированы сигналы известных метаболитов циклофосфамида: *m/z* 278,08, соответствующий 4-гидрокси-циклофосфамиду (альдофосфамиду), и *m/z* 222,02, соответствующий амино-[бис(2-хлорэтил)амино]фосфиновой кислоте.

Растворенный в метаноле карбендазим (1 мг/мл) предварительно наносили на функционализированные $TiO_2$ ячейки мишени и высушивали. После чего на них наносили 10 мкл дистиллированной воды, далее окисление проводилось по схеме, описанной выше. В спектре были детектированы сигналы: *m/z* 192,0, соответствующий карбендазиму, и *m/z* 208,6, соответствующий его основному метаболиту.

В результате работы оптимизирована экспрессная методика получения ПО циклофосфамида и карбендазима на поверхности МАЛДИ мишени и продемонстрирована ее эффективность.

# [3+2]-ЦИКЛОПРИСОЕДИНЕНИЕ С УЧАСТИЕМ НОВЫХ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ АЗОМЕТИН-ИЛИДОВ

***Семяшкин В.Ю.*, *Кожевин А.Д.*, *Пронина Ю.А.*, *Степаков А.В.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра органической химии*
*e-mail: valeriysemiashkin@gmail.com*

# [3+2]-CYCLOADDITION INVOLVING NEW AZOMETHINE-YLIDE PRECURSORS

***Semiashkin V.Y.*, *Kozhevin A.D.*, *Pronina Y.A.*, *Stepakov A.V.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

1,3-Диполярное циклоприсоединение активно применяется для формирования различных пятичленных гетероциклов [1]. Реакции с участием азометин-илидов часто обладают высокой стереоселективностью, что делает их использование перспективным в медицинской химии. Малеимиды и итаконимиды являются классическими диполярофилами, которые успешно используются в различных реакциях [3+2]-циклоприсоединения. Фрагменты пирролидина и пирроло[3,4-*c*]пиррола, формирующиеся в результате этих реакций, часто встречаются в лекарственных и природных соединениях [2].

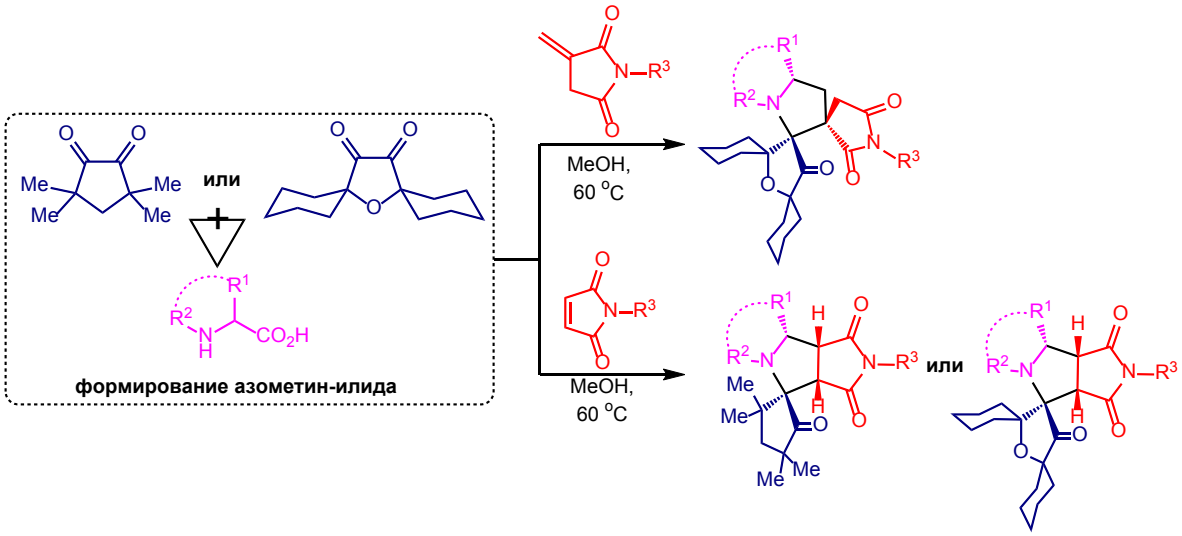



**Рисунок – Подход к синтезу производных пирролидина и пирроло[3,4-c]пиррола.**

Мы исследовали возможность применения α-дикетонов (см. рисунок) в качестве новых предшественников азометин-илидов в реакции 1,3-диполярного циклоприсоединения. В ходе исследований были получены спиропроизводные пирролидина и пирроло[3,4-*c*]пиррола с выходами и диастереоселективностью от удовлетворительных до хороших.

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (проект FSEN-2026-0003).*

**Литература:**

1. Huisgen R. // Angewandte Chemie International Edition. 1963. Т. 2 № 10. С. 565–598.
2. Stepakov, A. V.; Boitsov, V. M. at al // Int. J. Mol. Sci. 2021 Т. 22 С. 11997.

# ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ НУЛИНА-3А ОТ ЭКСПРЕССИИ БЕЛКОВ P53 И MDM2

***Смелик А.М.*, *Романова А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), научно-исследовательская лаборатория «Молекулярная фармакология»*
*e-mail: nastya.smelik@live.ru*

## STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF NUTLIN-3A DEPENDING ON THE AMOUNT OF P53 AND MDM2 PROTEINS

***Smelik A.M.*, *Romanova A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В настоящее время в исследованиях по борьбе с раком всё большее внимание уделяется разработке терапевтических стратегий, направленных на апоптические пути клеток, которые позволяют улучшить реакцию на лечение. Одним из активаторов апоптоза в клетках является белок p53, который при повреждении ДНК, хромосомных аберрациях, укорочении теломер, активации онкогенов и гипоксии, может приводить к обратимой и необратимой остановке клеточного цикла [1]. p53 в свою очередь тесно связан с белком MDM2, который вместе с MDM4 негативно регулирует p53, связываясь с p53 в N-концевом трансактивирующем домене, что приводит к блокированию его активности. При сверхэкспрессии MDM2 происходит чрезмерное подавление функций p53, из-за чего клетки перестают умирать. Установлено, что из всех опухолей человека примерно 5-10 % обладают повышенным содержанием MDM2 [2]. Соответственно, ингибирование взаимодействия p53-MDM2 способствовать повышению эффективности борьбы с раком. В исследованиях было показано, что ингибирующей активностью по отношению к MDM2 обладает нутлин-3а, активный энантиомер нутлина-3. Нутлины присоединяются к молекуле MDM2 в месте связывания с p53, что мешает дальнейшему связыванию этих двух белков и приводит к стабилизации p53 и активации его функций [3].

Было выдвинуто предположение, что эффективность нутлина-3а связана с количеством белков p53 и MDM2 в клетках. Для подтверждения этой теории был произведён анализ экспрессии соответствующих генов на двух клеточных линиях и также анализ выживаемости в присутствии исследуемого вещества на этих же линиях.

По полученным данным можно заключить, что выживаемость клеток в присутствии нутлина-3а зависит от содержания белков p53 и MDM2. Для клеточной линии H1299, лишенной p53, наблюдается высокое значение IC50, что указывает на то, что их гибель связана не с p53-зависимыми, путями, а с другими, менее активными механизмами. Для клеточной линии HCT116, где содержание p53 высокое, а содержание MDM2 - умеренное, картина апоптоза совпала с ожидаемой.

Таким образом, можно сделать вывод, что кроме основного механизма действия нутлин-3а обладает также побочным действием, несвязанным с p53, но также вызывающего смерть клеток.

**Литература:**

1. Itahana K., Dimri G., Campisi J. Regulation of cellular senescence by p53 // European Journal of Biochemistry. – 2001. – Vol. 268. – P. 2784–2791.

2. Juven-Gershon T., Oren M. Mdm2: The ups and downs // Molecular Medicine. – 1999. – Vol. 5. – P. 71–83.

3. Vassilev L. T. Small-molecule antagonists of p53-MDM2 binding: Research tools and potential therapeutics // Cell Cycle. – 2004. – Vol. 3, No. 4. – P. 417–419.

# ДИНАМИКА РОСТА СФЕРОИДОВ ИЗ КЛЕТОК КОЛОРЕКТАЛЬНОГО РАКА

***Смирная А.Д.*, *Киндт Д.Н.*, *Григорьева Т.А.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), научно-исследовательская лаборатория «Молекулярная фармакология»*
*e-mail: annasmirnaya04@gmail.com*

## GROWTH DYNAMICS OF COLORECTAL CANCER SPHEROIDS

***Smirnaya A.D.*, *Kindt D.N.*, *Grigoreva T.A.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Согласно статистическим данным, более 85 % лекарственных препаратов отсеивается уже на первой фазе клинических испытаний и в дальнейшем не доходят до рынка [1]. В случае противоопухолевых средств, на долю которых приходится 42 % всех мировых разработок, этот показатель достигает 96,6 % [2]. Столь высокий уровень отсева диктует необходимость совершенствования доклинических моделей, в частности, разработки более релевантных и эффективных 3D-тест-систем. Особую значимость такие модели приобретают в разработке лекарственных препаратов против колоректального рака – одного из наиболее распространённых и агрессивных онкологических заболеваний, занимающего второе место по смертности как в мире, так и в России [3,4].

Целью исследования являлось определение пика численности сфероидов из клеток колоректального рака HCT116. Культивирование проводили в 96-луночных планшетах с низкой адгезией, при 37 °C, в атмосфере 5 % $CO_2$, в течение 15-ти суток. Использовали питательную среду DMEM/F12, содержащую по 20 нг/мл эпидермального фактора роста EGF и фактора роста фибробластов FGF2. Подсчёт сфероидов проводили при помощи микроскопа Olympus CKX41, начиная с момента их образования.

Результаты эксперимента показали, что формирование сфероидов происходило на третьи сутки культивирования. В период с третьи по пятые сутки наблюдалось увеличение количества сфероидов. Пик численности сфероидов достигался в период с пятые по седьмые сутки. После седьмых суток отмечались структурные изменения: слияние, потемнение и фрагментация сфероидов. Таким образом, интервал с пятые по седьмые сутки культивирования был определён как оптимальный для проведения последующих экспериментов по обработке сфероидов из клеток колоректального рака лекарственными средствами.

**Литература:**

1. Schuhmacher, Alexander Benchmarking R&D success rates of leading pharmaceutical companies: an empirical analysis of FDA approvals (2006–2022) / Alexander Schuhmacher, Drug Discovery Today, 2025. - V.30. - ISSN 1359-6446 // Elsevier. - URL: https://clck.ru/3SESRA (дата обращения: 02.03.2026).

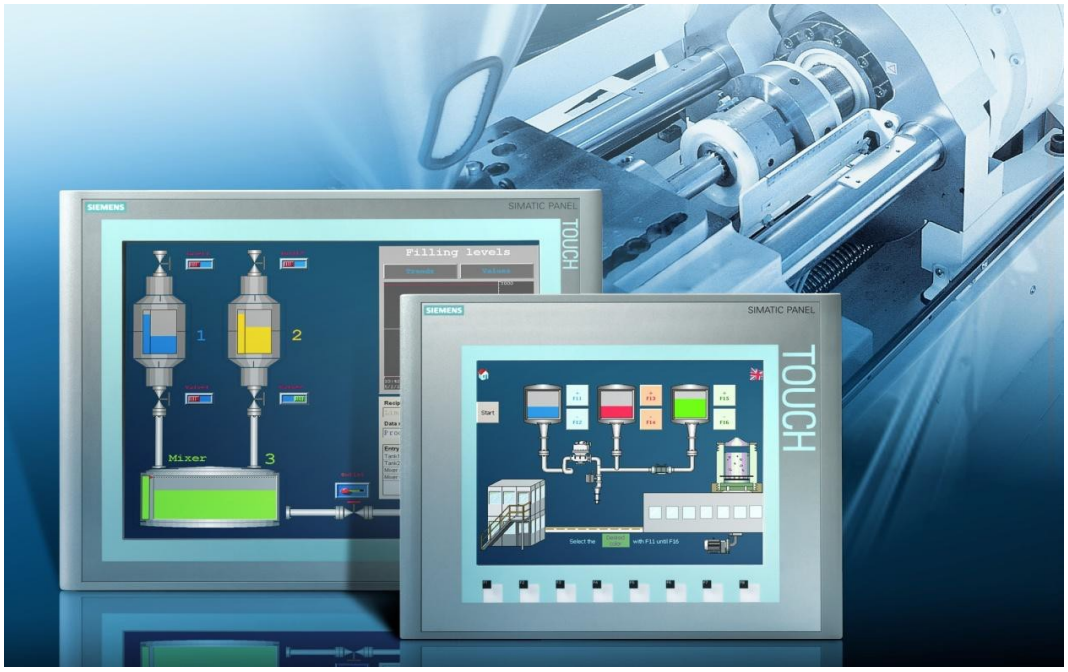
2. Chi, Heem Wong What Are the Chances of Getting a Cancer Drug Approved? / Chi Heem Wong, Kien Wei Siah, Andrew W. Lo, DIA Global forum, 2019. - V.5. // Diaglobal. - URL: https://clck.ru/3SESs8 (дата обращения: 02.03.2026).

3. Sur, DKC Colorectal Cancer Screening and Prevention. / Sur, D. K C., Brown P. C., Am Fam Physician, 2025. - V.112. - P. 278-283. PMID: 40961305 // Pubmed. - URL: https://clck.ru/3SETbS (дата обращения: 02.03.2026).

4. Global Cancer Observatory, Cancer Today: Международное агентство исследования рака: [сайт]. – Лион, 1965. – URL: https://gco.iarc.who.int/today (дата обращения : 02.03.2026)

# СЕКЦИЯ 12.

# АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ



# СТРУКТУРА МОДУЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИНТЕРАКТИВНЫХ ПАНЕЛЕЙ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ЦИФРОВОЙ ЛАБОРАТОРИИ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

***Акерма Э.М.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: akerma.amin@gmail.com*

## STRUCTURE OF THE ANALYTICAL INTERACTIVE DASHBOARD DESIGN MODULE IN THE SOFTWARE SYSTEM OF A DIGITAL LABORATORY FOR POLYMER MATERIALS RESEARCH

***Akerma E.M.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Цифровые лаборатории по исследованию свойств полимерных материалов формируют значительные массивы разнородных экспериментальных данных, получаемых в ходе механических, термических и структурных испытаний. Эффективная интерпретация таких данных требует специализированных средств визуальной аналитики, адаптированных к предметной области лабораторных исследований и обеспечивающих интерактивную работу с многопараметрическими зависимостями. Развитие автоматизированных систем анализа полимерных материалов рассматривается как важное направление цифровизации технологических процессов [1].

Целью работы является разработка структурной модели модуля конструирования аналитических интерактивных панелей, интегрированного в программный комплекс цифровой лаборатории.

Научная новизна заключается в формировании архитектурного подхода к построению конструктора аналитических панелей, ориентированного на структуру данных цифровой лаборатории и учитывающего специфику экспериментальных исследований полимерных материалов. В отличие от универсальных платформ бизнес-аналитики, разработанный модуль обеспечивает предметно-ориентированное визуальное конструирование панелей без программирования и с возможностью адаптации под различные сценарии лабораторного анализа.

Модуль реализован в рамках клиент–серверной архитектуры и включает интерфейс визуального конструктора, модуль управления конфигурацией панели, модуль формирования выборок данных, подсистему хранения и модуль визуализации. Интерфейс конструктора обеспечивает размещение и настройку визуальных компонентов (графиков, диаграмм, таблиц) и управление компоновкой панели. Модуль формирования выборок выполняет фильтрацию и агрегацию экспериментальных показателей с последующей передачей структурированных данных модулю визуализации. Подсистема хранения обеспечивает сохранение данных и конфигураций панелей, что гарантирует воспроизводимость аналитических процедур.

Предложенная структура обеспечивает модульность и интеграцию с компонентами цифровой лаборатории. Практическая значимость работы заключается в повышении эффективности анализа экспериментальных данных и снижении трудоёмкости подготовки отчётности при исследовании свойств полимерных материалов. Работоспособность системы подтверждена на примере сравнения цветов ПВХ-пленок ООО «Клёкнер Пентапласт Рус».

**Литература:**

1. Антипин Р.В., Чистякова Т.Б. Автоматизированная система исследования качества полимерных пленок с использованием операционной системы реального времени // Автоматизация в промышленности. – 2008. – №5. – С. 13–16.

# СТРУКТУРА ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛА ВЫПУСКНИКОВ КАФЕДРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

***Алексеев А.Е.*, *Лянко М.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: gazo1337@yandex.ru*

# STRUCTURE OF THE INTERNET PORTAL FOR GRADUATES OF THE DEPARTMENT OF TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

***Alekseev A.E.*, *Lyanko M.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Взаимодействие высших учебных заведений с выпускниками выходит на новый уровень, а веб-ресурсы трансформируются из «визитных карточек» в полноценные платформы для обмена знаниями, трудоустройства и мониторинга карьерных траекторий. Отсутствие специализированного инструмента приводит к потере контакта с более чем 60 % выпускников в первые три года, что негативно влияет на показатели вуза при аккредитации и в рейтингах. Актуальность темы работы [1] обусловлена необходимостью цифровой трансформации управления карьерой выпускников, выполнением требований федеральных образовательных стандартов и законодательства в сфере персональных данных.

Таким образом, задача разработки интернет-портала выпускников Технологического университета является актуальной задачей. Необходимо разработать интернет-портал выпускников, позволяющий управлять данными выпускников и опросами, обеспечивая при этом автоматизированное управление согласиями пользователей и защиту персональных данных в соответствии с Федеральным законом № 152-ФЗ.

Информационное обеспечение интернет-портала включает в себя базу данных учётных записей выпускников (ФИО, дата рождения, контакты, данные об образовании, данные о месте работы), базу данных опросов и анкет выпускников (название опроса, типы и обязательность вопросов, количество ответов, адреса рассылки), модули авторизации, поиска студентов, сбора логов, создания, просмотра и прохождения опросов, а также интерфейсы выпускника, администратора, преподавателя и партнёра.

Основу программного комплекса составляют алгоритмы обработки запросов на поиск выпускников, алгоритмы работы с анкетами и алгоритмы обработки персональных данных. Алгоритмы поиска обеспечивают отбор выпускников по различным параметрам, таким как год окончания, направление подготовки и место работы, с возможностью фильтрации и сортировки результатов. Алгоритмы работы с анкетами реализуют создание, редактирование и хранение информации о выпускниках с проверкой корректности вводимых данных. Алгоритмы обработки персональных данных обеспечивают защиту информации и соблюдение требований законодательства при её хранении и использовании.

Разработанный интернет-портал был протестирован на данных выпускников и показал свою работоспособность. В процессе тестирования была проверена корректность регистрации и авторизации пользователей, функционирование поиска выпускников, работа с анкетами и обработка персональных данных. Проведённое тестирование показало возможность практического использования разработанного интернет-портала.

**Литература:**

1. Баранчеев, В.П. Управление инновациями: учебник для вузов / В.П. Баранчеев, Н.П. Масленникова, В.М. Мишин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 724 с. – ISBN 978-5-534-17991-0.

# РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО УПРАВЛЕНИЮ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ПНЕВМОПРИВОДАМИ

***Алексеев Д.Д.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра автоматизации процессов химической промышленности*

*e-mail: alexseev.dan@mail.ru*

# DEVELOPMENT OF A LABORATORY AND METHODOLOGICAL COMPLEX FOR THE CONTROL OF INDUSTRIAL PNEUMATIC DRIVES

***Alekseev D.D.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Современное промышленное производство невозможно представить без пневматических систем автоматизации. Они используются повсеместно: от простых зажимов до сложных роботизированных линий. Однако подготовка квалифицированных специалистов (инженеров-наладчиков, технологов, проектировщиков) часто отстает от требований реального сектора. Теоретические знания, получаемые студентами, недостаточно подкреплены практическими навыками работы с реальными пневматическими компонентами, чтения схем и поиска неисправностей. Существующие учебные стенды зачастую либо устарели, либо представляют собой «черный ящик», не позволяющий понять физику процессов [1].

Целью данной работы является разработка методического лабораторного комплекса, предназначенного для изучения принципов построения и отладки систем управления промышленными пневмоприводами.

Комплекс представляет собой совокупность аппаратного и программно-методического обеспечения. Аппаратная часть базируется на современной элементной базе (компрессор, блок подготовки воздуха, распределители с различными типами управления, цилиндры, дроссели и датчики), смонтированной на мобильной панели. Методическая часть включает в себя набор лабораторных работ, охватывающий ключевые разделы промышленной пневмоавтоматики.

Основные задачи, решаемые при разработке комплекса:

1. Анализ элементной базы – подбор типовых промышленных компонентов (пневмоцилиндры, распределители 3/2 и 5/2, дроссели, конечные выключатели), позволяющих моделировать реальные технологические процессы.

2. Разработка схем подключения – создание принципиальных пневматических схем для изучения прямого и дистанционного управления, реализации логических функций («И», «ИЛИ»), временных задержек и самовозврата.

3. Методическое обеспечение – составление цикла лабораторных работ от простого к сложному (от ручного управления цилиндром до автоматических циклических алгоритмов).

4. Интеграция систем управления – реализация возможности управления как вручную (пневматические кнопки), так и от внешнего контроллера (электропневматические распределители) для изучения основ пневмоавтоматики и мехатроники.

**Литература:**

1. Пневмоавтоматика: учебное пособие. – Санкт-Петербург: ООО «ЭС ЭМ СИ ПНЕВМАТИК», 2024. – 198 с.

# СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕМОНТАМИ ОГНЕУПОРНОЙ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО КОНВЕРТЕРА

***Афанасьева К.А.*[1], *Новожилова И.В.*[2]**

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), [1]кафедра систем автоматизированного проектирования и управления, [2]лаборатория мирового уровня*

*e-mail: novozhilova@spbti.ru*

# STRUCTURE OF A SOFTWARE COMPLEX FOR REPAIR CONTROL OF STEELMAKING CONVERTERS REFRACTORY LINING

***Afanaseva K.A., Novozhilova I.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Кислородные конвертеры являются основным оборудованием в металлургическом производстве, обеспечивая эффективное превращение железной руды в сталь. В процессе эксплуатации происходит износ футеровки, проявляющийся в виде трещин, сколов и других повреждений, что снижает надежность и безопасность работы оборудования, а также увеличивает затраты на ремонт [1-2]. Актуальность разработки программного комплекса для вычисления геометрических характеристик поврежденных участков огнеупорной футеровки рабочего слоя кислородного конвертера и определения типа ремонта обусловлена необходимостью своевременного выявления дефектов, что способствует повышению эффективности и бесперебойной работе металлургических цехов.

Программный комплекс включает базу данных результатов лазерного сканирования конвертера, базу правил выбора типа ремонта, модуль обработки изображений сканограмм с учетом градиента цветов, модуль определения мест повышенного износа огнеупорной футеровки, модуль вычисления количественных характеристик (площади и объема) поврежденных участков футеровки, модуль определения мероприятий по ремонту, интерфейс инженера-технолога по эксплуатации огнеупоров, интерфейс администратора. Первоначально изображение сканограмм преобразуется в модель RGB, а затем в CIElab для более точного определения оттенков цветов и сравнения их с эталонными значениями для классификации пикселей. Основой комплекса является компьютерная модель для вычисления геометрических характеристик поврежденных участков огнеупорной футеровки кислородного конвертера по данным сканограмм, определения типа ремонта и массы необходимых ремонтных материалов.

Программный комплекс разработан в среде Visual Studio 2022 на языке программирования C#, с использованием базы данных в СУБД MySQL 8.0.36. Тестирование программного комплекса проводилось на примере изображений, полученных в результате лазерного сканирования поверхности футеровки конвертера Череповецкого металлургического комбината, что подтвердило его работоспособность.

**Литература:**

1. Resource and Energy Saving Control of the Steelmaking Converter Process, Taking into Account Waste Recycling / T. Chistyakova, I. Novozhilova, V. Kozlov, A. Shevchik // Energies. – 2023. – Vol. 16, No. 3. – P. 1302. – DOI 10.3390/en16031302.

2. Программный комплекс для интеллектуального анализа состояния и прогнозирования динамики износа огнеупорной футеровки кислородного конвертера / Т.Б. Чистякова, И.В. Новожилова, В.А. Кудлай, В.В. Козлов // Динамика сложных систем - XXI век. – 2017. – Т. 11, № 4. – С. 10-17.

# ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ МИКРОСТРУКТУРЫ НЕФТЯНОГО КОКСА ОТ СОСТАВА СЫРЬЯ

***Баранова А.В.*[1], *Новожилова И.В.*[2], *Запорожченко А.С.*[3]**

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), [1]кафедра систем автоматизированного проектирования и управления, [2]лаборатория мирового уровня, [3]кафедра технологии нефтехимических и углехимических производств*

*e-mail: novozhilova@spbti.ru*

**FUNCTIONAL STRUCTURE OF A SOFTWARE COMPLEX FOR STUDYING THE DEPENDENCIES OF PETROLEUM COKE MICROSTRUCTURE ON RAW MATERIAL COMPOSITION**

***Baranova A.V., Novozhilova I.V., Zaporozhchenko A.S.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Нефтяной кокс находит широкое применение в стратегически значимых отраслях промышленности: при производстве анодов для алюминиевых электролизёров, графитированных электродов для металлургии, а также в качестве ключевого компонента для литий-ионных аккумуляторов. Качество и выход кокса зависят от состава и свойств перерабатываемого сырья – вакуумных остатков, тяжёлых фракций каталитического крекинга, битумов и других вторичных продуктов. Смешение этих компонентов позволяет регулировать зольность, содержание серы, микроструктуру и механическую прочность кокса [1]. В связи с этим, разработка программного комплекса (ПК) для прогнозирования микроструктуры нефтяного кокса представляет собой актуальную задачу. Такой инструмент позволяет моделировать зависимость микроструктуры кокса от состава сырья, что обеспечивает повышение эффективности производства и адаптацию технологии к изменяющемуся качеству нефтяного сырья.

Функциональная структура ПК включает базу данных (БД) компонентного состава сырья и свойств нефтяного кокса, библиотеку эмпирических математических моделей, модуль структурно-параметрического синтеза моделей, модуль моделирования, модуль количественной оценки адекватности моделей, модуль визуализации результатов моделирования в виде таблиц и концентрационных треугольников Гиббса, модуль формирования протоколов исследования, интерфейс исследователя-технолога и интерфейс администратора. Ядром комплекса является математическая модель, представляющая собой регрессионные полиномы Шеффе. Для определения коэффициентов моделей используется метод наименьших квадратов на основе данных, полученных в соответствии с симплекс-решетчатыми планами. ПК позволяет проводить структурно-параметрический синтез моделей для прогнозирования зависимости микроструктуры кокса от соотношений компонентов сырья. ПК разработан с использованием среды Visual Studio и языка программирования C#. БД разработана с использованием СУБД MySQL. Тестирование ПК, проведенное на примере исследования зависимости микроструктуры нефтяного кокса от состава сырья, подтвердило его работоспособность. Использование ПК позволяет сократить время подбора состава сырьевой смеси и повысить достоверность прогнозирования микроструктуры кокса на этапе подготовки сырья.

*Исследование выполнено при стипендиальной поддержке Почетного профессора СПбГТИ(ТУ) А.Н. Чистякова.*

**Литература:**

1. Коксование композиционного нефтяного остаточного сырья / А.С. Лаврова, А.Н. Нечаев, В.В. Васильев [и др.] // Кокс и химия. – 2021. – № 2. – С. 29-33.

# СТРУКТУРА СЦЕНАРИЯ И ПРОТОКОЛА ОБУЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ ТВЁРДЫХ СПЛАВОВ

***Беналлал А-М.Н.*, *Федин А.К.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: abenallal414@mso365.technolog.edu.ru*

# STRUCTURE OF THE TRAINING SCENARIO AND PROTOCOL FOR HARD ALLOY QUALITY MANAGEMENT

***Benallal A-M.N.*, *Fedin A.K.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Структура сценария и протокола обучения в виртуальном тренажёре должна обеспечивать пошаговое освоение управления технологическими параметрами спекания и их влияния на показатели качества твёрдых сплавов. Поэтому сценарий выстраивается как последовательность этапов: задание исходных условий инструктором, выполнение обучающихся действий в виртуальной среде, последующий анализ полученных результатов и корректировка решений при отклонениях от требуемых значений. Такой подход соответствует описанию алгоритма обучения, включающего формирование сценария, моделирование процесса, взаимодействие с тренажёром, анализ результатов и корректировку действий [1]. На рисунке представлена структура сценария и протокола обучения управлению качеством твердых сплавов.

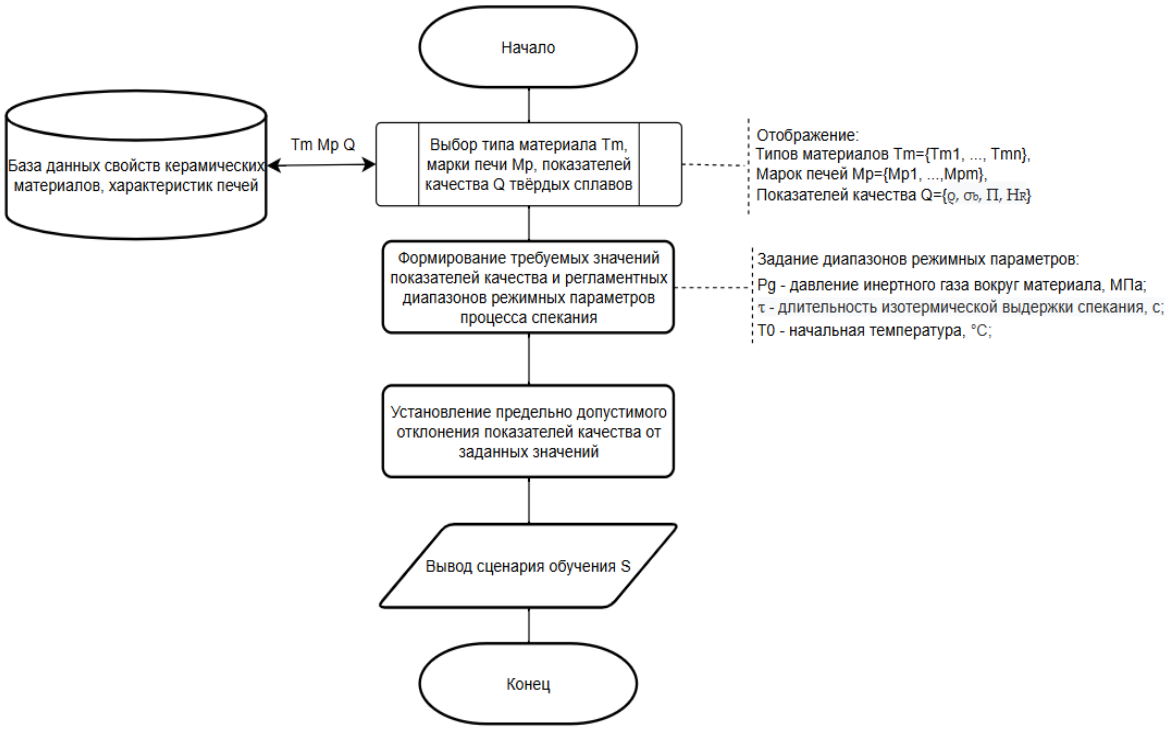



**Рисунок – Структура сценария и протокола обучения управлению качеством твёрдых сплавов.**

**Литература:**

1. Беналлал, А-М.Н. Архитектура веб-приложение для обучения управлению процессом получения твердых сплавов / А-М.Н. Беналлал, А.К. Федин // Сборник тезисов научной конференции «Традиции и инновации» СПбГТИ(ТУ), 3 – 5 декабря 2024 г. – Санкт-Петербург.: СПбГТИ(ТУ), 2024. – С. 239. – ISBN 978-5-905240-97-3.

# ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЁРА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ ТВЁРДЫХ СПЛАВОВ

***Беналлал А-М.Н.*, *Федин А.К.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: abenallal414@mso365.technolog.edu.ru*

# FUNCTIONAL STRUCTURE OF A VIRTUAL SIMULATOR FOR TRAINING IN HARD ALLOY QUALITY MANAGEMENT

***Benallal A-M.N.*, *Fedin A.K.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Виртуальный тренажёр для обучения управлению качеством твёрдых сплавов целесообразно реализовывать с разделением на клиентскую и серверную части: сервер обеспечивает хранение и обработку данных, выполнение вычислительных экспериментов и формирование результатов моделирования, а клиент отвечает за ввод параметров, визуализацию, работу с протоколом исследования и разграничение доступа по ролям пользователей [1]. На рисунке представлена функциональная структура виртуального тренажёра.

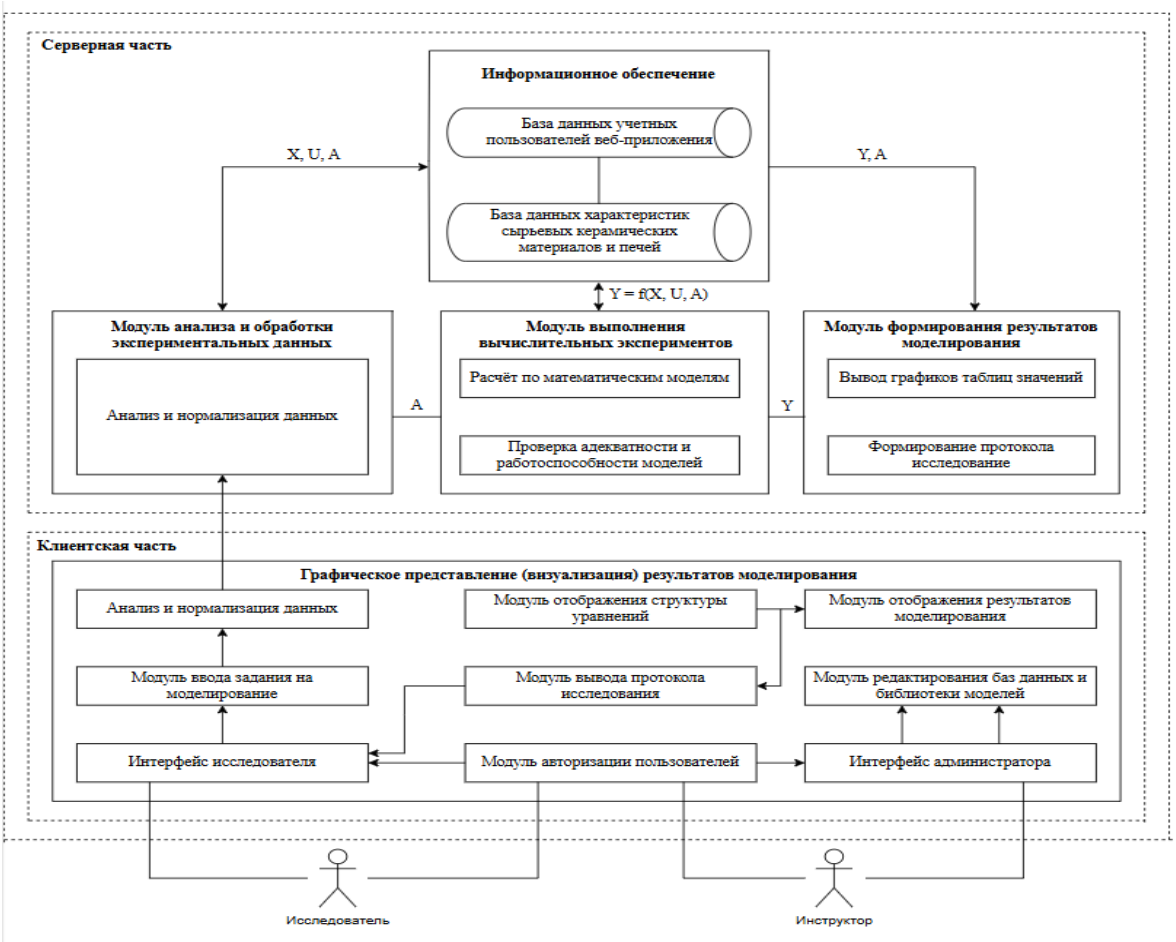



**Рисунок – Функциональная структура виртуального тренажёра.**

**Литература:**

1. Беналлал, А-М.Н. Архитектура веб-приложения для обучения управлению процессом получения твердых сплавов / А-М.Н. Беналлал, А.К. Федин // Сборник тезисов научной конференции «Традиции и инновации» СПбГТИ(ТУ), 3 – 5 декабря 2024 г. – Санкт-Петербург. : СПбГТИ(ТУ), 2024. – С. 239. – ISBN 978-5-905240-97-3.

# ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ КЛАСТЕРАМИ В СРЕДЕ KUBERNETES

***Богомолов Д.В.*, *Макарук Р.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: dns30191@mail.ru*

# WEB APPLICATION FOR MONITORING AND MANAGING CLUSTERS IN KUBERNETES ENVIRONMENTS

***Bogomolov D.V.*, *Makaruk R.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Современные IT-инфраструктуры становятся всё более сложными и распределёнными, что требует эффективных инструментов для управления и мониторинга ресурсов. Одним из ключевых технологических решений для оркестрации контейнеров является Kubernetes — открытая платформа, которая позволяет автоматизировать развёртывание, масштабирование и управление приложениями в контейнерах. Kubernetes предоставляет мощные возможности для управления кластерами, однако его настройка и мониторинг могут быть сложными, особенно для крупных распределённых систем [1, 2].

Архитектура разработанной системы построена по классическому клиент-серверному принципу и включает в себя три основных уровня:

1. Уровень представления (Frontend): Реализован с использованием JSF (JavaServer Faces). Обеспечивает отображение данных в виде структурированных таблиц, графиков и диаграмм, а также предоставляет элементы управления для выполнения пользовательских команд.
2. Серверный уровень (Backend): Разработан на платформе Spring Boot. Содержит бизнес-логику приложения, обрабатывает запросы от клиента и взаимодействует с API Kubernetes.
3. Уровень взаимодействия с кластером: В качестве основного инструмента для связи с кластером Kubernetes используется библиотека Fabric8 Kubernetes Client. Она абстрагирует разработчика от низкоуровневых деталей HTTP-запросов к API и предоставляет удобный, типобезопасный интерфейс для выполнения операций.

Ключевым компонентом backend является модуль мониторинга (Watcher Module), выполняющий опрос API-сервера через Fabric8-клиент. Модуль анализирует состояние объектов и классифицирует события, информируя пользователя о критических изменениях (сбой пода, недоступность узла). Интерфейс организован по разделам: «Обзор кластера» (информация об узлах и пространствах имен), «Управление рабочими нагрузками» (создание, масштабирование и удаление подов и деплойментов) и «Сервисы и конфигурация» (просмотр сервисов и томов).

Таким образом, разработанное веб-приложение представляет собой полнофункциональный инструмент, который снижает сложность взаимодействия с Kubernetes. Использование связки Spring Boot и Fabric8 Kubernetes Client обеспечивает высокую производительность и надежность системы, а продуманный интерфейс на базе JSF делает управление кластером доступным для специалистов с разным уровнем подготовки.

**Литература:**

1. Вьяс, Д. Kubernetes изнутри / Д. Вьяс, К. Лав; перевод с английского А.Н. Киселева. — Москва: ДМК Пресс, 2023. – С. 378.

2. Лукша, М. Kubernetes в действии / М. Лукша; перевод с английского А.В. Логунов. — Москва: ДМК Пресс, 2019. – С. 672.

# СРЕДА РАСЧЕТА СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В ДИНАМИКЕ

***Халимон В.И., Васильев И.В., Закиров И.А.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*
*e-mail: vanyshka.vasilek@gmail.com*

# ENVIRONMENT FOR CALCULATION OF QUEUE SERVICE SYSTEMS IN DYNAMICS

***Khalimon V.I., Vasiliev I.V., Zakirov I.A.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В качестве одного из методов описания сложной системы получил широкое распространение метод теории массового обслуживания. При таком подходе сложная система рассматривается как состоящая из какого-то числа обслуживающих единиц, называемых каналами обслуживания.

На обслуживающую единицу поступает некоторый входящий поток заявок. Заявки поступают одна за другой в некоторые случайные моменты времени. Обслуживание поступившей заявки продолжается какое-то время, после чего канал освобождается и снова готов для приема следующей заявки. Обслуженные заявки покидают систему, образуя выходящий поток заявок.

Возможна ситуация, когда заявка поступила в тот момент времени, когда канал занят обслуживанием предыдущей заявки. В этом случае, заявка может быть либо помещена в очередь перед каналом, либо должна покинуть систему не обслуженной.

Случайный процесс, протекающий в системе массового обслуживания, состоит в том, что система в случайные моменты времени переходит из одного состояния в другое: меняется число занятых каналов, число заявок в очереди и т.д. Таким образом, система массового обслуживания представляет собой систему дискретного типа со счетным множеством состояний, а переход системы из одного состояния в другое происходит скачком, в момент времени, когда осуществляется какое-то событие: приход новой заявки, освобождение канала, уход заявки, и т.д.

Для расчета и моделирования систем массового обслуживания разрабатывается программный комплекс, часть интерфейса которого представлена на рисунке.




**Рисунок – Интерфейс программного комплекса.**

Комплекс позволяет осуществлять построение, редактирование, расчет и моделирование таких типов систем как марковские системы массового обслуживания, одноканальные и многоканальные системы [1].

В программе реализован функционал варьирования параметров в реальном времени, что позволяет моделировать поведение системы массового обслуживания в разных условиях входных данных и анализировать состояния системы в динамике.

**Литература:**

1. Халимон В.И., Рогов А.Ю., Проститенко О.В. Программа «Queueing System Labs («QS-Lab»)» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ) Рег. №2013617370. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 12 августа 2013г.

# ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА И АНАЛИЗА РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАННИХ СТАДИЙ ИКРЫ ПОПУЛЯЦИЙ ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ

***Виноградова И.К.*, *Козлов А.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: irakvinogradova@gmail.com*

# FUNCTIONAL STRUCTURE OF THE SOFTWARE COMPLEX FOR CALCULATING AND ANALYSING THE DISTRIBUTION OF EARLY STAGES OF FISH EGGS IN COMMERCIAL FISH POPULATIONS

***Vinogradova I.K.*, *Kozlov A.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Рыбохозяйственный комплекс России представляет собой стратегически значимый сектор экономики, обладая одной из крупнейших в мире исключительных экономических зон, вылов рыбы в которой достигает 5,3 млн тонн на 2023 г. [1]. В настоящее время эффективное управление рыболовством требует данных о выживаемости для прогнозирования квот вылова и поддержания устойчивости биосистемы. Разработка программного комплекса позволит ускорить анализ и оценку прогноза выживаемости промысловых видов рыб на наиболее уязвимой стадии − стадии икры.

Функциональная структура программного комплекса предполагает наличие модуля ввода входных файлов, содержащих значения составляющих скорости течения (зональная, меридиональная и вертикальная скорости), при необходимости возможна поддержка массивов физических параметров водной среды (температура, соленость и т.п.) с координатными массивами; базы данных характеристик икры и предельных значений диапазонов температуры и солености океанической среды (вид промысловой рыбы и закрепленные за ним длины и плотности икры и личинок и т.п.); модуль расчета и моделирования движения пассивных трассеров (икры) в водной среде с учетом условий устойчивости в рамках лагранжева подхода, т.е. варианта расчета и моделирования в среде, при котором следующий шаг по времени рассчитывается для каждого параметра и каждой частицы отдельно [2]; модуль визуализации и сохранения результатов исследования как видео и/или netCDF-файл; модуль анализа полученного исследования и выработке на основе анализа решения по дальнейшему управлению промыслом; интерфейс исследователя и администратора.

Результатом работы программного комплекса является моделирование перемещения пассивной икры промысловых популяций с сохранением файла и графической визуализацией расчета. Модуль по анализу и формированию последующего решения по промысловому прогнозу будет хорошим дополнением к расчету, поскольку облегчает и совершенствует процедуру управления выловом и регулирования биосистемы. Программный комплекс может быть полезен для государственных и частных компаний, занимающихся рыболовным промыслом, а также научных рыбохозяйственных организаций.

**Литература:**

1. Численность занятых в рыбной отрасли достигла наивысшего показателя за последние 5 лет. [Электронный ресурс]. 2024. FISHNET. https://www.fishnet.ru/news/novosti_otrasli/chislennost-zanyatyh-v-rybnoy-otrasli-dostigla-naivysshego-pokazatelya-za-poslednie-5-let/ (Дата обращения: 18 февраля 2026).

2. Van Sebille, Erik et al. Lagrangian ocean analysis: fundamentals and practices. Ocean Modelling. 2018; 121: 49-75. DOI: 10.1016/j.ocemod.2017.11.008.

# РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ УЧЕТА АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИСПОЛНЕНИЯ ДОГОВОРНЫХ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ ПОДРЯДНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

***Дидан А.А.*, *Большаков А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: Andrey_didan@mail.ru, aabolshakov57@gmail.com*

# DEVELOPMENT OF A COMPUTER MODELING SYSTEM FOR ANALYZING AND FORECASTING THE PERFORMANCE OF CONTRACTUAL OBLIGATIONS BY CONTRACTORS

***Didan A.A.*, *Bolshakov A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В организациях, эксплуатирующих автоматизированные системы и взаимодействующих с подрядными структурами, исполнение договорных обязательств, как правило, реализуется в форме обработки заявок на устранение неисправностей и сопровождение программно-технических комплексов. Контроль выполнения таких обязательств осуществляется в рамках контрактов и соглашений об уровне сервиса (SLA), регламентирующих сроки реагирования, устранения неисправностей и порядок начисления штрафных санкций.

Несмотря на использование систем класса Service Desk, управление договорными обязательствами часто ограничивается регистрацией заявок, отслеживанием статусов и формированием отчётности, а аналитические функции реализованы частично и не обеспечивают комплексной поддержки принятия решений.

Предлагается система компьютерного моделирования, ориентированная на анализ обращений, прогнозирование сроков исполнения заявок и поддержку принятия решений при взаимодействии с подрядными организациями.

Функциональная структура микросервисного программного комплекса включает 14 модулей: графического взаимодействия пользователей с системой; хранения DTO классов, клиентов приложений и общих классов исключений; хранения конфигураций приложений; авторизации пользователей; хранения структур организаций; модуль учёта контрактов; хранения эксплуатируемых систем и функций данных систем; создания заявок; обеспечения маршрутизации и балансировки запросов; настройки брокера сообщений; формирования штрафов; формирования рекомендаций по решению заявок; прогнозирования срока выполнения задач; статистики посещения рекомендаций по устранению проблем пользователями системы.

Разработка системы осуществляется на языке программирования Java с использованием фреймворков Spring Boot, Spring Cloud, Spring Security, Spring Data JPA, Hibernate [1], библиотекой Project Lombok, брокером сообщений Apache Kafka, протоколом gRPC, шаблонизатором Thymeleaf, используются веб-технологий HTML, CSS и JavaScript, с применением фреймворка Bootstrap для адаптивной вёрстки. Управление зависимостями и сборка проектов осуществляется с использованием системы Apache Maven, Разработка серверной части осуществляется в интегрированной среде разработки IntelliJ IDEA. Модуль прогнозирования сроков выполнения заявок реализуется в виде отдельного микросервиса на языке программирования Python, используются библиотеки NumPy, pandas и scikit-learn. Тестирование корректности работы прикладных программных интерфейсов, реализованных в виде REST и gRPC-сервисов, осуществляется с применением программного инструмента Postman.

**Литература:**

1. Карнелл, Д. Микросервисы Spring в действии / Д. Карнелл, И. Уайлупо Санчес; пер. с англ. А. Н. Киселева. - Москва : ДМК Пресс, 2022. - 490 с.

# ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА УЧЁТА И АНАЛИЗА ДОКУМЕНТОВ ФИНАНСОВО-ЗАКУПОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ МЕЛКОСЕРИЙНОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

***Дмитрук В.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: mitru2607@yandex.ru*

# INFORMATION SUPPORT FOR A SOFTWARE SUITE FOR ACCOUNTING AND ANALYSIS OF FINANCIAL AND PROCUREMENT DOCUMENTS IN LOW-VOLUME MACHINE-BUILDING PRODUCTION

***Dmitruk V.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Учёт хозяйственной деятельности на предприятиях обычно ведётся через специализированное программное обеспечение (ПО), например, «1С». Однако такое ПО не всегда учитывает особенности конкретных организаций и требует значительных ресурсов для поддержки и расширения функционала.

В развитие программного решения, предложенного ранее [1], для реализации информационного обеспечения системы была выбрана система управления базами данных (БД) MySQL. В новом варианте БД была реструктурирована для создания отчётов и работы системы поддержки принятия решений (СППР). Основной отчёт программы – это отражение расходов предприятия по категориям за некоторый период времени.

Новый вариант БД состоит из 8 таблиц, 3 из которых – это таблицы с основными данными: «счета», «списки_предметов» и «договоры»; ещё 5 – это справочники: «с_классификатор_мер», «с_предметы», «с_категории», «с_ИНН» и «с_советы».

Таблица «счета» содержит информацию о счетах, которые были выставлены предприятию; «списки_предметов» – это предметы счёта, отдельная таблица создана для случаев, когда предметов счёта несколько; «договоры» содержит данные о расходных договорах, некоторым из них соответствуют один или несколько счетов.

Справочник «с_классификатор_мер» содержит коды и расшифровки мер измерения из ОКЕИ («Общероссийский классификатор единиц измерений»), планируется, что весь классификатор будет прогружен в программу для доступа офлайн; «с_предметы» - это коды и расшифровки используемых в программе товаров и услуг, они добавляются оператором по мере использования для возможности выбора из выпадающего списка, это помогает избежать ошибки ручного ввода; «с_категории» содержит категории направлений расходов (например, «Электроэнергия»), нужны для построения отчётов; «с_ИНН» содержит расшифровки ИНН контрагентов, как физических, так и юридических лиц; «с_советы» содержит тексты советов для СППР и условия их вывода, нужны для комментирования программой результатов построения отчётов.

К моменту написания этой работы было произведено тестирование на нескольких наборах пользовательских данных в системе управления БД «MySQL», которое подтвердило работоспособность разрабатываемого программного комплекса.

**Литература:**

1. Дмитрук В.В. Базовый функционал программного комплекса учёта и анализа документов финансово-закупочной деятельности для мелкосерийного машинного производства // Материалы XVI научной конференции «Традиции и инновации», посвященной 197-й годовщине образования Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2025. – С. 209.

# АЛГОРИТМ ВЫБОРА СПОСОБА ЗАГРУЗКИ ШИХТЫ ДЛЯ КОКСОВЫХ БАТАРЕЙ РАЗНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ

***Загидуллина Ф.Р., Финогеев Р.Р.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: farida.zagidullina13@gmail.com*

## ALGORITHM FOR SELECTING THE TYPE OF CHARGE FOR COKE BATTERIES IN DIFFERENT CONFIGURATIONS

***Zagidullina F.R., Finogeev R.R.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Способ загрузки угольной шихты определяет начальное состояние угольного массива в камере (плотность, влажность и пространственное распределение) и выступает фактором формирования газодинамического и теплового режимов процесса коксования. Это обуславливает комплексную взаимосвязь выходных показателей работы батареи: определяет интенсивность газовыделения и объем выбросов (экологические характеристики), задает динамику давления распора на стенки камер (гидравлический режим и безопасность процесса), а также определяет удельный расход тепла (энергоэффективность) и итоговую производительность при достижении заданных физико-механических свойств (качество кокса) [1].

Задача выбора способа загрузки шихты сформулирована следующим образом: для заданных входных характеристик сырья {X}, конфигурации коксовой батареи {T} (геометрия камер, тип подвода газа, компоновка газосборников/стояков) и требований технического задания {TS} по группам выходных показателей $Y=\{Y_1,\ldots,Y_5\}$, определить такое значение варьируемой переменной $C_{chg}$ (насыпная, трамбованная или бездымная загрузка шихты), которое обеспечит достижение оптимального компромисса по совокупности технико-экономических показателей (расчетное число камер, удельная энергоемкость, объем выбросов) путем изменения плотности угольной загрузки и сопряженной интенсивности тепломассообменных процессов, определяющих длительность периода коксования, при соблюдении технологических ограничений по производительности, качеству кокса, предельному давлению распора на огнеупорную кладку и экологическим характеристикам.

Входные данные поступают в расчетное ядро алгоритма, центральным звеном которого является определение плотности загрузки шихты ($\rho_{bulk}$). Через плотность и коэффициенты температуропроводности математическая модель связывает способ загрузки шихты с динамикой прогрева угольного массива и временем завершения процесса коксования. Вычисляется период коксования, который в совокупности с временем цикла обслуживания определяет производительность батареи. Также в расчетном ядре задействуется блок гидродинамических расчетов, определяющий давление распора на стенки камеры и интенсивность газовыделения. Полученные значения выходных данных должны соответствовать ограничениям $Y_i \in [Y_{min}, Y_{max}]$ при нарушении которых, алгоритм возвращается к исходной точке для корректировки способа загрузки шихты. Выбор считается оптимальным, если найденное значение $C_{chg}$ максимизирует выход кокса при соблюдении технологического регламента по давлению распора и качественным характеристикам целевого продукта.

*Исследование выполнено при стипендиальной поддержке Почетного профессора СПбГТИ(ТУ) А.Н. Чистякова.*

**Литература:**

1. Чистякова Т.Б. [и др.] // Интеллектуальное управление многоассортиментным коксохимическим производством. – Санкт-Петербург: ЦОП «Профессия», 2010. – 187 с.

# СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ТРЕКИНГА ГЛАЗ

***Занин Е.В.*, *Полосин А.Н.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: egor.zanin@gmail.com*

# THE STRUCTURE OF THE SOFTWARE PACKAGE FOR PRIMARY PROCESSING OF EYE TRACKING DATA

***Zanin E.V.*, *Polosin A.N.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В современной неврологии анализ окуломоторной активности становится объективным биомаркером состояния центральной нервной системы. Технология трекинга глаз открывает широкие возможности для регистрации движения глаз, однако прямая полноценная диагностика на ее основе становится возможной только после многоэтапной обработки видеопотока [1]. В связи с этим актуальной задачей является создание программного комплекса, позволяющего на основе видеозахвата движения глаз формировать очищенные от артефактов временные ряды параметров движения зрачка, пригодные для последующей оценки показателей окуломоторной активности с целью диагностики неврологических заболеваний.

Программный комплекс позволяет решить следующую задачу: на основе входного видеопотока с веб-камеры, представляющего собой запись движения глаз при прохождении зрительных тестов, и с использованием настраиваемых параметров фильтрации (коэффициент экспоненциального сглаживания траектории, параметр устранения колебаний, пороговый параметр скорости) выполнить детекцию, локализацию и фильтрацию для получения временных рядов параметров движения зрачков (координаты взора, скорость и диаметр каждого зрачка).

Комплекс включает следующие модули: база данных пациентов и результатов прохождения ими зрительных тестов; модули детекции области глаз на основе метода Виолы–Джонса, локализации зрачков методом градиентного анализа и их трекинга с применением фильтра Калмана; модуль вычисления параметров движения зрачков в заданном интервале времени и визуализации полученных временных рядов параметров движения в виде трендов. Архитектура комплекса предусматривает разделение функционала между двумя категориями пользователей. Для врача реализован интерфейс, обеспечивающий ведение базы данных пациентов, загрузку видеозаписей прохождения ими зрительных тестов и эргономичную визуализацию полученных временных рядов. Для специалиста по математическому обеспечению предусмотрен расширенный режим настройки, позволяющий изменять параметры работы алгоритмов детекции, локализации и фильтрации, что дает возможность настройки системы на обработку результатов зрительных тестов различных типов (следящие движения, фиксация и др.).

Тестирование комплекса проведено на группе здоровых испытуемых мужского и женского пола в возрасте 21–27 лет при выполнении теста на слежение. Обработка видеозаписей подтвердила работоспособность комплекса. Сформированные временные ряды параметров движения отражают индивидуальные особенности глазодвигательных реакций и пригодны для последующего клинического анализа. Внедрение комплекса в клиническую практику позволяет автоматизировать этап первичной обработки трекинга глаз и повысить достоверность диагностики неврологических заболеваний.

**Литература:**

1. Куратова К.А., Шелепин Е.Ю., Шелепин К.Ю. Программные возможности применения метода айтрекинга в исследованиях зрительного восприятия // Российский психологический журнал. – 2022. – Т. 19, № 4. – С. 173–185.

# АРДУИНО ОРИЕНТИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИМ МАНИПУЛЯТОРОМ

***Иванов Ф.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра мехатронных технологических комплексов*

*e-mail: ivannov.fadya@gmail.com*

# ARDUINO BASED PNEUMATIC MANIPULATOR CONTROL SYSTEM

***Ivanov F.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Современный этап научно-технического прогресса неразрывно связан с повсеместной автоматизацией и роботизацией технологических процессов. Эволюция технологического оборудования в мехатронные комплексы качественно повышает производительность, безопасность и экономическую эффективность производства.

Сердцем большинства промышленных роботов являются манипуляторы – механические устройства, предназначенные для выполнения функций, аналогичных человеческой руке. В связи с высокой опасностью производства взрывчатых веществ особое место занимает пневматический привод, способный обеспечить высокую скорость перемещения, надежность и безопасность. Однако управление пневмоприводом связано с рядом проблем, в частности, с трудностью точного позиционирования из-за сжимаемости рабочей среды – воздуха. Именно поэтому разработка эффективных систем управления пневматическими манипуляторами представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

Для разработки и реализации алгоритма управления в данной работе была выбрана платформа Ардуино, представляющая собой открытую аппаратно-программную платформу для построения электронных устройств, основой которой является плата с микроконтроллером и среда разработки для его программирования [1].

Выбор данной платформы обусловлен рядом факторов, критически важных для учебного и исследовательского проекта:

- Язык программирования, основанный на C/C++, интуитивно понятен, а среда разработки упрощает процесс написания и отладки кода.
- Наличие большого количества готовых решений и библиотек позволяет ускорить разработку.
- Плата Ардуино обладает необходимым количеством цифровых выходов, которые могут быть использованы для управления внешними устройствами.

Структура системы выглядит следующим образом: с цифровых выходов микроконтроллера Ардуино поступают управляющие сигналы на мощные транзисторные сборки или драйверы реле, которые коммутируют напряжение на катушки электропневматических клапанов. Обратная связь реализована с помощью концевых выключателей, подключённых к входам микроконтроллера (например, для определения достижения штоком цилиндра крайнего положения). Программный код реализует заданный циклический алгоритм, попеременно подавая сигналы высокого или низкого уровня на соответствующие выходы. Это делает платформу Ардуино эффективным ядром для создания системы управления манипулятором.

Внедрение такой микроконтроллерной системы управления манипулятором в общую систему управления предприятием позволяет автоматизировать всё предприятие, вплоть до создания «тёмных» цехов.

**Литература:**

1. Мехатроника. Инженерный подход / А.Н. Веригин, Н.А. Незамаев, А.Г. Ишутин [и др.]; под редакцией А.Н. Веригин. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 644 с.

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦЕЛОСТНОСТИ И АКТУАЛЬНОСТИ ПРОЕКТНЫХ ДАННЫХ ЗА СЧЕТ ИНТЕГРАЦИИ МОДУЛЯ ВЕДЕНИЯ, КОРРЕКТИРОВКИ И ХРАНЕНИЯ ПРОЕКТНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АРМ-ПРОЕКТИРОВЩИКА

***Ивлев М.Р., Полякова А.М.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: maximiuleu@mail.ru*

# ENSURING THE INTEGRITY AND RELEVANCE OF PROJECT DATA THROUGH THE INTEGRATION OF A MODULE FOR THE MAINTENANCE, REVISION, AND STORAGE OF PROJECT INFORMATION INTO THE AUTOMATED WORKPLACE OF A DESIGNER SOFTWARE PACKAGE

***Ivlev M.R., Polyakova A.M.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Актуальность темы определяется жесткими отраслевыми требованиями к целостности проектной и технической информации, закладываемой в базы данных станционного уровня управления движением поездов метрополитена. Решением данной проблемы выступает интеграция программного модуля ведения, корректировки и хранения информации непосредственно в состав автоматизированного рабочего места (АРМ) проектировщика, что позволяет разрабатывать проектную документацию, изначально гарантирующую соответствие всем строгим отраслевым нормативам. Это обеспечивает централизованный контроль целостности проектных данных, организуя контролируемый ввод информации в рабочей среде и, тем самым, устраняя разрыв между инструментами проектирования и системой хранения данных.

Принципиальной особенностью разработки является использование собственного закрытого формата данных в сочетании с механизмами шифрования. Такой подход позволяет сформировать защищенный контур управления, недоступный для внешнего вмешательства, что критически важно для объектов с повышенными требованиями к безопасности.

Проектировщик, работая в привычной для себя программной среде, получает возможность напрямую взаимодействовать с данными, хранящимися в базе данных, построенными с использованием описанного ранее специализированного формата [1]. Все действия по корректировке проектной информации, созданию новых элементов или модификации существующих конфигураций фиксируются в хранилище, что решает проблему актуальности данных. Более того, во время сохранения проекта происходит инициализация встроенных механизмов верификации для обеспечения целостности и непротиворечивости данных. В рамках работы планируется разработка программного модуля для возможности поддержания существующих проектов, выполненных в старом формате данных, что обеспечит плавный переход на новый формат.

Таким образом, предлагаемый подход не только гарантирует конфиденциальность, целостность и актуальность информации на всех этапах жизненного цикла от момента разработки проекта до получения актуальных баз данных для загрузки в бортовое оборудование системы, но и создает условия для дальнейшего развития функционала программного комплекса и наращивания информационного обеспечения самой базы данных.

**Литература:**

1. Ивлев М.Р., Полякова А.М. / XVI научная конференция «Традиции и Инновации», посвященная 197-й годовщине образования СПБГТИ(ТУ), 3 - 5 декабря 2025 / Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). – СПб, 2025. – С. 213.

# АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ УЧЁТА ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

***Игнатьева М.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: ignatievam2017@bk.ru*

# ANALYSIS OF A SOFTWARE MODULE FOR ACCOUNTING THE CHARACTERISTICS OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

***Ignatieva M.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В тезисах рассматривается программный модуль, предназначенный для автоматизации ведения учёта и фиксации технических характеристик технологического оборудования. Актуальность разработки обусловлена потребностью промышленных предприятий в эффективных инструментах инвентаризации и паспортизации основных фондов [1].

Модуль разработан в среде MS Access. На этапе проектирования проведен анализ требований, выделены классификационные признаки оборудования и создана структура базы данных. Готовое решение включает таблицы для хранения данных, формы для ввода эксплуатационных параметров (мощность, производительность, габариты). Функции поиска и отбора реализованы с помощью запросов Access, что позволяет быстро находить оборудование по любым заданным характеристикам.

Созданный в MS Access модуль (см. рисунок) отличается продуманным интерфейсом: инженеры и технологи могут оперативно находить нужные позиции и вносить актуальные данные в карточки оборудования. Сформированная база данных аккумулирует полные сведения о характеристиках оборудования, формируя основу для дальнейшего. Универсальность разработанной структуры и простота ее масштабирования делают возможным внедрение модуля на различных типах производств, что определяет его практическую значимость.

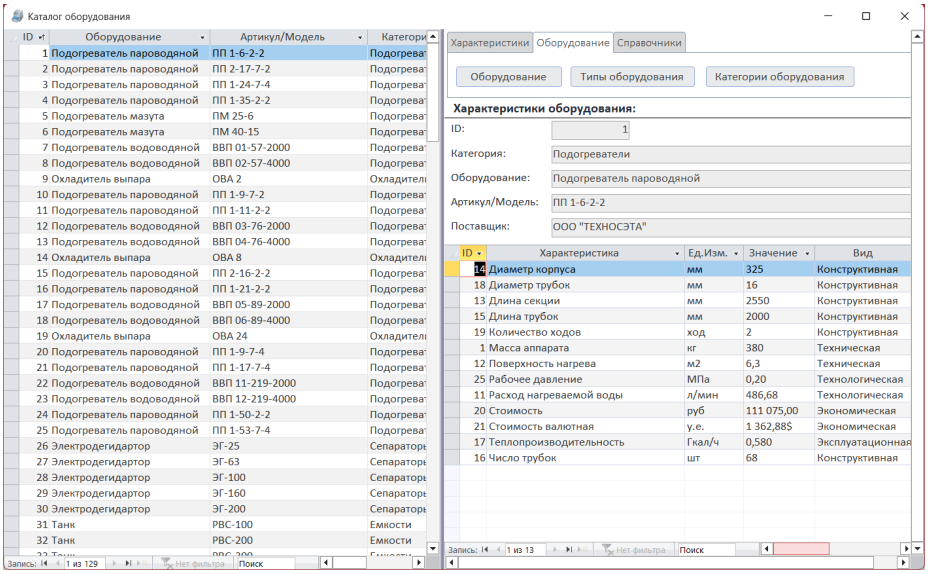



**Рисунок – Интерфейс программного модуля.**

**Литература:**

1. Коршунов Е.А., Капанский А.А., Коршунов К.Е. Автоматизация процессов обслуживания энергетического оборудования с помощью специализированных программных решений // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. №1 (53). С. 65-75.

# СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ПАРОГЕНЕРАТОРА

***Кайгородова Е.А.*, *Чумаков С.И.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*
*e-mail:hkaygorodova@gmail.com, srg_chumakov@mail.ru*

**STATISTICAL METHODS FOR OPTIMIZING STEAM GENERATOR OPERATION**

***Kaygorodova E.A.*, *Chumakov S.I.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Как уже отмечалось [1] парогенераторы широко используются в тепловых сетях, а также при производстве электрической энергии. Следует отметить, что основу электроэнергетики составляет тепловые электрические станции, они вырабатывают порядка 70 % электроэнергии в России. В связи с этим актуальна задача оптимизации технологического процесса на этих станциях. Особенно актуально это для арктических регионов, где повышено потребление тепловых ресурсов.

Для решения задачи оптимизации эффективно использовать методы математической статистики при обработке данных мониторинга.

С этой целью ведется расчет КПД по обратному методу теплового баланса по формуле Зигерта, исходя из тепловых потерь, которые зависят от температуры уходящих газов, а также от содержания кислорода и угарного газа в продуктах сгорания. Это уже дает возможность построить регрессионную зависимость КПД от коэффициента избытка воздуха и паровой нагрузки. Как это делается, подробно излагается в работе [2].

Имея такую зависимость, можно строить систему автоматического управления режимом работы парогенератора, которая позволит экономить топливо [3].

**Литература:**

1. Чумаков, С.И. Постановка задачи оптимизации в газовом парогенераторе / С.И. Чумаков, М.В. Шишкевич. // Сборник тезисов IX научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в рамках мероприятий, посвященных 150-летию открытия Периодического закона химических элементов Д.И. Менделеевым «Неделя науки - 2019» – СПб.: 2019, С. 326.

2. Ананченко, И.В. Экономичность работы газового парогенератора / И.В. Ананченко, С.И. Чумаков, П.М. Васильев. / АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: сборник статей XXVII Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч. 1. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2025. – С. 85-88.

3. Юленец, Ю.П. Система автоматической оптимизации работы парогенератора / Ю.П. Юленец, Е.А. Кайгородова. / Известия Санкт-петербургского государственного технологического института (технического университета) № 68(94) / 2024. – С. 110 – 113.

# ПРОГРАММНЫЙ MMI-ИНТЕРФЕЙС ДЛЯ СИСТЕМ ГЕНЕРАЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ РЕШЕНИЙ В ИНТЕГРАЛЬНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ СРЕДАХ

***Караджаев М.М.*, *Мусаев А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: makskaradzhaev@gmail.com*

# SOFTWARE MMI INTERFACE FOR CONTROL DECISION GENERATION SYSTEMS IN INTEGRATED MATHEMATICAL ENVIRONMENTS

***Karadzhaev M.M.*, *Musaev A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В современных системах управления нестационарными объектами всё чаще используются программные роботы, реализующие алгоритмы проактивного управления в интегральных математических средах (ИМС) - Matlab, Python. В то же время большинство промышленных АСУ допускают управляющие воздействия только через специализированные управляющие платформы (УП), входящие в состав комплекса, что требует отдельного стыковочного программного слоя.

Главной особенностью программного MMI-интерфейса является согласование форматов данных между информационной платформой (ИП) и ИМС: выделение релевантных наблюдений, нормализация, подавление аномалий и формирование сглаженных данных как входной компоненты для блока генерации решений (DFS). Опыт разработки показывает, что без этих процедур сопоставимость данных и устойчивость алгоритмов резко снижаются: шум и выбросы вызывают ложные срабатывания [1]. В качестве инструмента сглаживания целесообразно использовать экспоненциальный фильтр, который обеспечивает компромисс между подавлением случайной компоненты и сохранением динамики системной составляющей процесса.

Второй критический аспект MMI-интерфейса - помехоустойчивое исполнение управляющих команд на УП. При групповом управлении неполное прохождение набора воздействий может перевести объект в непредсказуемое состояние и привести к аварийным последствиям, поэтому интерфейс должен поддерживать обнаружение сбоев, повторную отправку, защиту от зацикливания и при необходимости переход к ручному режиму.

Данные требования реализуются на уровне обработки статусов: контроль целостности пакета команд, журналирование транзакций и подтверждений, ограничение числа повторов и перевод системы в безопасный режим при превышении порога ошибок [2]. На прикладном уровне интерфейс дополняется MMI-ориентированным GUI с визуализацией потоковых данных, состояния канала и результатов исполнения, что сохраняет автономность робота и обеспечивает наблюдаемость и верификацию управления в критических ситуациях.

**Литература:**

1. Musaev A., Grigoriev D. Numerical Studies of Statistical Management Decisions in Conditions of Stochastic Chaos // Mathematics. 2022. P. 226.

2. Мусаев А.А., Ананченко И.В., Караджаев М.М. Организация автоматического взаимодействия управляющей платформы с интегральной математической средой // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2024. № 68(94). С. 99–105.

# КРИТЕРИИ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

***Кобко А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра инженерного проектирования*

*e-mail: anton_mmf@mail.ru*

## CRITERIA AND METHODS OF ASSESSING TECHNOLOGICAL EQUIPMENT USED IN INDUSTRIAL PRODUCTION

***Kobko A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Оборудование промышленных предприятий, предназначенное для обработки материалов или сырья с целью получения из них товарной продукции, называется технологическим оборудованием. Создание нового и совершенствование существующего технологического оборудования является сложным, многоэтапным и длительным процессом. Благодаря применению в производстве современного, инновационного оборудования значительно повышается качество и конкурентоспособность производимой продукции.

Оценка качества работы технологического оборудования должна осуществляться с помощью научно-обоснованной структуры показателей. Критерии, характеризующие эксплуатационные свойства оборудования, обусловленные современным уровнем развития науки и техники, в настоящее время четко не представлены. В связи с этим необходимо разработать систему оценки путем создания новых критериев и методов.

Системный подход позволит осуществить анализ различных по структуре эксплуатационных свойств оборудования, при этом выявить и оценить характер и степень влияния различных факторов на процесс функционирования. Отдельные эксплуатационные свойства оборудования характеризуются единичными показателями, которые объединяются в обобщенные и комплексные показатели системы и непосредственно определяют его эффективность функционирования.

Оборудование, имеющее различное назначение, принцип действия и конструктивное исполнение имеет различные эксплуатационные свойства. В каждом конкретном случае выполняя анализ эксплуатационных свойств необходимо сформировать соответствующий перечень показателей, используя методологию системного подхода. При этом предпочтительной будет структура показателей, подходящая для различных видов технологического оборудования.

Основным критерием оценки технологического оборудования является качество производимой продукции. Помимо этого, необходимо учитывать показатели, которые характеризуют такие важные эксплуатационные свойства, как производительность, универсальность, энергоэффективность, надежность, ремонтопригодность, эргономичность, экологичность и экономичность. Приведенный перечень эксплуатационных свойств оборудования может быть изменен исходя из поставленных задач исследования.

Таким образом, на основе разработанной структуры единичных показателей возможно получить обобщенные показатели, характеризующие основные эксплуатационные свойства технологического оборудования. В свою очередь, на основе обобщенных показателей определяется комплексный показатель качества работы оборудования, который будет являться многокритериальным, учитывающим все основные технологические характеристики оборудования.

Предложенная структура показателей может быть использована для формирования рационального состава технологического оборудования и его эффективного использования на промышленных предприятиях.

# ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ФИЗИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ И РЕАБИЛИТАЦИИ ДЕТЕЙ-ИНВАЛИДОВ ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА

***Ковинев Д.С.*, *Смирнов И.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: dealkd@mail.ru*

# FUNCTIONAL STRUCTURE OF A SOFTWARE COMPLEX FOR MONITORING AND ANALYSIS OF PHYSICAL DEVELOPMENT AND REHABILITATION OF PRESCHOOL CHILDREN WITH DISABILITIES

***Kovinev D.S.*, *Smirnov I.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Актуальность разработки программного комплекса (ПК) связана с возрастанием потребности в эффективных инструментах для мониторинга и анализа физического развития и реабилитации детей-инвалидов дошкольного возраста. Инвалидность трактуется как социальная недостаточность вследствие стойких нарушений здоровья, приводящих к ограничению жизнедеятельности и необходимости социальной защиты [1]. По данным Социального фонда Российской Федерации на 1 июня 2025 года в России насчитывается 784 тысячи детей-инвалидов, значительную долю среди которых занимают дети дошкольного возраста [2]. Существующие системы являются разрозненными и трудоемкими, что снижает объективность оценки и усложняет планирование реабилитации. Разрабатываемый ПК решает эту проблему, обеспечивая автоматизированный сбор, хранение и анализ данных, а также формирование рекомендаций для повышения эффективности реабилитации.

Функциональная структура ПК включает в себя: интерфейсы специалиста по реабилитации, администратора и эксперта по знаниям; базу данных с профилями детей-инвалидов, результатами сеансов оценки, возрастными нормами и индивидуальными планами реабилитации; базу знаний, содержащую рекомендации, упражнения и экспертные правила; модуль авторизации и разграничения доступа; модуль управления профилями детей; модуль проведения сеансов оценки с автоматическим расчетом показателей; модуль анализа и мониторинга динамики развития; модуль экспертной системы и рекомендаций; модуль формирования и контроля планов реабилитации; модуль визуализации и отчетности с экспортом данных; модули администрирования, управления справочной информацией, аудита и резервного копирования.

Программный комплекс для мониторинга и анализа физического развития ребенка первого года жизни разработан в среде Microsoft Visual Studio 2022 на языке C# с использованием СУБД MySQL 8.0.32. База данных включает 13 таблиц, 13 идентифицирующих связей, 110 полей и более 300 записей.

Использование ПК позволяет сократить время обработки данных с 20–25 минут до 5–7 минут и снизить вероятность ошибок на 25 %. Это способствует повышению объективности оценки динамики развития детей-инвалидов дошкольного возраста и эффективности работы специалистов по реабилитации. Проведенное тестирование ПК на примере ввода и анализа данных результатов оценки физического развития ребенка подтвердила его работоспособность и возможность дальнейшего использования.

**Литература:**

1. Акатов, Л.И. Социальная реабилитация детей с ограниченными возможностями здоровья. Психологические аспекты. М.: ВЛАДОС, 2003. 368 с. ISBN 5-691-01094-8.

2. Социальный фонд Российской Федерации. Статистические данные по численности детей-инвалидов в Российской Федерации за 2024–2025 гг. – М., 2025.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ УПРАВЛЯЮЩИХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

***Колесникова А.С., Проститенко О.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: arina0kolesnikova@gmail.com*

**SIMULATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES USING CONTROL PETRI NETS**

***Kolesnikova A.S., Prostitenko O.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Технологические процессы в промышленности характеризуются строгой последовательностью операций, параллельным выполнением отдельных стадий и жесткими требованиями к синхронизации работы оборудования. Классические сети Петри, оперирующие понятиями условий и событий, позволяют описать логику протекания таких процессов [1].

Применение управляющих сетей Петри решает эту проблему за счет введения иерархической структуры модели. Технологический процесс рассматривается не как множество элементарных операций, а как совокупность укрупненных этапов: подготовка сырья, дозирование, тепловая обработка, выдержка, охлаждение, выгрузка готового продукта. Каждый такой этап представляется в виде макроперехода, внутри которого скрывается детализированная подсеть, описывающая работу конкретного аппарата или узла.

Динамика управляющей сети строится следующим образом: активация макроперехода на верхнем уровне инициирует запуск соответствующей подсети. Маркеры из входных позиций, символизирующие, например, наличие сырья в бункере или разрешение на запуск от системы управления, передаются в начальные позиции подсети. Далее подсеть функционирует автономно, последовательно срабатывая переходы, которые соответствуют реальным командам исполнительным механизмам: открытие клапанов, включение нагревателей, пуск мешалок. По завершении всех операций подсеть переходит в терминальное состояние, и управление возвращается на верхний уровень - маркер поступает в выходную позицию макроперехода, сигнализируя о готовности к следующей стадии.

Анализ управляющей сети дает возможность выявлять тупиковые ситуации, когда, например, реактор ожидает сигнала от предыдущей стадии, который никогда не поступит, или проверять корректность блокировок при аварийных остановах. Кроме того, появляется возможность повторного использования типовых подсетей: модель работы теплообменника или дозатора, однажды разработанная и проверенная, может применяться в различных технологических схемах без изменений [2].

Таким образом, сочетание иерархической декомпозиции с четкой динамикой передачи управления позволяет создавать компактные, наглядные и легко модифицируемые модели, что особенно важно при проектировании систем управления химико-технологическими процессами.

**Литература:**

1. Проститенко О.В. Моделирование дискретных систем на основе сетей Петри: учебное пособие / О.В. Проститенко, В.И. Халимон, А.Ю. Рогов. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2017. - 69 с.

2. Сочнев А.Н. Алгоритм синтеза модели управляющего устройства для имитационной модели на основе сети Петри // Проблемы информатизации региона. ПИР-2003: Труды Всероссийской конференции. Красноярск: КГТУ, 2003. 227 е., с. 144-149.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ВРЕМЕННЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

***Халимон В.И., Колесникова А.С.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: arina0kolesnikova@gmail.com*

## MODELING PROCESSES BASED ON TEMPORAL CONTROL PETRI NETS

***Khalimon V.I., Kolesnikova A.S.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Сети Петри выступают в роли универсального инструмента для моделирования динамики параллельно протекающих процессов в разнородных системах. В зависимости от поставленных задач (таких как классификация, анализ свойств или практическая реализация) и требуемого уровня абстракции, исследуемые объекты могут быть представлены с различной степенью детализации.

Для анализа производственных ситуаций широко применяются сети Петри. В частности, метод анализа на достижимость позволяет ответить на вопрос о принципиальной возможности или невозможности наступления определенного состояния в системе. Искомое состояние при этом задается целевой разметкой. Суть подхода заключается в проверке, существует ли последовательность переходов от исходной разметки к заданной, то есть является ли целевая разметка достижимой. Инструментами для решения таких задач служат либо построение диаграмм достижимости, либо аппарат уравнений состояний сети.

Дальнейшим развитием классического аппарата стали временные сети Петри. Их ключевая особенность заключается во введении понятия «время выполнения» для позиций. Попав в позицию, метка блокируется на заданный интервал и не может участвовать в запуске переходов, пока не истечет этот период. В отличие от обычных сетей Петри, где переход срабатывает мгновенно при готовности всех входных позиций, во временном расширении активация перехода дополнительно привязана к временным параметрам [1].

С позиции разработки параллельных алгоритмов для систем реального времени наиболее эффективными представляются управляющие сети. Их главное отличие от прочих сетевых формализмов заключается в наличии механизма внешнего управления срабатыванием переходов посредством специальных сигналов. При моделировании реальных процессов управления эти входные сигналы, как правило, поступают стохастически и не подчиняются строгой временной последовательности. Возможность динамического управления так называемыми макропереходами позволяет гибко менять конфигурацию вершин в ходе выполнения параллельных алгоритмов, существенно расширяя диапазон поведения модели.

Интеграция временных механизмов с элементами управляющих сетей Петри превращает данный формализм в мощный инструмент для моделирования динамики процессов различной природы.

**Литература:**

1. Халимон В.И., Рогов А.Ю., Проститенко О.В., Бушихин И.И. Программа «Система имитационного моделирования объектов на основе сетей Петри («СИМ-о-Петри»)» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ) Рос. агентство по патентам и товарным знакам «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем». Рег. №2011613243. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 26 апреля 2011 г.

# ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА ОБЪЕМОВ ПРОДАЖ ТОВАРОВ В РОЗНИЧНОЙ СЕТИ

***Коростылева А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: korostyleva16@inbox.ru*

# INFORMATION SYSTEM FOR ANALYZING SALES VOLUMES OF GOODS IN A RETAIL NETWORK

***Korostyleva A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В условиях жесткой конкуренции и нестабильности рынка розничным сетям жизненно необходимо постоянно оценивать динамику объемов продаж для усиления своих позиций. Ключевое значение при этом приобретает анализ данных по временным отрезкам (часам, дням, месяцам и кварталам). Такой подход позволяет отследить колебания спроса, выявить сезонные тренды и на их основе повысить точность планирования закупок и управления складскими остатками [1].

В разработанной системе анализ выполняется с использованием VBA, обеспечивающего динамическое формирование и изменение SQL-запросов, хранящихся в базе данных. Такой подход позволяет гибко настраивать параметры анализа и повышает точность обработки данных.

Исходная информация хранится в основной таблице продаж, содержащей сведения о товаре, дате и времени реализации, количестве и стоимости. Система извлекает данные с учётом выбранного пользователем временного интервала, что обеспечивает получение актуальных показателей за нужный период (см. рисунок).

Интерфейс модуля разработан для удобной работы с аналитикой и отображает результаты в виде таблицы и диаграммы. Пользователь может выбирать параметр для визуализации.

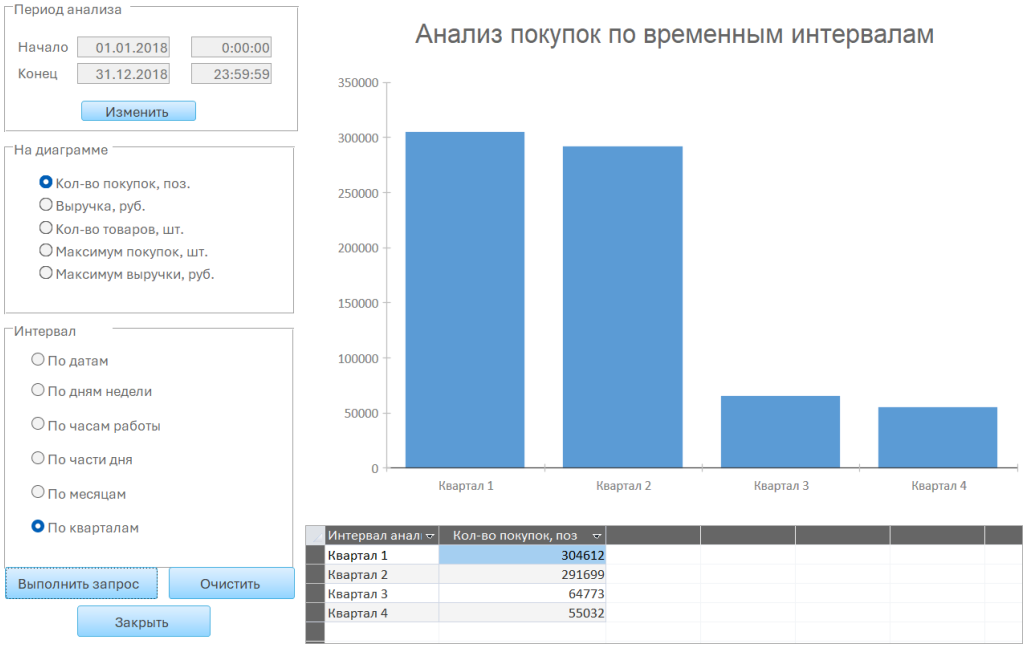



**Рисунок – Пример интерфейса программы для анализа.**

**Литература:**

1. Сайед Р. Аналитика в ритейле: инновационные стратегии для роста и развития / Р. Сайед. – Ridero, 2023. – 110 с. – ISBN 978-5-0062-0905-3.

# ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА ОБЪЕМОВ ПРОДАЖ ТОВАРОВ В РОЗНИЧНОЙ СЕТИ

***Коростылева А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: korostyleva16@inbox.ru*

# INFORMATION SYSTEM FOR ANALYZING SALES VOLUMES OF GOODS IN A RETAIL NETWORK

***Korostyleva A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В современных условиях рыночной экономики эффективное управление розничным бизнесом невозможно без глубокого анализа объемов продаж. Конкурентоспособность предприятия напрямую зависит от способности руководства оперативно мониторить данные, выявлять сезонные тренды и принимать обоснованные управленческие решения на основе фактической информации. Несмотря на наличие на рынке мощных BI-платформ, их внедрение требует значительных финансовых вложений, сложной инфраструктуры и квалифицированного персонала, что делает их экономически нецелесообразными для малого и среднего ритейла. В связи с этим возникает потребность в разработке доступных информационных систем, обеспечивающих базовый функционал аналитики при минимальных затратах на владение и развертывание [1].

В рамках работы создана программная реализация информационной системы, включающая функциональные модули ведения справочников и аналитический блок. Интерфейсы позволяют добавлять и редактировать данные о товарах, сотрудниках, должностях и кассовом оборудовании. Аналитический модуль обеспечивает визуализацию ключевых показателей эффективности в различных временных разрезах. Реализованы алгоритмы расчета выручки, количества чеков, среднего чека и динамики продаж. Система предоставляет возможность группировки данных по часам, частям дня, дням недели, месяцам и кварталам. Это позволяет выявлять пиковые нагрузки и сезонные колебания спроса, что критически важно для планирования работы персонала и управления запасами.

Проверка производительности показала стабильную работу приложения при обработке массивов данных, характерных для розничной точки. Результаты тестирования формы анализа подтвердили достоверность отображения информации, а построение диаграмм позволило выявить, дни и часы, на которые приходится максимум выручки.

Разработанная информационная система позволяет автоматизировать учет продаж и предоставляет руководству инструмент для мониторинга ключевых метрик бизнеса. Использование Microsoft Access обеспечивает низкий порог входа и возможность масштабирования решения. Внедрение подобной системы способствует повышению эффективности управления товарными запасами, оптимизации графика работы персонала и росту прибыльности торговой точки за счет своевременного анализа коммерческих показателей. Дальнейшее развитие системы может включать интеграцию с облачными хранилищами и расширение функционала прогнозной аналитики.

**Литература**:

1. Гудзь С.С., Цуканова О.А. Рынок BI-технологий в России: анализ перехода на отечественные решения в контексте импортозамещения // Бизнес-информатика. – 2025. – №3. – С. 85-96.

# ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОАССОРТИМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

***Кротов И.А.*, *Разыграев А.С.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: ilyakrotovilya@gmail.com*

# INFORMATION SUPPORT OF A COMPUTER SYSTEM FOR INVESTIGATING THE PROPERTIES OF POLYMER FILMS FOR TECHNOLOGICAL DESIGN OF MULTI-ASSORTMENT PRODUCTION

***Krotov I.A.*, *Razygraev A.S.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Современное производство полимерных пленок, в частности на основе поливинилхлорида (ПВХ), характеризуется частой сменой рецептур и нестабильностью свойств сырья от партии к партии. Лабораторные исследования влияния компонентов на свойства, требующие значительных затрат, сопровождаются накоплением массивов данных, сложных для анализа без специализированных инструментов.

Таким образом, задача разработки компьютерной системы исследования свойств полимерных пленок, обеспечивающей накопление, структурирование и анализ экспериментальных данных и поддерживающей принятие решений при корректировке и проектировании рецептур, является актуальной задачей.

Информационное обеспечение разработанной компьютерной системы включает комплекс взаимосвязанных баз данных: рецептур, технологических режимов, образцов и результатов испытаний, а также нормативно-технических требований. База рецептур содержит сведения о составе и количественном содержании компонентов. База технологических режимов аккумулирует параметры переработки, характеристики оборудования и условия проведения экспериментов. База результатов испытаний хранит значения измеренных показателей свойств пленок с привязкой к конкретным рецептурно-технологическим условиям. Нормативная база позволяет сопоставлять полученные результаты с требованиями стандартов и технических условий.

Структура базы данных разработана с использованием принципов нормализации и обеспечения ссылочной целостности, что позволило исключить дублирование данных [1]. Связи между сущностями реализованы через систему идентификаторов, обеспечивающих корректное сопоставление рецептур, условий переработки и полученных результатов испытаний. Такая организация данных обеспечивает удобство поиска, анализа и сопоставления экспериментальных данных при исследовании свойств полимерных пленок.

База данных реализована в реляционной СУБД PostgreSQL. Выбор обусловлен её свободным распространением, отсутствием требований к лицензированию, поддержкой расширенных типов данных, а также развитых механизмов обеспечения ссылочной целостности и индексирования.

Работоспособность системы подтверждена на основе данных исследований физико-механических и термических характеристик ПВХ-пленок ООО «Клёкнер Пентапласт Рус». В ходе тестирования проверена корректность хранения и обработки данных. Полученные результаты подтвердили пригодность решения для использования в реальных условиях.

**Литература**:

1. Волк В.К. Базы данных. Проектирование, программирование, управление и администрирование / В.К. Волк. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 244 с. – ISBN 978-5-8114-4189-1

# СТРУКТУРА УЧЕБНО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ СО СЛОЖНОЙ КИНЕТИКОЙ

***Лаптев Д.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: dima_laptev2000@mail.ru*

## THE STRUCTURE OF THE EDUCATIONAL AND RESEARCH COMPLEX FOR MODELING CHEMICAL AND TECHNOLOGICAL OBJECTS WITH COMPLEX KINETICS

***Laptev D.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Современные химико-технологические объекты характеризуются сложной кинетикой реакций, многостадийными схемами превращений, интенсивным массо- и теплообменом. Для их анализа и проектирования применяются математические модели, учитывающие структуру потоков, режим работы реакторов и влияние параметров процесса [1]. Поэтому актуальна разработка учебно-исследовательского комплекса для моделирования химико-технологических объектов на основе моделей идеального смешения и идеального вытеснения, обеспечивающего исследование влияния режимных параметров на характеристики процесса. В качестве базовых моделей используются модели идеального смешения, применяемые при описании реакторов с перемешиванием и идеального вытеснения, применяемые при описании трубчатых реакторов.

Математическое описание реакторов идеального смешения формируется на основе уравнений материального и теплового балансов и кинетических реакций. В случае периодических реакторов система уравнений описывает изменение концентраций компонентов и температуры во времени. Для непрерывных реакторов дополнительно учитываются потоки вещества, поступающие в аппарат и выводимые из него. Математические модели таких объектов приводят к системам нелинейных дифференциальных уравнений, которые могут обладать свойством жесткости. Это требует применения устойчивых численных методов решения и анализа моделей.

Трубчатый реактор моделируется на основе модели идеального вытеснения, при которой параметры процесса изменяются вдоль координаты реактора. Математическое описание такого аппарата формируется в виде системы нелинейных уравнений в частных производных гиперболического типа, описывающих изменение концентраций компонентов и температуры во времени и по длине реактора [2].

Учебно-исследовательский комплекс включает библиотеку математических моделей реакторов, модуль численного решения уравнений, средства анализа результатов и пользовательский интерфейс для задания параметров моделирования.

Для систем обыкновенных дифференциальных уравнений, возникающих при моделировании реакторов идеального смешения, применяются методы Рунге–Кутты или неявные схемы при наличии жесткости системы. При моделировании трубчатых реакторов используются конечно-разностные методы, метод линий или метод стрельбы.

Разработка комплекса обеспечивает возможность решения учебных и исследовательских задач в области математического моделирования химико-технологических процессов со сложной кинетикой.

**Литература:**

1. Гартман Т.Н. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов / Т.Н. Гартман, Д.В. Клушин. – Москва: Академкнига, 2006. – 416 с.

2. Чистякова Т.Б. Математическое моделирование химико-технологических объектов с распределёнными параметрами / Т.Б. Чистякова, А.Н. Полосин, Л.В. Гольцева. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2010. – 224 с.

# АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ СЦЕНАРИЕВ И ПРОТОКОЛОВ ОБУЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЮ ПРОФИЛЕМ ТОЛЩИНЫ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК

***Полосин А.Н., Лёдов А.С.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: polosin-1976@sapr.lti-gti.ru*

# ALGORITHM FOR FORMING SCENARIOS AND PROTOCOLS OF TRAINING FOR CONTROLLING THE THICKNESS PROFILE OF POLYMERIC FILMS

***Polosin A.N., Lyodov A.S.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Одной из задач управления профилем толщины полимерных пленок (ПП) при перенастройках каландровых производств (КлП) на новые задания по толщине является минимизация разнотолщинности (РТ) для экономии сырья. Многоассортиментность КлП и наличие у каландровожатых (КВ) квалификационных дефицитов по применению различных способов управления РТ и их сочетаний усложняет решение этой задачи и требует применения компьютерных тренажеров (Тр) и прежде всего VR-Тр для сокращения времени обучения, привлечения молодежи к управлению промышленными агрегатами. Базовыми элементами тренинга являются сценарии (Сц) и протоколы (Пр): Сц содержат задания обучаемым, Пр фиксируют действия обучаемых и достигнутые ими результаты. Поэтому в рамках создания VR-Тр для управления качеством ПП актуальна разработка алгоритма формирования Сц и Пр обучения управлению РТ ПП.

Задача формирования Сц состоит в том, чтобы для заданных инструктором номера каландровой линии на заводе $i_{CL}$, марки ПП $M_F = \{R, \delta_0, w_0\}$, числа усредняемых профилей толщины $n$ и времени обучения $\tau_0$ составить вектор параметров Сц $S_T = \{G_C, \delta_j^c, \delta_j^k, j = 0, \ldots, m, k = 1, \ldots, n, x^c, r^c, x^{\min}, x^{\max}, \Delta x, r^{\min}, r^{\max}, \Delta r, \tau_0\}$. Здесь $R$, $\delta_0$, $w_0$ – код рецептуры, заданная толщина и ширина ПП, $G_C$ – параметры калибрующих валков (КлВ) каландра, $\delta_j^c$ – измеренная толщина ПП в $j$-й точке по ширине при текущих управляющих воздействиях (УВ) – горизонтальном смещении оси внутреннего КлВ $x^c$ и усилии контризгиба внешнего КлВ $r^c$, $\delta_j^k$ – толщина в $j$-й точке $k$-го профиля для получения среднего профиля $\overline{\delta}_j$, $x^{\min}$, $x^{\max}$, $\Delta x$, $r^{\min}$, $r^{\max}$, $\Delta r$ – регламентные диапазоны (РД), шаги варьирования УВ. Алгоритм решения задачи включает этапы формирования (из базы данных каландрования) значений параметров $G_C$ (геометрических параметров, моментов инерции бочки и шейки, модуля упругости материала) в зависимости от $i_{CL}$, профилей $\delta_j^c$, $\delta_j^k$ в зависимости от $M_F$ и $n$, РД и шагов УВ в зависимости от $i_{CL}$ и $M_F$. Пр $P_T = \{t_l, x_l, r_l, D_{\delta l}, \Delta D_{\delta l}, l = 0, \ldots, p, \tau\}$ формируется в ходе решения обучаемым (КВ) задачи управления, состоящей в том, чтобы для заданного Сц $S_T$ варьированием УВ $x \in [x^{\min}; x^{\max}]$ и $r \in [r^{\min}; r^{\max}]$ найти в течение времени $\tau \le \tau_0$ их значения $\{x^*, r^*\}$, обеспечивающие минимум РТ $D_\delta(x^*, r^*) = \min D_\delta(x, r)|_{\text{var } x, r}$. Здесь $t_l$ – момент времени обучения, $x_l$, $r_l$, $D_{\delta l}$, $\Delta D_{\delta l}$ – УВ, заданные обучаемым в момент $t_l$, РТ и ее отклонение от минимальной РТ, вычисленные при УВ $x_l$, $r_l$, $\tau = t_p - t_0$ – фактическое время обучения. Алгоритм решения задачи содержит этапы построения 3D графика зависимости РТ от УВ с отображением текущих и наилучших значений УВ, пересчета профиля толщины при каждом изменении УВ и проверки близости отклонения $\Delta D_\delta$ к нулю. РТ $D_\delta = f(x, r)$ вычисляется на основе профилей $\delta_j^c$, $\overline{\delta}_j$ с учетом влияния на них УВ, оцениваемого по математическим моделям способов компенсации прогиба КлВ [1]. Тестирование по данным промышленного КлП ПВХ-ПП подтвердило работоспособность алгоритма.

**Литература:**

1. Kohlert C., Chistyakova T. Innovation in Film Manufacture / With participation of H. Welbers, A. Polosin, M. Kohlert, F. Kleinert. – Munich: Hanser, 2026. – 350 p.

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ С ГАЗОТУРБИННЫМ ПРИВОДОМ

***Литковский Н.С.*, *Сыроквашин В.В.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра автоматизации процессов химической промышленности*
*e-mail: litkovsky.nikita@gmail.com*

# COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF GAS PUMPING UNITS WITH GAS TURBINE DRIVES

***Litkovsky N.S.*, *Syrokvashin V.V.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Своевременная диагностика технического состояния оборудования газоперекачивающих агрегатов (ГПА) является важной задачей для развития газовой отрасли. В процессе эксплуатации развиваются процессы старения, износа материалов, постепенное ухудшение физических и механических свойств, а также рост статических, динамических и термических напряжений в элементах агрегата. Данные процессы приводят к снижению мощности и коэффициента полезного действия ГПА, увеличению затрат на восстановление его работоспособности после отказов, повышению риска возникновения аварийных ситуаций. На данный момент наиболее перспективными направлениями принято считать вибрационный и параметрический методы диагностики.

Методы вибрационной диагностики преимущественно сводятся к различным способам анализа спектра. Рассмотрение существующих решений в данной области показывает, что использование подобных методик в условиях избыточности и нестабильности спектральных данных, наличия в спектре обилия гармоник, субгармоник, шумов и комплексных частот, процесс идентификации и локализации причин ухудшения состояния ГПА является затруднительным и зачастую требует применения особых технических решений в области компенсации вибраций.

Суть параметрической диагностики заключается в расчете относительных отклонений производительности, мощности, коэффициентов полезного действия привода и нагнетателя от показателей, полученных при стендовых испытаниях [1]. Использование критериев, характеризующих степень выработки ресурса, а также упреждающих критериев, обеспечивающих раннее обнаружение проявления отдельных дефектов, позволяет с высокой точностью диагностировать причины снижения эффективности ГПА [2].

Разрабатываемая автоматизированная система диагностики оборудования предполагает использование методов параметрической диагностики для оценки технического состояния на базе штатного оборудования ГПА. Данный подход позволит с высокой степенью достоверности принимаемых решений обнаруживать дефекты технологических узлов на ранней стадии их развития.

**Литература:**

1. Клишева А.Д., Тарабрина А.Э. Совершенствование методик параметрической диагностики и определения энергоэффективности газоперекачивающих агрегатов с газотурбинными приводами / Проблемы функционирования систем транспорта. – 2022. – С. 31-35.

2. Кривошеев И.А., Рожков К.Е., Симонов Н.Б. Применение метода параметрической диагностики с использованием комплексных показателей для оценки состояния газотурбинного привода в составе газоперекачивающего агрегата / Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2017. – №. 3 (50). – С. 46-57.

# СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ПАРАМЕТРОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ В АКВАКУЛЬТУРЕ

***Ма И.Х.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: haihanich@yandex.ru*

**STRUCTURE OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR MONITORING AQUATIC ENVIRONMENT PARAMETERS IN AQUACULTURE**

***Ma I.Kh.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Функционирование аквакультурных хозяйств связано с поддержанием стабильных параметров водной среды, таких как температура, концентрация растворённого кислорода и кислотность. Нарушение нормативных значений этих показателей приводит к ухудшению состояния гидробионтов и снижению продуктивности производства [1]. В этих условиях актуально создание системы поддержки принятия решений (СППР), обеспечивающей обработку данных мониторинга и формирование рекомендаций для персонала.

Разработанная система построена по клиент-серверной архитектуре и включает функциональные модули. На уровне взаимодействия с измерительным оборудованием реализован модуль сбора данных, обеспечивающий приём показаний датчиков и их передачу на сервер обработки. Серверная часть выполняет функции хранения, анализа и интерпретации информации, а также формирования управляющих воздействий в соответствии с принципами СППР [2].

Структура системы включает модуль хранения данных, модуль аналитической обработки, модуль формирования рекомендаций и модуль уведомлений. Хранение данных реализовано на основе реляционной базы данных, обеспечивающей сохранность измерений и сведений о контролируемых объектах и пользователях. Аналитический модуль сравнивает текущие значения параметров с установленными порогами и определяет наличие нештатных ситуаций. Модуль рекомендаций позволяет оператору оперативно реагировать на отклонения показателей.

Клиентская часть системы реализована в виде веб-интерфейса, обеспечивающего визуализацию текущих и архивных данных, отображение динамики параметров и получение уведомлений о превышении допустимых значений. Разграничение прав доступа позволяет выделить различные роли пользователей. Модульная структура и клиент-серверная архитектура обеспечивают масштабируемость системы.

Работоспособность программного комплекса была проверена на тестовом примере на установке замкнутого водоснабжения (УЗВ) хозяйства ООО «Бюро экологической экспертизы, агротехнологий и микробиологии при ФГБОУ ВПО СПбГАУ». В ходе апробации использовались данные мониторинга основных параметров водной среды, включая температуру и концентрацию растворённого кислорода. Тестирование подтвердило корректность работы модулей сбора, хранения и обработки данных, а также формирование уведомлений при отклонении параметров от заданных пороговых значений.

Предложенная структура СППР может быть использована для повышения устойчивости и эффективности аквакультурных предприятий.

**Литература:**

1. Богерук А.К. Гидробионты и их среда обитания. – Санкт-Петербург: Наука, 2018. – 621 с.

2. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. – Москва: Логос, 2006. – 392 с.

# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АТМОСФЕРНОЙ КОЛОННЫ УСТАНОВКИ ЭЛОУ-АТ-1 В СРЕДЕ ASPEN HYSYS

***Макаров Н.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра автоматизации процессов химической промышленности*
*e-mail: nik-1003@mail.ru*

## COMPUTER MODELING AND OPTIMIZATION OF OPERATING MODES OF THE ATMOSPHERIC COLUMN OF THE ELOU-AT-1 UNIT IN THE ASPEN HYSYS ENVIRONMENT

***Makarov N.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В работе рассматривается процесс компьютерного моделирования атмосферной колонны установки ЭЛОУ-АТ-1. Основная цель исследования заключалась в разработке цифровой модели колонны для оценки возможности оптимизации потребления топливного газа без ухудшения показателей качества целевых продуктов.

Конструкция колонны включает 38 ректификационных клапанных тарелок трапециевидной формы, а также 2 «глухие» тарелки, не участвующие в массообмене. В аппарате происходит разделение обессоленной и обезвоженной нефти с получением бензина, керосина, дизельного топлива и мазута. Для интенсификации процесса испарения лёгких компонентов в нижнюю часть колонны подводится перегретый водяной пар.

Эффективность разделения в ректификационной колонне определяется совокупностью технологических факторов: параметрами сырья (температура, давление, вязкость, плотность и др.), режимными условиями в колонне, характеристиками контактных устройств и др.

При построении математического описания процесса непрерывной ректификации многокомпонентных смесей были приняты следующие упрощающие предпосылки:

1) взаимодействие фаз ограничено парожидкостной системой;
2) процесс рассматривается в стационарной постановке;
3) массообмен между фазами происходит исключительно на тарелках;
4) в пространстве между тарелками фазовый контакт отсутствует.

Компьютерное моделирование выполнялось в программном обеспечении Aspen HYSYS. На начальном этапе собраны и систематизированы проектные характеристики колонны (типы и количество контактных ступеней, конструктивные размеры), фактические параметры технологического процесса и результаты аналитического контроля сырья и продуктов.

Далее была построена и откалибрована сама модель. Калибровка модели проводилась до достижения приемлемого совпадения расчётных величин с эксплуатационными данными, зафиксированными на промышленном объекте.

Завершающий этап исследования был посвящён поиску оптимальных режимных параметров. В результате были определены режимные параметры, позволяющие снизить удельный расход топливного газа на нагрев сырья при сохранении показателей качества целевых продуктов на уровне, соответствующем требованиям нормативной документации.

Выполненные расчёты показали, что реализация предложенного режима обеспечивает сокращение потребления топливного газа до 5 % без изменения конструктивного оформления колонны и ухудшения фракционного состава отбираемых продуктов. Полученные данные могут быть переданы в технологическую службу предприятия для рассмотрения возможности корректировки действующего технологического регламента.

# РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КОМПОНОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ УСТАНОВОК ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

***Маратканов А.О.*, *Сладковский Д.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра Систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: artur.maratkanov@mail.ru*

# DEVELOPMENT OF A COMPUTER SYSTEM FOR AUTOMATED LAYOUT OF PROCESS EQUIPMENT FOR OIL REFINING PLANTS

***Maratkanov A.O.*, *Sladkovsky D.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Актуальность данной работы обусловлена активно усиливающимися процессами модернизации существующих производств переработки нефти и проектирования новых нефтеперерабатывающих установок в соответствии с современными стандартами и требованиями. Важным аспектом данных процессов является повышение скорости и эффективности автоматизированного проектирования, а также возможность осуществления технико-экономического анализа будущих проектов на основе технологических моделей процессов. Целью работы является разработка компьютерной системы (КС) автоматизированной компоновки технологического оборудования на основе технологических данных и схем, а также формирование отчетов о технико-экономическом анализе проектируемой установки переработки нефти.

Предлагаемое решение заключается в разработке КС и реализации алгоритмов формирования компоновочных решений для установок данного типа на основе анализа и преобразования технологических параметров, моделируемого процесса. Источником исходных данных являются программные расчетно-технологические комплексы Aspen Hysys или отечественные аналоги – МиР ПиА и Proxima. Для визуализации полученного компоновочного решения и базы данных технологического оборудования отечественная система автоматизированного проектирования PlantLinker. Разрабатываемая КС отвечает за анализ и преобразование технологических параметров в геометрические, подбор типов технологических аппаратов, настройку исполнений оборудования, реализацию компоновки установки, а также формирование отчетов о технико-экономическом анализе проекта. В основе работы КС лежит использование открытого формата хранения данных XML на всех этапах, что позволяет добиться максимальной гибкости системы и отказа от коммерческих систем управления базами данных, а также использование набора каталогов оборудования, содержащих параметрические объекты, динамически настраиваемые системой без прямого участия пользователя.

Результатом работы системы являются сформированный отчет, содержащий информацию необходимую для обоснования экономической целесообразности проекта в виде табличной формы, сформированной проектный классифицированный и структурированный каталог оборудования, содержащий информацию о геометрическом представлении объектов и их атрибутивном наполнении, бесшовно интегрируемый в выбранную систему автоматизированного проектирования, а также описание компоновочного решения для установки переработки нефти, в автоматическом режиме визуализируемое в среде выбранного программного комплекса. Возможность формирования компоновочного решения позволяет значительно повысить эффективность и скорость автоматизированного проектирования. Алгоритмы анализа технико-экономических характеристик проекта позволяют оценить экономическую обоснованность проекта на этапе получения технологической модели. Использование отечественных программных комплексов и авторских разработок для решения поставленной задачи отвечает «Концепции технологического развития на период до 2030 года».

# РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КОМПОНОВКИ УСТАНОВОК ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

***Маратканов А.О.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра Систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: artur.maratkanov@mail.ru*

# DEVELOPMENT OF INFORMATION SUPPORT FOR A COMPUTER SYSTEM FOR AUTOMATED COMPOSITION OF OIL REFINING FACILITIES

***Maratkanov A.O.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В настоящее время усиливаются процессы модернизации существующих производств переработки нефти и проектирования новых нефтеперерабатывающих установок в соответствии с современными стандартами и требованиями. При реализации данных процессов важной остается необходимость создания единой среды хранения информации об используемом оборудовании и оснащении технологических линий, характерных для подобных установок, однако использование данных баз зачастую бывает затруднено их размерами и сложностью точечного интегрирования в среду автоматизированного проектирования (САПР).

Информационное обеспечение разрабатываемой компьютерной системы заключается в подготовке, структуризации и классификации динамически настраиваемых и атрибутивно наполненных каталогов технологического оборудования, характерного для выбранных процессов, с целью применения для получения компоновочного решения, формируемого в автоматизированном режиме, а также генерации отчетов о технико-экономическом анализе проектируемой установки переработки нефти на основе технологической модели заданного процесса.

Предлагаемое решение заключается в подготовке параметрических и динамически настраиваемых каталогов типового технологического оборудования, наполненных атрибутивно-классовой информацией, в среде отечественной системы автоматизированного проектирования PlantLinker. Выбранная САПР позволяет формировать каталоги технологического оборудования любого размера, степени детализации и атрибутивно-классового наполнения, характеризующиеся возможностью параметризации и внешнего внесения изменений за счет открытого формата хранения. Гибкость данного подхода, обеспечиваемая выбранной средой автоматизированного проектирования, позволяет осуществлять анализ и преобразование технологических параметров в геометрические, подбор типов технологических аппаратов, настройку исполнений оборудования, а также формирование отчетов о технико-экономическом анализе проекта на основе получаемого компоновочного решения. Источником исходных данных для подбора и настройки оборудования без прямого участия пользователя являются данные из программных расчетно-технологических комплексов, получаемые в открытом обменном формате.

Использование на всех этапах процесса открытого машиночитаемого и машиноначертаемого формата XML, открывает возможности использования перспективных методов приложения искусственного интеллекта как на этапе параметризации объектов каталога, так и на этапе компоновки установок за счет применения оптимизационных алгоритмов с учетом ограничений.

Использование отечественных программных комплексов и авторских разработок для решения задачи формирования информационного обеспечения, разрабатываемой компьютерной системы, и получения исходных расчетно-технологических данных отвечает «Концепции технологического развития на период до 2030 года».

# ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО МОДУЛЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ЦИФРОВОЙ ЛАБОРАТОРИИ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

***Мина Е.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: katerinamina10@gmail.com*

# INFORMATION SUPPORT FOR THE ANALYTICAL MODULE IN THE SOFTWARE PACKAGE OF THE DIGITAL LABORATORY FOR RESEARCHING THE PROPERTIES OF POLYMERIC MATERIALS

***Mina E.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Развитие научно-исследовательских систем в области материаловедения требует создания надежного информационного обеспечения для аналитической обработки результатов физико-химических испытаний полимерных материалов в рамках цифровой лаборатории [1]. Существующие решения, включая BI-системы, частично решают данные задачи, однако не учитывают специфику физико-химических показателей полимерных материалов.

Актуальным направлением является разработка веб-приложения с централизованной базой данных, обеспечивающей хранение, обработку и анализ экспериментальной информации. Проектируемая база данных содержит параметры подключения к внешним источникам, SQL-запросы для формирования аналитических выборок и настройки для генерации графических виджетов и аналитических отчетов. Это позволит повысить эффективность обработки данных и сократить время формирования результатов при проведении многофакторного анализа.

Для реализации информационного обеспечения выбрана СУБД PostgreSQL, обеспечивающая целостность данных, их структурированное хранение и аналитическую обработку больших массивов информации, включая поддержку вычисляемых полей и формата JSON, что является важным для проектируемого модуля.

Структура информационного обеспечения включает взаимосвязанные сущности, а именно: пользователи и их роли, обеспечивающие разграничение прав доступа; журнал событий, фиксирующий действия пользователей; подключения к внешним источникам, определяющие параметры получения данных; аналитические выборки, формирующие наборы данных для обработки; элементы визуализации, обеспечивающие визуализацию результатов; аналитические панели, объединяющие виджеты в едином отчете; а также справочник аналитических методов, содержащий методы обработки данных. Взаимосвязь этих сущностей обеспечивает интеграцию данных, методов обработки и инструментов визуализации в едином информационном пространстве.

Работоспособность системы подтверждена при создании конфигураций аналитических отчетов для исследования цветовых характеристик ПВХ-пленок ООО «Клёкнер Пентапласт Рус». В ходе тестирования проверялась корректность извлечения данных из внешних источников, структурирования и хранения данных в базе, а также правильность формирования виджетов и аналитических отчетов. Полученные результаты подтвердили пригодность решения для применения в цифровой лаборатории.

**Литература:**

1. Чистякова, Т.Б. Программно-аппаратные комплексы для автоматизированных систем обработки информации и управления характеристиками промышленных полимерных материалов: учебное пособие / Т.Б. Чистякова, А.С. Разыграев, И.В. Новожилова. – Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2022. – 98 с. – ISBN 978-5-7422-7957-0.

# СТРУКТУРА АНАЛИТИЧЕСКОГО МОДУЛЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ЦИФРОВОЙ ЛАБОРАТОРИИ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

***Мина Е.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: katerinamina10@gmail.com*

# STRUCTURE OF THE ANALYTICAL MODULE IN THE SOFTWARE PACKAGE OF THE DIGITAL LABORATORY FOR RESEARCHING THE PROPERTIES OF POLYMERIC MATERIALS

***Mina E.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Цифровизация современных исследований в области полимерных материалов требует создания эффективных инструментов для анализа данных физико-химических испытаний в рамках цифровой лаборатории [1]. Основная проблема вызвана отсутствием интеграции между обособленными программными комплексами, каждый из которых предназначен для изучения отдельных характеристик полимеров и имеет собственное изолированное хранилище данных. Большинство существующих аналитических решений представляют собой BI-системы, которые не предназначены для обработки специфических данных химического профиля. В этих условиях актуальным направлением становится разработка аналитического модуля в виде веб-приложения для объединения результатов исследований в едином аналитическом пространстве.

В основу разработанного программного модуля легла трехуровневая клиент-серверная архитектура, включающая интерфейсы для двух ролей (исследователя и администратора), а также ряд функциональных подсистем, обеспечивающих полный цикл обработки информации. Процесс начинается в подсистеме управления внешними подключениями, которая отвечает за установление связи с разнородными источниками данных. Взаимодействие пользователя с накопленными массивами экспериментальных данных реализуется через подсистему формирования выборок. Встроенный SQL-конструктор позволяет исследователю самостоятельно составлять запросы к внешним источникам, извлекая данные для графического представления.

Аналитическая обработка и визуализация данных осуществляются в конструкторе графических виджетов. Подсистема обеспечивает автоматизированный расчет производных показателей и гибкую настройку параметров отображения. Все конфигурации визуализации сохраняются в системном хранилище с применением формата JSON, что гарантирует высокую адаптивность интерфейса. Заключительная стадия анализа реализуется в редакторе аналитических отчетов, где осуществляется компоновка независимых виджетов в объединенные интерактивные панели. Модуль построен по принципу компонентной архитектуры, что позволяет расширять перечень поддерживаемых источников данных, аналитических функций и типов визуализации. Информационное обеспечение реализовано на базе реляционной СУБД PostgreSQL.

Работоспособность системы подтверждена при анализе цветовых характеристик ПВХ-пленок ООО «Клёкнер Пентапласт Рус». Проверена корректность извлечения данных из внешних источников и построение на их основе аналитических отчетов. В ходе тестирования выполнен сравнительный анализ экспериментальных показателей. Полученные результаты подтвердили пригодность модуля для применения в цифровой лаборатории и его эффективность при обработке физико-химических данных.

**Литература:**

1. Антипин, Р.В. Автоматизированная система исследования качества полимерных пленок с использованием ос рв / Р.В. Антипин, Т.Б. Чистякова // Автоматизация в промышленности. – 2008. – № 5. – С. 17-20.

# АЛГОРИТМ СИНТЕЗА И АНАЛИЗА ВИРТУАЛЬНЫХ 3D МОДЕЛЕЙ ЛАБОРАТОРИЙ ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

***Миняев В.С.*, *Фураев Д.Н.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: minyayev.vic@yandex.ru*

# ALGORITHM FOR THE SYNTHESIS AND ANALYSIS OF VIRTUAL 3D MODELS OF LABORATORIES FOR CHEMICAL ENGINEERING OF INORGANIC SUBSTANCES

***Minyaev V.S.*, *Furaev D.N.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Проектирование лабораторий по химической технологии неорганических веществ (ЛХТНВ) представляет собой сложную многостадийную задачу, при этом для эргономичной визуализации проектных решений стандартом является применение современных трехмерных технологий [1]. Традиционные САПР (Tekla Structures, Smart3D) не позволяют автоматически проверять соответствие виртуальных 3D моделей лабораторий стандартам проектирования, таким образом актуальной является разработка алгоритма синтеза и анализа виртуальных 3D моделей ЛХТНВ.

Задача проектирования ЛХТНВ состоит в следующем: для заданного технического задания $\{TS\}$, в котором указана площадь лаборатории $S_L$, высота лаборатории $H_L$, минимальное расстояние от объектов до стен лаборатории $D_{OL}$, минимальное расстояние между лабораторными объектами $D_{min}$, максимальное энергопотребление лаборатории $E_{max}$, а также для заданных характеристик используемых лабораторных объектов $\{X_O\}$, включающих наименование используемых лабораторных объектов $N_O$, количество используемых лабораторных объектов $Q_O$, скомпоновать виртуальную 3D-модель лаборатории $M_L$, обеспечивающую выполнение заданных правил проектирования: проверку расстояния между лабораторными объектами $D_O \leq D_{min}$, проверку расстояния от лабораторных объектов до стен лаборатории $D_{Ow} \leq D_{OL}$., проверку общего энергопотребления лаборатории $E \leq E_{max}$. Поставленную задачу решает алгоритм синтеза и анализа виртуальных 3D моделей ЛХТНВ, состоящий из двух стадий: стадии размещения и компоновки лабораторных объектов, стадии поверочного расчета спроектированной лаборатории.

Стадия размещения и компоновки включает извлечение характеристик выбранного объекта из базы данных лабораторных объектов с его предварительным позиционированием на сцене, последующий запрос релевантных правил из базы правил проектирования ЛХТНВ и проверку их соблюдения с генерацией диагностических сообщений о результатах размещения.

Стадия поверочного расчета включает сбор и агрегацию характеристик всех размещенных объектов, комплексную проверку заданных правил проектирования ЛХТНВ, а также формирование структурированного отчета о выявленных нарушениях.

Алгоритм синтеза и анализа виртуальных 3D моделей ЛХТНВ реализован на базе отечественной САПР PlantLinker. Тестирование алгоритма, подтвердившее его работоспособность, выполнено на примере проектирования лаборатории по аналитическим методам в химии неорганических веществ кафедры технологии неорганических веществ СПбГТИ(ТУ) с заданными габаритными характеристиками лаборатории.

**Литература:**

1. Чистякова, Т.Б. Системы автоматизированного проектирования 3D моделей промышленных установок / Т.Б. Чистякова, С.В. Защиринский, Д.Н. Фураев. – Автоматизация в промышленности, 2018. – С. 9-12.

# СИСТЕМА ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БАЛАНСОВ МЕЖДУ ГРУППОЙ ДЕФИБРЕРОВ

***Михайлова Ю.С.*, *Боровиков М.О.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра автоматизации процессов химической промышленности*

*e-mail: julia.mikhailova2002@gmail.com*

# OPTIMIZATION SYSTEM FOR DISTRIBUTING PULPWOOD AMONG A GROUP OF GRINDERS

***Mikhailova Iu.S.*, *Borovikov M.O.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Технология производства газетной бумаги требует применения на начальной стадии высокоэнергоемкого оборудования – цепных дефибреров, используемых для получения древесной массы. Энергозатраты на изготовление массы зависят от состава, габаритов и влажности измельчаемый древесных стволов – балансов. Одним из важных режимных параметров дефибреров является его равномерная загрузка балансом среднего диаметра. Истирание тонких балансов требует избыточных затрат энергии при быстром стачивании дефибрерного камня, что определяет актуальность решения задачи перманентной оценки степени загрузки дефибрера балансами различного диаметра. На крупнейшем предприятии производства газетной бумаги в РФ – Кондопожском целлюлозно-бумажном комбинате (КЦБК), такая оценка осуществляется оператором визуально. При наличии на технологической площадке до 43 параллельно работающих агрегатов осуществлять непрерывный контроль каждого дефибрера затруднительно [1].

Автоматическая система контроля уровня загрузки балансов, основанная на технологии машинного зрения с алгоритмом расчета степени загрузки дефибрера балансом с диаметром до 0,15 м или более реализована в виде программного комплекса и уже внедрена на КЦБК [2]. Однако, данный комплекс не выполняет анализ степени загрузки дефибрера при перманентном смещении балансов, что необходимо для рационального распределения вновь поступающих древесных стволов между дефибрерами. Вновь разрабатываемая система машинного зрения получает расширенный функционал. Кроме оценки степени загрузки дефибрера посредством анализа изображения торцевых спилов балансов отслеживается время работы дефибрера с момента заточки камня, прогнозируется степень истирания камня из-за чего возникает рост энергозатрат и ухудшение качества древесной массы. Дополнительно необходимо учитывать связь структуры и влажности древесного ствола с сезонными изменениями в течении года. Поэтому новый комплекс дополняется статистической моделью для оценки уровня повышения энергозатрат при определенной степени истирания камня в ходе переработки балансов малых диаметров в древесную массу. Учет этого показателя позволит автоматически решать задачу оптимального распределения балансов, снизив нагрузку на технологов и повысив эффективность работы древесно-массового цеха.

*Исследование выполнено при стипендиальной поддержке Почетного профессора СПбГТИ(ТУ) А.Н. Чистякова.*

**Литература:**

1. Михайлова, Ю.С. Предиктивный анализ эффективности работы дефибрера [Электронный ресурс] / Ю.С. Михайлова, Г.А. Семенкин // Научный электронный журнал Академическая публицистика. 2026. № 1-2. С. 23-32. URL: https://aeterna-ufa.ru/events/ap (дата обращения: 3 марта 2026)

2. Бахтин, А.В. Система машинного зрения для определения степени загрузки шахты цепного дефибрера / А.В. Бахтин, А.А. Ковалев. – сборник научных трудов XII Всероссийской научной конференции «Системный синтез и прикладная синергетика». – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, - 2024. - С. 135-137.

# АРХИТЕКТУРА ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЁРА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОКСОХИМИЧЕСКИХ БАТАРЕЙ

***Моисеев А.Е.*, *Загидуллина Ф.Р.*, *Чистякова Т.Б.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: amoiseev423@mso365.technolog.edu.ru*

# VIRTUAL SIMULATOR ARCHITECTURE FOR THE OPERATION OF COKE OVEN BATTERIES

***Moiseev A.E.*, *Zagidullina F.R.*, *Chistyakova T.B.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В условиях импортозамещения и дефицита квалифицированных кадров эффективным инструментом подготовки специалистов в промышленности являются виртуальные тренажеры (ВТ). Внедрение ВТ в процесс подготовки позволяет исключить риски возникновения аварийных ситуаций и повреждения дорогостоящего оборудования. ВТ также являются эффективным инструментом привлечения и удержания молодых специалистов по управлению сложными промышленными объектами. Применение элементов геймификации, интерактивности и технологий виртуальной реальности (VR) для погружения в производственную среду позволяет сформировать интерес к профессии, а также ускоряет формирование профессиональных компетенций в области эксплуатации коксохимических батарей. Поэтому актуальна разработка архитектуры ВТ, позволяющей решать задачи обучения ресурсоэнергосберегающей эксплуатации коксохимических батарей при различных типах шихты, конфигурациях батарей и требованиях к качеству кокса.

Коксохимическая батарея — сложный объект управления, характеризующийся многообразием контролируемых параметров и потенциальной опасностью. Она описывается множеством входных параметров $X$: характеристики шихты, отопительного газа, конфигурации батареи; управляющих воздействий $U$: расход газа, период коксования; выходных параметров $Y$: показатели качества кокса, производительность, теплотехнические и экологические характеристики [1]. В процессе обучения обучаемому (оператору печи) необходимо при заданном сценарии обучения ($X$, требования к выходным параметрам $Y^{min}$, $Y^{max}$) варьированием управляющих воздействий $U$ найти такие их значения, при которых выполняется неравенство: $Y^{min} \leq Y \leq Y^{max}$.

Архитектура ВТ включает следующие компоненты: интерфейсы обучаемого и инструктора, модули формирования сценария и протокола обучения, расчёта показателей функционирования батареи, визуализации зависимости выходных параметров Y от времени. Интерфейс обучаемого включает виртуальную модель пульта управления кокосхимической батареей, позволяющую обучаемому варьировать управляющие воздействия на процесс и содержащую информационные панели, отображающие рассчитанные выходные параметры. Интерфейс инструктора включает инструменты формирования сценария обучения и просмотра протокола обучения. Модуль расчёта показателей функционирования батареи позволяет вычислить характеристики материального и теплового баланса, гидравлические и экологические характеристики в зависимости от управляющих воздействий, задаваемых обучаемым.

Тестирование, проведенное на примере получения доменного кокса с заданными показателями прочности, подтвердило работоспособность виртуального тренажера.

*Исследование выполнено при стипендиальной поддержке почетного профессора СПбГТИ(ТУ) Чистякова Александра Николаевича.*

**Литература:**

1. Загидуллина Ф.Р. Архитектура программного комплекса для обучения эксплуатации коксохимических батарей / Ф.Р. Загидуллина, Т.Б. Чистякова, О.Г. Бойкова, С.В. Дронов // Известия СПбГТИ(ТУ) – 2025, № 73. – С. 68–76.

# РАЗРАБОТКА БЛОКА РАСЧЕТА РЕГУЛИРУЮЩЕГО ОРГАНА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

***Патока А.С.*, *Сыроквашин В.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра автоматизации процессов химической промышленности*

*e-mail: patokaanton@yandex.ru*

# DEVELOPMENT OF A CALCULATION BLOCK FOR THE CONTROL ELEMENT OF A HYDRAULIC SYSTEM

***Patoka A.S.*, *Syrokvashin V.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Исполнительное устройство, составной частью которого является регулирующий орган (РО), выступает ключевым элементом любой системы управления. Характеристики РО влияют на динамические свойства и энергоэффективность функционирования. Неверный расчет пропускной способности или некорректный выбор пропускной характеристики неизбежно приводят к ошибочному подбору типоразмера клапана. Последствиями таких проектных ошибок становятся нестабильная работа технологического оборудования, возникновение гидравлических ударов, повышенный износ арматуры и, как следствие, существенный рост эксплуатационных затрат.

Для использования в образовательном процессе разработан алгоритм и программа расчета пропускной способности регулирующего клапана и гидравлического модуля системы «трубопровод и регулирующий клапан». Исходными данными для расчета являются: внутренний диаметр и длина трубопровода, максимальный расход среды, температура среды, давления в начальной и конечной точках, геометрическая разность высот. Также учитываются тип среды и конфигурация линии.

Программа предусматривает расчет промежуточных параметров, влияющих на выбор клапана, а именно: критерия Рейнольдса, коэффициента гидравлического трения, потерь давления в трубопроводе, перепада давления на клапане, пропускной способности. По результатам вычисления пропускной способности программа рекомендует типовой клапан из встроенного каталога. При этом реализован принцип «советчика»: пользователь имеет возможность как принять программный выбор, так и осуществить самостоятельный подбор устройства из предложенных альтернативных вариантов (см. рисунок).

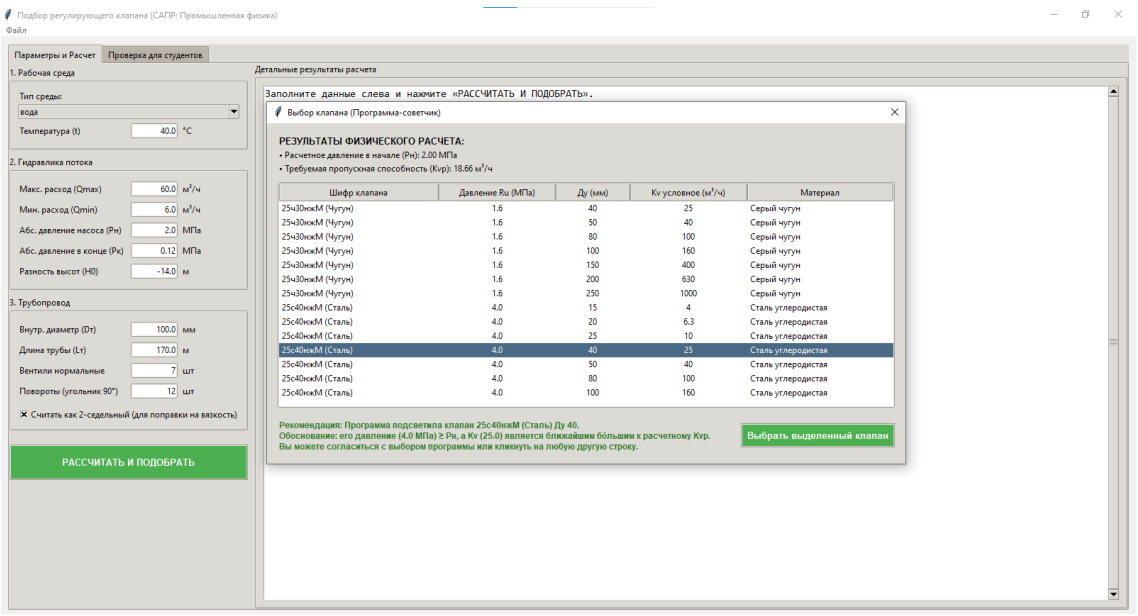



**Рисунок – Интерфейс программы.**

# ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО УЧЕТУ И РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ЗАЯВОК НА РЕМОНТНЫЕ РАБОТЫ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

***Поначевный Н.М.*, *Макарова Л.Ф.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: night-hunter@bk.ru*

## FUNCTIONAL STRUCTURE OF THE INFORMATION SYSTEM FOR RECORD KEEPING AND DISTRIBUTION OF REPAIR REQUISITIONS OF PASSENGER TRAIN CARS

***Ponachevnyy N.M.*, *Makarova L.F.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Своевременное техническое обслуживание и оперативный ремонт являются основой бесперебойных и качественных перевозок пассажиров железнодорожным транспортом. Следовательно, является актуальной задача разработки информационной системы (ИС), позволяющей осуществлять информационную поддержку оперативного ремонта в пути следования и передачу заявок на ремонт в соответствующие структурные подразделения и подрядные организации [1].

Функциональная структура ИС представлена на рисунке.

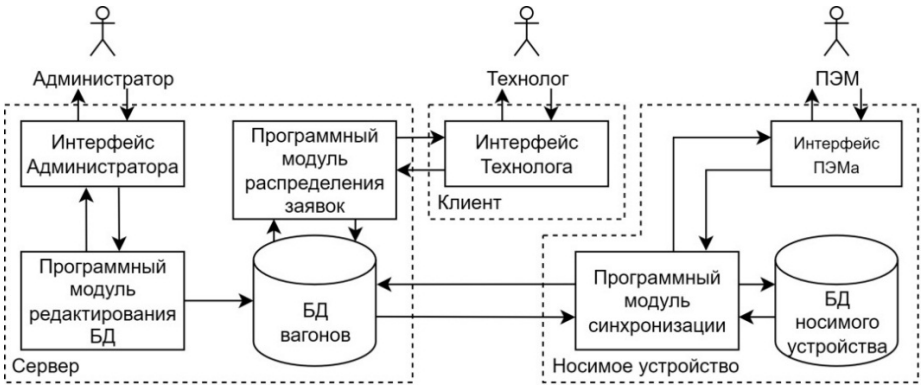



**Рисунок – Функциональная структура информационной системы.**

При подготовке состава поезда в рейс Поездной Электромеханик (ПЭМ) заносит бортовые номера в носимое устройство, программный модуль (ПМ) синхронизации данных копирует необходимую информацию из базы данных (БД) вагонов в БД носимого устройства. При возникновении неисправности ПЭМ формирует заявку на ремонт. ПМ синхронизации данных при наличии связи немедленно отправляет данные о заявке в БД вагонов, а в случае отсутствия связи ожидает её восстановления. При поступлении новой заявки в БД вагонов ПМ распределения заявок на основе данных о срочности и наличии филиалов подрядных организаций на маршруте следования отправляет данные соответствующему технологу.

В дальнейшем предполагается разработка подсистемы анализа неполадок и причин их возникновения, выбора способов устранения, видов и сложности ремонтных работ, что позволит оперативно распределять их по соответствующим подразделениям.

**Литература:**

1. Сазонова, С.А. Разработка проекта информационной системы учёта заявок на ремонтные работы ресурсоснабжающей организации / С.А. Сазонова, Н.В. Акамсина, В.В. Карманов // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Проблемные вопросы моделирования систем и процессов». – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, 2025. – С. 146–155. – ISBN 978-5-7994-1158-9.

# ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОДУЛЯ ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКИ К ЦАРАПИНАМ В ЦИФРОВОЙ ЛАБОРАТОРИИ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

***Привалов Н.Н.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: privalovnn2004@gmail.com*

# INFORMATION SUPPORT OF THE MODULE FOR ASSESSING POLYMER FILM SCRATCH RESISTANCE IN A DIGITAL LABORATORY FOR RESEARCHING POLYMER MATERIAL PROPERTIES

***Privalov N.N.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Оценка стойкости полимерных пленок к царапинам – критически важная задача, влияющая на потребительские свойства упаковки. Традиционные методы визуального контроля субъективны, поэтому в рамках цифровой лаборатории разрабатывается программный модуль для автоматизации анализа повреждений. Он позволяет исключить человеческий фактор и перейти к точным количественным метрикам износа материала на основе цифровой обработки изображений.

Целью данной работы является проектирование и реализация эффективной структуры информационного обеспечения для надежного хранения, обработки и интеллектуального анализа массивов экспериментальных данных.

Центральным элементом структуры данных является сущность «Эксперимент», агрегирующая информацию об объекте и условиях опыта. Она хранит дату испытания, идентификаторы связей, а также параметры нагружения: вес груза, наличие абразивной ткани и координаты области анализа. Справочная информация нормализована: сущность «Пленка» содержит характеристики образцов, а «Конфигурация оборудования» фиксирует тип испытательной головки и методику. Графические данные хранятся в сущности «Изображения» с привязкой к эксперименту, при этом для каждой фотографии сохраняется соответствующий массив вычисленных индексов зацарапанности.

Для интеллектуальной поддержки принятия решений разработан модуль базы знаний, реализованный на основе продукционно-фреймовой модели. Фреймовая часть используется для структурированного описания иерархии понятий: «Ситуация», «Причина» и «Рекомендация». Продукционная часть представляет собой набор правил вида «ЕСЛИ <условие>, ТО <действие>», которые связывают слоты фреймов и позволяют системе автоматически предлагать способы устранения технологических нарушений на основе выявленных отклонений.

Для программной реализации, в развитие архитектурных решений, предложенных ранее [1], была выбрана СУБД PostgreSQL. Данный выбор обусловлен её высокой надежностью, поддержкой ссылочной целостности и способностью эффективно обрабатывать большие объемы информации. Ключевым фактором стали расширенные возможности работы с типом данных JSONB, что необходимо для гибкого хранения массивов результатов измерений.

Было проведено тестирование системы на примере испытаний прозрачных жёстких ПВХ пленок без нанопокрытий и с нанопокрытием различной толщины, предоставленных компанией по производству полимерных пленок. В ходе тестирования была подтверждена корректность спроектированной схемы данных, а также безошибочность сохранения и обработки экспериментальных результатов.

**Литература:**

1 Привалов Н.Н. Материалы XVI научной конференции «Традиции и Инновации». – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2025. – С. 239.

# АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОДУЛЯ ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКИ К ЦАРАПИНАМ В ЦИФРОВОЙ ЛАБОРАТОРИИ

***Привалов Н.Н.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: privalovnn2004@gmail.com*

# ALGORITHMIC SUPPORT OF THE MODULE FOR ASSESSING POLYMER FILM SCRATCH RESISTANCE IN A DIGITAL LABORATORY

***Privalov N.N.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Из-за субъективности визуальных методов оценки износостойкости полимерных пленок актуальна разработка алгоритма для автоматизированного анализа их повреждений. Метод основан на сопоставлении яркостных характеристик эталонного образца и образца после механического воздействия. На первом этапе изображение преобразуется из модели RGB в формат Grayscale согласно зависимости:

$$\mathrm{Grayscale_{i,j}} = 0{,}3 \cdot R_{\mathrm{i,j}} + 0{,}59 \cdot \mathrm{G_{i,j}} + 0.11 \cdot \mathrm{B_{i,j}},$$

где R, G, B – яркость красного, зеленого и синего цветов соответственно; $\mathrm{Grayscale_{i,j}}$ – яркость пикселя по длине i и ширине j; в пределах заданного участка изображения размером N×M.

Далее алгоритм строит гистограммы для каждого изображения и определяет среднюю яркость оттенка по формуле:

$$\mathrm{H(q)_{cp}} = \frac{\mathrm{P_{qmax}}}{\mathrm{P}},$$

где $\mathrm{P_{qmax}}$ – число пикселей на изображении, имеющих яркость q, а p – общее число пикселей в выделенной области.

Для количественной оценки износа рассчитывается «индекс зацарапанности», основанный на методе линейной свертки критериев:

$$\mathrm{U(X)} = \sum_{i=1}^{n} w_i \, x_i$$

Выбор критериев базируется на подходах к обработке информации о полимерных материалах [1]. В качестве критерия выступает совокупность пикселей одного оттенка, где вес ($w_i$) определяется коэффициентом отражения: чем ближе оттенок к белому (вследствие царапин), тем выше значимость повреждения.

Алгоритм автоматически вычисляет индекс для серии испытаний. Тестирование на жестких ПВХ-пленках (ООО «Клёкнер Пентапласт Рус») подтвердило работоспособность модели: эксперимент показал, что алгоритм объективно фиксирует кинетику износа, демонстрируя рост индекса пропорционально числу проходов царапающей головки.

**Литература:**

1. Чистякова Т.Б., Разыграев А.С., Новожилова И.В. Программно-аппаратные комплексы для автоматизированных систем обработки информации и управления характеристиками промышленных полимерных материалов. – Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2025. — 98 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СТРУКТУРАХ АСР НЕТИПОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ФИРМЫ HONEYWELL

***Простякова Р.Е.*, *Куркина В.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра автоматизации процессов химической промышленности*

*e-mail: regina.prostyakova@mail.ru*

# INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF USING NON-STANDARD HONEYWELL REGULATORS IN AUTOMATIC REGULATION SYSTEMS STRUCTURES

***Prostyakova R.E.*, *Kurkina V.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В последние годы, правда, очень медленно и достаточно выборочно стал возникать интерес к рациональному выбору регуляторов для эффективной работы систем регулирования. Анализ показывает, что в качестве алгоритмов повсеместно используются только обычные ПИД регуляторы. Использование усовершенствованных алгоритмов регулирования разных классов носит исключительный характер.

Традиционный рынок универсальных алгоритмов регулирования, состоящий из ПИ и ПИД регуляторов, значительно пополнился рядом классов усовершенствованных алгоритмов. К таким алгоритмам могут быть отнесены разработки программного обеспечения фирмы Honeywell. При этом регуляторы этой фирмы, представляющие ПИД-закон регулирования, имеют нетиповые структуры, уравнения динамики которых функционально разделены на 2 группы: группа 1 с последовательно-параллельным соединением звеньев, группа 2 с параллельным соединением звеньев.

Интерес к регуляторам с нетиповой структурой позволил сформулировать следующие задачи, для которых было проведено исследование:

1. Использование и сравнение дискретных преобразований для регуляторов с типовой и нетиповой структурой. В качестве дискретных преобразований были выбраны Z-форма, Z-преобразование, метод разностных уравнений. Сравнительный анализ позволил выбрать в качестве лучшего метод Z-форм. Именно этот метод был реализован в программном виде.

2. Снятие и анализ переходных характеристик для регуляторов с нетиповой структурой и сравнение их с характеристикой типового ПИД-регулятора. Вид переходных характеристик существенно отличался от типовой характеристики.

3. Решение проблемы определения оптимальных настроечных параметров. Известные методы расчета: метод РЧХ, метод Циглера-Никольса, метод приближенных формул ВТИ оказались неприемлемыми для нетиповых структур с различными сочетаниями составляющих ПИД-закона регулирования. Был разработан метод направленного поиска, практически реализующий метод ручного подбора.

4. Проверка использования нетиповых регуляторов в структуре одноконтурной АСР для объекта в виде инерционного звена первого порядка с запаздыванием. Качество регулирования определялось по динамической ошибке и времени переходного процесса. Сравнительный анализ результатов исследования показал, что практически все регуляторы реализовали нормальный переходный процесс. При этом некоторые регуляторы с нетиповой структурой дали лучшие результаты по сравнению с обычным ПИД-регулятором.

5. Для ряда одноконтурных АСР с лучшими показателями качества было проведено дополнительное исследование влияния возмущения по каналу управления двух видов: детерминированного ступенчатого и случайного изменением СКО. Сравнительный анализ результатов исследования показал в ряде случаев преимущество АСР с нетиповыми регуляторами. Предполагается провести исследование поведения регуляторов с нетиповой структурой для каскадной и комбинированной АСР.

# ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АНАЛИЗА КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

***Прудентова Е.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: evp_1622@mail.ru*

# FUNCTIONAL STRUCTURE OF THE SOFTWARE PACKAGE FOR THE ANALYSIS OF KEY PERFORMANCE INDICATORS OF THE ENTERPRISE FOR THE PRODUCTION OF GAS EQUIPMENT

***Prudentova E.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В условиях цифровой трансформации промышленных предприятий приоритетное значение приобретают задачи автоматизации производственного учета. На предприятиях по производству газового оборудования в связи с устойчивым ростом спроса на профильную продукцию объем обрабатываемых данных значительно увеличивается, а существующие методы учета с использованием бумажных журналов и разрозненных электронных таблиц приводят к потере информации, ошибкам ручного ввода и невозможности оперативного анализа ключевых показателей эффективности [1]. Актуальной задачей является разработка программного комплекса, объединяющего все этапы производственного цикла – от регистрации заказа до отгрузки готового оборудования – в единое информационное пространство с возможностью последующего расчета и визуализации показателей для принятия управленческих решений.

Функциональная структура программного комплекса включает базу данных производственного учета, базу данных учетных записей пользователей с ролевым разграничением доступа, модуль авторизации пользователей, модуль управления заказами, модуль учета прохождения этапов производства, фиксирующий хронологию изготовления каждой единицы оборудования, модуль складского учета, модуль аналитики и визуализации, выполняющий расчет показателей (динамика заказов, загрузка производства, востребованность моделей) и построение графиков.

Ядром комплекса является реляционная база данных, спроектированная в СУБД PostgreSQL, содержащая таблицы заказчиков, заказов, моделей газового оборудования, единиц оборудования с серийными номерами и статусами, этапов производства и их прохождения и др. Для хранения истории производственных процессов используются композитные типы данных и массивы, что обеспечивает гибкость структуры [2].

Программная реализация выполнена с использованием языка программирования Python, библиотеки PyQt6 (графический интерфейс), psycopg2 (работа с базой данных), matplotlib (визуализация). Программный комплекс обеспечивает просмотр данных с фильтрацией, ввод информации через динамические формы и аналитическую панель.

Внедрение программного комплекса позволяет сократить время обработки заказов, снизить количество ошибок в данных и обеспечить прозрачность производственного цикла от поступления заявки до отгрузки готового оборудования.

**Литература:**

1. Макарова Е.Л., Фирсова А.А., Дергачев А.А. Механизмы принятия управленческих решений в области цифровизации производственных процессов промышленного предприятия // Изв. Сарат. ун-та Нов. сер. Сер. Экономика. Управление. Право. – 2023. – №3.

2. Маркевич Д.В., Хомоненко А.Д., Ермаков С.Г. От FOXPRO к POSTGRESQL: оптимизация, эффективное управление данными и генерация отчетов // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. – 2024. – №1.

# ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

***Прудентова Е.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: evp_1622@mail.ru*

# INFORMATION SUPPORT FOR DECISION-MAKING AT GAS EQUIPMENT MANUFACTURING ENTERPRISES

***Prudentova E.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Накопление в информационных системах больших объемов первичных данных о производственных процессах само по себе не решает задач управления. Для эффективного руководства предприятием необходимо преобразование этих данных в наглядную и интерпретируемую форму, пригодную для оперативного анализа и принятия обоснованных решений [1]. В производстве газового оборудования особую значимость приобретают показатели востребованности различных моделей, динамика поступления заказов и загрузка производственных мощностей. Таким образом, актуальной задачей является разработка аналитического модуля программного комплекса, обеспечивающего информационную поддержку принятия управленческих решений на основе визуализации ключевых показателей деятельности предприятия.

В разработанном программном комплексе реализован аналитический модуль, содержащий несколько типов отчетов. Круговая диаграмма «Количество заказов по заказчикам» позволяет руководству предприятия оценить вклад каждого клиента в общий объем производства, выявить ключевых партнеров и определить степень диверсификации клиентской базы. Столбчатая диаграмма «Востребованность моделей оборудования» ранжирует выпускаемую продукцию по популярности, на основе чего отдел снабжения может планировать закупки материалов, а производственный отдел – оптимизировать загрузку оборудования для выпуска наиболее востребованных позиций. Линейный график «Динамика заказов по периодам» отображает изменение объема заказов во времени, позволяя выявить сезонные колебания спроса на различные виды оборудования и построить прогнозы на будущие периоды [2].

Все аналитические отчеты формируются автоматически на основе данных, накопленных в процессе текущей деятельности предприятия. Аналитический модуль выполняет агрегирующие SQL-запросы к реляционной базе данных и строит графики в реальном времени с использованием библиотек визуализации. Полученные графики могут быть экспортированы в формат PNG для включения в отчетные документы и презентации.

Программная реализация модуля аналитики выполнена на языке программирования Python с использованием библиотеки matplotlib, интегрированной в графический интерфейс на базе PyQt6. Тестирование модуля, проведенное на примере анализа показателей эффективности производства регуляторов давления и газовых фильтров, подтвердило его работоспособность и практическую значимость для информационной поддержки принятия управленческих решений на предприятии газовой отрасли.

**Литература:**

1. Афанасьев А.А. Технология визуализации данных как инструмент совершенствования процесса поддержки принятия решений // ИВД. 2014. №4-1.

2. Ляпунова А.Н., Мыздрикова А.Ю., Расторгуева О.В. Совершенствование системы производственного планирования на предприятии // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 10-2. С. 274-276.

# ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

***Редина Т.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: redtamara1124@gmail.com*

## INFORMATION SUPPORT OF A WEB-APPLICATION FOR RESEARCH AND ANALYSIS OF EXPERIMENTAL DATA ON POLYMER COMPOSITE MATERIALS

***Redina T.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

При разработке полимерных композиционных материалов ключевым условием является обеспечение совместимости их компонентов, от которой напрямую зависят эксплуатационные характеристики готового изделия. Однако следует учитывать, что совместимость – это технологическое понятие, обозначающее способность полимеров образовывать смеси с удовлетворительным комплексом эксплуатационных свойств. Большинство полимерных пар термодинамически несовместимы и при смешивании разделяются с образованием макроскопических доменов [1].

Оценка успешности совмещения не может быть выражена одним прямым измерением и проводится на основе анализа комплекса косвенных параметров: термических, механических и релаксационных. На практике этот процесс требует проведения большого числа экспериментов, результаты которых часто хранятся децентрализованно, что усложняет использование накопленного опыта. В этих условиях актуальной задачей становится создание веб-приложения, позволяющего перейти от субъективных экспертных оценок к объективному количественному показателю совместимости и сформировать единую базу знаний предприятия.

Разработанное информационное обеспечение веб-приложения для исследования и анализа экспериментальных данных полимерных композиций включает в себя базу данных рецептур полимерных композиционных материалов, результатов лабораторных испытаний, а также пользователях веб-приложения.

Для реализации базы данных была выбрана объектно-реляционная система управления базами данных PostgreSQL. База данных состоит из следующих связанных таблиц: components (справочник доступных компонентов рецептуры), recipes (таблица, содержащая названия рецептур), recipe_items (таблица, содержащая описание количественного состава рецептуры в виде дозировок конкретных компонентов), experiments (таблица, содержащая сведения о проводимых сериях испытаний, датах их создания и авторах исследований), samples (таблица, содержащая сведения об образцах и их привязке к рецептуре и эксперименту), test_results (таблица, содержащая результаты лабораторных испытаний: температуру стеклования, ударную вязкость, прочность при растяжении, относительное удлинение при разрыве, статические и динамические термические тесты), roles (таблица, содержащая информацию о ролях пользователей) и users (таблица, содержащая учетные данные пользователей).

Работоспособность приложения подтверждена по данным результатов испытаний композиций на основе поливинилхлорида и полиэтилена низкой плотности от компании ООО «Клёкнер Пентапласт Рус». В ходе тестирования была проверена корректность извлечения и хранения данных в базе.

**Литература:**

1 Лавров, Н.А. Теоретические основы и механизмы совмещения полимеров / Н.А. Лавров, Е.В. Белухичев // Пластические массы. – 2023. – № 5-6. – С. 8–11.

# АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

***Редина Т.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: redtamara1124@gmail.com*

**ALGORITHMIC SUPPORT OF A WEB-APPLICATION FOR RESEARCH AND ANALYSIS OF EXPERIMENTAL DATA ON POLYMER COMPOSITE MATERIALS**

***Redina T.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В продолжение развития веб-приложения для исследования и анализа экспериментальных данных полимерных композиций, предложенного ранее [1], и для объективизации процесса оценки совместимости была произведена разработка алгоритмического обеспечения приложения, основанного на экспертной балльно-рейтинговой модели.

Предложенное решение позволяет сформировать количественную оценку интегрального показателя совместимости полимеров на основе анализа экспериментальных данных образцов различной рецептуры. Разработанный алгоритм включает в себя три основных этапа обработки экспериментальных данных.

На первом этапе осуществляется формирование массива референсных значений («эталона» и «брака») из базы данных на основе рецептуры исследуемого образца. Для них рассчитываются математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение с использованием коэффициента Стьюдента, что позволяет учесть объем выборки и установить границы доверительных интервалов.

На втором этапе для приведения свойств к единой безразмерной шкале вводится процедура линейного нормирования относительно рассчитанного коридора качества. Фактическое значение свойства преобразуется в нормированный индекс, отражающий положение результата относительно рассчитанных границ.

На конечном этапе для каждого свойства образца рассчитывается рейтинг согласно выведенным правилам оценки совместимости. Итоговый интегральный показатель рассчитывается как минимальное значение из баллов по каждому свойству. Этот подход исключает риск ошибочного решения при снижении даже для одного из ключевых показателей. На основе интегрального показателя формируется качественный вердикт: «Совместимая», «Частично совместимая», «Не совместимая».

Тестирование работоспособности алгоритмического обеспечения произведено на примере данных, предоставленных ООО «Клёкнер Пентапласт Рус», включающих результаты испытаний как совместимых, так и несовместимых полимерных композиций на основе поливинилхлорида и полиэтилена низкой плотности. Результаты тестирования подтвердили адекватность алгоритма.

**Литература:**

1 Редина Т.В., Разыграев А.С. Структура программного комплекса для исследования и анализа экспериментальных данных полимерных композиций // Материалы XVI научной конференции «Традиции и инновации», посвященной 197-й годовщине образования Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2025 – С. 240

# РАЗРАБОТКА КАТАЛОГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

***Рогов А.Ю.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: alex.rogov.spb@yandex.ru*

# DEVELOPMENT OF THE CATALOG OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

***Rogov A.Y.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Тезисы посвящены разработке электронного каталога технологического оборудования. Подбор различного оборудования является обязательным этапом проектирования любого химического производства, в ходе которого затрачивается значительное время на анализ его характеристик и поиск подходящих моделей [1]. Использование бумажных носителей или электронных файлов формата PDF не обеспечивает ускорение этого процесса. Эффективным решением видится применение электронного каталога на основе базы данных с визуальным интерфейсом поиска и выбора оборудования по его техническим характеристикам. Это позволит оперативно подбирать аппаратурное оформление технологического процесса.

В ходе работы над данной задачей было разработано визуальное приложение электронного каталога, интерфейс которого показан на рисунке. Процедуры поиска и подбора оборудования реализованы на языке SQL [2], а экранные формы на языке VB [3]. Для хранения сведений об оборудовании и связанных с ним нормативных справочников используется база данных формата ACCDB.

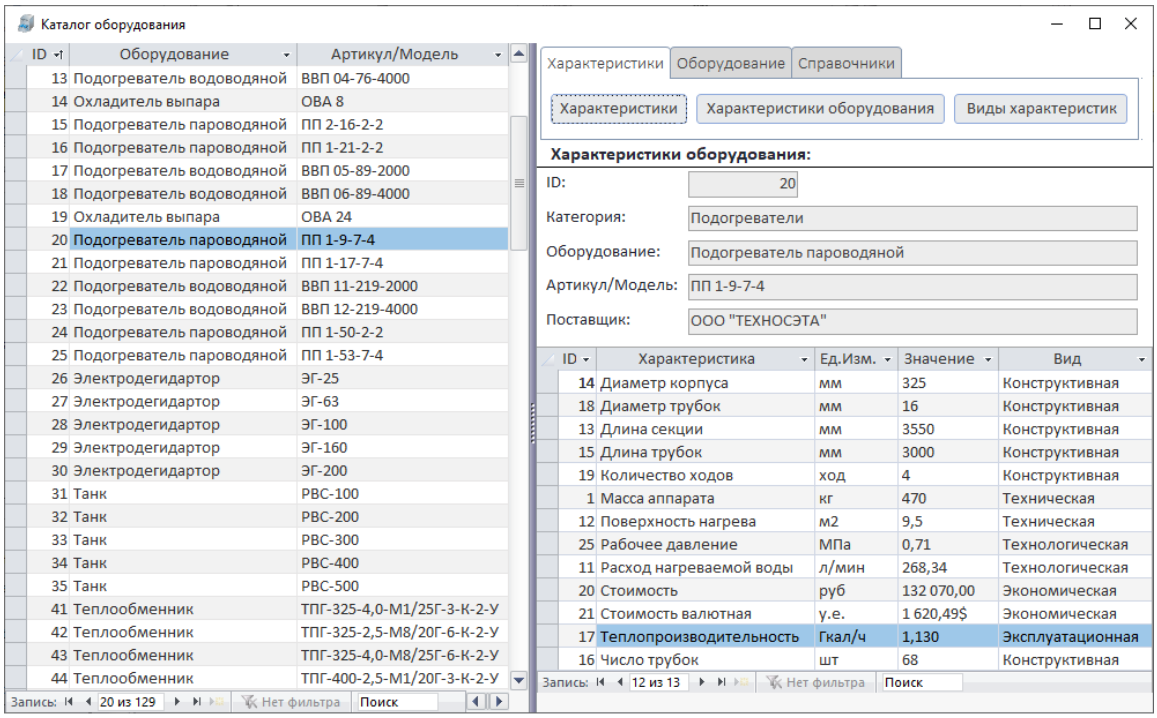



**Рисунок – Пример интерфейса каталога оборудования.**

**Литература:**

1. Рогов А.Ю. Разработка подсистем инженерных расчётов технологических аппаратов. / XXV Международная научная конференция «Математические методы в технике и технологиях».- Саратов, 2012.- С.95-97.

2. Дунаев В.В. Базы данных. Язык SQL. / СПб.: БХВ - Петербург, 2007.- 302 с..

3. Атли К. Visual Basic .NET для программистов. / Москва: ДМК, 2002.- 304 с.

# ОПИСАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ BPMN2.0

***Рогов А.Ю.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: alex.rogov.spb@yandex.ru*

# DESCRIPTION OF INDUSTRIAL PROCESSES BY MEANS OF BPMN2.0

***Rogov A.Y.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Тезисы посвящены одному из подходов к описанию производственных процессов химической промышленности с помощью нотации BPMN 2.0. Эти нотации [1] завоевали популярность при описании преимущественно бизнес-процессов благодаря универсальности используемых инструментов и наличию онлайновых редакторов [2], доступных для бесплатного использования через Интернет. Их преимуществом является формальность элементов, наглядность и понятность описания этапов процесса любой сложности в виде графической схемы в сочетании с гибкостью редактирования её элементов. Хотя нотация разработана для бизнес-процессов, тем не менее, она успешно может быть применена для описания производственных процессов [3] и сценариев управления технологическими процессами [4].

Например, при детонации топлива в топливной системе возникает проблема, которую можно решить увеличением октанового числа с помощью добавления в топливо соответствующей присадки. Если нужно незначительное увеличение, то можно добавить нафталин. Если требуется среднее увеличение, то можно добавить этанол. Если требуется существенное увеличение, то нужно добавить бензол. После добавления присадки, её нужно смешать с топливом. Использовать все присадки одновременно не рекомендуется. В данном примере добавляется только одна из возможных присадок, что соответствует шлюзу «Исключающее ИЛИ», который разделяет поток операций на несколько альтернативных потоков, из которых может быть выбран только один. Этот процесс можно представить диаграммой, показанной на рисунке.

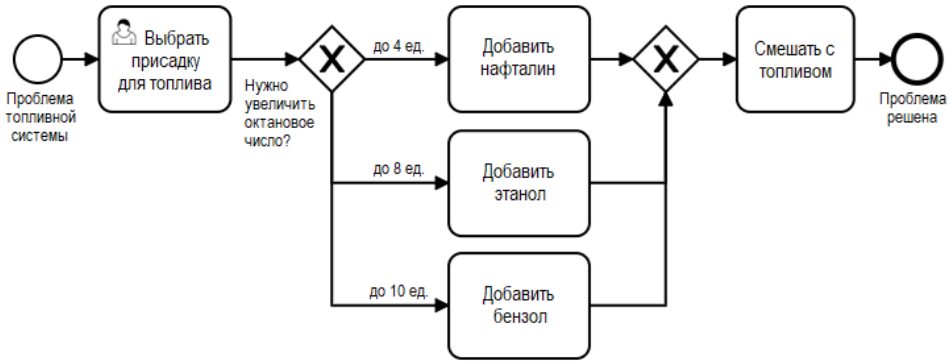



**Рисунок – Пример диаграммы производственного процесса.**

**Литература:**

1. Справочник по символам BPMN 2.0 / https://camundarus.ru/bpmn/reference.
2. https://demo.bpmn.io, https://www.drawio.com, https://stormbpmn.com.
3. Рогов А.Ю. Использование BPMN для описания производственных процессов / XVI Научная конференция «Традиции и инновации», посвященная 197-й годовщине образования СПбГТИ(ТУ).- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2025.- С.242.
4. Рогов А.Ю. Использование BPMN для описания сценариев управления технологическим процессом. / XIV Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Неделя науки – 2024».- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2024.- С.338.

# СТРУКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДБОРА РЕЦЕПТУР ОКРАШИВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ЗАДАННЫМ ЦВЕТОВЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

***Салимова А.Ф.*, *Разыграев А.С.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: salimovaaim@yandex.ru*

# STRUCTURE OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR SELECTING COLORING FORMULATIONS OF POLYMERIC MATERIALS BASED ON GIVEN COLOR CHARACTERISTICS

***Salimova A.F.*, *Razygraev A.S.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Окрашивание полимерных материалов является важным этапом производства, определяющим внешний вид и эксплуатационные свойства продукции. Точность воспроизведения заданного цвета непосредственно влияет на качество продукции и степень удовлетворённости потребителей. Эмпирический подход к разработке рецептур требует значительных временных и материальных затрат и не гарантирует достижения минимального цветового отклонения $\Delta E$ [1].

Актуальной задачей является разработка структуры интеллектуальной системы подбора рецептур окрашивания, обеспечивающей автоматизацию поиска рациональных решений на основе анализа экспериментальных данных и математической модели расчёта цветовых отклонений. В работе реализована клиент-серверная архитектура, обеспечивающая взаимодействие пользовательских интерфейсов с вычислительными и информационными модулями системы.

Функциональная структура системы включает базу экспериментальных данных рецептур окрашивания, базу интерпретации цветовых различий и базу учетных записей пользователей; модуль задания требований к цветовым характеристикам; модуль сравнения и поиска рецептур по цвету; а также интерфейс исследователя и интерфейс администратора. В систему интегрированы математическая модель расчёта цветовых отклонений полимерных пленочных материалов от эталонных значений и алгоритм подбора рецептур окрашивания по заданным цветовым характеристикам.

Взаимодействие с системой осуществляется через два типа интерфейсов: интерфейс исследователя и интерфейс администратора. Интерфейс исследователя предназначен для ввода целевых цветовых координат и параметров подбора, получения списка рецептур, ранжированных по величине цветового отклонения $\Delta E$, а также анализа результатов и текстовой интерпретации цветовых отклонений. Интерфейс администратора обеспечивает управление данными системы: добавление и редактирование рецептур, актуализацию правил интерпретации цветовых различий и контроль прав доступа пользователей.

Предложенная структура интеллектуальной системы обеспечивает формализацию процесса подбора рецептур, интеграцию математической модели расчёта цветовых различий и алгоритма поиска решений, а также возможность расширения базы экспериментальных данных и актуализации правил интерпретации без изменения архитектуры системы. Работоспособность системы подтверждена при анализе цветовых характеристик ПВХ-пленок ООО «Клёкнер Пентапласт Рус».

**Литература:**

1. Разыграев, А.С. Информационная система для подбора рецептуры окрашивания полимерных плёночных материалов / А.С. Разыграев, Е.В. Белухичев // Математические методы в технике и технологиях. – 2017. – Т. 8. – С. 45–48.

# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ПВХ-ПЛЕНОК МЕТОДАМИ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА И ИНТЕРПОЛЯЦИИ

***Сафаров Р.Ф.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: ru5tamque@yandex.ru*

## COMPUTER MODELING OF THE KINETICS OF THERMAL DESTRUCTION OF PVC FILMS USING REGRESSION ANALYSIS AND INTERPOLATION METHODS

***Safarov R.F.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Термическая деструкция поливинилхлорида (ПВХ) под действием высоких температур является критическим процессом, который сопровождается автокаталитическим дегидрохлорированием и образованием полиеновых структур, что ведет к потемнению материала. Для оценки эффективности применяемых термостабилизаторов в лабораторной практике широко используется расчет индекса пожелтения (YI). Однако традиционный анализ кинетики изменения цвета часто носит дискретный характер, что затрудняет точное определение критических точек деструкции и прогнозирование времени термостабильности композиции. В связи с этим возникает необходимость применения методов математического моделирования для более глубокой обработки экспериментальных данных.

Для решения этой задачи в рамках разрабатываемой цифровой лаборатории по исследованию свойств полимерных материалов [1] создан специализированный математический модуль. Важным нововведением является внедрение алгоритма количественной оценки скорости изменения индекса пожелтения. На основе массива экспериментальных данных, полученных в ходе термического тестирования, применяется метод линейной регрессии. Это позволяет аппроксимировать участки кинетических кривых и вычислять производную функции изменения цвета, где полученный коэффициент наклона служит объективной мерой скорости деструкции полимера на различных этапах термического воздействия.

Для устранения проблемы дискретности измерений в программный комплекс интегрирована сплайн-интерполяция данных, которая позволяет сгладить кинетические кривые, преобразовав набор дискретных точек в непрерывную функцию YI(t). Это нововведение обеспечивает возможность с высокой точностью определять минимальное время стабильности и фиксировать момент резкого автокаталитического скачка индекса пожелтения даже в интервалах между фактическими измерениями. Для удобства работы исследователей реализована функция выделения результатов по минимальному времени стабильности в отдельную выборку с последующим экспортом табличных данных в формат .xlsx.

Тестирование разработанного алгоритмического обеспечения было проведено на реальных экспериментальных данных испытаний жестких ПВХ-пленок, предоставленных ООО «Клёкнер Пентапласт Рус». Результаты апробации подтвердили, что применение методов регрессионного анализа и интерполяции расширяет возможности исследования термической деструкции поливинилхлорида.

**Литература:**

1 Сафаров Р.Ф., Разыграев А.С. Архитектура программного комплекса для исследования эффективности систем стабилизации полимерных // Материалы XVI научной конференции «Традиции и инновации», посвященной 197-й годовщине образования Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2025 – С. 245

# АЛГОРИТМ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВКЛАДА СМАЗЫВАЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ В ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТЬ ПВХ-ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ИСПЫТАНИЙ

***Сафаров Р.Ф.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: ru5tamque@yandex.ru*

# ALGORITHM OF ASSESSMENT OF THE CONTRIBUTION OF LUBRICATING COMPONENTS TO THE THERMAL STABILITY OF PVC FILMS BASED ON INTEGRAL ANALYSIS OF TESTS

***Safarov R.F.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В условиях производства при переработке поливинилхлорида (ПВХ) расплав полимера подвергается не только интенсивному термическому воздействию, но и значительным сдвиговым деформациям. Механические нагрузки приводят к дополнительному выделению тепла из-за внутреннего трения и макромолекулярным разрывам, что ускоряет процесс деструкции и пожелтения материала. Для предотвращения этого эффекта в рецептуру вводятся смазывающие компоненты, снижающие внешнее и внутреннее трение. Однако в лабораторной практике существует проблема объективного количественного разделения вклада чисто термического и термомеханического воздействий на общую картину деструкции полимера.

Для решения данной проблемы в разрабатываемую цифровую лабораторию по исследованию свойств полимерных материалов [1] интегрирован новый вычислительный модуль. В его основу заложен подход совместного анализа результатов двух типов испытаний: статического (нагрев образцов в термостате без механической нагрузки) и динамического (нагрев с приложением сдвиговых усилий на вальцах). Модуль оперирует массивами значений индекса пожелтения (YI), полученными в ходе этих тестов. Ключевым нововведением является применение математического аппарата интегрирования для расчета площади под кривой изменения индекса пожелтения от времени. Вычисленная площадь выступает в качестве интегрального показателя, отражающего суммарную «накопленную» деструкцию материала за все время проведения эксперимента.

Алгоритмическое обеспечение модуля вычисляет разность между площадями графиков динамического и статического тестов. Данная математическая операция позволяет отбросить базовую термическую деструкцию, оставляя только тот объем пожелтения, который был спровоцирован механическим воздействием. Полученная разность выступает в качестве прямого количественного критерия эффективности смазывающих добавок: чем меньше эта разница, тем ближе кривая динамического теста к статической, и, следовательно, тем лучше смазочная система компенсирует сдвиговые деформации.

Тестирование разработанного алгоритмического обеспечения было проведено на реальных экспериментальных данных испытаний жестких ПВХ-пленок, предоставленных ООО «Клёкнер Пентапласт Рус». Результаты апробации подтвердили эффективность применения разработанного алгоритма в определении вклада смазочных компонентов в стабилизацию полимера.

**Литература:**

1. Белухичев Е.В. Программный комплекс для оценки остаточного содержания термостабилизатора в ПВХ-композиции / Е.В. Белухичев, А.С. Разыграев, Т.Б. Чистякова, Н.А. Лавров // Вестник технологического университета. – 2021. – Т. 24, № 11. – С. 93–97.

# ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СОРТИРОВКИ ФОРМОВАННЫХ ОГНЕУПОРОВ

***Семенкин Г.А.*, *Рудакова И.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра автоматизации процессов химической промышленности*

*e-mail: glebsemenkin1907@mail.ru*

**INTEGRATED AUTOMATIC SORTING SYSTEM FOR SHAPED REFRACTORIES**

***Semenkin G.A.*, *Rudakova I.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Повышенные требования к качеству огнеупорной продукции наряду с ростом ее номенклатуры требуют ответных мер со стороны предприятия, направленных на повышение эффективности производства. На АО «Боровичский комбинат огнеупоров» проводится модернизация отдельных технологических участков с целью внедрения роботизированных технологических комплексом (РТК) и снижения нагрузки на оперативный персонал. На финальной стадии сортировки готовой продукции в данное время контроль качества каждого изделия выполняется визуально сортировщиком при перекладывании его на палет. Это физически и психологически тяжелая работа, и процент брака, пропущенного сортировщиком, может оказаться недопустимо большим, особенно к концу смены. Поэтому на предприятии принято решение оснастить участок сортировки двумя РТК. Встроенная система машинного зрения робота-манипулятора предназначена для локализации местоположения изделия и позиционирования манипулятора в пространстве. Для полноценного анализа изображения изделия недостаточно снять его с платформы и переставить на полет. Необходимо проверить габаритные размеры, выполнить анализ всех поверхностей с целью выявления наличия возможного брака (ГОСТ 28833-2016). В качестве примера в работе рассматривается типовое изделия – шамотный кирпич ША-5 (ГОСТ 8691-2018).

Разработаны алгоритмы системы анализа результатов расшифровки изображения на основе контрольных карт [1] и системы машинного зрения, которая выявляет дефектные у изделий на платформе при анализе изображения, но только одной поверхности изделий [2]. С целью выработки решений по обеспечению возможности вмешательства в процесс с целью предотвращения выпуска значительного числа бракованных изделий необходима интегрированная система в составе: РТК, блок управления транспортировкой изделий и комплекс автоматического выявления брака. Для такого комплекса техническая реализация системы машинного зрения потребовала решения проблемы полного обзора всех граней. Разрабатывается схема фотобокса с 4 камерами, стабильной подсветкой и механизмом поворота изделия, обеспечивающая съемку всех плоскостей, включая угловые проекции (45°). Это позволит сформировать набор геометрических признаков для каждой грани и выполнить сравнение его с шаблонами. Декомпозиция видов брака и их признаков представлена в формате двухуровневой фреймовой диагностической модели. Открытый формат модели позволяет вносить коррективы в базу знаний, обеспечивает подключение стратегии разрешения конфликтов и позволяет выявить нескольких одновременно проявившихся дефектов, а также оценить степень их проявления.

**Литература:**

1. Серебряная, И.А. Методы и средства управления качеством при производстве кирпича керамического/ И.А. Серебряная, Ю.С. Ермакова // Вестник Евразийской науки. – 2018. – №6. – Том 10. – с. 1-10.

2. Катаев, М.Ю Программная система обнаружения дефектов кирпичей на основе методов компьютерного зрения / М.Ю. Катаев, Р.К. Карпов, К.А. Ламинский / Доклады ТУСУР. – 2021. - Т.24.- №1– С.62-67.

# АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКСТРАКЦИОННЫХ КАСКАДОВ ПО ИЗВЛЕЧЕНИЮ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

***Семенков Д.И.*[1], *Чистякова Т.Б.*[1,2]**

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), [1]кафедра систем автоматизированного проектирования и управления, [2]Лаборатория мирового уровня*

*e-mail: daniil.semenkov@outlook.com*

# ARCHITECTURE OF THE SOFTWARE COMPLEX FOR AUTOMATED TECHNOLOGICAL DESIGN OF EXTRACTION CASCADES FOR THE EXTRACTION OF RARE EARTH METALS

***Semenkov D.I.*, *Chistyakova T.B.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Программный комплекс (ПК) предназначен для проектирования и поверочного расчёта экстракционных каскадов для извлечения редкоземельных металлов (РЗМ) из различного сырья (например, лопарита или фосфогипса) с использованием экстрагентов разных типов. Его использование позволяет минимизировать затраты на экспериментальные исследования и существенно сократить сроки разработки технологических решений [1].

Архитектура ПК включает следующие виды обеспечения:

- информационное – реляционная база данных, содержащая характеристики сырья, экстрагентов, базовых и образующихся химических форм, геометрические и режимные параметры экстракторов, механизмы реакций, топологии каскадов (связи аппаратов и потоков);
- математическое – настраиваемая модель противоточной экстракции на основе законов сохранения вещества и действующих масс с коррекцией неидеальности фаз, представляющая собой систему нелинейных алгебраических уравнений;
- программное – модули формирования топологий каскадов, вычисления и визуализации параметров по ступеням, сборки 3D-модели в САПР PlantLinker из библиотеки элементов, редактирования базы данных экстракции;
- лингвистическое – интерфейс технолога для конфигурирования каскада и его поверочного расчёта, интерфейс администратора для редактирования базы данных, интерфейс специалиста по математическому обеспечению для настройки параметров численного решения (предельно допустимая погрешность, количество итераций).

Разработка ведётся на платформе .NET 10 с использованием языка C# 14 с фреймворком WPF для разработки графического интерфейса и СУБД SQLite 3.51.

Результатом проектирования является сформированная схема (2D модель) экстракционного каскада и вычисленные концентрации, коэффициенты распределения и степени извлечения базовых химических форм, включая РЗМ, в зависимости от количества ступеней, расходов и составов сырья, экстрагента, промывного и реэкстрагирующего раствора. Тестирование по данным процесса экстракции La и Ce с помощью ТБФ в 30-ступенчатом каскаде подтвердило работоспособность ПК.

*Исследование выполнено на базе Лаборатории мирового уровня при поддержке АО «ГК «Русредмет» и стипендии почетного профессора СПбГТИ(ТУ) Чистякова А.Н.*

**Литература:**

1. Разработка программного комплекса для поверочного расчета промышленных экстракционных каскадов по извлечению редкоземельных металлов / Д.И. Семенков, Т.Б. Чистякова, М.А. Афонин, В.А. Федоров // Материалы XVI научной конференции «Традиции и инновации», посвященной 197-й годовщине образования СПбГТИ(ТУ). – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2025. – С. 335.

# ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКСТРАКЦИОННЫХ КАСКАДОВ ПО ИЗВЛЕЧЕНИЮ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

***Семенков Д.И.*, *Рухлова К.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: daniil.semenkov@outlook.com*

# INFORMATION SUPPORT FOR THE SOFTWARE COMPLEX FOR AUTOMATED TECHNOLOGICAL DESIGN OF EXTRACTION CASCADES FOR THE EXTRACTION OF RARE EARTH METALS METALS

***Semenkov D.I.*, *Rukhlova K.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Редкоземельные металлы (РЗМ) применяются в высокотехнологичных отраслях и извлекаются из сырья (лопарит, фосфогипс) методом жидкостной экстракции в противоточных каскадах, проектирование которых требует учёта множества параметров [1]. Для автоматизации этого процесса разрабатывается программный комплекс, ключевым элементом которого является информационное обеспечение – реляционная база данных, обеспечивающая хранение, систематизацию и оперативный доступ ко всей необходимой информации [2].

База данных характеристик процессов экстракции РЗМ содержит 20 связанных таблиц, организованных в три логические группы:

1) характеристики сырья и экстрагентов: Materials (сырьё), Components (базовые и образующиеся формы), MaterialComponents (состав сырья), MaterialExtractantGroups (группы «сырьё – экстрагенты»), MaterialExtractants (экстрагенты), Reactions (реакции и их параметры), ReactionComponents (реагенты и продукты), ComponentCompositions (состав образующихся форм).

2) параметры экстракторов: ApparatusTypes (модели экстракторов), Properties (параметры), Units (единицы измерения), ApparatusProperties (значения параметров моделей).

3) топологии каскадов: Schemes (схемы), SchemeSettings (расходы фаз, типы аппаратов), Apparatuses (аппараты на схеме), Flows (потоки и точки соединения), InputConcentrationGroups и InputConcentrations (входные концентрации), BaseConcentrations (начальные приближения концентраций), MathParams (параметры численного решения).

Для реализации информационного обеспечения выбрана СУБД SQLite 3.51. Она запускается локально и не требует сервера, что упрощает развёртывание на рабочих станциях технологов.

Проверена корректность хранения и извлечения данных, целостность связей между таблицами. Результаты подтвердили пригодность информационного обеспечения для использования в программном комплексе.

*Исследование выполнено на базе Лаборатории мирового уровня при поддержке АО «ГК «Русредмет» и стипендии почетного профессора СПбГТИ(ТУ) Чистякова А.Н.*

**Литература:**

1. Поляков Е.Г. Металлургия редкоземельных металлов / Е.Г. Поляков, А.В. Нечаев, А.В. Смирнов. – Москва: Юрайт, 2025. – 501 с. – ISBN 978-5-534-12813-0.

2. Цифровые информационные модели для проектирования экстракционных каскадов по получению рездкоземельных металлов / Т.Б. Чистякова, А.Н. Полосин, В.А. Федоров, В.Ю. Плонский // Математические методы в технологиях и технике. – 2025. – № 12-2. – С. 88–96.

# ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОДУЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ТЕСТ-КЕЙСОВ ДЛЯ ПРИКЛАДНЫХ РЕШЕНИЙ НА ПЛАТФОРМЕ «1С:ПРЕДПРИЯТИЕ»

***Соннова В.А., Плонский В.Ю.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: viky.na@yandex.ru*

# INFORMATION SUPPORT OF THE TEST CASE GENERATION MODULE FOR APPLIED SOLUTIONS ON THE 1C:ENTERPRISE

***Sonnova V.A., Plonskiy V.Yu.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Разработка и сопровождение прикладных решений на платформе «1С:Предприятие» требует эффективных инструментов обеспечения качества. Одной из ключевых задач функционального тестирования является создание тест-кейсов, позволяющих систематизировать проверки и анализировать покрытие функционала. Существующие подходы, основанные на ручном создании тест-кейсов, характеризуются высокой трудоемкостью, подверженностью ошибкам и сложностью поддержания актуальности документации прикладных изменениях конфигурации, что особенно критично для сложных автоматизированных систем управления предприятиями.

Актуальным направлением является разработка модуля для среды «1С:Предприятие 8.3», обеспечивающего автоматизированную генерацию тест-кейсов на основе анализа метаданных. Информационное обеспечение модуля включает работу с перечнем объектов метаданных (документы, справочники, отчеты, регистры), их атрибутами и взаимосвязями. Это позволит специалистам по тестированию сократить временные затраты на начальном этапе документирования, повысить полноту тестового покрытия и обеспечить соответствие тестовой документации актуальной структуре конфигурации.

В разработанном модуле источником входной информации служат метаданные платформы 1С:Предприятие, обеспечивающий прямой программный доступ к полной модели конфигурации. Данные структурируются и представляются пользователю в виде иерархического дерева объектов, сгруппированных по типам. Внутреннее информационное обеспечение реализовано с использованием стандартных структур данных платформы, таких как деревья значений и таблицы значений, что обусловлено их эффективностью при обработке на сервере [1]. Выбор данных структур позволяет динамически отображать иерархию объектов на клиенте и хранить списки сгенерированных тест-кейсов.

**Литература:**

1. Радченко М.Г. Разработка интерфейса прикладных решений на платформе «1С:Предприятие 8» / Радченко М.Г., Островерх А.В., Ажеронок В.А. — ЛитРес, 2024. — 902 с. — ISBN 978-5-9677-2814-3

# ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ОПИСАНИЕ МОДУЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ТЕСТ-КЕЙСОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

***Соннова В.А., Плонский В.Ю.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: viky.na@yandex.ru*

# FORMALIZED DESCRIPTION OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR A CONSTRUCTION INDUSTRY ENTERPRISE AS AN OBJECT OF TEST CASE GENERATION

***Sonnova V.A., Plonskiy V.Yu.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В условиях разработки автоматизированных систем управления строительными предприятиями на платформе 1С:Предприятие повышенные требования к надежности и корректности учетных операций обусловливают необходимость формализованного описания структуры системы как основы для генерации тестовых сценариев. Традиционные подходы к созданию тест-кейсов, основанные на ручном анализе требований, не обеспечивают оперативной реакции на частые изменения конфигурации и требуют значительных временных затрат.

Предлагается формализованная модель, в рамках которой конфигурация 1С:Предприятие рассматривается как совокупность взаимосвязанных объектов метаданных, описываемая множеством $M = \{MT_1, MT_2, \ldots, MT_n\}$, где каждое подмножество $MT_i = \{O_1, O_2, \ldots, O_x\}$ соответствует определенному типу объектов (документы, справочники, отчеты, регистры). Каждый объект $O_j$ характеризуется набором атрибутов: уникальным именем, составом реквизитов, наличием табличных частей и связями с регистрами, определяющими бизнес-логику его поведения.

Для формализации преобразования описания в проверки вводится понятие шаблона тест-кейса $TP_k$ (где $k$ — индекс шаблона), представляющего собой структуру параметров, включающую предусловия, последовательность шагов выполнения и ожидаемый результат.

На основе исходного множества объектов метаданных $M$ и вектора пользовательских параметров $P$ сформировать множество результирующих тест-кейсов $T = \{t_1, t_2, \ldots, t_m\}$. Данная задача относится к классу задач регрессионного тестирования систем учета [1], где каждый тест-кейс $t_j$ является экземпляром шаблона $TP_k$, параметризованным атрибутами объекта $O_j$. Формально задача может быть представлена как отображение $F: (M, P) \rightarrow T$, реализуемое через сопоставление типов объектов с библиотекой шаблонов.

Предложенная формализованная модель обеспечивает однозначность интерпретации структуры тестируемой системы, создает основу для разработки алгоритмов генерации тест-кейсов и позволяет перейти от интуитивного подхода в создании тестовой документации к системному процессу. Использование данной модели повышает полноту тестового покрытия, сокращает время на подготовку тестовой документации и обеспечивает соответствие генерируемых сценариев актуальной структуре конфигурации.

**Литература:**

1. Андреев А.М. Регрессионное тестирование автоматизированных систем учета, построенных на базе конфигуратора / А.М. Андреев, Ив. С. Свирин // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. — 2012. — № 4 (89). — С. 128–134. — ISSN 0236-3933.

# ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ПРОДАЖ ТОВАРОВ РОЗНИЧНОГО МАГАЗИНА

***Степанова К.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: ksenya_stepanova2004@mail.ru*

# SOFTWARE MODULE FOR ANALYZING THE DYNAMICS OF RETAIL STORE SALES

***Stepanova K.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В тезисе рассматривается разработка программного модуля для анализа динамики продаж розничного магазина за выбранный период с возможностью выбора критериев отслеживания. Актуальность разработки обусловлена необходимостью учёта сезонных колебаний спроса – ключевого фактора влияющего на динамику товарооборота. Изменение спроса в зависимости от сезона, погоды и календарных периодов требует систематического мониторинга, выявления сезонных групп товаров, определения границ активного спроса и расчёта оптимального уровня запасов. В этих условиях возрастает значение аналитических инструментов для достоверного прогнозирования продаж и поддержки управленческих решений с учётом сезонных факторов [1].

Информационная база реализована в виде реляционной базы данных средствами Microsoft Access. Обработка данных осуществляется посредством SQL-запросов, обеспечивающих группировку, агрегацию и фильтрацию информации в соответствии с выбранными параметрами анализа. Визуализация результатов выполняется с использованием OLE-объектов, что позволяет представлять итоги расчётов в табличной и графической форме.

Интерфейс программного модуля показан на рисунке. Модуль предусматривает настройку временного периода и установку критерия выборки при помощи флажков. Результаты отображаются в виде диаграмм, отражающих динамику продаж и сезонные изменения спроса. Дополнительно реализована функция вывода детализированной информации по сформированному срезу.

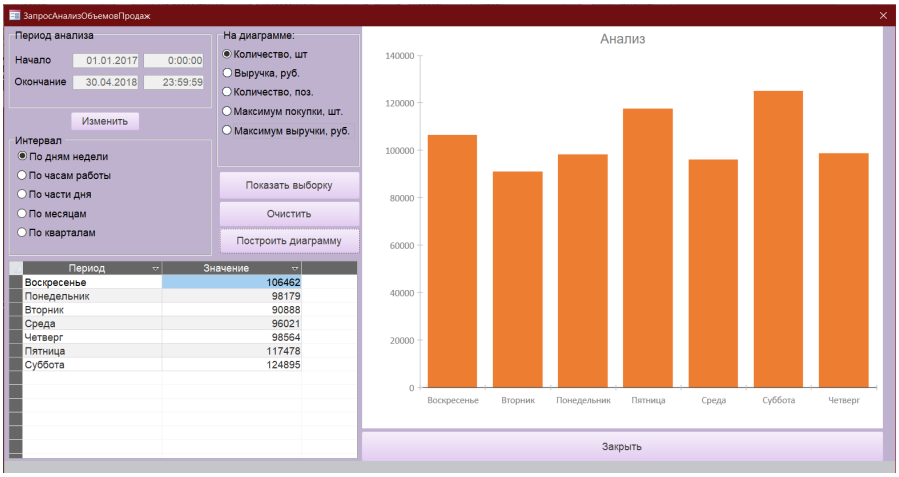



**Рисунок – Интерфейс программного модуля.**

**Литература**:

1. Моисеев Б.В., Ветрова А.А. Анализ факторов, влияющих на эффективность продаж в розничной торговле, и способы управления ими / Б.В. Моисеев, А.А. Ветрова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2012. №4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-faktorov-vliyayuschih-na-effektivnost-prodazh-v-roznichnoy-torgovle-i-sposoby-upravleniya-imi (дата обращения: 20.02.2026).

# АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ КАДРОВОЙ СЛУЖБЫ БАНКОВСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

***Стрельников С.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: sstrelnikov94@yandex.ru*

# RELEVANCE OF DEVELOPING A SOFTWARE COMPLEX FOR MONITORING PERFORMANCE INDICATORS OF SOFTWARE WITHIN THE COMPUTING NETWORK OF A BANK'S HUMAN RESOURCES DEPARTMENT

***Strelnikov S.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В условиях цифровизации банковской деятельности устойчивость функционирования кадрового подразделения напрямую зависит от надёжности программного обеспечения вычислительной сети. Сбои в работе серверов приложений, баз данных и вспомогательных сервисов могут привести к нарушению бизнес-процессов и регуляторных требований.

Для обеспечения стабильной работы системы мониторинга необходимо контролировать загрузку внутренних процессов, например, процессов обнаружения (discovery workers), и при необходимости корректировать параметры конфигурации, такие как StartDiscoverers, с последующим перезапуском сервиса [1].

Функциональная структура программного комплекса включает реляционную базу данных учетных записей пользователей, серверов и конфигурационных параметров, модуль сбора метрик, модуль анализа показателей, модуль визуализации результатов, интерфейс сетевого инженера и интерфейс администратора. Ядром комплекса является алгоритмический модуль анализа метрик, реализующий обработку временных рядов показателей загрузки процессора, использования оперативной памяти, состояния дисковой подсистемы, сетевой активности и статуса прикладных сервисов.

Архитектурно программный комплекс построен по трёхуровневой клиент-серверной модели. Клиентский уровень реализован с помощью графического фреймворка PySide6 (Qt for Python), обеспечивающего отображение дашбордов, графиков временных рядов, таблиц инцидентов и журналов событий. Серверный уровень реализует бизнес-логику обработки запросов, анализ пороговых значений, корреляцию событий и генерацию рекомендаций. Уровень хранения данных включает реляционную СУБД для структурированных данных (пользователи, серверы, инциденты, настройки) и специализированное хранилище временных рядов для метрик мониторинга. Такое разделение обеспечивает масштабируемость, отказоустойчивость и возможность независимого развития компонентов системы.

Алгоритм функционирования комплекса основан на циклическом сборе значений метрик с заданным интервалом времени. В случае достижения критического уровня автоматически формируется алерт, фиксируемый в базе данных, и генерируется рекомендация по устранению выявленного отклонения.

Таким образом, разработанная архитектура программного комплекса мониторинга обеспечивает централизованный контроль состояния программного обеспечения вычислительной сети кадровой службы банковской организации.

**Литература:**

1. Лифтинг Натан, Брайан ван Бэкел Л64 Zabbix 7: мониторинг ИТ-инфраструктуры. – Астана: «Спринт Бук», 2025. – С. 456-457. ил. ISBN 978-601-08-4700-2.

# ФОРМАЛИЗОВАННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО КОНТЕКСТНО-ЗАВИСИМОГО АНАЛИЗА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАЗРАБОТЧИКОВ В ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ ПРОЕКТАХ

***Сукманюк В.Д.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: soukmanuk@yandex.ru*

# FORMALIZED MODEL FOR COMPLEX CONTEXT-DEPENDENT ANALYSIS OF DEVELOPERS ACTIVITY IN TELEMEDICINE PROJECTS

***Sukmanyuk V.D.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В условиях разработки программного обеспечения для телемедицинских сервисов [1] повышенные требования к надежности, защите медицинских данных и соблюдению регуляторных ограничений обуславливают необходимость формализованного анализа деятельности разработчиков. Применение изолированных метрик производительности не обеспечивает корректной интерпретации результатов без учета проектного контекста и ролевой специфики.

Предлагается формализованная модель комплексного контекстно-зависимого анализа, в рамках которой сотрудник рассматривается как элемент системы мониторинга, описываемый массивом $S = \{M, C, R, T\}$, где $M$ — множество количественных метрик деятельности, $C$ — контекст проекта, $R$ — роль сотрудника, $T$ — временной интервал анализа. Контекст $C$ включает тип проекта, его критичность, сложность задач и стадию жизненного цикла. Роль $R$ определяет профиль ожидаемых показателей и структуру их приоритетности.

Множество $M$ включает показатели производительности и качества разработки: время выполнения задач, длительность цикла от постановки до релиза, плотность дефектов, долю доработок, соблюдение сроков и активность участия в проверке кода коллег. Для обеспечения сопоставимости значений используется процедура нормализации метрик с учетом параметров $C$ и $R$.

Интегральная оценка эффективности сотрудника определяется согласно формуле:

$$E(S) = \sum m_i \times w_i\,(C,R,T)$$

где $m_i$ — нормализованное значение $i$-й метрики, $w_i$ — весовой коэффициент, зависящий от контекста проекта и роли сотрудника. Весовая структура модели обеспечивает адаптацию системы анализа к различным типам телемедицинских проектов и позволяет учитывать особенности распределения задач внутри команды.

Предложенная модель обеспечивает снижение субъективности управленческих решений, формализацию процедуры оценки и возможность алгоритмической реализации в составе веб-приложения мониторинга деятельности персонала. Использование контекстно-зависимой агрегации метрик позволяет выявлять отклонения показателей с учетом условий выполнения задач и повышает обоснованность анализа эффективности разработки в телемедицинских проектах.

**Литература:**

1. Сукманюк В.Д. Архитектура мониторинга деятельности персонала в телемедицинских проектах // Материалы XVI научной конференции «Традиции и Инновации». – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2025. – С. 249.

# МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЗЕРНИСТОГО СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА

***Тарасов И.А.*, *Боровиков М.О.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра автоматизации процессов химической промышленности*

*e-mail: it458060gmail.com*

# MULTIFUNCTIONAL PNEUMATIC CONVERTER FOR MONITORING THE PARAMETERS OF GRANULAR BULK MATERIAL

***Tarasov I.A.*, *Borovikov M.O.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Зернистые сыпучие материалы находят применение во многих отраслях промышленности. Одним из основных зернистых сыпучих материалов в нефтедобывающей отрасли является пропант, который применяется для расклинивания грунта с целью повышения эффективности нефтеотдачи скважин с применением технологии гидроразрыва пласта. По внешнему виду пропанты представляют собой магнезиально-кварцевые зерна диаметром 0,5 – 1,2 мм с характерными разделениями по фракциям. Для обеспечения требуемого разделения по фракциям необходимо обеспечить контроль гранулометрического состава в процессе производства. В настоящее время контроль состава определяется с помощью ситового анализа, однако такой способ требует отбора проб материала, что не гарантирует однородность всей фракции в партии.

Для контроля распределения частиц по размерам в потоке предлагается использовать многофункциональный пневматический преобразователь, схема которого представлена на рисунке.

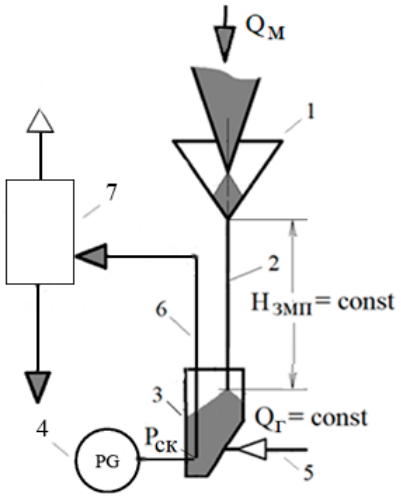



**Рисунок – Схема многофункционального пневматического преобразователя.**

Из загрузочного бункера 1 по материалопроводу 2 пропант поступает в смесительную камеру 3, в которую подаётся воздух по воздуховоду 5; давление в смесительной камере, измеряемое манометром 4, определяет величину грансостава текущей фракции материала. Через выпускной ствол 6 материал попадает в материалоотделитель 7. Зависимость давления в смесительной камере от средней величины частиц (гранулометрического состава) установлена экспериментально [1].

**Литература:**

1. Пешехонов А.А., Митрошин Д.Г., Чернуха М. Многофункциональные системы автоматической регламентации количества и расхода гранулированных материалов // Молодежная школа по проблемам управления в технических системах им. А.А. Вавилова. Санкт-Петербург: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019. С. 51-53.

# 3D-МОДЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСТРАКЦИОННОГО КАСКАДА ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

***Федоров В.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: fva96@mail.ru*

# 3D MODEL OF A LABORATORY EXTRACTION CASCADE FOR THE SEPARATION OF RARE EARTH METALS

***Fedorov V.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Редкоземельные металлы (РЗМ), включающие лантаноиды, а также иттрий и скандий, являются компонентами современных высокотехнологичных материалов и широко применяются в электронике, энергетике, машиностроении, и аэрокосмической технике [1]. Экстракционные процессы РЗМ реализуются в многоступенчатых противоточных каскадах. Наиболее широко применяются аппараты смесительно-отстойного типа, обеспечивающие эффективный межфазный контакт и разделение фаз. Эффективность извлечения и разделения редкоземельных элементов определяется структурой каскада, числом ступеней, соотношением расходов фаз и режимами функционирования процесса экстракции. Проектирование подобных систем представляет собой сложную инженерную задачу, требующую учёта физико-химических закономерностей экстракции, гидродинамики аппаратов и параметров технологической схемы. Применение цифровых моделей обеспечивает повышение уровня автоматизации проектирования и позволяет анализировать различные конфигурации технологических схем ещё на стадии разработки.

Разработанная пространственная 3D-модель лабораторного экстракционного каскада предназначена для исследования процессов разделения лантана и церия. Каскад из смесительно-отстойных экстракторов реализует непрерывную противоточную схему жидкостной экстракции и включает несколько функциональных зон: экстракции, промывки и реэкстракции. 3D-модель лабораторного экстракционного каскада реализована в отечественной САПР PlantLinker [2]. Геометрическая модель экстракторов построена на основе параметрических поверхностей и базовых графических примитивов, что обеспечивает возможность масштабирования конструкции и модификации параметров оборудования в соответствии с требованиями проектирования. Компоновка каскада осуществляется путём объединения параметрических моделей экстракторов в единую противоточную схему с системой трубопроводной обвязки и вспомогательного оборудования.

Созданная 3D-модель лабораторного каскада является структурным компонентом цифровой информационной модели экстракционного процесса и обеспечивает формализацию аппаратурного уровня технологической схемы.

**Литература:**

1. Поляков, Е.Г. Металлургия редкоземельных металлов: учебное пособие для вузов / Е.Г. Поляков, А.В. Нечаев, А.В. Смирнов. – 2-е изд., стер. – Москва: Юрайт, 2023. – 501 с. – ISBN 978-5-534-12813-0.

2. Федоров В.А., Афонин М.А. Программный комплекс для расчета экстракционных каскадов по получению редкоземельных металлов // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2025. Т. 16, № 1. С. 101–107. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.1.019.

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-МАССОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИ СИНТЕЗЕ ЛИНЕЙНЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ

***Халина М.А.*[1], *Королев И.В.*[2]**

[1]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления,*
[2]*Компания по производству и разработке строительных материалов ООО «Зефир»*
*e-mail: mariya.halina@mail.ru*

# MATHEMATICAL MODEL FOR PREDICTING THE MOLECULAR WEIGHT DISTRIBUTION IN THE SYNTHESIS OF LINEAR POLYURETHANES

***Khalina M.A.*[1], *Korolev I.V.*[2]**

[1]*Saint-Petersburg State Institute of Technology*
[2]*Construction Materials Manufacturing and Development Company «Zefir»*

Разработка полиуретанов с заданными свойствами требует перехода к предиктивному математическому моделированию. Целью работы было создание алгоритма для расчета кинетики и прогнозирования молекулярно-массового распределения (ММР) линейных полиуретанов.

В качестве объекта исследования был выбран 4,4'-дифенилметандиизоцианат (МДИ-100) и линейные полиоксипропиленгликоли. Разработанная математическая модель базируется на решении прямой кинетической задачи [1,2]. Путем численного решения системы дифференциальных уравнений рассчитывалась зависимость текущей конверсии функциональных групп от времени. Для перехода от полученной конверсии к спектру молекулярных масс применялась вероятностная статистическая модель Флори [3]. Использование данного подхода обосновано тем, что для МДИ-100 отсутствует эффект замещения, а вероятность побочных реакций циклообразования в рассматриваемых условиях крайне мала [4].

Для верификации разработанной модели был проведен лабораторный эксперимент. В качестве модельной системы осуществлялся синтез линейного полиуретана одностадийным блочным методом на основе МДИ-100 и полиоксипропиленгликоля (PPG-1000). Начальное мольное соотношение функциональных групп [NCO]/[OH] задавалось равным 3:1. Фактическое ММР синтезированного продукта определялось методом гель-проникающей хроматографии.

Результаты демонстрируют, что предложенный расчетный алгоритм адекватно описывает кинетику полиуретанообразования и с удовлетворительной точностью (относительная погрешность до 10%) прогнозирует формирование спектра ММР. Это подтверждает верификацию математической модели и создает надежный фундамент для дальнейшего проектирования алгоритмов управления структурой полиуретанов.

**Литература:**

1. Odian G. Principles of Polymerization / G. Odian. – 4th ed. – New York: Wiley-Interscience, 2004. – 812 p.

2. Чистякова Т. Б. Синтез и анализ математических моделей кинетики химических реакций / Т.Б. Чистякова, Л.В. Гольцева, А.М. Островская, Ю.В. Островский. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2002. – 70 с.

3. Flory P.J. Principles of Polymer Chemistry / P.J. Flory. – Ithaca: Cornell University Press, 1953. – 672 p.

4. Krol P. Linear Polyurethanes: Synthesis Methods, Chemical Structures, Properties and Applications / P. Krol. – Leiden : VSP, 2008. – 336 p.

# ОБУЧАЮЩАЯСЯ МОДЕЛЬ В АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

***Шабанов К.О.*, *Боровков В.А.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*
*e-mail: kosh0311@mail.ru*

## THE LEARNING MODEL IN ADAPTIVE CONTROL SYSTEM

***Shabanov K.O.*, *Borovkov V.A.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Адаптивные системы с моделью составляют отдельный класс автоматических систем, использующих принцип интеллектуальной поддержки процесса управления. В настоящей работе рассматривается задача «обучения» модели, призванной устранить влияние на выходной процесс системы неконтролируемых возмущений.

Процесс обучения (подстройки параметров – коэффициентов модели $k_{2M}(\tau)$ и $T_{1M}(\tau)$), следящих за изменяющимися во времени параметрами объекта (с коэффициентами $k_2(\tau)$ и $T_1(\tau)$), описывается уравнениями с переменными коэффициентами

$$\begin{aligned} \frac{dk_{2M}}{d\tau} &= -q\frac{\partial F(\varepsilon)}{\partial k_{2M}}, \\ \frac{dT_{1M}}{d\tau} &= -q\frac{\partial F(\varepsilon)}{\partial T_{1M}}, \end{aligned} \qquad (1)$$

где $\tau$ – время; $q$ – шаг изменения; $\varepsilon(\tau)$ – сигнал рассогласования между выходными процессами объекта и включенной параллельно ему модели; $F(\varepsilon)$ – функция рассогласования, принимающая минимальное значение при $k_{2M} = k_2$ и $T_{1M} = T_1$.

В качестве целевой функции использовалась зависимость

$$F(\varepsilon) = \frac{1}{2}\varepsilon^2.$$

Передаточные функции объекта $W_2$ и модели $W_{2M}$ описаны интегро-дифференцирующим звеном с двумя переменными коэффициентами:

$$W_2(p) = k_2(\tau)\frac{T_1(\tau)p+1}{T_2 p+1},$$
$$W_{2M}(p) = k_{2M}(\tau)\frac{T_{1M}(\tau)p+1}{T_2 p+1}.$$

Обучение модели по алгоритму (1) выполнено на примере адаптивной системы управления неизотермическим химическим реактором периодического действия [1].

**Литература:**

1. Шабанов К.О. Самонастраивающаяся система автоматического управления неизотермическим химическим реактором / К.О. Шабанов, Ю.П. Юленец // Математические методы в технике и технологиях. Научный журнал – 2025, №12-4, С.65-70.

# СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЕДИНИЧНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСТРАКТОРА ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

***Шаймарданова С.С.*, *Козлов А.В.*, *Федоров В.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: sofishaim@mail.ru*

# STRUCTURE OF A SOFTWARE COMPLEX FOR DESIGNING A VIRTUAL MODEL OF A SINGLE LABORATORY EXTRACTOR FOR RARE EARTH METALS EXTRACTION

***Shaymardanova S.S.*, *Kozlov A.V.*, *Fedorov V.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Получение редкоземельных металлов является актуальной задачей современной промышленности, при этом одним из наиболее эффективных методов их извлечения выступает жидкостная экстракция − перенос целевого компонента из водной фазы в органическую с использованием экстрагента [1]. Для исследования и оптимизации параметров процесса применяются единичные лабораторные экстракторы, проектирование которых требует комплексного учета технологических и геометрических характеристик и применения средств автоматизированного проектирования.

В работе представлен программный комплекс для проектирования виртуальной модели единичного лабораторного экстрактора в среде PlantLinker − отечественной интегрированной системе 3D-моделирования индустриальных объектов, обеспечивающей создание параметрических моделей технологического оборудования [2].

Программный комплекс реализован на основе трехуровневой архитектуры и включает информационный, функциональный и пользовательский уровни. Информационный уровень представлен настраиваемой базой данных, содержащей характеристики единичных экстракторов (геометрические размеры, конструктивные элементы, режимные параметры), сведения о сырье и экстрагентах, а также данные о вспомогательном технологическом оборудовании. База данных используется при создании виртуальной 3D-модели экстрактора, что позволяет учитывать заданные проектные характеристики аппарата. Функциональный уровень включает модули формирования и проверки исходных данных, управления параметрами проектирования, настройки геометрических характеристик аппарата и генерации виртуальной модели экстрактора. В рамках комплекса реализованы механизмы логического контроля вводимой информации и согласования технологических и конструктивных параметров. Пользовательский уровень обеспечивает взаимодействие проектировщика и администратора с системой, разграничение прав доступа, а также визуализацию результатов проектирования в трехмерной среде.

Использование разработанного программного комплекса позволяет повысить наглядность и эффективность проектирования лабораторных экстракторов, сократить временные затраты на разработку виртуальных моделей и обеспечить систематизированное представление проектных решений при исследовании процессов экстракции редкоземельных металлов.

**Литература:**

1. Чистякова Т.Б., Федоров В.А., Плонский В.Ю., Козлов А.В. // Математические методы в технологиях и технике. – 2024. – № 7. − С. 45-50.

2. PlantLinker – система концептуального и рабочего 3D-моделирования индустриальных объектов: официальный сайт. – URL: https://www.plantlinker.ru/ (дата обращения: 28.02.2026).

# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ В СРЕДЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ CODESYS ДЛЯ МОНИТОРИНГА И РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПАРОГЕНЕРАТОРА

***Ананченко И.В., Шепотковский А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: artem3071@icloud.com*

# DEVELOPMENT OF A PROGRAM MODULE IN THE CODESYS PROGRAMMING ENVIRONMENT FOR MONITORING AND REGISTRATION OF PAROGENERATOR PARAMETERS

***Ananchenko I.V., Shepotkovskii A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В современных системах автоматизации технологических процессов особое внимание уделяется не только сбору данных, но и их визуализации, а также возможности последующего анализа. Для отладки оборудования, диагностики нештатных ситуаций и анализа эффективности работы парогенераторов критически важным является наличие инструмента для просмотра трендов и долговременного хранения архивов технологических параметров. Разработка специализированного программного обеспечения позволяет гибко адаптировать систему сбора данных под конкретные требования объекта без использования сторонних дорогостоящих SCADA-систем [1].




**Рисунок – Программный модуль регистрации параметров.**

Был разработан модуль для программируемого логического контроллера (ПЛК), реализованный в среде CODESYS 3.5. Модуль выполняет функцию опроса аналоговых датчиков парогенератора и анализаторов дымовых газов. Основной функционал включает отображение трендов в реальном времени в режиме мониторинга (см. рисунок), а также возможность записи поступающих показаний на SD-карту для долговременного хранения. Пользователь может гибко настраивать режим работы: вести непрерывную запись в файл формата CSV для последующего анализа, или использовать только режим отображения графиков без сохранения данных. Интерфейс модуля позволяет оператору выбирать параметры для отображения, такие как температуры, давление и концентрации газов. Реализация данного модуля в среде CODESYS обеспечивает высокую надежность и интеграцию с оборудованием ПЛК.

**Литература:**

1. Ананченко, И.В. Перенос программного обеспечения с «Агава» ПЛК-40 на «PSV Electirc» ПЛК «СТАБУР» / И.В. Ананченко, В.В. Силантьев // World of science: Сборник статей IX Международной научно-практической конференции, Пенза, 30 сентября 2024 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2024. – С. 32-36. – EDN MFHRNY

# АВТОМАТИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ФЛЕКСОГРАФСКИХ КРАСОК НА ВОДНОЙ ОСНОВЕ

***Ядрихинская Н.А., Пешехонов А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологических институт (технический университет), кафедра автоматизации процессов химической промышленности*

*e-mail: nina.iadrikhinskaia@gmail.com*

## AUTOMATIC WATER-BASED FLEXOINK PREPARATION STATION

***Yadrikhinskaya N.A., Peshekhonov A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Флексографские краски на водной основе (ФКВО) активно применяются для оформления продукции в пищевой, фармацевтической, текстильной промышленности. До введения санкций Российский рынок ФКВО был не велик, так как большая доля готовых красок поставлялась зарубежными компаниями. Ежегодно до 2021 года рост объёмов производства колебался на уровне 2-3% у разных производителей. После 2022 года многие производители красок ушли с рынка. Фирменные автоматические линии производства ФКВО, существовавшие на территории РФ, были закуплены у зарубежных поставщиков из Италии, Нидерландов, Турции, Китая. Российские аналоги таких линий только начинают внедряться и пока оснащены преимущественно системами местного контроля и управления [1]. Не является исключением Российская компания FORZA, где с целью интенсификации производства сформирован ряд требований к таким линиям: компактность для размещения на небольших производственных площадках, ремонтопригодность, невысокая стоимость по сравнению с зарубежными аналогами.

Отвечая требованиям выхода на уровень Индустрии 4.0 при проектировании такой установки сделан упор на механизацию типовых операций с целью снижения влияния человеческого фактора, отражающегося на качестве готовой продукции. Приоритетной задачей стала автоматизация узла приготовления ФКВО, где чередуются операции дозирования, смешения и контроля качества продукта с целью получения однородной однотонной текстуры и заданного оттенка цветовой палитры. Точность дозирования исходных компонентов определяется метрологическими характеристиками пневматических микродозаторов, подающих краску основных оттенков в емкость смешения. Реализация заданной рецептуры не гарантирует получения нужного оттенка готового продукта из-за конкретных свойств исходных компонентов и их неполного перемешивания. Контроль качества традиционно осуществляется в лаборатории.

Основная сложность в создании полностью автономного комплекса заключается в отсутствии на данный момент автоматической системы контроля качества цветопередачи [2]. В качестве частичной замены работы лаборанта предлагается экспертная система для принятия решения по коррекции рецептуры или изменению схемы дозирования компонентов. После нанесения краски система машинного зрения классифицирует цвет поверхности в соответствии палитрой Pantone. Разрабатывается когнитивная модель, сочетающая эмпирические знания эксперта-технолога в области приготовления и контроля качества флексографской краски с классической схемой формирования цвета от компании Pantone. Оснащение системы управления периодическим процессом смешения узлом автоматического контроля качества направлено на повышение качества продукции, снижение нагрузки на персонал и сокращение времени производственного цикла.

**Литература:**

1. Маркетинговое исследование рынка флексографических красок. / Агенство исследований промышленных и потребительских рынков. – 2025.

2. Синяк, М. Подготовка цвета для флексографского производства / М. Синяк, Д. Лаконкин // Компьюарт. – 2011. - №3. – С. 44-48.

# СЕКЦИЯ 13.
# ЦИФРОВОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ



# ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ БИОИНСПИРИРОВАННЫХ ВЗАИМОПРОНИКАЮЩИХ ФАЗОВЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ГИРОИДНОЙ ГЕОМЕТРИИ TPMS

***Арсентьев М.Ю.*[1,2], *Сысоев Е.И.*[2], *Солдатов А.А.*[1,2], *Сычев М.М.*[1]**

*[1]Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра теоретических основ материаловедения,*

*[2]Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра — Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова*

*e-mail: ars21031960@gmail.com*

**STUDY OF SOUND ABSORPTION PROPERTIES OF BIOINSPIRING INTERPENETRATING PHASE COMPOSITES BASED ON THE GYROID GEOMETRY OF TPMS**

***Arsentev M.Yu.*[1,2], *Sysoev E.I.*[2], *Soldatov A.S.*[1,2], *Sychev M.M.*[1]**

*[1]Saint-Petersburg State Institute of Technology,*

*[2]Branch of B. P. Konstantinov Petersburg Nuclear Physics Institute of National Research Center «Kurchatov Institute» – Institute of Silicate Chemistry*

Спрос на многофункциональные материалы в авиастроении стимулирует разработку метаматериалов, сочетающих механическую прочность и шумоизоляцию. Метаматериалы на основе трижды периодических поверхностей минимальной энергии (TPMS), в частности гироидов, демонстрируют высокие показатели звукопоглощения. Это обусловлено их сложной топологией, которая увеличивает извилистость каналов и способствует эффективной диссипации энергии звуковой волны [1].

Для расширения рабочего диапазона в область низких частот применяются композитные решения: решетки метаматериалов заполняются пористой средой. Это позволяет объединить акустические преимущества наполнителя с несущей способностью каркаса [2]. При этом определяющим фактором становится качество межфазного контакта: однородность заполнения каналов и адгезия пены к скелету напрямую влияют на стабильность физико-механических свойств.

В настоящей работе разработаны композиционные биомиметические материалы на основе каркаса на основе гироидных структур (ячейки 2–10 мм), изготовленных методом LCD-печати, заполненные однокомпонентной полиуретановой пеной. Микрофотографии подтвердили равномерное распределение пены в макропорах каркаса. Результаты показали, что уменьшение размера ячеек метаматериала повышает жесткость и поглощение звука (средний коэффициент звукопоглощения до ~ 0,6) за счет извилистости каналов. Выявлено пороговое значение размера ячейки (более 6 мм), при котором пена дает синергетический эффект, улучшая звукопоглощение до ~ 12 %. Инфильтрация гироидного каркаса пеной предотвращает потерю устойчивости ребер, увеличивая модуль Юнга на ~ 11 % и энергопоглощение (~ 10 %). Таким образом, использование композиционных гироидных структур, заполненных полиуретановой пеной, представляет собой перспективный подход для создания легких и прочных авиационных панелей.

*Исследование акустических свойств клеточных структур проводилось в рамках Государственного задания (№ 1024030700040-3-1.4.3), а исследование механических свойств — при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-73-30019П).*

**Литература:**

1. Sirivuri K.K., Sekar V., Cantwell W.J. [et al.] // Journal of Building Engineering. – 2025. – Vol. 112. – P. 113658.

2. Xue Y., Nobles L.P., Sharma B., Bolton J.S. // Materials & Design. – 2024. – Vol. 242. – P. 113026.

# ВЛИЯНИЕ КАРБИДОВ НА АДДИТИВНЫЕ СПЛАВЫ

***Богданова А.С.*, *Богданов С.П.*, *Чекуряев А.Г.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра теоретических основ материаловедения*
*e-mail: asabogdanova387@gmail.com*

# EFFECT OF CARBIDES ON ADDITIVE ALLOYS

***Bogdanova A.S.*, *Bogdanov S.P.*, *Chekuryaev A.G***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Алюминиево-матричные композиты (АМК) обладают рядом преимуществ: высокая удельная прочность, коррозионная стойкость и жесткость [1]. Для армирования АМК как правило используют частицы тугоплавких боридов, карбидов и оксидов [2]. Для печати сложных конструкций из АКМ можно использовать технологию селективного лазерного плавления (SLM). В данной работе были предложены и получены следующие композиционные материалы: силумин AlSi10Mg с добавками 10 масс.% SiC, TiC, $B_4C$ и 15 масс.% $B_4C$.

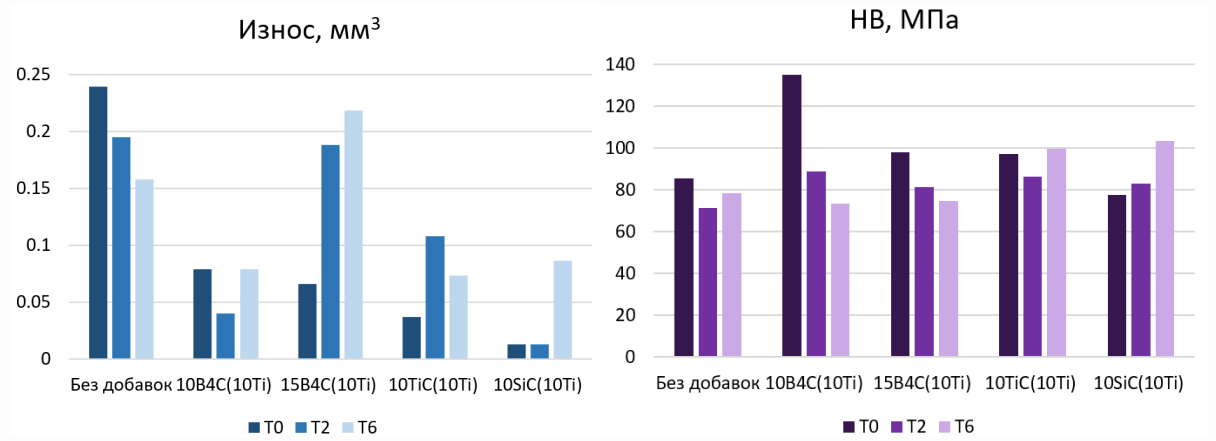



**Рисунок – Влияние режима термообработки на свойства 3D сплавов на основе AlSi10Mg.**

Для термообработки 3D-AlSi10Mg и новых сплавов с добавками были опробованы отжиг при 300 °C в течение 4 часов (T2) и закалка с последующим старением (T6): закалка при 535 °C в воду и старение при 160 °C.

Результаты испытаний показали, что добавка 10 % $B_4C$ увеличивает твердость в 1,5 раза, а износ уменьшается в 3 раза (см. рисунок). Введение в силумин карбидов, плакированного титаном, повышает износостойкость сплава в 4-7 раза. Для всех образцов термообработка T2 снижает твердость и износостойкость. Для напечатанных образцов с 10 % $B_4C$ и при T2 и при T6 предел прочности и текучести увеличился

Сплавы на основе силуминов с добавкой карбидов можно рекомендовать для лёгких конструкций, испытывающих, как высокие истирающие нагрузки, так и требующие высокой твёрдости.

*Исследование выполнено за счёт Гранта Российского научного фонда №21-73-30019.*

**Литература:**

1. M.K. Surappa, Aluminium matrix composites: challenges and opportunities, Sadhana 28 (2003) 319–334.

2. Recent progress on the additive manufacturing of aluminum alloys and aluminum matrix composites: Microstructure, properties, and applications / Zhiguang Zhu, Zhiheng Hu, Hang Li Seet, Tingting Liu, Wenhe Liao, Upadrasta Ramamurty, Sharon Mui Ling Nai // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2023. V. 190. 104047.

# ВЛИЯНИЕ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕЙ ДОБАВКИ И КАТАЛИЗАТОРОВ НА СКОРОСТЬ, ТЕМПЕРАТУРУ ГОРЕНИЯ И ПОЛНОТУ СГОРАНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ОГНЕТУШАЩИХ СОСТАВОВ

***Букин Р.А.*[1,3], *Долматов В.Ю.*[3], *Нарыжный С.Ю.*[3], *Лотникова К.В.*[2,3]**

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), [1]кафедра теоретических основ материаловедения, [2]кафедра химии и технологии органических соединений азота,*

*[3]Федеральное государственное унитарное предприятие «Специальное конструкторско-технологическое бюро «Технолог»*

*e-mail: example799@yandex.ru*

# INFLUENCE OF DIAMOND-CONTAINING ADDITIVES AND CATALYSTS ON THE BURNING RATE, COMBUSTION TEMPERATURE, AND COMBUSTION COMPLETENESS OF AEROSOL FIRE EXTINGUISHING COMPOSITIONS

***Bukin R.A.*[1,3], *Dolmatov V.Yu.*[3], *Naryzhnyy S.Yu.*[3], *Lotnikova K.V.*[2,3]**

*[1,2]Saint Petersburg State Institute of Technology,*

*[3]Federal state unitary enterprise special design and technological bureau «Technolog»*

Аэрозольные огнетушащие составы (АОС) представляют собой твердотопливные заряды, способные к самостоятельному горению без доступа кислорода с образованием газов, высокодисперсных оксидов и солей. АОС – наиболее эффективное средство для объемного пожаротушения в замкнутых объемах. Механизм аэрозольного пожаротушения определяется ингибированием реакций в пламени частицами аэрозоля, разбавлением среды $CO_2$, $N_2$, $H_2O$, выжиганием кислорода, охлаждением зоны горения. Для исключения вторичного возгорания необходимо создать низкотемпературные АОС (с температурой от 1500 °С до 900 °С) и обеспечить полноту сгорания компонентов АОС с ~35 % мас. (шлам) до ~5 % мас., обеспечивая полный переход металлов АОС в аэрозоль. Скорость горения заряда необходимо поднять с 1,6 – 4,0 мм/с до ~7 мм/с.

Показано [1], что введение в смесевые ракетные топлива (РТ) детонационных наноалмазов (ДНА) в количестве 2 % мас. Позволяет поднять скорость горения на ~25 %, а дополнительное введение катализатора (1 % мас., $Fe_2O_3$) повышает скорость горения на ~45 % [2]. Эти добавки снижают температуру горения на ~250 °С. К-фаза практически отсутствует. ДНА образуют каркас заряда с выходом на поверхность горения и обеспечивают высокую теплопередачу низлежащим слоям состава.

Оптимальное сочетание трех видов наименее токсичных окислителей ($KNO_3$, $NH_4NO_3$ и $NaNO_3$), при использовании горючего (лигнина, крахмала, целлюлозы), горючего-связующего – бутадиен-нитрильного каучука или полисилоксана, функциональных и технологических добавок – детонационных наноалмазов (1–3 %) и ХПЭПА (хлорполиэтиленполиамин), катализатор ($Fe_2O_3$ и др.) позволило увеличить скорость горения до 7 мм/с, снизить температуру до 800 – 900 °С, уменьшить количество К-фазы (шлама) до 4 % мас. от массы заряда, снизилось количество токсичных газов – CO, $NH_3$, HCN, $NO_2$.

**Литература:**

1. Нарыжный С.Ю., Козлов А.С., Долматов В.Ю., Фоменко В.В., Семашкин Г.В., Марчуков В.А., Десятов С.В. Влияние модификации тетриловых детонационных наноалмазов на горение модельных пастообразных ракетных топлив // Физика горения и взрыва», 2021, Т.57, №6, С. 48-55.

2. Нарыжный С.Ю., Долматов В.Ю., Козлов А.С., Влияние модифицированных аллотропий углерода на процесс горения модельных смесевых ракетных топлив Тезисы докладов. Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева. Новосибирск, 2023, С. 88.

# ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАРБИДА ТИТАНА НА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ

***Васильев Н.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра теоретических основ материаловедения*

*e-mail: nikitav25@yandex.ru*

**CHEMICAL HEAT TREATMENT FOR THE PRODUCTION OF TITAN CARBIDE ON THE SURFACE OF STEEL**

***Vasiliev N.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Ответственные детали изделий тяжелой промышленности должны выдерживать высокие нагрузки. Из этого вытекает необходимость обеспечения высокой твердости поверхности таких деталей. На примере химико-термической обработки стали 34ХН1МА в данной работе рассмотрены возможности легирования поверхности титаном, а также комбинированные методы насыщения стали углеродом, с последующим насыщением титаном. Работы по хромированию с использованием йодного транспорта [1] заложили основу для использования йода как альтернативу хлориду аммония для титанирования.

Экспериментальные исследования проводились с продолжительностью 1, 4 и 6 часов при температурах 800, 900 и 1000 °С, после чего измерялась твердость поверхности образцов, а также изменение их массы, отнесенное к единице площади. Фазовый состав поверхностного слоя анализировался методом рентгеновской дифракции.

Проведенные замеры массы показывают, что при данном виде насыщения поверхности титаном происходят два процесса [2], противонаправленные друг другу: осаждение титана на поверхность стальной пластины с образованием карбидов титана и угар металла с поверхности пластины. Анализ данных показывает преобладание процесса уноса при выдержке в 1 час, усиливающееся до 4 часов. При более длительной выдержке (6 часов) слой карбида титана предположительно начинает блокировать унос железа с поверхности, поэтому убыль массы сменяется на её прирост. Полученные значения твердости поверхности позволяют говорить о линейное увеличение твердости с ростом температуры. При 800 °С твердость составляет 6,7 ГПа, при 900 °С – 7,3 ГПа, а при 1000 °С – 9,5 ГПа, однако полученные значения твердости поверхности далеки от описанных в литературных источниках 30Гпа [3], следовательно, в материале наблюдается недостаток углерода для образования достаточного количества карбида титана. Решить эту проблему предложено при помощи проведения цементации с последующим титанированием. В опытах, проведенных при 900 °С и 4 часах выдержки в печи, такой комбинированный подход позволил поднять значения поверхностной твердости до 18,9 ГПа при использовании хлорида аммония в качестве катализатора и 22,8 ГПа при использовании йода.

**Литература:**

1. Богданов С.П. Использований йодного транспорта для диффузионного хромирования стали / С.П. Богданов, Н.А. Христюк // Сталь – 2017, № 1, С. 67-72.

2. Христюк Н.А. Эффект взаимного переноса железа и хрома при формировании покрытий йодным транспортом / Н.А. Христюк, С.П. Богданов // Металловедение и термическая обработка металлов. 2019. № 1(763). С. 37-44.

3. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник / Г.В. Борисенок, Л.А. Васильев, Л.Г. Ворошнин и др. // Москва: Металлургия – 1981, С. 213–215

# ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ ЛАЗЕРА НА ПРОЧНОСТЬ ПОЛИАМИДА, ИЗГОТОВЛЕННОГО МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ

***Дьяченко С.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра общей физики*

*e-mail: samyon2008@yandex.ru*

# EFFECT OF LASER POWER ON THE STRENGTH OF POLYAMIDE MADE BY SELECTIVE LASER SINTERING

***Diachenko S.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В настоящее время аддитивные технологии получили широкое распространение и являются неотъемлемой частью производственного цикла большого числа отраслей промышленности [1,2]. Причем они не заменили, а стали дополнением к уже известным и проверенным технологиям, например, субтрактивным и литьевым. Однако, как и в любой технологии, велико значение технологических параметров процесса на целевые свойства материала, из которого изготавливаются изделия. В данной работе рассмотрен процесс 3D печати методом селективного лазерного спекания на серийном оборудовании «Farsoon SS/HT 403P» с углекислотным лазером максимальной мощности 100 Вт, в качестве материала использовался полимерный порошок полиамида-12 марки «FS3300PA». Изучено влияние мощности лазера на предел прочности полиамида при растяжении. Результат исследования приведен на рисунке. Для проведения исследований были изготовлены образцы 1В в соответствии с ГОСТ 11262-2017, расположенные плашмя на платформе построения. Варьирование мощности лазера при прочих равных параметрах (толщина слоя, расстояние наполнения, скорость сканирования лазера и др.), осуществлялось в диапазоне: 55, 60, 70, 80, 85 Вт. Испытания на растяжение проводились по ГОСТ, а соответственно перпендикулярно слоям выращивания. Исходя из полученной зависимости, можно заключить, что прочность полиамида увеличивает с ростом мощности лазера и достигает максимума при 80 Вт, после чего увеличение мощности нецелесообразно.

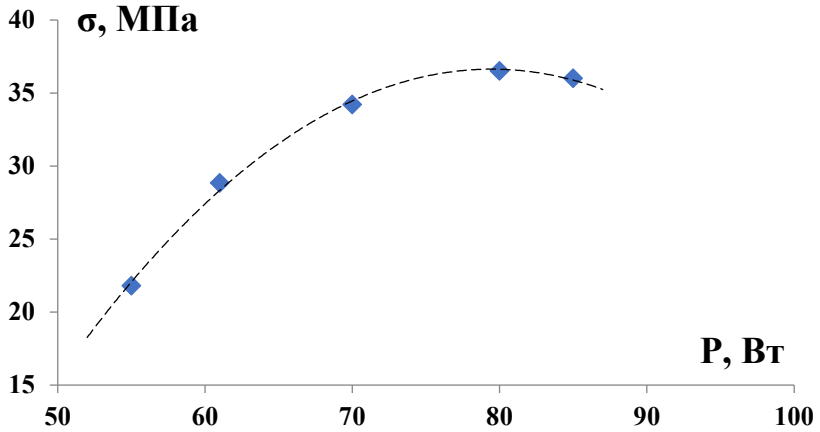



**Рисунок – Зависимость мощности лазера от прочности при растяжении.**

*Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 21-73-30019-П.*

**Литература:**

1. Аддитивные технологии / М.М. Сычев, Л.А. Лебедев, С.В. Дьяченко [и др.]. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2018. – 36 с.

2. Diachenko S.V., Balabanov S.V., Sychov M.M. [et al.] // Strojniski Vestnik. – 2024. – Vol. 70, No. 11-12. – P. 607-619.

# ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БРОНЕЗАЩИТЫ ЧЕЛОВЕКА И ТЕХНИКИ

***Ермакова М.А.*[1], *Козлов А.С.*[2,3]**

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), [1]кафедра теоретических основ материаловедения, [2]кафедра химии и технологии органических соединений азота,*

*[3]Федеральное государственное унитарное предприятие «Специальное конструкторско-технологическое бюро «Технолог»*

*e-mail: rita-ermakova@mail.ru*

**PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF MODERN MATERIALS FOR HUMAN AND TECHNICAL ARMOR PROTECTION**

***Ermakova M.A.*[1], *Kozlov A.S.*[2,3]**

*[1,2]Saint-Petersburg State Institute of Technology,*

*[3]Federal state unitary enterprise special design and technological bureau «Technolog»*

С началом специальной военной операции и с ростом применения большого числа малоразмерных беспилотных летательных аппаратов вопрос бронезащиты человека и техники становится более актуальным [1,2]. С развитием аддитивных технологий, полимерной промышленности и т.д. появляется возможность либо усилить бронезащиту человека или техники при сохранении массогабаритных характеристик брони, либо снизить ее вес при сохранении защитных свойств. Одним из перспективных направлений является применение керамических бронеплит, содержащих различные наноразмерные материалы [3].

ГОСТ 34286-2017 [4] классифицирует бронеодежду по степени защиты от различных видов поражений, ГОСТ Р 55623-2013 [5] регламентирует натурные испытания готовых бронеизделий, иных действующих стандартов испытаний бронеодежды на настоящий момент в Российской Федерации не существует. Описанные в [4, 5] методики позволяют установить, выдержало изделие испытание или нет, но не позволяют провести количественную оценку стойкости бронеизделия. Кроме того, [5] предусматривает применение специального стрелкового оружия, что требует лицензирования и высоких материальных затрат для создания мест хранения оружия.

Таким образом, в настоящий момент существует потребность в создании простой, максимально информативной лабораторной методики, не требующей лицензирования и больших затрат, которая позволит оценивать защитные свойства изделий на начальном этапе разработки и сравнивать между собой получаемые экспериментальные образцы бронеплит и макетов бронежилетов.

**Литература:**

1. Косолапова Д.А., Гробушкин Е.А. Бронеодежда: сравнение бронежилета и бронеплитника в условиях СВО. Аллея науки. 2024. Т. 1. № 4 (91). С. 42-47.

2. Требования и обоснование материала для бронежилета. Мокроусов М.А., Шаронов А.Н., Голубев В.Ю. Научный вестник Вольского военного института материального обеспечения: военно-научный журнал. 2024. № 2 (70). С. 10-19.

3. Создание композитных защитных элементов для средств индивидуальной защиты. Киселев М.В., Фарух М.А., Самойлов Д.А. В сборнике: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения проф. А.И. Коблякова. М., 2024. С. 186-189.

4. ГОСТ 34286-2017 Бронеодежда. Классификация и общие технические требования.

5. ГОСТ Р 55623-2013 Бронеодежда. Методы испытаний.

# РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ БРОНЕПЛАСТИН К ВЫСОКОСКОРОСНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

***Ермакова М.А.*[1], *Нарыжный С.Ю.*[3], *Козлов А.С.*[2,3]**

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), [1]кафедра теоретических основ материаловедения, [2]кафедра химии и технологии органических соединений азота,*

*[3]Федеральное государственное унитарное предприятие «Специальное конструкторско-технологическое бюро «Технолог»*

*e-mail: rita-ermakova@mail.ru*

# DEVELOPMENT OF A LABORATORY TECHNIQUE FOR ASSESSING THE RESISTANCE OF ARMOR PLATES TO HIGH-SPEED IMPACTS

***Ermakova M.A.*[1], *Naryzhnyy S.Yu.*[3], *Kozlov A.S.*[2,3]**

*[1,2]Saint Petersburg State Institute of Technology,*

*[3]Federal state unitary enterprise special design and technological bureau «Technolog»*

Проблема создания современных материалов и конструкций для разработки бронежилетов и бронеплит для защиты техники заключается в отсутствии простых и информативных методик, позволяющих ранжировать полученные изделия по степени защиты при соударении с различными высокоскоростными ударниками.

Предлагается создание установки для метания шарика диаметром 6.35 мм (массой 1 г.), по аналогии с [1]. В качестве рабочего тела для метания предполагается использовать нагретые до высоких температур газы от быстрогорящих пиротехнических составов. За критерий бронестойкости изделия предлагается принимать максимальную скорость шарика, при которой из нескольких (например, трех) высокоскоростных воздействий шарика на преграду не произошло разрушения. Изменение скорости метания шарика предполагается варьированием массы пиротехнического состава. Данная методика не подпадает под критерий стрелкового и иного оружия и не требует лицензирования. 3D-модель установки представлена на рисунке. Измерение скорости полета шарика возможно индукционным методом, тарировка по данным высокоскоростной камеры.

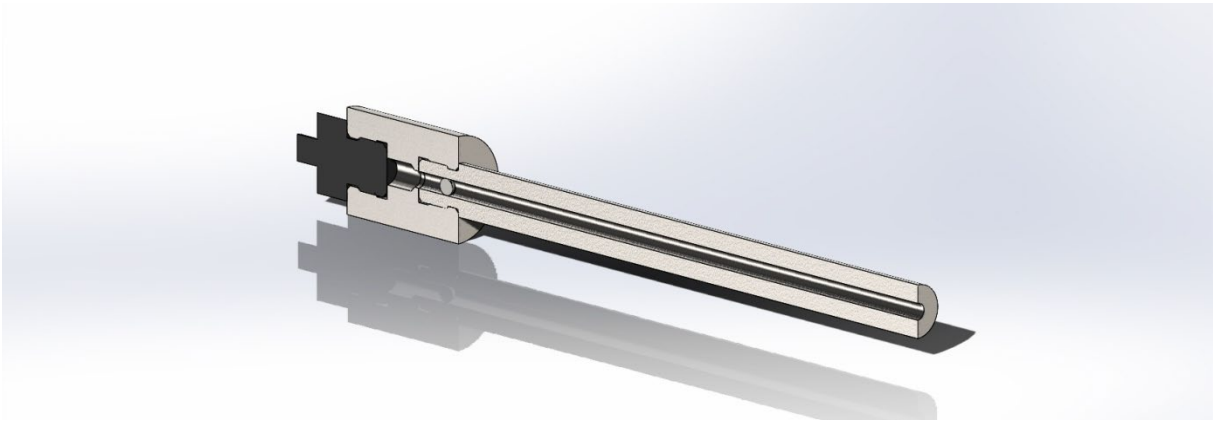


**Рисунок - 3D-модель установки для метания стальных шариков 6.35мм (1 г).**

**Литература:**

1. ГОСТ Р 55623-2013 Бронеодежда. Методы испытаний.

# УЛУЧШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛМАЗ-КАРБИДКРЕМНИЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПУТЁМ ВВЕДЕНИЯ В НИХ МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО АЛМАЗНОГО ПОРОШКА

***Коваль А.Р.*[1,2], *Долгин А.С.*[2]**

[1]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра теоретических основ материаловедения,*

[2]*Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра — Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова*

*e-mail: anastasia.koval8@inbox.ru*

**IMPROVING THE MECHANICAL PROPERTIES OF DIAMOND-CARBIDE-SILICON MATERIALS BY INTRODUCING MICROCRYSTALLINE DIAMOND POWDER**

***Koval A.R.*[1,2], *Dolgin A.S.*[2]**

[1]*Saint Petersburg State Institute of Technology,*

[2]*Branch of the Kurchatov Institute-P.N. Lebedev Physical Institute-I.V. Grebenshchikov Institute of Silicate Chemistry*

Композиты на основе синтетического алмаза перспективны благодаря уникальному сочетанию высокой теплопроводности, твердости, износостойкости и электросопротивления. Ключевым фактором их эффективности является прочное сцепление между алмазным наполнителем и матрицей, что в полной мере реализовано в системе алмаз-карбид кремния (алмаз-SiC). Для дальнейшего улучшения физико-механических характеристик таких композитов перспективно введение микрокристаллического алмазного порошка (АСМ 0,5/0), который может привести к повышению микротвердости, износостойкости и антифрикционных свойств.

В данном исследовании изучалось влияние микрокристаллического алмазного порошка (АСМ 0,5/0) на структуру и свойства алмаз-SiC композита. Образцы были получены из смеси алмазных порошков АСМ 28/20 мкм, АС160 250/200 мкм и АСМ 0,5/0 методом гидростатического прессования с последующим силицированием в вакууме при 1550 °С.

Для полученных образцов были определены плотность (ГОСТ 2409–95), продольная скорость звука и модуль Юнга резонансным методом. Результаты измерений физико-механических свойств представлены в таблице.

**Таблица – Сравнение свойств образцов с добавлением алмазного порошка и без.**

| Добавка | Кол-во добавки, масс.% | Плотность, г/см$^3$ | Продольная скорость звука, м/с | Модуль Юнга, ГПа |
|---|---|---|---|---|
| **-** | 0 | 3,33 | 14200 | 670 |
| **АСМ 0,5/0** | 0,1 | 3,35 | 14400 | 695 |
| | 1 | 3,35 | 14750 | 725 |
| | 5 | 3,36 | 15050 | 760 |
| | 10 | 3,35 | 15500 | 800 |
| | 15 | 3,38 | 15100 | 770 |

По результатам проделанной работы удалось оценить влияние добавок микропорошков алмаза на механические свойства композиционного алмаз-карбид кремниевого материала. Как видно из полученных данных, ввод микропорошков алмаза в композит приводит к улучшению физико-механических свойств за счет образования мелкозернистого карбида кремния. Среди образцов с АСМ 0,5/0 лучшие механические свойства показал образец с добавкой 10 масс. %, а именно скорость звука – 15500 м/с и модуль упругости – 800 ГПа.

*Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 25-13-00419).*

# ИЗУЧЕНИЕ ВИБРОДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ТРИЖДЫ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МИНИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ

***Куропятник А.М., Солдатов А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра теоретических основ материаловедения*

*e-mail: yilittit@gmail.com*

# STUDY OF VIBRATION DAMPING PROPERTIES OF TRIPLY PERIODIC MINIMAL SURFACE STRUCTURES

***Kyropiatnik A.M., Soldatov A.A***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Трижды периодические поверхности минимальной энергии (ТППМЭ) представляют собой упорядоченные ячеистые структуры, которые находят широкое применение во многих областях промышленности, что в значительной степени обусловлено их способностью рассеивать механическую, акустическую, тепловую и электромагнитную энергию. Для оценки демпфирующих свойств рассматриваемых структур была разработана методика, основанная на анализе кривых гистерезиса [1].

Появление аддитивных технологий (АТ) значительно расширило возможности создания таких структур, в особенности в отношении изготовления изделий сложной формы, которые невозможно изготовить какими-либо другими способами.

В данной работе с использованием 3D принтера Artillery Sidewinder X1 были изготовлены образцы из ABS-пластика в форме куба размером 40 × 40 × 40 мм и толщиной стенок 0,4 мм с перспективными разновидностями геометрии внутреннего пространства: Примитив Шварца, Гироид, Алмаз, Неовиус и Лидиноид. Их механические свойства оценивали посредством циклических испытаний на разрывной машине метротест РЭМ-50 А11 с частотой 0,5 Гц и амплитудами смещения 1,7, 2,03 и 2,5 мм. Для каждого образца было произведено 25 циклов испытания. На рисунке представлены кривые деформации, полученные при циклических испытаниях образца с геометрией «Примитив Шварца», где коэффициент демпфирования определяется по площади внутри наблюдаемых гистерезисных кривых.

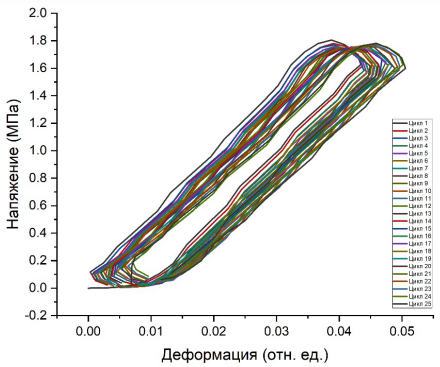



**Рисунок – Кривые деформации для образца с геометрией «Примитив Шварца».**

Полученные результаты показывают существенное (с 4,10 до 3,45 %) снижение коэффициента демпфирования с увеличением относительной деформации от 4,25 % до 6,25 %, что указывает на предпочтительность использования относительно невысоких скоростей и степеней деформации в отношении рассматриваемых изделий.

**Литература:**

1. Herkal S., Rahman M.M., Nagarajaiah S., Harikrishnan V.J., Ajayan P. // Mechanical Systems and Signal Processing. - 2023. V. 185. P. 1-14. DOI: 10.1016/j.ymssp.2022.109819.

# ЭМУЛЬСИОННЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА. УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЭМУЛЬСИЙ ПУТЁМ ВВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА

***Лукконен В.Н.*[1], *Кочнев С.В.*[2], *Гурьева К.И.*[2]**

[1]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра теоретических основ материаловедения,*

[2]*Акционерное общество «Морозовка»*

*e-mail: Lica78@mail.ru*

# EMULSION EXPLOSIVES. METHODS FOR IMPROVING OPERATIONAL PROPERTIES OF EMULSIONS BY INTRODUCING CARBON BLACK

***Lukkonen V.N.*[1], *Kochnev S.V.*[2], *Gureva K.I.*[2]**

[1]*Saint Petersburg State Institute of Technology,*

[2]*Joint Stock Company «Morozovka»*

Эмульсионные взрывчатые вещества (ЭВВ) широко применяются в промышленном секторе благодаря своим уникальным свойствам, таким как высокая мощность взрыва и относительная простота производства. Одной из главных проблем при использовании ЭВВ является нестабильность эмульсий, что ограничивает их эксплуатационные характеристики. Решение проблемы заключается в разработке эффективных методов стабилизации эмульсий, обеспечивающих сохранение необходимых параметров на протяжении длительного периода времени.

Одним из перспективных подходов к решению задачи является введение нанодисперсных материалов в состав эмульсий. Такие материалы обладают рядом уникальных свойств, включая высокую удельную поверхность, низкую плотность и хорошую совместимость с органическими веществами. Их использование позволяет улучшить стабильность эмульсий, повысить их прочность и обеспечить длительное хранение без потери качеств [2].

Предлагается использовать технический углерод в качестве дисперсного наполнителя для эмульсий ЭВВ.

Технический углерод выступает в качестве структурообразующего и тиксотропного агента в эмульсионных матрицах. Основная функция - создание в объеме эмульсии прочной пространственной каркасной структуры, которая препятствует расслоению, осаждению твердой фазы и коалесценции капель при хранении и транспортировке в широком диапазоне температур. Это критически важно для сохранения однородности и стабильности ВВ.

За счет формирования структурного каркаса технический углерод повышает вязкость и псевдопластичность эмульсионной массы, что улучшает её технологические свойства: удобство перекачки, заполнения скважин и удержания в зарядной полости, особенно в наклонных и вертикальных выработках [1].

Кроме технологической роли, технический углерод является одним из основных горючих компонентов в составе ЭВВ. Он участвует в окислительно-восстановительных реакциях при детонации, влияя на баланс кислорода, теплоту взрыва и состав продуктов детонации.

**Литература:**

1. Ивановский В.И. Технический углерод. Процессы и аппараты: учебное пособие. – Омск: ОАО «Техуглерод», 2004. – 254 с.

2. Позднышев Г.Н. Стабилизация и разрушение эмульсий. – Москва: Недра, 1982. – 214 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО НАНОРАЗМЕРНОГО АЛЮМИНИЯ МАРКИ ALEX НА СВОЙСТВА FOX-7

***Маркова М.А.*[1,2], *Дашко Д.В.*[2]**

[1]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра теоретических основ материаловедения,*

[2]*Федеральное государственное унитарное предприятие «Специальное конструкторско-технологическое бюро «Технолог»*

*e-mail: ladymmarkova@gmail.com*

# RESEARCH INTO THE IMPACT OF STABILIZED NANOSIZED ALUMINUM (ALEX GRADE) ON THE CHARACTERISTICS OF FOX-7

***Markova M.A.*[1,2], *DashkoD.V.*[2]**

[1]*Saint Petersburg State Institute of Technology,*

[2]*Federal state unitary enterprise special design and technological bureau «Technolog»*

В настоящей работе представлено исследование влияния, стабилизированного наноразмерного алюминия марки Alex на свойства малочувствительного энергоемкого соединения 1,1-диамино-2,2-динитроэтилена (ДНДАЭ, FOX-7). Полнота реагирования компонентов в смесевых энергоемких твердофазных системах имеет сильную зависимость от эффективной поверхности контакта реагентов. Существует несколько способов увеличения этой поверхности, в частности, уменьшение размера частиц исходных компонентов вплоть до использования наночастиц. Получению и исследованию свойств наноструктурных энергетических материалов типа окислитель-горючее посвящён ряд работ [1,2]. Анализ достижений в области разработки высокоэнергетических соединений для применения их в изделиях специального назначения однозначно указывает на приоритетное применение малочувствительных энергоёмких соединений. Одним из наиболее перспективных энергоемких соединений является FOX-7, впервые синтезированный в СКТБ «Технолог» в 1989 году. Это вещество демонстрирует низкую чувствительность к различным видам ударных воздействий, низкую чувствительность к ударным волнам и тепловым импульсам. В ходе работы экспериментально получены образцы FOX-7 различной дисперсности. Определены основные физико-химические и термогравиметрические свойства полученных образцов. Показано, что по химической стойкости и термической стабильности полученные образцы FOX-7 соответствуют основным требованиям. Предложено рассмотреть возможность применения FOX-7 как возможного компонента, пассивирующего Alex. Проведены опыты по пассивации поверхности наноразмерного алюминия марки Alex аминоуксусной кислотой и FOX-7 в среде изопропилового спирта. Эффективность пассивации Alex выбранными компонентами определялась на основе двух методов – дериватографическим исследованием и на основании определения химической стойкости, где в качестве маркера применялся динитрат диэтиленгликоля.

**Литература:**

1. Гогуля М.Ф., Махов М.Н., Бражников М.А., Долгобородов А.Ю., Архипов В.И., Жигач А.Н., Лейпунский И.О., Кусков М.Л. / Взрывчатые характеристики алюминизированных нанокомпозитов на основе октогена // Физика горения и взрыва. 2008. Т. 44, №2. - С. 85-100.

2. Долгобородов А.Ю. / Механоактивированные энергетические композиты окислитель-горючее. // Физика горения и взрыва. 2015. Т. 51, №1. - С. 102-116.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ ГРАДИЕНТНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

***Маруева А.Д.*[1], *Ахматнабиев М.Ф.*[2], *Дьяченко С.В.*[1]**

[1]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра теоретических основ материаловедения,*

[2]*Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра — Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова*

*e-mail: marsel.akhmatnabiev@mail.ru*

**USE OF COMPOSITE MATERIALS FOR 3D PRINTING OF RADIO-FREQUENCY DEVICES**

***Marueva A.D.*[1], *Akhmatnabiev M.F.*[2], *Diachenko S.V.*[1]**

[1]*Saint-Petersburg State Institute of Technology,*

[2]*Branch of the Federal State Budgetary Institution «B.P. Konstantinov St. Petersburg Institute of Nuclear Physics of the National Research Center» — I.V. Grebenshchikov Institute of Silicate Chemistry*

В радиотехнических системах сверхвысокочастотного диапазона ключевую роль играют диэлектрические диаграммообразующие устройства, в частности линзы с пространственно изменяемыми электрофизическими параметрами. Одним из наиболее известных решений является линза Люнеберга (ЛЛ).

В предыдущих работах [1] был реализован прототип ЛЛ на основе ячеистых градиентных структур, изготовленных методом FDM-печати из ненаполненного пластика ABS (акрилонитрилбутадиенстирол). Формирование требуемого распределения ε(r) обеспечивалось за счёт изменения относительной плотности ячеек. Было показано, что такая геометрия позволяет реализовать ступенчатое приближение к теоретическому профилю и обеспечить работоспособность устройства в заданном диапазоне частот. Однако, использование ненаполненного материала требует повышения относительной плотности внутренних слоёв для получения требуемой диэлектрической проницаемости в центре линзы. Это приводит к увеличению массы изделия, что усложняет его эксплуатацию.

В работе [2] разработан композиционный материал на основе ABS, наполненный диоксидом титана ($TiO_2$). Показано, что введение $TiO_2$ позволяет существенно увеличить диэлектрическую проницаемость исходного полимера при сохранении требуемых механических характеристик. Дополнительно установлено, что в ячеистых градиентных структурах зависимость ε от степени заполнения структуры (φ) описывается уравнением:

$$\varepsilon^{0,45694} = \varphi \cdot \varepsilon_1^{0,45694} + (1-\varphi) \cdot \varepsilon_2^{0,45694},$$

где $\varepsilon_1$ и $\varepsilon_2$ – диэлектрическая проницаемость полимера и воздуха соответственно.

В настоящей работе разработанные композиционные материалы впервые использованы в качестве функциональной основы для аддитивного изготовления градиентной ЛЛ с ячеистой геометрией. В отличие от прототипа из ненаполненного материала, новая конструкция позволяет снизить массу изделия за счёт сохранения более высокой пористости при требуемых значениях ε, что значительно улучшает ее эксплуатационные свойства.

*Работа выполнена в рамках ГЗ 1024030700040-3-1.4.3*

**Литература:**

1. Akhmatnabiev M., Petrov A., Timoshenko M. [et al.] // Biomimetics. – 2025. – Vol. 10, No. 12. – P. 804.

2. Ахматнабиев М.Ф., Тимошенко М.В., Сычев М.М. [и др] // ЖТФ. – 2025. – № 95 (7). – С.1328-1334.

# СИНТЕЗ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЧ ПОЛЯ

***Отпущенников Л.А., Завьялова П.С., Зеленина Е.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра теоретических основ материаловедения*

*e-mail: leonid.otpushchennikov@yandex.ru*

# SYNTHESIS OF LUMINESCENT CERAMIC MATERIALS BASED ON ZIRCONIUM DIOXIDE USING A MICROWAVE FIELD

***Otpushchennikov L.A., Zavyalova P.S., Zelenina E.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Диоксид циркония ($ZrO_2$), легированный ионами редкоземельных элементов, является перспективным материалом для создания термостойких люминофоров, используемых в оптоэлектронике и высокотемпературных сенсорах [1]. Однако традиционный высокотемпературный синтез керамики является крайне долгим и энергозатратным, а из-за неравномерного распределения активатора ухудшаются функциональные свойства [2]. В качестве аналога все чаще рассматривается спекание в СВЧ-установках, что позволяет значительно сократить время обработки и улучшить люминесцентные характеристики [3-4].

В данной работе рассмотрено влияния методов синтеза прекурсоров и спекания шихты на структуру, фазовый состав и люминесцентные характеристики циркониевой керамики. Объектом исследования являлись керамические материалы состава $ZrO_2:Y^{3+},Eu^{3+}$. Катионы иттрия вводились для стабилизации высокотемпературных фаз оксида циркония, а катионы европия для функционализации керамики. Шихты были подготовлены тремя способами: совместным осаждением из водных растворов нитратов, мокрым смешением порошковых прекурсоров в дистиллированной воде и в изопропиловом спирте. Спекание проводилось тремя способами: в муфельной печи (700 °С, 7 ч нагрев и 1 час выдержка), в СВЧ-установке при температуре 1100 °С в течение 10 минут; и двухэтапным методом, включающим последовательный отжиг в муфеле и затем в СВЧ-установке в течение 5 минут.

Синтезированные образцы циркониевой керамики проявляют фотолюминесценцию в красной области спектра с наиболее интенсивной полосой перехода $Eu^{3+}\ {}^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$. В ходе работы исследована морфология, фазовый и элементный состав, а также люминесцентные характеристики материалов. Полученные данные позволяют оптимизировать технологию синтеза керамических материалов на основе диоксида циркония и улучшить их функциональные свойства.

**Литература:**

1. Liu D. Photoluminescence properties of $Eu^{3+}$ doped $ZrO_2$ with different morphologies and crystal structures / D. Liu, M. Wang, L. Gong, [et al.]. // Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – Vol. 864. – P. 158781.

2. Krishnan R. Recent advances in microwave synthesis for photoluminescence and photocatalysis / R. Krishnan, S.N. Shibu, D. Poelman, [et al.]. // Materials Today Communications. – 2022. – Vol. 32. – P. 103890.

3. Oghbaei M. Microwave versus conventional sintering: A review of fundamentals, advantages and applications / Oghbaei M., O. Mirzaee. // Journal of Alloys and Compounds. – 2010. – Vol. 494. No. 1-2. – P. 175-189.

4. Ramesh S. Comparison between microwave and conventional sintering on the properties and microstructural evolution of tetragonal zirconia / S. Ramesh, N. Zulkifli, C.Y. Tan, [et al.]. // Ceramics International. – 2018. – Vol. 44. No. 8. – P. 8922-8927.

# СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭПОКСИКАУЧУКОВЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ

***Ханыкова Н.К.*[1,2], *Богодист О.Е.*[2], *Макаров И.А.*[2]**

[1]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра теоретических основ материаловедения,*

[2]*Федеральное государственное унитарное предприятие «Специальное конструкторско-технологическое бюро «Технолог»*

*e-mail: xnk2003@gmail.com*

## METHODS FOR PRODUCING RUBBER-EPOXY NANOCOMPOSITES

***Khanykova N.K.*[1,2], *Bogodist O.E.*[2], *Makarov I.A.*[2]**

[1]*Saint-Petersburg State Institute of Technology,*

[2]*Federal State Unitary Enterprise Special Design and Technological Bureau «Technolog»*

Важным направлением современного материаловедения является разработка новых эффективных технологий создания полимерных композиционных материалов с улучшенными деформационно-прочностными, теплофизическими и функциональными свойствами. Связующие и адгезивы на основе эпоксидных олигомеров имеют превосходные технологические и эксплуатационные характеристики, среди которых высокая адгезия к широкому кругу материалов, способность быстро отверждаться даже при комнатной температуре, небольшая усадка и отсутствие выделения побочных летучих продуктов в ходе отверждения, хорошая химическая стойкость и превосходная способность выдерживать циклические нагрузки. Среди недостатков эпоксидной смолы можно отметить плохую ударостойкость и хрупкость материала, что делает ее уязвимой для возникающих в ходе эксплуатации микротрещин, и, как следствие, ограничивает применение в тепло- и вибронагруженных узлах, при фиксации разнородных материалов. Один из способов уменьшить недостатки эпоксидных смол заключается в совмещении с олигомерными каучуками, получая эпоксикаучуковые композиции. Другой способ заключается в введении высокодисперсных, желательно, наноразмерных наполнителей. Комбинация обоих этих подходов позволяет значительно более гибко подходить к получению композитов с заданными характеристиками, при сохранении всех ценных свойств, присущих эпоксидам.

Избыточная поверхностная энергия наночастиц приводит к образованию агрегатов. Именно поэтому особое внимание необходимо уделить технологиям подготовки поверхности нанодисперсного наполнителя и введения его в композит, обеспечивающим равномерное распределение и прочное химическое связывание с полимерной матрицей. В данной работе проверялись способы введения различных углеродных наноразмерных наполнителей (наноалмазы детонационного синтеза, алмазосодержащая шихта детонационного синтеза, печная сажа) в матрицы на основе сополимеров глицидиловых эфиров резорцина с бутадиен-нитрильными каучуками. Поверхность наночастиц была исследована методами ИКС, равномерность распределения наполнителя в полимерной матрице методом сканирующей электронной микроскопии. Были изучены реологические характеристики и седиментационная устойчивость эпоксикаучуковых смол, наполненных углеродными наночастицами. Для отвержденных полимерных нанокомпозитов исследованы физико-механические и термомеханические характеристики. Полученные результаты позволят перейти к созданию технологии получения нанокомпозитов на базе эпоксикаучуковых матриц.

# СЕКЦИЯ 14.
# ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ



# ВЫЯВЛЕНИЕ СКРЫТЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ АКТИВАМИ НА ФОНДОВОМ РЫНКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

***Алтасина А.Д.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: arina_0704@bk.ru*

## IDENTIFYING HIDDEN PATTERNS BETWEEN DIFFERENT ASSETS IN THE STOCK MARKET USING INTELLIGENT DATA ANALYSIS

***Altasina A.D.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Современный фондовый рынок представляет собой высоко сложную динамическую систему, в которой взаимосвязи между различными активами часто проявляются в форме скрытых нелинейных закономерностей, маскирующихся случайными флуктуациями и внешними шоками.

Традиционные модели анализа, такие как CAPM и Фама–Френча, предполагают линейные и статичные зависимости, игнорируя системный контекст и межсекторальное влияние, например, каскадное взаимодействие изменений цены нефти на энергетический сектор и смежные отрасли потребительского сектора [1]. Применение методов интеллектуального анализа данных позволяет эффективно выявлять и моделировать скрытые взаимосвязи между активами фондового рынка, существенно превышая точность традиционных статических методов при прогнозировании и оптимизации портфелей. В частности, трансформеры типа AIPM (Artificial Intelligence Pricing Model), используют механизм внимания для комплексно-аналитической обработки временных рядов цен, макроэкономических показателей и неструктурированной информации [2]. Неоднородные скрытые марковские модели (NHMM) дополнительно учитывают разнородные источники данных, такие как новостные потоки, обеспечивая надёжное прогнозирование триггерных событий.

Ансамблевые методы, такие как случайные леса, XGBoost, PCA обеспечивают сегментацию данных, прогнозирование волатильности и редукцию размерности. Графовые нейронные сети (GNN) и алгоритмы глубокого обучения с подкреплением (RL) обеспечивают динамическое отображение сетевых зависимостей и оптимизацию веса портфеля в реальном времени. Эмпирические результаты демонстрируют значительное преимущество предложенных методов: коэффициент Шарпа для ИИ-ориентированных портфелей достигает 2.45, значительно опережая традиционные модели (1,05–1,8) и базовые подходы машинного обучения (3,6–4,31) [3].

**Литература:**

1. А.Г. Коринной Специальные инструменты выявления и противодействия недобросовестным практикам с цифровыми финансовыми активами // БРНИ. 2023. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/spetsialnye-instrumenty-vyyavleniya-i-protivodeystviya-nedobrosovestnym-praktikam-s-tsifrovymi-finansovymi-aktivami (дата обращения: 18.02.2026).

2. Янгульбаева, Л.Ш. Разработка алгоритмов машинного обучения для выявления скрытых экономических рисков в больших наборах финансовых данных / Л.Ш. Янгульбаева, А.И. Симорин, Д.Т. Гериханов // Экономика и управление: проблемы, решения. — Москва, 2025 — Т. 6. № 3. — С.136-143. — Библиогр. в конце ст.

3. Бычкова Н. А. Разработка интеллектуальной системы анализа фондового рынка для поддержки принятия решений // Актуальные исследования. - 2025. - №49. - С. 284.

# ПРИМЕНЕНИЕ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК

***Беликов И.А.*, *Тетерин М.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: bamashegiba@gmail.com*

# APPLICATION OF REINFORCEMENT LEARNING TO MANAGE THE QUALITY OF POLYMER FILMS

***Belikov I.A.*, *Teterin M.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В условиях внедрения цифровых технологий в промышленность актуальность приобретают интеллектуальные методы управления технологическими процессами. Производство полимерных пленок характеризуется высокой чувствительностью к параметрам экструзии, температурным и скоростным режимам каландрования. Даже незначительные изменения параметров приводят к значительным изменениям характеристик и качества пленки.

Перспективным направлением в управлении процессом производства полимерных пленок является внедрение методов искусственного интеллекта для повышения эффективности в условиях стохастических возмущений и изменяемых свойств сырья [1]. Применение методов обучения с подкреплением (Reinforcement Learning, RL), обеспечивает построение адаптивных стратегий управления в условиях неопределенности [2]. Задача оптимизации технологического процесса формализуется в виде Марковского процесса принятия решений (MDP), где состояние среды включает совокупность технологических параметров и показателей качества, действие представляет собой корректировку управляющих воздействий, а функция вознаграждения формируется на основе критериев минимизации отклонений толщины пленки, дефектности и затрат энергии.

В качестве алгоритма рассматривается Soft Action-Critic (SAC), относящийся к классу off-policy алгоритмов с максимизацией энтропии, обеспечивающий устойчивое обучение при работе с непрерывными процессами [2]. Использование этого алгоритма позволяет соблюсти компромисс между применением накопленного опыта и исследованием новых стратегий управления.

Дополнительно методы RL могут быть интегрированы в систему интеллектуального контроля качества продукции. Использование сенсорных данных и систем машинного зрения позволяет формировать обратную связь в реальном времени, обеспечивая переход от реактивного к проактивному управлению качеством. Такая архитектура соответствует концепции замкнутых контуров управления в интеллектуальном производстве, описанной в современных исследованиях промышленного ИИ [1].

Ожидаемые эффекты внедрения RL-подхода включают снижение вариативности толщины пленки, уменьшение процента брака, повышение энергоэффективности и адаптацию к изменению свойств сырья. Интеграция обучения с подкреплением в процесс производства полимерных пленок способствует формированию гибкой самообучающейся системы управления, отвечающей требованиям Industry 4.0 [1].

**Литература:**

1. Soldatos J. Artificial Intelligence in Manufacturing: Enabling Intelligent, Flexible and Cost-Effective Production Trough AI / John Soldatos. — Cham: Springer, 2024. – 516 p. – ISBN 978-3-031-46452-2.

2. Zhao S. Mathematical Foundations of Reinforcement Learning / Shiyu Zhao. — Singapore: Springer Nature, 2025. – 275 p. – ISBN 978-981-973943-1.

# ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПО ПРИМЕНЕНИЮ ДИФФУЗИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКИ

***Беликов И.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: bamashegiba@gmail.com*

# FUNCTIONAL STRUCTURE OF THE SOFTWARE COMPLEX FOR APPLYING THE DIFFUSION MODEL FOR PREDICTING THE QUALITY OF POLYMER FILM

***Belikov I.A., Teterin M.A.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Прогнозирование качества продукции на крупных производствах является важнейшей задачей для обеспечения стабильности производственного процесса и снижения процента брака. Качество готовой продукции определяется совокупностью технологических параметров: параметрами экструзии, температурным и скоростным режимами каландрования [1]. Высокая размерность входных данных, нелинейность зависимостей и стохастический характер технологической среды существенно усложняют построение точных прогностических моделей.

Для решения задачи прогнозирования предлагается программный комплекс, основанный на применении диффузионной вероятностной модели. В отличие от детерминированных моделей прогнозирования диффузионная модель аппроксимирует полное распределение выходных характеристик, что позволяет учитывать редкие, но значимые сценарии возникновения дефектов, обеспечивать повышенную устойчивость к зашумленным данным [2].

Функциональная структура программного комплекса включает базу производственных данных, модуль предварительной обработки, фильтрации и нормализации временных рядов, модуль обучения диффузионной модели, модуль прогнозирования качества пленки, интерфейсы инженера по качеству и специалиста по математическому обеспечению.

В результате работы комплекса формируются вероятностные прогнозы потребительских характеристик пленки, позволяющие оценить риск возникновения дефектов пленки при заданных управляющих воздействиях. Прогнозы позволяют принимать решения по корректировке технологических режимов и управляющих воздействий.

Программный комплекс протестирован на данных экструзионно-каландровой линии №2 завода ООО «Клёкнер Пентапласт Рус» по числу черных точек на 10 м$^2$ полотна пленки с использованием данных за 24 часа производства. Результаты тестирования показали высокую корреляцию между спрогнозированными и реальными значениями (0,98), высокое значение коэффициента детерминации $R^2$ (0,95).

Разработанный программный комплекс может быть использован как основа для построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

**Литература:**

1. Chistyakova T., Teterin M., Razugraev A., Kohlert C. // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9812. P. 234-242.

2. Kohlert M., König A. // Neural Computing and Applications. 2014. № 25. P. 480-488.

# ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РАСПОРЯДКА ДНЯ

***Беляев А.А.*, *Сорокина В.С.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*
*e-mail: beliyogurec@gmail.com, victoria-2004@yandex.ru*

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR DAY PLANNING**

***Belyaev A.A.*, *Sorokina V.S.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В условиях ускоренного темпа жизни и постоянного роста объёма информации проблема эффективного управления временем становится особенно актуальной. Традиционные методы планирования, такие как списки дел и статичные расписания, не всегда позволяют учитывать динамику повседневной жизни. В связи с этим всё большую популярность приобретают технологии искусственного интеллекта (ИИ), применяемые для планирования распорядка дня.

Искусственный интеллект в контексте планирования распорядка дня представляет собой совокупность алгоритмов и программных решений, способных анализировать данные пользователя, выявлять закономерности и на их основе формировать оптимальное расписание. Такие системы используют методы машинного обучения, анализа данных и предиктивного моделирования.

ИИ анализирует задачи пользователя, их приоритетность, сроки выполнения, а также данные календаря и предлагает оптимальный порядок выполнения дел в течение дня. Система способна классифицировать задачи по степени важности и срочности, помогая пользователю сосредоточиться на ключевых действиях и избегать перегрузки. Одним из главных преимуществ ИИ является способность оперативно перестраивать расписание при изменении условий, например, при отмене встречи или возникновении внеплановой задачи. Искусственный интеллект может напоминать о перерывах, рекомендовать время для отдыха, а также анализировать уровень загруженности пользователя с целью предотвращения переутомления.

Использование искусственного интеллекта в планировании распорядка дня позволяет: сократить временные затраты на организацию дел, повысить личную продуктивность, снизить уровень стресса, обеспечить индивидуальный подход к распределению нагрузки [1].

Несмотря на значительные преимущества, ИИ-системы имеют ряд ограничений: недостаточный учёт эмоционального и физического состояния человека, зависимость качества рекомендаций от полноты вводимых данных, необходимость постоянного контроля со стороны пользователя.

Искусственный интеллект для планирования распорядка дня является эффективным инструментом современного тайм-менеджмента. Он позволяет не только автоматизировать процесс составления расписания, но и гибко адаптировать его под изменяющиеся условия. В перспективе развитие таких технологий может существенно повлиять на организацию учебной и профессиональной деятельности, повысив её эффективность и устойчивость.

**Литература:**

1. Abbas, A. PITCH: Productivity and Mental Well-being Coaching through Daily Conversational Interaction / A. Abbas, S. W. Lee // arXiv: 2406.07485 – 2024. – V.1. – P. 1-8.

# ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ АВТОМОБИЛЕЙ

***Бурулев Т.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: t.burulev@mail.ru*

# APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AN INTELLIGENT SYSTEM FOR VEHICLE DAMAGE DETECTION

***Burulev T.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Современные методы компьютерного зрения и искусственного интеллекта находят широкое применение в задачах технической диагностики и мониторинга состояния объектов. В транспортной сфере и страховой оценке повреждений актуальной задачей является автоматизация процесса выявления дефектов кузова автомобиля по цифровым изображениям. Традиционный визуальный анализ требует значительных временных затрат и зависит от квалификации специалиста, что обуславливает необходимость разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решений [1].

В работе рассматривается архитектура интеллектуальной системы обнаружения повреждений автомобилей на основе анализа изображений и интеграции с CAD-моделями кузовов. Разработанная архитектура предусматривает модульную структуру, включающую подсистему загрузки и предварительной обработки изображений, нейросетевой модуль обнаружения дефектов, модуль сопоставления результатов анализа с геометрией цифровой модели и подсистему формирования отчётной документации.

Для локализации и классификации повреждений применяются сверточные нейронные сети, обеспечивающие выделение характерных признаков дефектов (вмятины, царапины, деформации элементов кузова). Предусмотрена предварительная обработка данных, включающая нормализацию изображений и аугментацию обучающей выборки с целью повышения устойчивости алгоритмов к изменениям освещения и ракурса съёмки. Особенностью системы является использование CAD-модели кузова для точной привязки обнаруженных повреждений к конкретным конструктивным элементам автомобиля. Предложен алгоритм сопоставления координат дефектов, выявленных на изображении, с параметрами трёхмерной модели.

Таким образом, применение методов искусственного интеллекта в системе анализа изображений и геометрических данных позволяет повысить объективность оценки повреждений, сократить время обработки информации и создать основу для автоматизированной генерации отчётов о техническом состоянии транспортного средства. Разработанная архитектура является основой для дальнейшей реализации программного комплекса диагностики повреждений автомобилей.

**Литература:**

1. Андрейчиков А.В. Интеллектуальные информационные системы и методы искусственного интеллекта / А.В. Андрейчиков – 2025. – 530 с.

# ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В ЗАДАЧЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ДЕТАЛЕЙ

***Бурулев Т.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: t.burulev@mail.ru*

# APPLICATION OF COMPUTER VISION TECHNOLOGY IN THE TASK OF DEFECT DETECTION IN MECHANICAL PARTS

***Burulev T.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Современные производственные процессы предъявляют высокие требования к качеству изготавливаемых деталей. Контроль состояния поверхности и геометрических параметров изделий является важным этапом обеспечения надёжности и эксплуатационной безопасности продукции. Традиционные методы визуального контроля предполагают участие оператора и во многом зависят от человеческого фактора, что может приводить к снижению точности, воспроизводимости результатов и увеличению времени диагностики [1].

Перспективным направлением повышения эффективности контроля качества является применение технологий компьютерного зрения для автоматического обнаружения дефектов деталей по цифровым изображениям. Использование цифровых камер и алгоритмов обработки изображений позволяет перейти от субъективной визуальной оценки к формализованному анализу параметров поверхности изделия.

Для выявления дефектов используются алгоритмы обработки изображений и методы глубокого обучения, в частности сверточные нейронные сети, обеспечивающие обнаружение трещин, сколов, вмятин, поверхностных неровностей и иных повреждений. Предусмотрена нормализация входных данных и применение методов аугментации обучающей выборки с целью повышения устойчивости алгоритмов к вариациям освещения и условий съёмки. Анализ полученных результатов позволяет формировать структурированную информацию о типе, размере и локализации выявленных дефектов.

Результатом обработки является формирование структурированной информации о наличии дефекта, его типе, размере и локализации на поверхности детали. Это создаёт основу для количественной оценки состояния изделия и последующего принятия решений о его пригодности к эксплуатации или необходимости дополнительной обработки.

Таким образом, применение технологий компьютерного зрения в задаче обнаружения дефектов деталей способствует автоматизации процедур контроля качества, повышению точности диагностики и снижению влияния субъективного фактора. Развитие данного направления расширяет возможности использования интеллектуальных методов анализа изображений в системах промышленного контроля.

**Литература:**

1. Russell S. Artificial Intelligence: A Modern Approach / S. Russell, P. Norvig. – 2020. – 50 с.

# ФОРМАЛИЗАЦИЯ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АНАЛИЗА НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ ШКОЛ УНИВЕРСИТЕТА

***Варлашина Е.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: evg65646345@yandex.ru*

# FORMALIZATION OF QUANTITATIVE INDICATORS FOR THE ANALYSIS OF SCIENTIFIC AND PEDAGOGICAL SCHOOLS OF A UNIVERSITY

***Varlashina E.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В условиях цифровой трансформации высшего образования возрастает потребность в формализованных методах количественного анализа научно-педагогических школ университетов. Несмотря на наличие библиометрических и сетевых исследований научных коллективов, отсутствует единая структурированная система количественных показателей, позволяющая комплексно описывать их состояние и динамику.

Целью настоящей работы является формализация системы количественных параметров для мониторинга научно-педагогических школ. Предлагаемая система показателей структурирована по четырём группам: структурные, тематические, динамические и результативные.

Структурные характеристики рассчитываются на основе графа соавторства $G = (V, E)$, где $V$ – множество авторов школы, $E$ – связи соавторства. Использование графовых моделей соавторства широко применяется в библиометрических исследованиях научных школ [1].

Тематические параметры основаны на векторном представлении публикаций в пространстве признаков. Для множества публикаций $P$ вводятся: число тематических кластеров; размер кластера; доля доминирующей тематики; средняя семантическая когерентность; тематическая дивергенция автора относительно ядра школы. Данная группа показателей позволяет оценивать тематическую целостность школы.

Для анализа развития школы во времени используются: число публикаций в период $t$; темп роста публикационной активности; изменение плотности графа; стабильность ядра школы; устойчивость тематического профиля. Эти параметры позволяют выявлять фазы роста, стабилизации и деградации, обеспечивая мониторинг научной деятельности как ключевого элемента наукометрической оценки [2].

К результативным характеристикам отнесены: общее число публикаций; среднее число публикаций на автора; взвешенная публикационная активность с учётом качества изданий.

Предложенная формализованная система количественных параметров анализа научно-педагогических школ образует математическую основу для построения интеллектуальной компьютерной системы для мониторинга и анализа показателей научно-педагогических школ университета.

**Литература:**

1. Захарчук, Т.В. Библиометрические подходы к идентификации научных школ / Т.В. Захарчук // Труды Санкт-Петербургского государственного университета культуры и искусств. – 2013. – Т. 197. – С. 94-107.

2. Гуськов, А.Е. Концептуальная модель системы наукометрического мониторинга результативности научной деятельности / А.Е. Гуськов // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. – 2022. – № 12. – С. 14-22. – DOI 10.36535/0548-0027-2022-12-4.

# РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ СХЕМ ПОСАДКИ РАСТЕНИЙ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭСТЕТИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

***Горлов А.Б.***

*Национальный исследовательский университет ИТМО*

*e-mail: gorlov.a.b@gmail.com*

# DEVELOPMENT OF A NEURAL NETWORK MODEL FOR GENERATING PLANTING SCHEMES TAKING INTO ACCOUNT ECOLOGICAL AND AESTHETIC CONSTRAINTS

***Gorlov A.B.***

*ITMO University*

В условиях высокой стоимости услуг ландшафтного дизайнера возникает потребность в автоматизации процесса составления плана посадки растений на участке. Современные исследования показывают потенциал глубокого обучения для генерации пространственных макетов. Однако существующие решения либо требуют профессиональных навыков, либо ограничиваются визуализацией и не соблюдают агротехнические требования.

Целью данной работы является разработка алгоритма использования нейросетевой модели, которая сможет учитывать и экологические требования к посадке растений, и их эстетическую совместимость.

Алгоритм разбит на несколько этапов. Сначала по фильтрам выбираются растения, которые удовлетворяют экологическим параметрам. Далее из свойств растений создаются вектора, которые подаются на вход слоям модели Dynamic Graph Convolution, где растения являются узлами графа, а связи - их совместимостью. Это позволяет формировать группы совместимых растений. Сформированные группы подаются слоям модели U-Net с механизмом Cross-Attention, которая позволяет учитывать геометрию цветника и создавать схему из графовых связей растения. В конце применяется постобработка, включающая фильтрацию шума и сглаживание границ.

Новизна работы заключается в применении комбинированного подхода из графовых нейронных сетей и U-Net для автоматизации пространственного размещения растений на схеме посадки, в которой соблюдаются биологические требования, что способствует лучшей выживаемости посадок. Это позволяет конечным пользователям без специальных навыков минимизировать ошибки и автоматизировать рутинные этапы проектирования.

# ПОДХОД LLM-AS-A-JUDGE ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ RAG

***Грязных И.Д.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: gryaznykh.ivan@gmail.com*

# LLM-AS-A-JUDGE APPROACH FOR QUALITATIVE ASSESSMENT OF RAG

***Griaznykh I.D.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

LLM-as-a-Judge – это подход для автоматизированной оценки, в котором большая языковая модель (LLM) используется в качестве “судьи” для анализа текстов, сгенерированных другими языковыми моделями. LLM получает на вход сгенерированный ответ с формализованной инструкцией по оценке качества текста и выносит суждение в соответствии с заданными критериями.

С 2023 года метод получил широкое распространение как масштабируемая альтернатива ручной экспертной разметке. В условиях высокой стоимости и ограниченной воспроизводимости человеческой оценки LLM-as-a-Judge позволяет автоматизировать процедуру ранжирования и валидации ответов, сохраняя приемлемый уровень согласованности с экспертными оценками [1].

В рамках подхода используются несколько типовых схем оценки:

- Парное сравнение (pairwise comparison) – модели-судье предоставляются два ответа на один и тот же запрос; требуется определить предпочтительный вариант либо зафиксировать равенство. Данный формат минимизирует калибровочные эффекты и наиболее близок к процедурам человеческого аннотирования.
- Прямая балльная оценка – оценивается один ответ с присвоением числового значения по заданной шкале (например, 1–10) относительно конкретного критерия: точность, полнота, когерентность, стиль, вежливость и т.д.
- Оценка с опорой на референс – в запрос добавляется исходный контекст или эталонный («золотой») ответ; задача модели заключается в проверке фактической корректности и выявлении отклонений, включая галлюцинации.

Валидность подхода оценивается через сопоставление оценок модели-судьи с экспертными. Крупномасштабное исследование, выполненное группой LMSYS в University of California, Berkeley (2023), представленное в работе Judging LLM-as-a-Judge, продемонстрировало высокую степень согласия между решениями GPT-4 (в роли судьи) и человеческими предпочтениями на задачах диалогового бенчмарка MT-Bench [1].

В статье LightRAG: Simple and Fast Retrieval-Augmented Generation авторы используют LLM-as-a-Judge в качестве основного инструмента для оценки качества RAG-подхода. Их метод сравнивается с базовыми retrieval-augmented системами в формате парного ранжирования. Дополнительно применяется проверка на соответствие исходным документам для выявления галлюцинаций и ошибок атрибуции. Такой протокол позволил авторам провести масштабную сравнительную оценку без привлечения значительного числа человеческих аннотаторов и продемонстрировать конкурентоспособность LightRAG по качеству генерации при сниженных вычислительных издержках [2].

**Литература:**

1. Zheng L. et al. Judging llm-as-a-judge with mt-bench and chatbot arena //Advances in neural information processing systems. – 2023. – Т. 36. – С. 46595-46623.

2. Guo Z. et al. Lightrag: Simple and fast retrieval-augmented generation //arXiv preprint arXiv:2410.05779. – 2024.

# РОТАЦИОННЫЕ ПОЗИЦИОННЫЕ ЭМБЕДДИНГИ

***Заузин А.В.*, *Тетерин М.А.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: lehadnk@gmail.com, mr.ycrochick@mail.ru*

# ROTARY POSITION EMBEDDINGS

***Zauzin A.V.*, *Teterin M.A.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Одной из проблем современных трансформерных моделей является снижение качества при обработке последовательностей, превышающих длину обучающей выборки. Эмбеддинги (векторные представления) являются распространённым способом представления данных в задачах машинного обучения: они представляют собой векторы фиксированной размерности в непрерывном n-мерном пространстве. Эти векторы располагаются так, чтобы геометрические отношения между ними отражали статистическое или семантическое сходство объектов. Эмбеддинги могут нормироваться (например, по L2-норме) для оптимизации расчетов косинусной меры сходства.

Однако для некоторых задач требуются не только свойства объектов, но и информация о их позиции и последовательности. В статье «Attention is All You Need» [1] было предложено синусоидальное позиционное кодирование. К матрице эмбеддингов добавляется матрица позиционных кодировок, которые создают систематический сдвиг, который позволяет модели учесть различия между позициями.

«RoFormer: Enhanced Transformed with Rotary Position Embedding» [2] предлагает иной способ: поворот пары координат вектора запроса и ключа на угол, зависящий от позиции. Это обеспечивает чувствительность к относительным расстояниям, и повышает устойчивость модели при работе с более длинными последовательностями без дополнительного обучения, усиливая обобщающую способность модели. На рисунке представлено сравнение динамики функции потерь при использовании двух методов.

$$\theta_i = 10000^{-\frac{2i}{d}}, i = 0, \dots, \frac{d}{2} - 1; \qquad \phi_{m,i} = m\theta_i$$

$$\begin{pmatrix} q_{2i} \\ q_{2i+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\phi_{m,i} & -\sin\theta_{m,i} \\ \sin\theta_{m,i} & \cos\theta_{m,i} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} q_{2i} \\ q_{2i+1} \end{pmatrix}$$

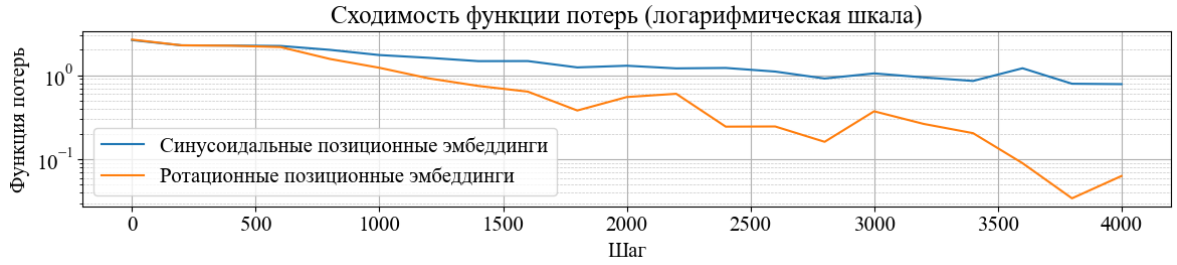



**Рисунок – Сравнение динамики значений функции потерь при использовании RoPE и синусоидального позиционного кодирования.**

**Литература:**

1. Васвани А., Шазир Н., Пармар Н. и др. Attention Is All You Need // arXiv preprint arXiv:1706.03762. – 2017. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1706.03762 (дата обращения: 19.02.2025).

2. Су Ц., Лу Ю., Пан Ш. и др. RoFormer: Enhanced Transformer with Rotary Position Embedding // arXiv preprint arXiv:2104.09864. – 2021. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2104.09864 (дата обращения: 19.02.2025).

# ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ТРАНСФОРМЕРЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ГЕНЕРАЦИИ ВИДЕО

***Заузин А.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: lehadnk@gmail.com, mr.ycrochick@mail.ru*

**SPATIAL-TEMPORAL TRANSFORMERS FOR VIDEO GENERATION**

***Zauzin A.V., Teterin M.A.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Пространственно-временные данные характеризуются сложными нелинейными зависимостями: локальные взаимодействия сочетаются с долгосрочными временными корреляциями, что затрудняет их моделирование нейросетевыми архитектурами.

В работе «Attention is All You Need» [1] механизм внимания стал инструментом моделирования зависимостей между элементами последовательности независимо от их расстояния. Расширение трансформеров на пространственно-временные задачи сформировало класс пространственно-временных трансформеров, где внимание применяется последовательно или параллельно: пространственный модуль моделирует зависимости между узлами графа, а временной выявляет динамические закономерности.

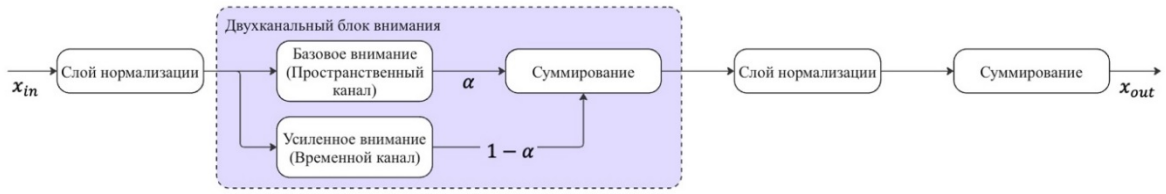



**Рисунок – Пример архитектуры двухканального блока внимания модели CogVideo.**

В генерации видео пространственно-временные трансформеры моделируют структуру кадра и динамику. В работе «CogVideo: Large-scale Pretraining for Text-to-Video Generation via Transformers» [2] пространственный компонент реализуется через дискретизацию видеоданных в последовательность латентных визуальных токенов, между которыми механизм внимания выявляет глобальные пространственные зависимости, обеспечивая согласованность объектов в пределах одного кадра.

Временной компонент моделирует эволюцию токенов, формируя согласованные траектории и сохраняя идентичность объектов между кадрами, что делает пространственно-временное внимание перспективным подходом в задачах совместного моделирования структуры и динамики последовательностей видеокадров.

**Литература:**

1. Васвани А., Шазир Н., Пармар Н. и др. Attention Is All You Need // arXiv preprint arXiv:1706.03762. – 2017. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1706.03762 (дата обращения: 19.02.2025).

2. Хун В., Дин М., Чжэн В. и др. CogVideo: Large-scale Pretraining for Text-to-Video Generation via Transformers // arXiv preprint arXiv:2205.15868. – 2022. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2205.15868 (дата обращения: 19.02.2025).

# ОБРАБОТКА ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА (NLP) В ФИНАНСОВОМ СЕКТОРЕ: АНАЛИЗ ДАННЫХ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ОТЧЕТНОСТИ

***Игнатьева М.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: ignatievam2017@bk.ru*

# NATURAL LANGUAGE PROCESSING (NLP) IN THE FINANCIAL SECTOR: DATA ANALYSIS AND REPORTING AUTOMATION

***Ignateva M.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В тезисах рассматривается применение технологий обработки естественного языка (NLP) в финансовом секторе. Актуальность обусловлена ростом объема неструктурированных текстовых данных (новости, отчеты, соцмедиа), традиционные методы анализа которых недостаточно эффективны [1]. Цель работы − исследование современных методов, инструментов и практических кейсов использования NLP в финансах [2].

Проведен обзор ключевых технологий NLP, включая этапы предобработки текста (токенизация, лемматизация, стемминг) и современные архитектуры нейронных сетей. Выделены традиционные подходы (логистическая регрессия, SVM) и методы глубокого обучения (сверточные и рекуррентные сети). Рассмотрены большие языковые модели (BERT, GPT) и инструментальные библиотеки NLTK и spaCy.

Проанализированы области применения NLP: анализ тональности для прогнозирования рыночных трендов и автоматическая генерация отчетности методами NLG [3, 4]. В анализе тональности выделены словарный подход и методы машинного обучения. Приведены исследования, демонстрирующие корреляцию между медиа-пессимизмом и доходностью акций.

Рассмотрены примеры внедрения NLP в российских банках для кредитного скоринга и клиентского сервиса [4]. Систематизировано влияние ИИ на автоматизацию процессов, персонализацию услуг, безопасность и управление рисками.

Выявлены основные проблемы: сложность финансовой терминологии, контекстуальная зависимость, зашумленность данных, этико-правовые аспекты конфиденциальности и предвзятости алгоритмов [2, 5]. Требования к обработке в реальном времени и масштабируемости предъявляют высокие требования к инфраструктуре.

Результаты показывают, что интеграция NLP повышает точность прогнозирования трендов, эффективность управления рисками и качество обслуживания клиентов, что подтверждается ростом научных публикаций [5]. Дальнейшее развитие связано с повышением надежности алгоритмов, обработкой мультимодальных данных и расширением применения NLP в новых областях.

**Литература:**

1. Frank Z. Xing, Erik Cambria, Roy E. Welsch. Natural language based financial forecasting: a survey / Artificial Intelligence Review. 2018. С. 49-73.

2. Seraphina Brightwood, Henry Jame. Data privacy, security, and ethical considerations in AI-powered finance. 2024.

3. Kelvin Du, Frank Xing, Rui Mao, and Erik Cambria. Financial Sentiment Analysis: Techniques and Applications / ACM Comput. Surv. 56, 9, Article 220. 2024. 42 c.

4. Митчина Т. Е. Искусственный интеллект в банковской системе / Финансовый вестник. 2023. № 3. С. 54-58.

5. Kelvin Dua, Yazhi Zhaob, Rui Maoa, Frank Xingc, Erik Cambria. Natural language processing in finance: A survey / Information Fusion. 2024.

# МЕТОДЫ ВЕКТОРИЗАЦИИ И СЕМАНТИЧЕСКОГО ПОИСКА В БАЗАХ ДАННЫХ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА ПОЛИМЕРНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

***Клюев Б.С.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: bkliuev484@mso365.technolog.edu.ru*

**METHODS OF VECTORIZATION AND SEMANTIC SEARCH IN MANAGEMENT ACCOUNTING DATABASES FOR POLYMER PRODUCTION**

***Klyuev B.S.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В условиях выпуска широкого ассортимента полимерных пленок задача предварительного анализа себестоимости осложняется разрозненностью данных в информационных системах управления предприятием и записях производственного оборудования. Базы данных учета содержат сведения о выполненных заказах, однако их использование требует разработки способов сопоставления итоговых экономических показателей с динамическими режимами работы линии. В данной работе рассматривается метод интеллектуальной обработки информации, основанный на представлении производственных прецедентов в виде числовых векторов.

Метод базируется на отображении сведений о производственном цикле в латентное пространство признаков. Под латентным пространством в работе понимается математическая область, в которой параметры процесса представлены в виде скрытых, неявных зависимостей, извлеченных нейронной сетью из исходных данных. В состав формируемого вектора описания включаются такие характеристики, как размерные параметры продукции (например, толщина и ширина) и тип сырья, а также совокупность технико-экономических показателей, среди которых затраты на основные материалы, повторную переработку брака и другие статьи расходов.

Особенностью исследования является применение нейросетевого подхода к совмещению асинхронных данных. Поскольку сведения о заказе в системе учета представляют собой единичные транзакции, а параметры работы каландра зафиксированы в виде временных рядов, предложен метод обучения совместных представлений. Нейронная сеть на базе сверточных архитектур используется для извлечения информативных признаков из временных рядов работы оборудования (скорости валов, температурные значения) и их последующей проекции в единое латентное пространство с экономическими результатами заказа. Это позволяет установить нелинейные связи между динамикой работы линии и итоговой структурой затрат, которые невозможно выявить традиционными методами усреднения [1].

Апробация разработанных методов проведена на выборке данных информационной системы управления экструзионно-каландрового производства за период 2015–2016 гг. Результаты тестирования на массиве данных с производства показали, что смысловое сопоставление позволяет находить наиболее близкие примеры из прошлого опыта даже при неполном составе входных параметров [2].

**Литература:**

1. Фозилов М.М., Чистякова Т.Б., Полосин А.Н. Система поддержки принятия решений для ресурсосберегающего управления экструдерами в многоассортиментных производствах полимерных пленок // Информационные технологии в управлении. 2020. С. 59-62.

2. Lewis, P. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks / P. Lewis, E. Perez, A. Piktus [et al.] // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2020. – Vol. 33. – P. 9459–9474.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ML/DL ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕЗИНФОРМАЦИИ В НОВОСТНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

***Ковалёв С.А.*, *Ананченко И.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: serezha-kovalev-2004@mail.ru*

# UTILIZING MACHINE LEARNING AND DEEP LEARNING METHODS FOR DETECTING DISINFORMATION IN THE NEWS DOMAIN

***Kovalev S.A.*, *Ananchenko I.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Распространение фейковых новостей в социальных медиа достигло масштабов серьезной угрозы для общества. Особенно выделяются следующие типы дезинформации: визуальный (с использованием отредактированных изображений), пользовательский (распространение дезинформации фейковыми аккаунтами) и стилистический (имитация манеры авторитетных журналистов). Ручная проверка фактов неэффективна из-за огромных объемов данных, что обуславливает необходимость автоматизированных методов детекции [1]. Традиционные подходы машинного обучения (метод опорных векторов, наивный байесовский классификатор, случайный лес) в задаче бинарной классификации (фейк/правда) показывают точность 68-73 % на наборе данных LIAR, содержащем 12,8 тыс. политических заявлений, при этом алгоритм XGBoost достигает результата выше 75 % [2].

Современные методы можно разделить на три категории: контентные (лингвистические особенности текста), контекстные (поведение пользователей и распространение новостей) и гибридные, объединяющие оба подхода. Предобработка текста с выделением частей речи, количества слов и предложений существенно повышает качество классификации.

Наиболее перспективными признаются методы глубокого обучения, особенно архитектуры на основе трансформеров, такие как BERT, обеспечивающие глубокое контекстуальное понимание текста за счет двунаправленной обработки информации. Его упрощенная версия, DistilBERT, при сокращении параметров на 40 % сохраняет 97 % производительности базовой модели. На примере датасета LIAR, где новости распределяются по шести категориям достоверности (true, mostly-true, half-true, barely-true, false, pants-fire), комбинированные архитектуры на основе сверточных и рекуррентных нейронных сетей достигают точности до 44 %, что является высоким результатом для многоклассовой задачи [3].

Основными проблемами остаются интерпретируемость моделей, учет мультимодальных данных и раннее обнаружение фейков. Именно на их решении стоит сосредоточиться в будущих исследованиях.

**Литература:**

1. Manzoor S.I. et al. Fake news detection using machine learning approaches: A systematic review // 2019 3rd international conference on trends in electronics and informatics (ICOEI). – IEEE, 2019. – С. 230-234.

2. Khanam Z. et al. Fake news detection using machine learning approaches // IOP conference series: materials science and engineering. – IOP Publishing, 2021. – Т. 1099. – №. 1. – С. 012040.

3. Alghamdi J., Luo S., Lin Y. A comprehensive survey on machine learning approaches for fake news detection // Multimedia Tools and Applications. – 2024. – Т. 83. – №. 17. – С. 51009-51067.

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УРОВНЯ ГАЛЛЮЦИНАЦИЙ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ОТВЕТАХ НА АНГЛИЙСКОМ И НОРВЕЖСКОМ ЯЗЫКАХ

***Ковалёв С.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*
*e-mail: serezha-kovalev-2004@mail.ru*

# COMPARATIVE ANALYSIS OF HALLUCINATION RATES IN LLM WHEN RESPONDING IN ENGLISH AND NORWEGIAN

***Kovalev S.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Большие языковые модели (LLM) могут генерировать заведомо ложную информацию – это явление называют галлюцинациями. Большинство исследований в этой области проводятся на английском языке. Данных о качестве ответов на других языках меньше. Норвежский язык представляет интерес для сравнения с английским, поскольку объём обучающих данных для него существенно меньше.

Цель работы – на основе существующих исследований сравнить частоту галлюцинаций у LLM при ответах на английском и норвежском языках.

По результатам исследования, охватившего 30 языков, абсолютное количество галлюцинаций выше для английского языка из-за большей длины ответов, однако нормированный показатель ошибок не зависит от объёма данных на языке [1]. Анализ с использованием бенчмарка из 78 тысяч утверждений на 11 языках показал, что частота галлюцинаций связана с темой запроса и доступностью веб-ресурсов на конкретном языке [2].

При тестировании специализированных норвежских моделей был выявлен ряд проблем. На культурно-специфичном контенте они ошибались в 50 % случаев. К примеру, на вопрос о станции метро в Осло модель давала неверный ответ, тогда как международные модели справлялись с этим заданием. При обработке языка саами ошибки также достигали 50 %, несмотря на наличие этих данных в обучающей выборке. В целом, норвежские модели не превзошли международные аналоги [3]. Согласно техническому отчёту по разработке норвежских моделей, увеличение числа параметров не всегда ведёт к росту точности при ограниченном обучающем корпусе [4].

Таким образом, проблема галлюцинаций на норвежском языке проявляется в фактических ошибках и непонимании культурного контекста, причём разработка специализированных моделей сама по себе не решает проблему. Нормированный уровень галлюцинаций не зависит от того, сколько данных доступно на языке, вероятно, связано с переносом знаний с английского. Однако качество такого переноса сильно различается в зависимости от темы и контекста. Возможное решение – использование RAG с опорой на локальные норвежские источники.

**Литература:**

1. Obaid ul Islam, S., et al. (2025). How Much Do LLMs Hallucinate across Languages? arXiv:2502.12769v3.

2. Zhang, H., et al. (2025). Poly-FEVER: A Multilingual Fact Verification Benchmark. arXiv:2503.16541.

3. Boysen, A. (2026). Norway's Sovereign AI Models Fail Red Teaming Tests.

4. Gulla, J. A., et al. (2026). NorwAI's Large Language Models: Technical Report. arXiv:2601.03034.

# ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ХИМИИ НА ВСЕХ ЭТАПАХ ИССЛЕДОВАНИЙ

***Ковалева А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*
*e-mail: akov13.17@gmail.com*

**APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CHEMISTRY AT ALL STAGES OF RESEARCH**

***Kovaleva A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Искусственный интеллект (ИИ) меняет подходы к научным исследованиям в химии, предоставляя инструменты для анализа огромных массивов данных и выявления скрытых закономерностей, недоступных традиционным методам. Яркий пример – нейросеть AlphaFold, удостоенная Нобелевской премии 2024 года за решение многолетней проблемы предсказания 3D-структуры белков по последовательности аминокислот, что иллюстрирует потенциал в сложных многофакторных системах.

ИИ применяется на всех этапах химических исследований, от сбора данных до анализа и интерпретации [1]. Особое значение он приобретает при характеристике наноразмерных катализаторов, с помощью компьютерного зрения (например, моделей на базе YOLO или U-Net) определяются их размеры и позиции на подложке, а алгоритмы машинного обучения автоматически расшифровывают масс-спектры реакционных смесей высокого разрешения. В таких смесях фиксируется до тысяч соединений от побочных реакций, ручная обработка невозможна, но ИИ с процедурой деизотопирования (на базе CNN или Transformer-моделей) справляется эффективно и быстро.

Еще одно важное направление – изучение ионных соединений, которое выявляет корреляции между микродоменной самоорганизацией и макросвойствами материалов.

Ключевые вызовы касаются сбора качественных данных: реальных (из экспериментов) и синтетических (генерируемых моделями). В современных проектах их комбинируют через автоматизированный сбор для обучения моделей предсказания свойств веществ. Перспективы – переход от лабораторного синтеза к малотоннажному производству, где ИИ (через системы вроде reinforcement learning) объединяет химию, инженерию и учёт множества факторов: от энергозатрат до экологических ограничений, обеспечивая масштабируемость и устойчивость.

**Литература:**

1. Анаников, В.П. Классификация применения искусственного интеллекта в химии: от автоматизации к цифровому научному мышлению / В.П. Анаников // Аналитика. – 2025. – Т. 15, № 4. – С. 246-260.

# ФАКТОР ИНТЕРПРЕТИРУЕМОСТИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ В МОВА-АНАЛИТИКЕ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

***Александрова С.А., Коготков М.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: alexandrova_sophie@mail.ru, dsaw26283@gmail.com*

# ON THE ROLE OF INTERPRETABILITY IN SEQUENTIAL MODELING FOR REAL-TIME MOBA GAME

***Alexandrova S.A., Kogotkov M.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В задачах прогнозирования исходов матчей в жанре MOBA интерпретируемые модели демонстрируют ограниченную эффективность из-за неспособности учитывать временную динамику. Несмотря на то, что деревьев решений позволяют вычислять важность признаков, а методы пост объяснения (например, SHAP [1]) обеспечивают локальные и глобальные оценки вклада параметров, данные подходы оперируют статическим представлением данных. Для аналитиков и тренеров подобное ограничение является критическим, поскольку влияние игровых факторов (состав команд, состояние объектов инфраструктуры, экономическое преимущество) носит нелинейный характер и эволюционирует в ходе матча. Так, данные MOBA-игр характеризуются выраженной нестационарностью и этапностью (early/mid/late game), где значимость признаков контекстуально зависит от временного шага.

Рекуррентные нейронные сети, в частности LSTM [2], эффективно моделируют последовательные зависимости. Однако стандартные архитектуры LSTM характеризуются отсутствием внутренней прозрачности, что снижает уровень доверия к ним со стороны профессионального сообщества и затрудняет верификацию прогнозов.

Для преодоления указанного противоречия между точностью и объяснимостью в настоящей работе предлагается гибридный подход, сочетающий прогнозирующую способность LSTM с методом абляционного анализа.

Временное моделирование: архитектура обрабатывает многомерные последовательности игровых событий (динамика экономики, опыта, пространственные позиции), фиксируя контекст текущей стадии матча.

Интерпретация через абляцию: поочередное исключение групп входных признаков (абляционное исследование) позволяет количественно оценить вклад каждого компонента данных в итоговое решение модели.

Данный метод трансформирует модель из категории «черного ящика» в систему поддержки принятия решений. Она предоставляет не только вероятностную оценку исхода, но и идентификацию детерминант прогноза в реальном времени. Для тренерского штаба это означает возможность выявления критических уязвимостей или преимуществ команды на конкретной стадии матча.

**Литература:**

1. Lundberg S. M., Lee S.-I. A Unified Approach to Interpreting Model Predictions [Электронный ресурс] // Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2017). – 2017. – Vol. 30. – P. 4765–4774. – URL: https://proceedings.neurips.cc/paper/2017/file/8a20a8621978632d76c43dfd28b67767-Paper.pdf (дата обращения: 02.03.2026).

2. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory [Электронный ресурс] // Neural Computation. – 1997. – Vol. 9, No. 8. – P. 1735–1780. – URL: https://www.bioinf.jku.at/publications/older/2604.pdf (дата обращения: 02.03.2026).

# ОЦЕНКА ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ АЛГОРИТМА ИЗОЛЯЦИОННЫЙ ЛЕС

***Колосов М.А.*[1], *Киргизов В.В.*[2], *Донченко Д.В.*[2]**

*[1]Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий,*
*[2]Военный учебно-научный центр Военно-Морского Флота «Военно-Морская академия»*
*e-mail: maxim-saint@mail.ru*

**REPRODUCIBILITY ASSESSMENT OF THE ISOLATION FOREST ALGORITHM**

***Kolosov M.A.*[1], *Kirgizov V.V.*[2], *Donchenko D.V.*[2]**

*[1]Saint-Petersburg State Institute of Technology,*
*[2]Military Educational and Scientific Center of the Navy «Naval Academy»*

Известным недостатком алгоритма изоляционный лес в режиме обнаружения аномалий является неполная воспроизводимость. Если запустить алгоритм дважды на идентичных данных с разным начальным значением генератора случайных чисел (далее – разные запуски), то часть объектов реклассифицируется. К объектам, остающимся аномальными при разных запусках, далее применяется термин «устойчивые точки».

Выходные значения изоляционного леса в режиме поиска аномалий можно рассматривать как векторы, имеющие размер набора данных, с элементами, принимающие бинарные значения «аномально» - «нормально». При установленном уровне контаминации, эти векторы возможно рассматривать как кодовые слова кодов с постоянным весом. Весом $W$ называется количество элементов одного класса в кодовой комбинации. Применительно к рассматриваемому случаю весом возможно считать количество аномалий в выходном значении изоляционного леса.

Используя свойство четности абсолютного расстояния Хемминга $d_{abs}$ для кодов с постоянным весом [1], количество устойчивых точек в двух разных запусках алгоритма:

$$N_{sp} = W - \frac{d_{abs}}{2}$$

В качестве оценки воспроизводимости предлагается использовать 5-й перцентиль распределения количества устойчивых точек между попарными сравнениями различных запусков алгоритма, оцененный с помощью бутстрепа. Для строгости используется нижняя граница 95 % доверительного интервала. Оценка воспроизводимости будет иметь вид: в 95 % случаев доля устойчиво аномальных наблюдений будет не меньше, чем $N_{sp}/W$ всех аномалий при следующем запуске алгоритма с другим начальным значением генератора случайных чисел.

Согласно эмпирическому правилу [2], для устойчивой оценки перцентиля необходимо не менее 10-15 объектов в выборке, имеющих значение ниже этого перцентиля. Для 5-го перцентиля при 15 объектах, размер выборки должен составить 300 объектов. Для обеспечения 300 попарных сравнений достаточно 25 запусков алгоритма.

При 100 изоляционных деревьев, уровне контаминации в 5 % и 256 наблюдениях в подвыборке, для широкоиспользуемых в примерах наборах данных получены следующие оценки воспроизводимости: Adult Census Income – 0.815, Wine Quality – 0.825, House Prices – 0.753. То есть, в 95 % случаев свыше 75 % аномалий в этих наборах устойчиво в разных запусках при таких значениях гиперпараметров изоляционного леса.

**Литература:**

1. Hamming R. W. Error Detecting and Error Correcting Codes // Bell Syst. Tech. J. 1950. Т. 29, № 2. С. 147–160.

2. Chernic M.R. Bootstrap methods: A guide for practioners and researches. 2-е изд. NJ: Wiley, 2008. 369 с.

# ПРИМЕНИМОСТЬ ГОТОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФАЙЛОВ СЕМЕЙСТВА XML В ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ФОРМАТ В РАМКАХ СТАНДАРТА S-100

***Косолапов Г.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*
*e-mail: grigoriykosolapov@gmail.com*

# APPLICABILITY OF READY-MADE TOOLS FOR TRANSFORMING XML FILES INTO AN ONTOLOGICAL FORMAT WITHIN THE FRAMEWORK OF THE S-100 STANDARD

***Kosolapov G.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Морские системы мониторинга требуют интеграции разнородных данных из множества источников, что привело к необходимости унификации протоколов и создания стандартов, таких как S-100. Стандарт S-100, основанный на современных геопространственных стандартах ISO 19100, представляет собой универсальную модель гидрографических данных, которая обеспечивает синтаксическую совместимость между различными платформами [1].

В тоже время для достижения семантической интероперабельности, то есть обеспечения понимания смысла передаваемых данных, активно развиваются онтологические системы Применение онтологии позволяет создать метауровень над моделью данных S-100, позволяя компьютеру не просто хранить и передавать информацию, но и проводить её смысловую интерпретацию.

Существующие универсальные программные инструменты, например, такие как Ontomalizer и xdsToOwl, способные преобразовывать данные из XML-структур в онтологические представления, оказались неэффективными для стандартов семейства S-100. Хотя данные S-100 часто кодируются в GML (диалект XML) или HDF5, стандартные парсеры «слепы» к заложенной в S-100 общей модели пространственных объектов (General Feature Model). Они не распознают сложные связи, правила комплексирования атрибутов и семантические ограничения, специфичные для морской предметной области [2].

Поэтому в настоящее время отсутствуют специализированные инструменты, способные корректно интерпретировать семантику S-100 для автоматического построения полноценной предметной онтологии. Применение интеллектуальных алгоритмов преобразования моделей данных S-100 в онтологические структуры требует создания специализированных конверторов. Разработка таких инструментов позволит объединить точность стандартизированных описаний с возможностями семантического анализа, существенно сократить время и трудозатраты на создание онтологий и ускорить внедрение S-100 в смежные области.

**Литература:**

1. S100 project | IHO : официальный сайт. - URL: https://iho.int/en/s100-project (дата обращения: 27 февраля 2026).

2. Di Muri C. et al. Assessing semantic interoperability in environmental sciences: variety of approaches and semantic artefacts //Scientific Data. – 2024. – Т. 11. – №. 1. – С. 1055.

# РАЗВИТИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМАТОВ КАК ФУНДАМЕНТА СЕМАНТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

***Косолапов Г.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: grigoriykosolapov@gmail.com*

# DEVELOPMENT OF ONTOLOGICAL FORMATS AS A FOUNDATION OF SEMANTIC TECHNOLOGIES

***Kosolapov G.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Онтологии представляют собой ключевой инструмент современной информатики, обеспечивающий формальное описание и совместное использование знаний в различных предметных областях. В отличие от простых структур данных, онтология представляет собой формальную и явную спецификацию концептуализации, описывающую сущности предметной области, их атрибуты и логические взаимосвязи. Основная цель их развития – переход от простого обмена данными к обмену семантическим смыслом, что критически важно для обеспечения интероперабельности разнородных систем.

Историческое развитие онтологий в информатике началось в 1970–1980-х годах в рамках исследований по представлению знаний, когда стало ясно, что интеллект системы зависит от качества заложенных знаний. Ключевой вехой стали работы Томаса Грубера в 1990-х годах, который определил онтологию как «явное описание концептуализации» [1] и разработал язык Ontolingua для их машиночитаемого кодирования. Это привело к развитию Семантического веба, концепции Тима Бернерса-Ли [2], где машины могли бы «понимать» смысл информации.

Реализация Семантического веба потребовала стандартизации языков, что привело к разработке RDF (Resource Description Framework) и RDFS (RDF Schema) для представления данных в виде троек «субъект–предикат–объект» и описания классов с иерархиями. Для более богатых онтологических ограничений и логического вывода был разработан язык OWL (Web Ontology Language) и его развитие OWL 2, которые опираются на формальную логическую семантику. Современные онтологии включают классы, свойства (объектные и литеральные), индивиды, ограничения и аксиомы, а также иерархии, описанные в стандартах W3C.

Современный этап характеризуется интеграцией онтологических форматов с методами машинного обучения и большими языковыми моделями (LLM). Это позволяет автоматизировать процесс извлечения знаний (Ontology Learning), превращая онтологии из статических классификаторов в динамическую интеллектуальную оболочку информационных систем, способную к контекстному анализу и поддержке принятия решений в реальном времени.

**Литература:**

1. Gruber T.R. A translation approach to portable ontology specifications // Knowledge acquisition. – 1993. – Т. 5. – №. 2. – С. 199-220.

2. Berners-Lee T., Hendler J., Lassila O. The Semantic Web: A new form of Web content that is meaningful to computers will unleash a revolution of new possibilities // Linking the world’s information: essays on Tim Berners-Lee’s invention of the World Wide Web. – 2023. – С. 91-103.

# ТЕОРИЯ САМОДЕТЕРМИНАЦИИ КАК ОСНОВА ГЕЙМИФИЦИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ

***Литовченко А.С.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: litovchenko.a.s@yandex.ru*

# SELF-DETERMINATION THEORY AS A BASIS FOR A GAMIFIED LEARNING MANAGEMENT SYSTEM

***Litovchenko A.S.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Актуальность применения игровых механик в образовательном процессе обусловлена необходимостью формирования устойчивой внутренней мотивации у студентов. Внутренняя мотивация является ключевым фактором долгосрочного и продуктивного обучения. Традиционный бихевиористский подход, основанный на модели «стимул – реакция» [1] и использовании внешних наград неэффективен, поскольку не обеспечивает глубокой вовлеченности во время обучения и приводит к угасанию интереса. В таких системах студент очень скоро начинает воспринимать обучение лишь как способ получения формальных баллов.

В современной психологии эффективным решением этой проблемы выступает теория самодетерминации [2], предложенная Эдвардом Деси и Ричардом Райаном, которая рассматривает внутреннюю мотивацию как результат удовлетворения трех базовых потребностей человека: потребности в автономии, компетентности и связанности. Автономия предполагает наличие у учащегося права выбора и контроля над своими действиями, что превращает выполнение заданий из принудительного процесса в добровольный. Компетентность выражается в стремлении чувствовать уверенность в своих силах и видеть измеримые результаты приложенных усилий. Связанность подразумевает ощущение принадлежности к сообществу, в котором личные достижения находят поддержку и признание окружающих.

Внедрение данных принципов в геймификационную модель требует качественной трансформации игровых элементов из контролирующих стимулов в информационные инструменты. Вместо жесткого навязывания игровых сценариев система должна предоставлять студенту свободу выбора тем и темпа прохождения материала. Очки и уровни следует применять для визуализации прогресса и подтверждения роста мастерства, а не как самоцель. Особое внимание стоит уделить механизмам «мягких поощрений», где акцент смещается с агрессивной внешней конкуренции на соревнование с собственными прошлыми результатами. Соблюдение этих принципов в реализованной системе управления обучением позволяет поддерживать глубокую вовлеченность студентов в процесс обучения и минимизирует риск профессионального выгорания в образовательной среде.

**Литература:**

1. Чернова Юлия Александровна, Донина Ольга Ивановна, Кузнецов Никита Игоревич Дихотомия и альтернативность в эволюции основных классических теорий обучения – бихевиоризма, когнитивизма и конструктивизма // Проблемы современного педагогического образования. 2025. №86-4. С. 325–327.

2. Лабзова Ирина Юрьевна Теория самоопределения и её применение в зарубежной образовательной практике // Человек и образование. 2017. №3 (52). С. 152–156.

# ГЕЙМИФИКАЦИЯ В ЭЛЕКТРОННОМ ЖУРНАЛЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ УЧЕБНОЙ МОТИВАЦИИ СТУДЕНТОВ ВУЗА: МОДЕЛЬ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ

***Литовченко А.С.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*
*e-mail: litovchenko.a.s@yandex.ru*

**GAMIFICATION IN AN ELECTRONIC JOURNAL AS A TOOL FOR INCREASING THE ACADEMIC MOTIVATION OF UNIVERSITY STUDENTS: A MODEL AND EVALUATION OF EFFECTIVENESS**

***Litovchenko A.S.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Снижение учебной мотивации студентов вузов является актуальной психолого-педагогической проблемой. Для ее решения требуется разработка эффективных инструментов целенаправленного воздействия на мотивационные процессы обучающихся. Геймификация, определяемая как применение игровых элементов и механик в неигровых процессах, является одним из наиболее перспективных подходов для повышения мотивации и вовлеченности.

Исследование [1] показывает, что различные виды мотивации по-разному влияют на эффективность обучения. Внутренняя мотивация, основанная на познавательном интересе, достижениях и саморазвитии, положительно коррелирует с результатами обучения, тогда как внешняя мотивация может иметь более сложную динамику. На основе этих теоретических положений разработана модель геймификации, интегрированная в электронный журнал вуза и направленная на систематическое повышение внутренней мотивации студентов. Модель включает такие элементы, как очки опыта за своевременное выполнение заданий, бейджи за достижение определенных компетенций, таблицы лидеров для создания здоровой конкуренции и уровни, отражающие прогресс в обучении. Положительная динамика процесса обеспечивается с помощью визуализации прогресса и предоставления обратной связи в реальном времени, что соответствует ключевым факторам формирования мотивации, таким как компетентность и автономия.

Внедрение геймификации в структуру электронного журнала оказывает влияние на мотивационный профиль студентов. Однако долгосрочный эффект внедренной модели требует дальнейшего изучения и дополнительных исследований. Оценка эффективности такой модели должна опираться на эмпирические данные, полученные с помощью специализированных опросников [2].

**Литература:**

1. Дворецкая Т.А., Ахмадиева Л.Р. Динамика направленности учебной мотивации у студентов разных курсов в течение учебного года // Профессиональное образование в современном мире. 2018. Т. 8, № 2. С. 1924–1933.

2. Гордеева Т.О., Сычев О.А., Осин Е.Н. Опросник «Шкалы академической мотивации» // Психологический журнал. 2014. Т. 35, № 4. С. 96–107.

# ФАЗОАМПЛИТУДНАЯ СВЯЗЬ СИГНАЛОВ ИЗ АМПЛИТУД ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧЕК ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СОСТОЯНИЯХ ЖИВОГО ОБЪЕКТА

***Логачев Е.П.***

*Институт аналитического приборостроения Российской академии наук*

*e-mail: zhenya.logachev.94@mail.ru*

# PHASE-AMPLITUDE COUPLING OF SIGNALS FROM THE AMPLITUDES OF CHARACTERISTIC POINTS OF ELECTROCARDIOGRAPHIC SIGNALS IN DIFFERENT STATES OF A LIVING OBJECT

***Logachev E.P.***

*Institute for Analytical Instrumentation of the Russian Academy of Sciences*

Современная электрокардиография предполагает создание автоматизированных комплексов, внедряющих передовые методики диагностики патологий сердечно-сосудистой системы, предусматривающих регистрацию биоэлектрической активности в расширенных частотно-амплитудных диапазонах [1]. Программная реализация системы включает эргономичный интерфейс, а также визуализацию процессов детекции R-зубцов и фазоамплитудного анализа. Задача исследования заключается в определении фазоамплитудной связи между низко- и высокочастотными составляющими сигнала на основе амплитуд зубцов. Первоочередным этапом реализации алгоритма выступает детекция характерных точек.

Метод детекции R-пиков основан на анализе мгновенной частоты посредством преобразования Гильберта. После фильтрации Баттерворта 4-го порядка [2, 3] формируется аналитический сигнал для извлечения амплитудной огибающей и фазы; её дифференцирование даёт мгновенную частоту, которая корректируется от артефактов (замена выбросов 99-м процентилем), сглаживается окном Ханна и используется для адаптивного поиска экстремумов. После валидации пиков рассчитываются усреднённые RR-интервалы и частота сердечных сокращений (уд/мин).

Представление электрокардиограммы в виде comb-структуры является мощным методом цифровой обработки сигналов, где последовательность R-пиков моделируется как гребенчатая функция Дирака, а каждый зубец формируется импульсом с ядром, объединяющим периодичность по RR-интервалам, спектральное сглаживание и солитоноподобную огибающую, что позволяет точно описывать форму комплекса QRS. Конструируется интегральный сигнал, моделирующий амплитудную динамику в трех функциональных состояниях: норма, патология и восстановление. Производится декомпозиция на низкочастотную и высокочастотную компоненты методом фильтрации с нулевым фазовым сдвигом. Для высокочастотной составляющей оценивается мгновенная фаза, для низкочастотной — огибающая амплитуды. Индекс фазоамплитудной связи (MI) вычисляется как математическое ожидание величины, формируемой на основе амплитуды низкочастотной и фазы высокочастотной компонент, количественно отражая степень сопряжения медленной амплитудной модуляции и быстрой фазовой динамики.

**Литература:**

1. Новые методы электрокардиографии / под ред. С.В. Грачева, Г.Г. Иванова, А.Л. Сыркина. — М.: Техносфера, 2007. — 552 с.

2. Оппенгейм, А. Цифровая обработка сигналов. / А. Оппенгейм, Р. Шафер // М.: Техносфера, 2006. 856 с.

3. Основы цифровой обработки сигналов: учеб. пособие / В.Г. Коберниченко; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Урал.федер. ун-т. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та,2018. — 150 с

# ВЕРИФИКАЦИЯ СТУДЕНЧЕСКИХ РАБОТ НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТИВНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

***Логунова Т.В., Щербакова Л.В.***
*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*
*e-mail: shcherbakova_lv@voenmeh.ru*

**VERIFICATION OF STUDENT WORKS USING GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

***Logunova T.V., Shcherbakova L.V.***
*Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D.F. Ustinov*

Развитие технологий в области генерации материала с помощью искусственного интеллекта (ИИ) существенно повлияло на образовательный процесс. По итогам исследования компании «Антиплагиат», доля студенческих работ с признаками использования генеративного искусственного интеллекта в 2025 году достигла 24 %, что характеризует ежегодный прирост доли сгенерированного текста в трудах. При этом в действительности процент может быть существенно выше, ближе к 100 %.

Ключевые риски использования ИИ связаны не только с наличием ошибок при генерации ответов, но и с трудностью их распознавания. Ответы выглядят логично, содержат терминологию и часто сопровождаются правдоподобными, но неверными ссылками [1]. В результате снижается проверяемость работ и ухудшается формирование академических навыков: работа с источниками, аргументация, корректное цитирование.

Использование систем для поиска зависимостей также не всегда может выявить использование ИИ для генерации текста, особенно если при написании использовались один или несколько сторонних инструментов для перефразирования [2]. Также есть вероятность прохождения проверки по средствам использования модификации промптов.

Рассмотрим несколько критериев определения использования ИИ в проверяемом тексте: чрезмерная общность формулировок при отсутствии или недостатке деталей; отсутствие ограничений применимости (метод подан как универсальный); смешение терминов из разных предметных областей; ссылки без идентификаторов и проверяемого местоположения (страницы/раздела), а также некорректные ссылки; чрезмерное использование высокопарных фраз и слов; определенная стандартная структура составления предложений с множеством повторений, синтаксис в тексте (длинные тире); отсутствие оформления материала согласно нормативным требованиям. Эти признаки используются как триггеры для обязательной углубленной проверки текстовых документов.

Инструментом для проверки текстов на использование генеративного искусственного интеллекта могут служить и разработанные электронные ресурсы, позволяющие определять возможность написания материала человеком, однако, при этом есть вероятность ошибки. Необходима комплексная проверка, включающая участие сотрудника-эксперта для минимизации несоответствий.

**Литература:**

1. Kasneci E., Sessler K., Küchemann S. et al. ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. Learning and Individual Differences. 2023. №103.

2. Яковлев И.В., Салманова Д.А. Проблемы студенческих самостоятельных работ, написанных с использованием искусственного интеллекта // Известия ДГПУ. Психолого-педагогические науки. 2025. №3. С. 79-85.

# ОПИСАНИЕ МОДУЛЯ СЕМАНТИЧЕСКОГО АДМИНИСТРИРОВАНИЯ ДАННЫХ ПРИ ИМПОРТЕ ИЗ PDF-ДОКУМЕНТОВ СО СЛОЖНОЙ ВЁРСТКОЙ

***Мельников И.Д.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: chghmelnikoff@yandex.ru*

# DESCRIPTION OF A SEMANTIC DATA ADMINISTRATION MODULE FOR IMPORT FROM COMPLEX-LAYOUT PDF DOCUMENTS

***Melnikov I.D.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Ежегодный прирост PDF-документов в корпоративной среде огромен: в Google Drive ежедневно сохраняется 73 млн файлов, а в Outlook ежемесячно открывают свыше 2 млрд PDF. Формат является стандартом благодаря сохранности форматирования, но при автоматизации это оборачивается проблемами: файлы содержат смешанный контент и лишены структурной разметки [1]. В итоге данные часто переносят вручную, что ведет к ошибкам: около 12 % таблиц искажаются при ручном вводе [2].

В ходе исследования проведен анализ OCR-решений. Устаревший MODI непригоден для современных задач. Readiris уступает в точности на сложных документах. Бесплатный CUNEIFORM проигрывает коммерческим аналогам по качеству. ABBYY FineReader наиболее функционален (180+ языков), но его недостатки — высокая стоимость лицензий и закрытая архитектура, ограничивающая кастомизацию.

Альтернатива — сборка стека на открытых компонентах. Лучший результат дают гибридные архитектуры: сверточные нейросети (CNN) для выделения признаков символов и рекуррентные сети (LSTM) для контекстной коррекции. Исследования показывают, что детекторы YOLO демонстрируют наилучшие результаты: YOLOv8 достигает 91,1 % точности при обнаружении таблиц и 82,2 % — при разметке ячеек [2]. Tesseract (с версии 4.0) работает на LSTM-моделях, что повышает точность распознавания при предобработке OpenCV. Для документов со сложной верстской эффективен алгоритм кластеризации DBSCAN, группирующий текстовые блоки на основе пространственного распределения.

Практическая значимость — в обосновании архитектуры приложения для сбора и администрирования данных. Предлагается интеграция открытых компонентов в единый конвейер: OpenCV для предобработки, Tesseract для распознавания, YOLOv8 для разметки и DBSCAN для кластеризации. Гибридный подход, объединяющий компьютерное зрение и семантический анализ, обеспечивает обработку любых документов без настройки под шаблон, сокращая ручной труд и гарантируя целостность данных.

**Литература:**

1. Черноусов, В.О. Использование нейросетевых моделей и технологии OCR для автоматизированной обработки и анализа PDF-документов / В.О. Черноусов // Нанотехнологии: наука и производство. – 2025. – № 5. – С. 69-75. – EDN TIHBDD.

2. Крупкин, И.А. Применение компьютерного зрения для обнаружения и извлечения табличных данных из PDF-файлов / И.А. Крупкин, А.А. Лесив, Г.Б. Барская // Математическое и информационное моделирование: Материалы Всероссийской конференции молодых ученых, Тюмень, 18–20 мая 2023 года. Том Выпуск 21. – Тюмень: ТюмГУ-Press, 2023. – С. 50-55. – EDN QMLJBT.

# ОПИСАНИЕ МЕТОДОВ СЕМАНТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ, ИЗВЛЕЧЕННЫХ ИЗ PDF-ДОКУМЕНТОВ

***Мельников И.Д.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*
*e-mail: chghmelnikoff@yandex.ru*

## DESCRIPTION OF METHODS FOR SEMANTIC CLASSIFICATION OF UNSTRUCTURED DATA EXTRACTED FROM PDF DOCUMENTS

***Melnikov I.D.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Рост объема PDF-документов в корпоративной среде сопровождается не только проблемами распознавания, но и сложностями интерпретации полученных данных. Даже после применения OCR результатом остается неструктурированный набор текстовых фрагментов: компьютер выделяет строки и таблицы, но не понимает, где дата, сумма или наименование контрагента. Без решения этой задачи невозможна полная автоматизация ввода данных в учетные системы — около 12 % таблиц искажаются именно на этапе ручной интерпретации [1].

Проведен анализ методов семантической классификации текста. Подходы на регулярных выражениях эффективны только для формализованных документов и не работают с вариативной верстkой и опечатками после OCR. Методы на условных случайных полях (CRF) учитывают контекст, но требуют разработки признаков для каждого типа документов. Наилучшие результаты в извлечении именованных сущностей демонстрируют трансформеры семейства BERT: благодаря механизму самовнимания они учитывают двусторонний контекст токена. Для русскоязычных документов оптимальны предобученные версии RuBERT, достигающие F1-меры до 0,94 при извлечении организаций, дат, сумм и реквизитов [2].

Практическая значимость работы обеспечивается модулем семантического администрирования, встроенный в конвейер обработки PDF. Модуль на основе данных YOLOv8 и Tesseract выполняет коррекцию OCR-ошибок, семантическую классификацию текста (RuBERT) и формирует JSON для загрузки в БД. Модель, обученная на искаженной выборке, повышает точность классификации на реальных документах на 7–9 %.

Таким образом, гибридный подход, объединяющий компьютерное зрение для выделения элементов и трансформеры для смысловой интерпретации, позволяет обрабатывать документы произвольной верстки без настройки под шаблон, исключая ручной труд и гарантируя целостность данных [2].

**Литература:**

1. Крупкин, И.А. Применение компьютерного зрения для обнаружения и извлечения табличных данных из PDF-файлов / И.А. Крупкин, А.А. Лесив, Г.Б. Барская // Математическое и информационное моделирование: Материалы Всероссийской конференции молодых ученых, Тюмень, 18–20 мая 2023 года. Том Выпуск 21. – Тюмень: *ТюмГУ-Press, 2023. – С. 50-55. – EDN QMLJBT.*

2. Mashkanov, A.S. Automated extraction and structuring of menus from PDF files using machine learning and NLP techniques / A.S. Mashkanov, Zh. Akhayeva, A. Zakirova // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева. Серия: Технические науки и технологии. – 2025. – No. 4(153). – P. 257-267. – DOI 10.32523/2616-7263-2025-150-1-257-267. – EDN WKTNHS.

# ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ САЙТОВ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В ПОЛЕЗНУЮ ПРОДУКЦИЮ

***Новикова В.Н.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: novikova.tester@yandex.ru*

# FUNCTIONAL STRUCTURE OF A SOFTWARE COMPLEX FOR TESTING USER INTERFACES OF WASTE-TO-VALUE INDUSTRIAL WEBSITES

***Novikova V.N.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Актуальность разработки специализированного программного комплекса для тестирования пользовательских интерфейсов интернет-сайтов по переработке промышленных отходов обусловлена необходимостью обеспечения эргономичности, доступности и эффективности взаимодействия пользователей с цифровыми платформами в области экологии и ресурсосбережения [1].

Функциональная структура программного комплекса включает базу данных для хранения прототипов пользовательских интерфейсов, критериев оценки, результатов тестирования, модуль выбора критериев оценки пользовательского интерфейса и формирования сценариев тестирования, модуль оценки функциональности интерфейса, модуль оценки совместимости интерфейса, модуль оценки удобства использования (анализ гармонии цветов, видимости объектов, шрифтов, выравнивания, баланса, пространства между элементами, соблюдения пропорций и единства стиля), модуль визуализации результатов (протокола) тестирования, модуль редактирования базы данных, интерфейс специалиста по тестированию графических и пользовательских интерфейсов, интерфейс администратора.

Ключевым элементом программного комплекса является модуль имитации пользовательских действий для нагрузочного и регрессионного тестирования интерфейсов интернет-сайтов. Взаимодействие модулей программного комплекса обеспечивает сквозное тестирование пользовательских интерфейсов: от проверки соответствия интерфейса техническому заданию до оценки эргономики и времени отклика элементов.

Для разработки информационного обеспечения программного комплекса в качестве системы управления базами данных выбрана SQLite, что обусловлено её минимальными требованиями к развертыванию и сопровождению. SQLite обеспечивает надежное хранение тестовых данных и сценариев, поддерживает стандартные SQL-запросы и транзакции, а её кроссплатформенность гарантирует стабильную работу в различных операционных средах. Для разработки программного обеспечения комплекса использован язык программирования C# и среда разработки Microsoft Visual Studio. Отличительной особенностью программного комплекса является его интеграция с системами анализа данных и ML-алгоритмами для реализации предиктивной аналитики и интеллектуального управления процессами тестирования.

Тестирование программного комплекса, проведенное на примере тестирования пользовательских интерфейсов интернет-сайта Лаборатории мирового уровня СПбГТИ(ТУ) «Разработка комплекса технологий переработки отходов 3-5 классов опасности с получением полезных продуктов» подтвердило его работоспособность.

**Литература:**

1. ISO 9241-210:2019. Ergonomics of human-system interaction.

# ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ МОНИТОРИРИНГА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА КАК ИНСТРУМЕНТ ЗАЩИТЫ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ И ПОВЫШНЕНИЯ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ

***Палесика А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*
*e-mail: palesikaanna@gmail.com*

## USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO MONITOR AIR QUALITY AS A TOOL FOR PROTECTING PUBLIC HEALTH AND IMPROVING THE QUALITY OF LIFE

***Palesika A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Загрязнение воздуха – один из главных факторов риска для здоровья городского населения. Традиционные системы мониторинга фиксируют общую картину, но не могут предупредить человека об опасности в конкретном месте и времени. Искусственный интеллект (ИИ) способен изменить этот подход, сделав экологический мониторинг персонализированным и проактивным.

ИИ обрабатывает данные со спутников, датчиков и метеостанций в реальном времени, создавая гиперлокальные прогнозы загрязнения. На их основе мобильные приложения могут рекомендовать пользователю оптимальное время для прогулки или безопасный маршрут, позволяя избежать зон с высоким содержанием вредных веществ.

Наибольшую пользу технологии приносят астматикам, аллергикам, пожилым людям и детям. Системы на базе ИИ способны за несколько часов предупредить о росте концентрации PM2.5, озона или пыльцы. Это позволяет человеку вовремя принять меры: закрыть окна, сократить пребывание на улице или использовать лекарства, предотвращая ухудшение самочувствия.

Сочетание недорогих датчиков и облачных алгоритмов делает мониторинг доступным даже в регионах с ограниченными ресурсами. Современные платформы учитывают потребности людей с инвалидностью, предоставляя экологическую информацию в удобных форматах.

Анализ перемещений горожан и зон загрязнения помогает властям принимать решения: где высадить деревья, изменить транспортные потоки или ограничить движение. Это снижает нагрузку на здоровье миллионов людей на уровне городского планирования.

ИИ превращает экологический мониторинг из инструмента констатации фактов в систему повседневной заботы о здоровье. Персонализированные прогнозы, раннее предупреждение и учет потребностей уязвимых групп позволяют минимизировать вред от загрязненного воздуха и повысить качество жизни.

**Литература:**

1. Криницкий М.А. Методы машинного обучения в исследованиях океана и атмосферы / М.А. Криницкий, Н.Д. Тилинина, В.Ю. Резвов, А.И. Суслов, – Москва: ООО «Сам Полиграфист», 2024. – 170 с. – ISBN 978-5-00227-397-3.

# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЦЕН НА НЕДВИЖИМОСТЬ В РОССИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

***Панасюк В.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: lera.panasyuk.00@mail.ru*

# FORECASTING REAL ESTATE PRICES IN RUSSIA USING MACHINE LEARNING MODELS

***Panasyuk V.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Рынок недвижимости требует точных методов оценки стоимости жилья, так как от этого зависят решения покупателей, продавцов и инвесторов. Традиционные подходы часто неэффективны, поскольку опираются на ограниченный набор характеристик и не учитывают сложные взаимосвязи между факторами ценообразования [1]. Использование алгоритмов машинного обучения позволяет создать модель, которая предсказывает рыночную стоимость квартиры на основе её реальных характеристик и данных о местоположении.

На основе открытых данных о продажах в России за 2018–2021 годы (включающих площадь, этаж, регион, дату публикации) был обучен алгоритм градиентного бустинга XGBoost [2]. Этот метод последовательно исправляет ошибки предыдущих расчётов, что позволяет добиться высокой точности. Модель выявила, что ключевыми факторами цены являются общая площадь квартиры и регион расположения. Предложенный инструмент может использоваться риелторами и банками для объективной оценки недвижимости.

**Литература:**

1. Анализ рынка недвижимости России, 2025 год // Деловой профиль URL: https://delprof.ru/press-center/open-analytics/analiz-rynka-nedvizhimosti-rossii (дата обращения: 28.10.2025).

2. Жуков Глеб Андреевич, Михайлусь Владислав Евгеньевич, Осадчая Анастасия Викторовна Применение нейросетей и машинного обучения в прогнозировании экономических процессов // Индустриальная экономика. 2025. №4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-neyrosetey-i-mashinnogo-obucheniya-v-prognozirovanii-ekonomicheskih-protsessov (дата обращения: 30.10.2025).

# АЛГОРИТМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ FDM-ИЗДЕЛИЙ ПРИ ЭКСТРУЗИОННОЙ 3D-ПЕЧАТИ

***Перьков А.М.*, *Петров Д.Н.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*
*e-mail: perkov_am_2@mail.ru, diamond11187@gmail.com*

# ALGORITHM FOR INTELLIGENT DETECTION AND CLASSIFICATION OF DEFECTS IN FDM PRODUCTS DURING 3D EXTRUSION PRINTING

***Perkov A.M.*, *Petrov D.N.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

На текущем этапе развития аддитивных технологий экструзионная FDM-печать является одним из наиболее доступных и экономичных способов 3D-печати. В то же время при перенастройке аддитивной установки на новый материал и требования к качеству FDM-изделия возникает повышенный риск появления дефектов поверхности и геометрии изделия. Дефекты являются причиной больших материальных и временных издержек на производстве. Важно учитывать усложнение мониторинга процесса непосредственно инженером 3D-печати, так как основной цикл построения может длиться от нескольких часов до нескольких суток.

С целью сокращения временных и материальных затрат, а также повышения качества FDM-изделий внедряются системы автоматизированного мониторинга и управления с обратной связью [1]. Например, система OctoPrint, не позволяющая в режиме реального времени осуществлять многокритериальное обнаружение дефектов.

Поэтому разработка интеллектуальной системы обнаружения и классификации дефектов FDM-изделия на основе его сравнения с эталоном является актуальной и наукоемкой задачей.

Алгоритм интеллектуального анализа качества внешней геометрии и поверхности FDM-изделий построен на основе работы двух независимых нейронных сетей. Основному анализу предшествует процесс формирования 3D-эталона изготавливаемого FDM-изделия под определяемым углом видеокамеры и в соответствии с номером текущего накладываемого слоя. Далее в динамике обнаружение дефектов выполняется сиамской сверточной нейронной сетью, которая сравнивает состояние FDM-изделия в предыдущий момент времени с его текущим состоянием. В статике обнаружение и локализация дефектов внешней геометрии FDM-изделия производится нейронной сетью из семейства YOLO.

В итоге инженеру 3D-печати доступен графический интерфейс с видеорядом, дополненным данными о локализации дефектов, а также с перечнем дефектов, упорядоченных по их классам, сопровождающимся рекомендациями об их минимизации и/или устранении.

Тестирование интеллектуальной системы выполнено по экспериментальным данным печати FDM-изделий различных конфигураций из ABS, PLA, TPU на аддитивных установках кафедры САПРиУ – Tiertime UP! mini и HAGE 3Dp-A2. Получение видеоряда производится с использованием веб-камеры Logitech C270, установленной на неподвижный штатив. Результаты тестирования подтвердили работоспособность интеллектуальной системы при решении задачи обнаружения и классификации дефектов внешней геометрии и поверхности FDM-изделия.

**Литература:**

1. Измайлов Д.В. Анализ дефектов поверхности изделия при 3D-печати по их изображениям с использованием методов машинного обучения / Д.В. Измайлов, Д.А. Дрыгин, К.В. Ежова // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2020. – Т. 20, № 4. – С. 552-559.

# РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КОРМОВЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ

***Мусаев Ан.А., Полтавец Е.А.***
*Национальный исследовательский университет ИТМО*
*e-mail: amusayev1990@gmail.com*

# DEVELOPMENT OF A MONITORING SYSTEM FOR THE CONDITION OF FORAGE AGRICULTURAL LANDS USING TIME SERIES ANALYSIS OF VEGETATION INDICES

***Musayev A.A., Poltavets E.A.***
*ITMO University*

Состояние кормовых угодий критически важно для устойчивого животноводства и продовольственной безопасности. Традиционные наземные методы мониторинга трудо- и ресурсоемки, не обеспечивают оперативного контроля на крупных территориях. Существующие платформы часто не учитывают специфику кормовых агроценозов.

В исследовании предлагается для решения указанных проблем реализовать систему автоматизированного анализа данных дистанционного зондирования (ДЗЗ). Ключевую роль играют вегетационные индексы (NDVI, EVI), рассчитываемые по спутниковым снимкам. Анализ их временных рядов позволяет не только оценивать текущее состояние, но и прогнозировать деградацию, засуху или переувлажнение [1].

Исследование направлено на:

1. фильтрацию временных рядов индексов для устранения шумов (облачность, атмосферные искажения);
2. выделение фенологических параметров (начало вегетации, её длительность) из сезонных кривых для оценки многолетних трав;
3. применение методов машинного обучения для классификации состояния угодий и прогноза урожайности.

Предлагаемая система включает: автоматизированный сбор спутниковых данных, анализ многолетних трендов, выявление аномалий через сравнение с эталонными кривыми, генерацию карт и отчётов для управления кормовой базой.

Анализ подтвердил эффективность временных рядов вегетационных индексов в мониторинге кормовых угодий. Разработана архитектура специализированной системы, обеспечивающей раннее выявление деградации и оптимизацию кормопроизводства через проактивный анализ данных ДЗЗ.

**Литература:**

1. Барталев С.А., Лупян Е.А., Нечаев Д.А. Оценка состояния и продуктивности растительного покрова России на основе спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2021. – Т. 18. – № 5. – С. 321–335.

# АДАПТИВНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ ПРОГНОЗА РАЗЛИВА НЕФТИ АНСАМБЛЕВЫМ ФИЛЬТРОМ КАЛМАНА

***Савенков О.Г.*, *Большаков А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра систем автоматизированного проектирования и управления*

*e-mail: fm2amd@yandex.ru*

# ADAPTIVE OIL SPILL FORECAST UPDATE USING MONITORING DATA AND ENSEMBLE KALMAN FILTER

***Savenkov O.G.*, *Bolshakov A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Оперативное прогнозирование распространения нефтяного пятна является ключевым элементом поддержки решений при ликвидации аварийных разливов в акваториях портов и на континентальном шельфе. Точность прогноза ограничивается неопределенностью начальных условий, значений параметров нефтепродукта и метео-гидрологических полей, а также неполнотой наблюдений, поступающих с разнородных средств мониторинга. Во многих программных решениях прогноз формируется в момент обнаружения инцидента и далее не корректируется по мере поступления новых данных, что приводит к нарастанию ошибок в корректирующих воздействиях и снижению ценности прогноза для оперативных служб.

Рассматривается подход адаптивного уточнения прогноза на основе последовательной ассимиляции наблюдений. Состояние системы описывается вектором, включающим пространственные переменные пятна (координаты, площадь, толщину слоя), а также факторы внешней среды (ветер, течения, температура), определяющие перенос и деформацию загрязнения. Наблюдения могут поступать со спутниковых снимков, беспилотных аппаратов и гидрографических постов в виде оценок границы пятна и полей скорости. По мере обновления данных выполняется согласование модельного прогноза с измерениями, что позволяет поддерживать актуальную оценку состояния акватории для оперативного управления.

Для реализации описанной процедуры предлагается применять ансамблевый фильтр Калмана. На каждом временном шаге формируется ансамбль возможных состояний системы, который затем прогнозируется численной моделью переноса. По полученному ансамблю вычисляются средние значения и ковариации ошибок прогноза, затем выполняется шаг анализа. С учетом оператора наблюдений вычисляется матрица усиления Калмана и по инновации, т.е. разности между измеренными и модельными значениями в пространстве наблюдений, производится корректировка элементов ансамбля. Такой подход допускает нелинейные зависимости в наблюдениях и позволяет учитывать статистическую неопределенность как в параметрах модели, так и в данных мониторинга [1].

Адаптивная интеграция наблюдений уменьшает расхождение прогноза с фактическими данными и обеспечивает оценку степени неопределенности ключевых показателей, что важно при выборе тактики локализации и ликвидации источника загрязнения. Подход реализуется как модуль системы компьютерного моделирования для прогнозирования и анализа нештатных ситуаций при разливе нефти и нефтепродуктов. Апробацию полученных результатов планируется выполнить на базе экологической организации СПб ГКУ «ПИЛАРН».

**Литература:**

1. Шутяев, В.П. Методы усвоения данных наблюдений в задачах физики атмосферы и океана / В.П. Шутяев // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2019. – Т. 55, № 1. – С. 17-34. – DOI: 10.31857/S0002-351553117-34.

# РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА PHRED НА ДАННЫХ СЕКВЕНАТОРА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

***Сараев А.С.*, *Бородинов А.Г.*, *Манойлов В.В.*, *Петров А.И.***
*Институт аналитического приборостроения Российской академии наук*
*e-mail: alex.niispb@yandex.ru*

# DEVELOPMENT OF A PHRED QUALITY ASSESSMENT MODEL BASED ON DATA FROM A NEW GENERATION SEQUENCER

***Saraev A.S.*, *Borodinov A.G.*, *Manoilov V.V.*, *Petrov A.I.***
*Institute for Analytical Instrumentation of the Russian Academy of Sciences*

Оценка качества нуклеотидных оснований (Q‑score) является ключевым элементом контроля достоверности данных высокопроизводительного секвенирования (NGS) и непосредственно влияет на результаты последующего биоинформатического анализа. Современные приборы Illumina используют предрасчитанные lookup-таблицы для присвоения значений Phred [1]. Однако методология их построения исторически базируется на сравнении с «золотым стандартом» — данными Sanger-секвенирования и эталонными последовательностями (например, бактериофаг PhiX) [2]. Кроме того, самостоятельное воспроизведение такого расчета Phred затруднено в связи с невозможностью определения метрик, заложенных в зарубежных приборах.

Целью работы является разработка модели оценки качества Phred для секвенатора MiSeq, а также отечественного секвенатора «Нанофор СПС». В качестве входных данных использовались сигналы интенсивности флуоресценции, прошедшие процедуру фильтрации перекрестных помех (cross-talk). В ходе работ были применены различные модели машинного обучения, включая регрессионные, а также модель нечеткой логики (Fuzzy Logic) с экспертно заданными правилами вывода.

Показано, что модель нечеткой логики обеспечивает минимальное среднеквадратическое отклонение между прогнозируемыми и эмпирически оцениваемыми значениями Q-score и демонстрирует улучшение метрики RMSE на 15–20 % по сравнению с регрессионными и иными исследованными моделями машинного обучения на гетерогенных наборах данных. Дополнительными преимуществами разработанного подхода являются высокая интерпретируемость структуры правил и возможность адаптации параметров модели к специфике отдельных запусков и типов библиотек, что позволяет преодолеть ограничения жёстко фиксированных lookup-таблиц и обеспечивает более сопоставимую и стабильную оценку качества чтений между различными экспериментами.

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (№ 075-00444-25-00 от 26.12.2024).*

**Литература:**

1. Ewing B., Green P. Base-calling of automated sequencer traces using phred. II. Error probabilities. Genome Research. 1998.

2. Liu L., et al. Comparison of next-generation sequencing systems. Journal of Biomedicine and Biotechnology. 2012.

# ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И АДАПТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ В МИКРОСЕРВИСНЫХ АРХИТЕКТУРАХ

***Силантьев В.В.*, *Фенин М.М.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: v.v.silantev@mail.ru*

# PREDICTIVE MODELS AND ADAPTIVE LOAD BALANCING ALGORITHMS IN MICROSERVICE ARCHITECTURES

***Silantyev V.V.*, *Fenin M.M.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Применение методов машинного обучения (ML) для балансировки нагрузки и автоматического масштабирования backend-сервисов является актуальной задачей при проектировании адаптивных и отказоустойчивых архитектур, функционирующих в условиях стохастически изменяющейся пользовательской нагрузки.

Современные распределённые вычислительные среды, основанные на микросервисной архитектуре и облачных платформах, требуют имплементации методов, обеспечивающих прогнозирование пиковых значений нагрузки в режиме реального времени и динамическую адаптацию количества реплик сервисов для обеспечения требуемого уровня доступности и производительности [1].

В качестве основы прогнозирования используются модели временных рядов, такие как ARIMA и Prophet, а также методы глубокого обучения, включая рекуррентные нейронные сети (например, LSTM) и архитектуры на основе трансформеров. Входными данными для моделей служат ретроспективные временные ряды метрик использования ресурсов (загрузка CPU, потребление памяти, сетевой трафик, интенсивность запросов), на основе которых осуществляется прогнозирование будущей нагрузки.

Для принятия решений об автоматическом масштабировании применяются алгоритмы обучения с подкреплением, такие как Deep Q-Networks и Proximal Policy Optimization. Они позволяют агенту в процессе эксплуатации обучаться стратегиям масштабирования, оптимизируя целевые функции: латентность ответа, пропускную способность и стоимость потребления ресурсов.

Методы кластеризации (например, K-means, DBSCAN) применяются с целью анализа аномальных паттернов поведения и обнаружения неравномерности распределения нагрузки между сервисами или узлами кластера. Это позволяет более эффективно перераспределять запросы между инстансами и проводить упреждающее масштабирование.

Интеграция ML-моделей с системами оркестрации позволяет реализовать интеллектуальное управление ресурсами на основе предсказаний и событий в режиме реального времени.

Таким образом, применение методов машинного обучения в задачах балансировки нагрузки и автоматического масштабирования backend-сервисов обеспечивает повышение адаптивности, устойчивости и экономической эффективности информационных систем в условиях динамически изменяющейся нагрузки.

**Литература:**

1. Chawla K. Reinforcement Learning-Based Adaptive Load Balancing for Dynamic Cloud Environments [Электронный ресурс] – URL: https://arxiv.org/abs/2409.04896 (дата обращения: 27.02.2026).

# РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ УЧЕТА УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ ПО КАФЕДРЕ

***Александрова С.А., Простителько О.В., Сорокина В.С.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: Alexandrova_sophie@mail.ru, prostitenko@gmail.com, victoria-2004@yandex.ru*

## A DISTRIBUTION SYSTEM FOR ACCOUNTING FOR THE ACADEMIC LOAD OF THE DEPARTMENT

***Aleksandrova S.A., Prostitenko O.V., Sorokina V.S.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В современных условиях цифровизации образовательного процесса актуальной задачей является автоматизация административных процедур управления кафедрой, в частности, распределения учебной нагрузки преподавательского состава. Критической проблемой при ручном планировании является не только высокая трудоемкость и риск ошибок, но и существенная неравномерность распределения ресурсов. Субъективный подход диспетчера часто приводит к диспропорциям: у одних преподавателей формируется избыток академических часов, у других наблюдается недобор нормы. Аналогичная ситуация возникает с количеством студентов в учебных потоках, что напрямую влияет на объем внеаудиторной работы, сложность контроля знаний и объективность оценки труда.

Разработка подобной системы для распределения учебной нагрузки по кафедре требует комплексного подхода. Ядром разработанной системы является модуль импорта и парсинга исходных данных. Программный комплекс осуществляет загрузку файлов формата Excel, содержащих первичные сведения об учебных группах и дисциплинах. Реализован алгоритм предварительной обработки данных, позволяющий фильтровать информацию по признакам группы или дисциплины, а также исключать из основного потока обработки факультативные дисциплины, не влияющие на базовую нормативную нагрузку [1].

Для хранения структурированных данных спроектирована реляционная база данных, сущностями которой являются преподаватели, дисциплины и формы контроля. Между сущностями установлены связи, определяющие закрепление дисциплин за конкретными исполнителями с указанием вида выполняемой работы, такого как лекционные занятия, практические семинары, курсовое проектирование или контрольные работы. Интерфейс системы предусматривает возможность редактирования указанных связей и атрибутов сущностей в режиме реального времени.

Как перспектива развития данной концепции является ее внедрение в интеллектуальную экосистему управления образовательным процессом. Так данная система, сохраняя и оперируя данными прошлых лет, сможет прогнозировать дефицит кадров по определенным дисциплинам в будущих семестрах, анализируя тренды с помощью ИИ-инструментов.

**Литература:**

1. Сорокина, В.С. Разработка информационной системы для распределения учебной нагрузки / Ананченко И.В., Рогов А.Ю., Сорокина В.С. // Современная педагогика: Актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей II Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2025. – С. 29-32

# СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ РЕГРЕССИИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕСЯЧНЫХ ПРОДАЖ

***Степанова К.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: ksenya_stepanova2004@mail.ru*

# COMPARISON OF REGRESSION MODELS FOR FORECASTING MONTHLY SALES

***Stepanova K.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В современной экономике анализ временных рядов является неотъемлемым инструментом для управления ресурсами и минимизации рисков. Прогнозирование продаж позволяет выявлять тренды и сезонные паттерны, однако традиционные методы часто не учитывают нелинейные зависимости [1]. Применение машинного обучения повышает точность прогнозов в условиях изменяющейся рыночной среды.

В работе проведено сравнение двух алгоритмов на реальном датасете продаж. Гребневая регрессия моделирует зависимость целевой переменной через линейную функцию признаков с добавлением L2-регуляризации и является быстрым базовым алгоритмом, малоэффективным при выраженных нелинейных связях [2]. Случайный лес – ансамблевый метод на основе деревьев решений, обеспечивающий повышенную точность и устойчивость к шуму за счет усреднения результатов множества моделей [3]. Сравнение реализовано на Python с использованием библиотеки scikit-learn.

Для оценки производительности использовались метрики: коэффициент детерминации ($R^2$), среднеквадратическая ошибка (RMSE) и средняя абсолютная ошибка (MAE) [4]. На рассматриваемом датасете разница между моделями составила менее 1 %. Это указывает на преобладание линейных зависимостей в данных и отсутствие значимых нелинейных паттернов.

Анализ важности признаков показал, что ключевыми предикторами являются категория товара (30 %), количество единиц в заказе (18 %) и подкатегория продукта (~22 %), что согласуется с экономической логикой формирования чека.

Таким образом, для задач прогнозирования продаж с линейной структурой зависимостей использование гребневой регрессии является достаточным и вычислительно более эффективным решением. Применение ансамблевых методов целесообразно при наличии подтверждённых нелинейных взаимодействий или сложных сезонных паттернов, требующих моделирования высокой сложности.

**Литература**:

1. Зверовщикова Н.В., Мойко И.М., Шатов В.С. Анализ временных рядов и его применение в экономике и финансах // Аналитические и численные методы моделирования естественно-научных и социальных проблем (АЧМ− 2023): сб. ст. по материалам XVIII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Пенза, 2023). – Пенза: Изд-во ПГУ, 2023. – С. 165.

2. Френкель А.А. Использование методов гребневой регрессии при объединении прогнозов // Финансы: теория и практика. – 2018. – Т. 22. – №. 4. – С. 6-17.

3. Вишневский В.М., Леохин Ю.Л., Фатхулин Т.Д., Занегин А.В. Методы машинного обучения в решении задачи прогнозирования спроса на отдельные виды товаров // T-Comm. 2024. №10.

4. Альчаков В.В., Крамарь В.А. Оценка методов машинного обучения для прогнозирования сезонных временных рядов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2023. №2 (232).

# ПРИМЕНЕНИЕ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

***Сулейманов Т.О.*, *Мусаев А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*

*e-mail: slmtimur@mail.ru*

# APPLICATION OF ANT ALGORITHM FOR UAV ROUTE OPTIMIZATION

***Suleymanov T.O.*, *Musaev A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

С каждым годом роль воздушного патрулирования местности становится существеннее, особую важность приобрели такие задачи, как патрулирование государственных границ, выявление очагов возгорания в лесах, незаконных вырубок и свалок. Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в решении данных проблем стало повсеместным. Важным критерием эффективности воздушного патрулирования является время полётного задания, благодаря построению качественного маршрута полёта его можно минимизировать и уменьшить стоимость эксплуатации БПЛА [1]. Однако поиск оптимального маршрута среди большого количества путевых точек является сложной вычислительной задачей.

Построение маршрута отдельного БПЛА можно свести к классической задаче коммивояжера, являющейся NP-полной [2]. Было исследовано множество метаэвристических алгоритмов её решения, среди которых можно выделить алгоритм Ant Colony System (ACS), представленный в 1997 году [3, 4]. Он основан на модели поведения муравьёв, способных находить кратчайший маршрут от муравейника до источника пищи с помощью феромонной коммуникации. С момента выпуска статьи алгоритм претерпел множество модификаций и показал свою эффективность в решении задачи коммивояжера [5, 6]. В частности, он эффективен благодаря способности избегать преждевременной сходимости к локальным оптимумам.

Таким образом, алгоритм муравьиной колонии является перспективным инструментом в оптимизации маршрута БПЛА, позволяющим минимизировать временные и экономические затраты на их эксплуатацию.

**Литература:**

1. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Метод оптимизации построения маршрута движения группы беспилотных летательных аппаратов на основе выпуклой декомпозиции // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 3(84). С. 88–97.

2. Jünger M., Reinelt G., Rinaldi G. The traveling salesman problem // Handbooks in operations research and management science. – 1995. – Т. 7. – С. 225-330.

3. Rahman I., Mathieson L., Ahamed F. Comparative analysis of genetic algorithm, ant colony optimisation and particle swarm optimisation on the travelling salesman problem and the 0/1 knapsack problem // 2024 IEEE International Conference on Future Machine Learning and Data Science (FMLDS). – IEEE, 2024. – С. 429-434.

4. Dorigo M., Gambardella L. M. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem // IEEE Transactions on evolutionary computation. – 1997. – Т. 1. – №. 1. – С. 53-66.

5. Liu Y. et al. Pheromone-Focused Ant Colony Optimization algorithm for path planning // 2025 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). – IEEE, 2025. – С. 1420-1427.

6. Gomez O., Barán B. Reasons of ACO's Success in TSP // International Workshop on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence. – Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004. – С. 226-237.

# ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИИ-АГЕНТОВ ПРИ ПРОВЕРКЕ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ

***Фоминых П.А.***

*Национальный исследовательский университет ИТМО*

*e-mail: polina-online@mail.ru*

# PROSPECTS FOR THE USE OF AI AGENTS IN THE VERIFICATION OF FINAL QUALIFYING PAPERS

***Fominykh P.A.***

*ITMO University*

Проверка выпускных квалификационных работ (ВКР) является обязательной частью процедуры государственной итоговой аттестации (ГИА) обучающихся. Она включает нормоконтроль, анализ структуры исследования, оценку логической согласованности текста и проверку на объем заимствований. Процедура проверки требует значительных временных затрат со стороны научных руководителей и членов государственной экзаменационной комиссии. В связи с этим возрастает необходимость частичной автоматизации экспертных процедур.

В качестве инструмента автоматизации могут использоваться интеллектуальные агенты (ИИ-агенты) – программные системы, выполняющие анализ текста на основе заданных критериев. Их применение позволяет автоматизировать отдельные этапы проверки и выполнять их по заданным правилам.

Функции ИИ-агента распределяются по уровням проверки. Первый уровень связан с контролем соответствия установленным требованиям: проверяется объем работы, наличие обязательных разделов, корректность оформления ссылок и использование терминологии. Второй уровень включает анализ содержания с применением методов обработки естественного языка. На данном этапе осуществляется оценка логической связности текста, согласованности структурных элементов работы и соответствия заявленных целей полученным результатам исследования. С архитектурной точки зрения система может быть реализована в виде набора специализированных модулей, каждый из которых отвечает за отдельный этап анализа и взаимодействует с другими компонентами в составе единой системы. Один модуль осуществляет проверку структуры и соответствия требованиям, другой – семантический анализ текста, третий – формирование итогового отчета. Такая модульная организация позволяет адаптировать систему к требованиям конкретного учреждения и расширять ее функциональность без изменения общей логики работы [1].

Дополнительно ИИ-агенты могут формировать отчеты по результатам проверки и фиксировать типовые ошибки. Накопленные данные позволяют анализировать качество ВКР по направлению подготовки. При внедрении подобных систем важно обеспечивать объяснимость алгоритмов и критериев оценки. Итоговое решение должно оставаться за преподавателем. ИИ-агенты рассматриваются как вспомогательный инструмент, а не как замена экспертной проверки.

Таким образом, использование ИИ-агентов позволяет снизить нагрузку на преподавателей, сократить время технической проверки и обеспечить системный анализ качества выпускных работ.

**Литература:**

1. Никонов В.В Многоагентные системы, алгоритмы взаимодействия агентов / В.В. Никонов, К.К. Факалы//Вестник науки. – 2024. – Т.1, № 6 (75). – С.1500-1506.

# ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КРИЗИС ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

***Шевцова А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*
*e-mail: shevtsovaalexandra666@gmail.com*

# THE ENERGY CRISIS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

***Shevtsova A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Резкий рост спроса на искусственный интеллект привел к серьезной экологической проблеме: центры обработки данных, необходимые для работы ИИ, потребляют огромное количество электроэнергии. По оценкам экспертов, уже сегодня на них приходится от 1 % до 2 % мирового спроса на электроэнергию, что сопоставимо с влиянием авиационной отрасли. Однако с ростом популярности ИИ ситуация будет только ухудшаться, и уже к 2030 году доля центров обработки данных в глобальном энергопотреблении может достичь 21 %. Особенно тревожно выглядит углеродный след от работы ИИ, ведь обработка всего одного миллиона токенов приводит к выбросу такого же количества углекислого газа, как при поездке на автомобиле с бензиновым двигателем на расстояние от 8 до 32 километров. Кроме того, для охлаждения серверов требуется огромное количество воды, что создает дополнительную нагрузку на и без того истощенные водные ресурсы.

Однако существуют эффективные и экономически выгодные способы снизить энергопотребление центров обработки данных на 10-20 % без колоссальных капиталовложений. Первый подход заключается в ограничении энергопотребления процессоров: вместо работы на 100 % мощности их искусственно сдерживают на уровне 60-80 %, что снижает общее энергопотребление и температуру оборудования. Второй метод связан с оптимизацией обучения моделей: специальные инструменты позволяют предсказать уже после 20 % вычислений, что модель окажется неудачной, и отсеивают её, экономя до 80 % бесполезных вычислений. Третий подход использует интеллектуальное планирование задач: программное обеспечение автоматически переносит некритичные по времени вычисления на периоды, когда в энергосети больше «зеленой» энергии, или в другие географические регионы, что снижает углеродную интенсивность операций на 80-90 % [1].

Таким образом, для сохранения баланса между развитием технологий и защитой окружающей среды необходимо изменить подход к разработке ИИ. Следует перестать гнаться за гигантскими моделями любой ценой, внедрять энергоэффективное оборудование и использовать умные алгоритмы планирования задач. Это позволит продолжать технологический прогресс, но с минимальным ущербом для планеты.

**Литература:**

1. Castro, D. Rethinking Concerns About Al's Energy Use / D. Castro // Center for data innovation. – 2024. – Vol. 72. – P. 1-24.

# ПРОБЛЕМА «ЧЁРНОГО ЯЩИКА» И ДОВЕРИЯ РЕШЕНИЯМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

***Шевцова А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра системного анализа и информационных технологий*
*e-mail: shevtsovaalexandra666@gmail.com*

## THE PROBLEM OF THE BLACK BOX AND TRUST IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE SOLUTIONS

***Shevtsova A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Современный ИИ ставит диагнозы, одобряет кредиты и управляет автомобилями. Но есть проблема: даже создатели сложных нейросетей часто не могут объяснить, почему алгоритм принял то или иное решение. Это явление называют проблемой «черного ящика», и оно напрямую подрывает доверие к технологиям.

Главный ответ – развитие направления Explainable AI (XAI), то есть методов, позволяющих понять логику алгоритмов. Самые универсальные инструменты сегодня – LIME и SHAP. LIME создает упрощенную модель в окрестностях конкретного решения и показывает, какие факторы оказались решающими. Например, если ИИ отказал в кредите, LIME укажет, что главную роль сыграл низкий доход или плохая кредитная история. SHAP идет дальше и количественно оценивает вклад каждого признака: он не просто перечисляет факторы, а показывает, насколько сильно каждый из них повлиял на итоговый результат – будто раскладывает решение на математические составляющие. Эти методы работают с любыми нейросетями, даже самыми сложными. Кроме того, исследователи создают визуальные инструменты: карты значимости подсвечивают на изображении те области, на которые обращал внимание алгоритм при постановке диагноза, позволяя врачу проверить логику машины [1].

Однако у XAI есть обратная сторона. Объяснения часто слишком технические и непонятны простым людям, а если человек не понимает объяснение, доверия к ИИ не возникает, даже при наличии графиков и цифр. сложной модели иногда искажает реальную картину принятия решений. Внедрение таких методов требует дополнительных ресурсов, что не всегда оправданно в быстрых бизнес-процессах. Проблема «черного ящика» – это не только технический, но и человеческий вызов. Мало заглянуть внутрь нейросети, нужно сделать так, чтобы ее решения мог понять и проверить любой человек, независимо от знания математики.

**Литература:**

1. Karasinski, M. AI’s black box and the supremacy of standards / M. Karasinski, K. Candiotto // Filosofia Unisinos. – 2024. - Vol. 25. – P. 1-13.

# СЕКЦИЯ 15.

# ХИМИЧЕСКАЯ НАНОТЕХНОЛОГИЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ



# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ МАТРИЦЫ С ДОБАВКОЙ ДЕТОНАЦИОННЫХ НАНОАЛМАЗОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВИНИЛТРИЭТОКСИСИЛАНОМ

***Артемьева В.А.*[1,2], *Евдокимова Е.Н.*[2]**

[1]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химии и технологии синтетических биологически активных веществ,*

[2]*Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра — Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова*

*e-mail: veranikaartemeva@gmail.com*

**RESEARCH ON EPOXY-BASED COATINGS WITH THE ADDITION OF VINYLTRIETHOXYSILANE MODIFIED DETONATION NANODIAMONDS**

***Artemyeva V.A.*[1,2], *Evdokimova E.N.*[2]**

[1]*Saint-Petersburg State Technological Institute,*

[2]*Branch of the Federal State Budgetary Institution «B.P. Konstantinov St. Petersburg Institute of Nuclear Physics of the National Research Center» — I.V. Grebenshchikov Institute of Silicate Chemistry*

Увеличению гидрофобности и прочностных характеристик антикоррозионных покрытий может способствовать введение детонационных наноалмазов, модифицированных различными силанами [1].

Целью нашего исследования является оценка влияния включения добавки на основе ДНА модифицированных винилтриэтоксисиланом (ВТЭС) в состав эпоксидных и гибридных покрытий.

Синтез проводили в две стадии: сначала осуществляли гидролиз модификатора ВТЭС в смеси этанола и воды (80:20) при pH 3,5-4,5. Реакция проводилась при комнатной температуре при перемешивании в течение 30 минут. Затем к раствору добавляли измельченные ДНА в массовом соотношении 5:1 и перемешивали смесь при 65 °C в течение 4 часов. После окончания реакции ДНА-ВТЭС сушили при температуре 120 °C в течение 4 часов. Полученные частицы отделяли от раствора путем фильтрации под вакуумом на воронке Бюхнера, промывали ацетоном и дистиллированной водой и сушили при 120 °C в течение 12 часов [2]. Полученные частицы ДНА-ВТЭС были исследованы методом ИК-Фурье спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии, а также был проведён тест на дисперсию.

Частицы ДНА-ВТЭС были введены в состав циклоалифатической эпоксидной матрицы при 1, 3 и 5 мас. %. Состав с содержанием 3 мас. % ДНА-ВТЭС показал лучший угол смачивания (80 º) и физико-механические свойства. В состав ввели наполнители (слюда-мусковит, $TiO_2$) для улучшения свойств и сплошности покрытия. ДНА-ВТЭС и наполнители были введены в состав модифицированной кремнийорганическим лаком КО-830 эпоксидную смолу при 3 мас. %. В этом случае удалось добиться повышения краевого угла смачивания до 86 º.

Состав на основе циклоалифатической эпоксидной матрицы с содержанием ДНА-ВТЭС 3 мас. % и наполнителями был отправлен для изучения антикоррозионных свойств в условиях влажного тропического климата (СР Вьетнам).

**Литература:**

1. Konakanchi, A. Silane coupling agents – benevolent binders in composites / A. Konakanchi, R. K. Alla, V. Guduri // Trends in Biomaterials & Artificial Organs. – 2017. – № 3(31). – P. 108-113.

2. Hajiali, F. Silane functionalization of nanodiamond for polymer nanocomposites-effect of degree of silanization/ F. Hajiali, A. Shojaei // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2016. – V. 506. – P. 254-263.

# ТЕРМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДКЕРАМИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНО-СОЛЕВЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ НИТРАТОВ Zn И Cr

***Глухоедова М.А.*, *Евстропьев С.К.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов*

*e-mail: amonrud@yandex.ru*

# THERMAL EVOLUTION OF PRE-CERAMIC POLYMER-SALT COMPOSITES BASED ON Zn AND Cr NITRATES

***Glukhoedova M.A.*, *Evstropiev S.K.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Полимерный золь-гель синтез – простой недорогой метод, который используют для получения керамических материалов. В качестве прекурсоров для этого синтеза используют растворы солей металлов и растворимых органических полимеров [1]. Оптимизация химического состава исходной смеси полимера и солей может оказать влияние на процесс формирования, структуру и свойства керамических композитов.

В представленной работе была изучена термическая эволюция полимерно-солевых гелей с различным содержанием $Zn(NO_3)_2$ и $Cr(NO_3)_2$, полученных с использованием поливинилпирролидона (ПВП).

Полимерно-солевые композиты получали путем приготовления водных растворов ПВП и нитратов при соотношении Zn:Cr = 90:10 мольн.% (гель ZnCr10) и 80:20 мольн.% (гель ZnCr20). Полученные смеси выдерживали при температуре 70 °C до образования однородных полимерных гелей. Термическую эволюцию гелей изучали с помощью СТА при нагревании в воздушной атмосфере от комнатной температуры до 600 ºC.

Наблюдается существенная разница в поведении этих гелей в процессе термической эволюции. Небольшое уменьшение массы обоих образцов на начальном этапе объясняется удалением остаточной и адсорбированной воды. Нагрев > 110 °C может привести к частичному разложению нитрата цинка и образованию промежуточной фазы $Zn(NO_3)_2 \cdot 2Zn(OH)_2$. Около 200 °C наблюдаются сильные потери массы обоих гелей, сопровождающиеся экзотермическими эффектами, которые свидетельствуют, что на этом этапе термической эволюции происходит почти полное разложение ПВП и нитратов металлов. Гель ZnCr10 теряет 90 % массы. Дальнейший экзотермический процесс для ZnCr10 при 210-490 ºC с малой потерей веса связан с кристаллизацией частиц ZnO и формированием $ZnCr_2O_4$. Резкий экзотермический пик при 500-510°C связан с завершением процессов кристаллизации и разложением остаточных частей солей и органических веществ.

Экзотермический процесс, наблюдаемый при нагревании ZnCr20 до ~200 °C, протекает с меньшей потерей массы, чем у ZnCr10. Дальнейшее нагревание геля в диапазоне 200-380 °C приводит к потере массы и сильному экзотермическому эффекту при 380 °C, который связан с образованием кристаллов $ZnCr_2O_4$. Кристаллизация ZnO и разложение остатков органики в ZnCr20 происходят при 400-500 ºC.

Таким образом увеличение содержания $Cr(NO_3)_2$ в исходной смеси может обеспечить образование многочисленных наноразмерных зародышей $ZnCr_2O_4$, пространственно разделенных за счет одновременного образования газообразных продуктов разложения ПВП.

**Литература:**

1. Khomutinnikova L.L., et.al. Intensive singlet oxygen photogeneration and photocatalytic activity of Sn,Fe-doped ZnO-based composites // Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry. 2025. V. 462. P. 116254.

# ВЛИЯНИЕ РАСТВОРИТЕЛЯ НА МОРФОЛОГИЮ И ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ КРИСТАЛЛИЗОВАННЫХ ПЛЁНОК $SnO_2$, ПОЛУЧЕННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

***Кушакова А.И.*, *Качалов С.И.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра неорганической химии, кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов*

*e-mail: anastasia.kushakova@mail.ru*

# INFLUENCE OF SOLVENT ON MORPHOLOGY AND ELECTRO-OPTICAL PROPERTIES OF THIN CRYSTALLIZED $SnO_2$ FILMS OBTAINED BY SOL-GEL METHOD

***Kushakova A.I.*, *Kachalov S.I.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Тонкие плёнки диоксида олова ($SnO_2$) – перспективный материал для оптоэлектроники благодаря широкой запрещённой зоне (3,6–3,7 эВ), высокой прозрачности в видимом диапазоне, химической стабильности и возможности достижения низкого удельного поверхностного сопротивления. Особый интерес вызывают кристаллизованные плёнки, используемые как прозрачные электроды в солнечных элементах, сенсорах и дисплеях. Однако проблема баланса между прозрачностью и проводимостью ограничивает их применение. В работе сосредоточились на влиянии типа растворителя (этанол, изопропанол, бутанол-1) на морфологию, фазовый состав и свойства плёнок $SnO_2$, синтезированных золь-гель методом с добавлением $NH_4F$ как инициатора кристаллизации.

Цель – оптимизировать условия синтеза для получения плёнок с максимальной прозрачностью и минимальным сопротивлением. Золи готовили из $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ и $NH_4F$ в водно-спиртовых растворах. Эксперимент спроектирован по методу латинского квадрата 3×3 с варьированием растворителя, содержания фтора (5, 10, 15 ат.%) и числа слоёв (10, 15, 20). Плёнки наносили спин-коатингом на стеклянные подложки с термообработкой при 450 °C. Морфологию изучали оптической и сканирующей электронной микроскопией (СЭМ), фазовый состав – рентгеновской дифракцией в скользящем падении (GIXRD), прозрачность – УФ-видимой спектроскопией, сопротивление – четырёхзондовым методом.

Результаты показали, что тип растворителя определяет морфологию: в этаноле формируются мелкие и крупные изолированные кристаллы, в бутаноле-1 – равномерно распределённые кристаллы близкого размера, в изопропаноле – наиболее однородная структура. GIXRD выявил нанокристаллиты $SnO_2$ (размер ОКР 1,6–4,9 нм) и β-Sn (ОКР ~40 нм), с наибольшим размером $SnO_2$ (3–5 нм) в изопропаноле. Фтор не входит в решётку $SnO_2$, действуя как инициатор нуклеации. Прозрачность варьируется от 78 до 95 %: максимум (93–95 %) в этаноле и бутаноле-1, минимум (78–84 %) в изопропаноле. Сопротивление от ~$3 \cdot 10^9$ до >$10^{12}$ Ω/□, минимальное в изопропаноле ($3 \cdot 10^9$ Ω/□ при 20 слоях и 10 ат.% F). Статистический анализ подтвердил значимое влияние растворителя (95 %) на оба параметра.

В заключение, оптимальные свойства (прозрачность 84 %, сопротивление ~$10^9$ Ω/□) достигаются в изопропаноле при 10 ат.% F и 20 слоях. Полученные плёнки перспективны для сенсоров и солнечных элементов.

# ТЕРМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ СПЕКАНИИ ТВЕРДОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА, МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОГО НАСЛАИВАНИЯ

***Румянцев Н.И.*, *Бодалёв И.С.*, *Ханжиева М.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники*

*e-mail: nikivarum8777@gmail.com*

## THERMAL EFFECTS DURING SINTERING OF A HARD ALLOY BASED ON TUNGSTEN CARBIDE MODIFIED BY MOLECULAR LAYER DEPOSITION

***Rumyantsev N.I.*, *Bodalyov I.S.*, *Khanzhieva M.A.***

*Saint Petersburg State Institute of Technology*

Работа посвящена изучению влияния ванадийоксидных структур, синтезированных на поверхности порошка карбида вольфрама методом молекулярного наслаивания (МН), на тепловые эффекты при спекании твердого сплава.

Порошок карбида вольфрама был модифицирован 5 циклами молекулярного наслаивания оксида ванадия (примерно 0,1 % масс. ванадия) в качестве ингибитора роста зерна и смешан с кобальтом (10 % масс.) и пластификатором (полиэтиленгликоль, 2,2 % масс.). Для получения сравнительной базы были также приготовлены две смеси: одна – без введения ингибитора роста зерна, вторая – с механически внесенным ингибитором (карбидом ванадия в количестве 1 % масс.).

Термогравиметрический анализ и дифференциальную сканирующую калориметрию полученных смесей проводили в атмосфере аргона со скоростью нагрева образцов, равной 10 °С в минуту, в диапазоне температур от 21 до 1400 °С.

На ДСК образцов явно выражены 4 эндотермических эффекта. Первый, в диапазоне температур от 20 до 100 °С, присутствует на ДСК всех образцов и соответствует испарению адсорбированной образцами влаги.

Второй эффект, в диапазоне температур от 300 до 400 °С, связан с разложением и испарением пластификатора из образцов.

В диапазоне температур от 760 до 890 °С у всех образцов отмечается эндотермический эффект на ДСК, сопровождающийся падением массы, отнесенный к восстановлению оксида вольфрама (VI). Падение массы в связи с этим процессом у образцов с молекулярным наслаиванием больше в сравнении с остальными образцами. Возможно, это связано с каталитической активностью синтезированных на поверхности порошка оксидных структур в процессе окисления карбида вольфрама. После 1000 °С восстановление оксида вольфрама полностью завершается и не оказывает влияния на дальнейший процесс спекания образцов.

В высокотемпературной области (от 1350 до 1380 °С) на ДСК всех образцов наблюдается эндотермический пик, не сопровождающийся падением массы и соответствующий началу плавления системы. Относительно образца на основе исходного порошка максимум образца с МН почти не смещен, тогда как максимум образца с механическим введением соединений ванадия смещен в более низкотемпературную область и уширен, а также имеет меньшую интенсивность. Уширение диапазона плавления системы теоретически может привести к аномальному росту зерна в областях с более низкой температурой плавления.

Таким образом, внесение ингибитора роста зерна методом МН в сравнении с механическим внесением не оказывает негативного влияния на процесс спекания карбида вольфрама.

*Синтез и химический анализ модифицированного карбида вольфрама были выполнены в ИЦТМН СПбГТИ(ТУ).*

# СИНТЕЗ НАНОПОКРЫТИЙ $ZrO_2$ НА ПОВЕРХНОСТИ ПЛАСТИН α-$Al_2O_3$ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОГО НАСЛАИВАНИЯ

***Синило Д.А.**, Кусов В.Е., Захарова Н.В.*

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники*

*e-mail: sinilodanil.1@mail.ru*

# SYNTHESIS OF $ZrO_2$ NANOCOATINGS ON α-$Al_2O_3$ SUBSTRATE SURFACES BY ATOMIC LAYER DEPOSITION

***Sinilo D.A.**, Kusov V.E., Zakharova N.V.*

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В настоящее время диоксид циркония ($ZrO_2$) является одним из востребованных материалов для различных областей, включая каталитические процессы, оптику, газовую сенсорику и микроэлектронику благодаря сочетанию выраженных электрофизических свойств, высокой химической и термической стабильности. В условиях миниатюризации и повышения функциональности устройств актуальной задачей является получение тонких $ZrO_2$-покрытий с заданными характеристиками. Метод молекулярного наслаивания (МН) относится к числу наиболее перспективных подходов к формированию подобных покрытий поскольку обеспечивает возможность контролируемого послойного роста с атомарной точностью [1-3].

Цирконийоксидные структуры на поверхности пластин из поликристаллического α-$Al_2O_3$ формировали методом молекулярного наслаивания в проточно-вакуумной установке путем многократной попеременной обработки подложки парами трет-бутоксида циркония (IV) и $H_2O$ (120 циклов) с промежуточным удалением непрореагировавших веществ и газообразных продуктов реакции согласно уравнениям (1) и (2):

$$n(\equiv Al-OH) + Zr(O-t\text{Bu})_4 \rightarrow (\equiv Al-O-)_n Zr(O-t\text{Bu})_{4-n} + n(t\text{Bu}-OH), \quad (1)$$

$$(\equiv Al-O-)_n Zr(O-t\text{Bu})_{4-n} + (4-n)H_2O \rightarrow (\equiv Al-O-)_n Zr(OH)_{4-n} + (4-n)(t\text{Bu}-OH). \quad (2)$$

В результате синтеза была получена система $Al_2O_3$-$ZrO_2$ и проведен рентгенофлуоресцентный анализ, по результатам которого расчетное содержание диоксида циркония в образце составило 0,26 %. Такое низкое содержание может быть связано с особенностями механизма роста слоя при использовании объемного органического прекурсора, ограничивающего плотность прививки активных центров на поверхности. Полученные результаты свидетельствуют о формировании тонкого цирконийоксидного слоя и указывают на необходимость дальнейшего исследования влияния числа циклов МН на содержание $ZrO_2$ и характеристики покрытия в целом.

**Литература:**

1. Enhanced oxygen sensing in $ZrO_2$ thin films via atomic layer deposition by post-deposition annealing / C.B. Martinez, J.L.V. Arce, A.K.C. Gallegos, H. Tiznado // Ceramics International. – 2025. – Vol. 51, No 7. – P. 9464–9471.

2. Морфология поверхности различных матриц с цирконийоксидными покрытиями, синтезированными путем попеременной обработки поверхности парами трет-бутоксида циркония(IV) и воды / А.В. Москалев, В.В. Антипов, А.С. Ципанова, А.А. Малыгин // ЖОХ. – 2024. – Т. 94, № 1. – С. 122–135.

3. Малыгин, А.А. Структурно-размерные эффекты и их применение в системах «ядро-нанооболочка», синтезированных методом молекулярного наслаивания / А.А. Малыгин, А.А. Малков, Е.А. Соснов // Известия академии наук. Серия химическая. – 2017. – № 11. – С. 1939–1962.

# СЕКЦИЯ 16.

# БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ



# ПРИМЕНЕНИЕ $CuSO_4$ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СМАЧИВАЕМОСТИ ГИДРОФОБНЫХ КОМПОНЕНТОВ ОТХОДОВ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ПОЛИГОНАХ

***Александров С.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра инженерной защиты окружающей среды*
*e-mail: wannabe8881234@gmail.com*

# APPLICATION OF $CuSO_4$ TO INCREASE THE WETTABILITY OF HYDROPHOBIC COMPONENTS OF WASTE IN ORDER TO REDUCE THE ENVIRONMENTAL BURDEN ON LANDFILLS

***Alexandrov S.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Проблема загрязнения окружающей среды промышленными отходами усугубляется присутствием на полигонах гидрофобных материалов (полимеры, синтетические упаковки, нефтешламы), препятствующих равномерному увлажнению массива отходов. Это приводит к неконтролируемому разложению, образованию токсичного фильтрата и биогаза, что негативно влияет на качество жизни населения [1, 2].

В качестве решения предлагается использование водных растворов сульфата меди ($CuSO_4$). Экспериментально подтверждено, что Cu-содержащие составы обладают повышенной проникающей способностью и обеспечивают снижение расхода жидкости до 30 % за счет улучшения смачивания сложных пористых сред. Орошение отходов слабым раствором $CuSO_4$ (концентрацией 0,4–1,6 г/л) позволит снизить поверхностное натяжение воды и обеспечить эффективное смачивание гидрофобных компонентов [3].

Улучшение смачивания будет способствовать равномерному распределению влаги в теле полигона, снижению рисков самовозгорания и пыления токсичных частиц. Это уменьшит экологическую нагрузку на прилегающие территории и создаст условия для снижения социально-экономических издержек, связанных с ухудшением здоровья населения и деградацией имущества в зонах размещения отходов [4].

**Литература:**

1. Проценко Т.В. Математическая модель обоснования необходимости и разработки методики повышения результативности тушения масштабных пожаров // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России». 2025. №. 4. С. 131-142.

2. Фёдоров Ю.И., Лапшин А.В. Роль ионов металлов в ингибировании цепных окислительных реакций // Журнал физической химии. – 1995. – Т. 69, № 4. – С. 712-718.

3. Patent EP 2742979 A1 EUROPEAN PATENT APPLICATION, A62D 1/06. FIRE EXTINGUISHING COMPOSITION OF COPPER SALTS: №12823642.2: заявл.04.08.2012: опубл. 18.06.2014 / Tao Ji, Tao Wei.

4. Пацук Сергей Владимирович, Клавдиев Александр Александрович, Куренной Антон Николаевич ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ТОРФА // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2022. №1 (11). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-sposoby-tusheniya-pozharov-torfa (дата обращения: 08.12.2025).

# ПРИМЕНЕНИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ДУРНОПАХНУЩИХ ГАЗОВ НА ПОЛИГОНАХ ТВЁРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

***Александров С.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра инженерной защиты окружающей среды*
*e-mail: wannabe8881234@gmail.com*

## APPLICATION OF ULTRAVIOLET RADIATION FOR THE NEUTRALIZATION OF MALODOROUS GASES AT MSW LANDFILLS

***Alexandrov S.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В процессе эксплуатации полигонов твёрдых коммунальных отходов (ТКО) образуются многокомпонентные смеси дурнопахнущих веществ, включающие сероводород, меркаптаны, аммиак, ароматические углеводороды (бензол, толуол, ксилолы) и сернистые соединения. Данные вещества оказывают негативное воздействие на нервную, дыхательную и иммунную системы человека, вызывают раздражение слизистых и психоэмоциональное напряжение [1].

Эмиссия дурнопахнущих веществ на полигонах ТКО является существенным фактором, влияющим на класс опасности отходов и качество жизни населения прилегающих территорий [1]. Традиционные методы борьбы с запахами включают химическую дезодорацию, однако инновационным направлением является применение ультрафиолетового облучения приземного воздушного слоя на полигоне.

В диссертационном исследовании Сай А.Р. предложен и экспериментально апробирован инновационный способ дезодорации дурнопахнущих веществ, заключающийся в ультрафиолетовом облучении приземного воздушного слоя на полигоне. Экспертным органолептическим методом установлен факт существенной минимизации дурнопахнущих запахов при использовании данного способа [1]. Результаты экспертной оценки подтвердили эффективность ультрафиолетового облучения для снижения интенсивности запаха в 5-ти экспериментальных емкостях с участием 10 экспертов [1].

Принцип действия метода основан на фотокаталитическом окислении: под воздействием УФ-излучения происходит разрушение молекулярных связей дурнопахнущих соединений, включая сероводород, меркаптаны и летучие органические соединения, с последующим окислением до безопасных веществ (углекислый газ и вода). Интеграция УФ-установок в системы вентиляции и дегазации полигонов позволяет нейтрализовать дурнопахнущие вещества на начальных стадиях эмиссии, когда их концентрация максимальна.

**Литература:**

1. Сай А.Р. Методика обеспечения пожарной безопасности полигонов твердых коммунальных отходов - источников горючих углеводородов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 2.10.1. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022. — 25 с.

# ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ЧАСТИЦАМИ PM НА УЧАСТКЕ ДОРОГИ

***Барыльник И.Н.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра инженерной защиты окружающей среды*

*e-mail: inna.barilnik@yandex.ru*

## ASSESSMENT OF THE LEVEL OF PM AIR POLLUTION ON A ROAD SECTION

***Barylnik I.N.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Интенсивность движения определялась методом визуального подсчёта всех типов транспортных средств в час пик на участке Московского проспекта (от Загородного проспекта до Обводного канала). Полученные результаты представлены в таблице.

**Таблица – Результаты подсчёта транспортных средств.**

| Участок | Число полос | Время | Интенсивность движения автомобилей, авт/ч | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Л | ЛГ | Г | ГД | А | Всего |
| Московский проспект | 4 | 17:00-18:00 | 3137 | 392 | - | - | 83 | 3612 |

Интенсивность потока на исследуемом участке составила 3612 транспортных средств в час, что свидетельствует о высокой загруженности городской магистрали.

Для оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха использовались прогнозные фоновые значения концентраций взвешенных частиц ($PM_{10}$ = 17 мкг/м³, $PM_{2.5}$ = 10 мкг/м³), эмиссионный фактор, скорость ветра и эффективная высота рассеивания. Ориентировочная оценка дополнительного вклада транспорта выполнена с использованием упрощённой модели линейного источника, основанной на гауссовском подходе [1]. Итоговая концентрация вблизи проезжей части определяется по формуле:

$$C_{итог} = C_{фон} + \Delta C_{трафик}$$

Таким образом, расчёт показал, что дополнительный вклад транспортного потока в концентрацию $PM_{2.5}$ составил 36 мкг/м³ (итоговая 46 мкг/м³), для $PM_{10}$ – 90 мкг/м³ (итоговая – 107 мкг/м³). Полученные значения превышают рекомендованные уровни Всемирной организации здравоохранения, что свидетельствует о существенном влиянии автотранспорта на формирование уровней загрязнения вблизи магистралей [2].

**Литература:**

1. Куценко С.Ю., Фёдоров В.В. Оценка влияния автомобильного транспорта на загрязнение атмосферного воздуха в городах // Экология урбанизированных территорий. — 2016. — № 2. — С. 34–39.

2. Загрязнение атмосферного воздуха (воздуха вне помещений) и здоровье человека [Электронный ресурс] / Всемирная организация здравоохранения // Официальный сайт ВОЗ. — 2024. — URL: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health (дата обращения: 01.03.2026).

# ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПАРКОВОК В ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКЕ

***Кокунько И.Н., Витоль П.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра инженерного проектирования*

*e-mail: i.kokunko@yandex.ru*

# URBAN PLANNING ASPECTS OF SAFETY IN THE ORGANIZATION OF PARKING IN RESIDENTIAL DEVELOPMENTS

***Kokunko I.N., Vitol P.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Высокий уровень автомобилизации в крупных городах привел к острому дефициту парковочного пространства в зонах жилой застройки. С позиций безопасности жизнедеятельности эта проблема создает комплексные угрозы: рост дорожно-транспортного травматизма, блокирование проездов пожарной техники, ухудшение экологической обстановки и повышение социальной напряженности.

Цель работы – разработка научно обоснованного комплекса мероприятий по совершенствованию организации парковочного пространства, направленного на минимизацию рисков для жизни и здоровья населения в условиях плотной городской застройки.

Исследование выполнено на примере жилого комплекса «Философия» в г. Санкт-Петербурге. Применялись методы натурного обследования, инструментальных замеров (ширина проездов, уровень загрязнения воздуха), анализа нормативно-правовой документации (СП 113.13330.2023, Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 № 1479, СанПиН) и социологического опроса жителей.

Установлено, что проектное количество парковочных мест (724) соответствует устаревшим нормативам, однако фактическая потребность, рассчитанная по реальному уровню автомобилизации (400 машин на 1000 жителей), составляет около 1550 мест. Дефицит достигает 800-900 машино-мест (более 50 %). Выявлены следующие угрозы безопасности жизнедеятельности:

– ширина внутридворовых проездов в ночное время сокращается до 2,8-3,0 м при норме 3,5 м для проезда пожарной техники;

– стихийная парковка на тротуарах вынуждает пешеходов выходить на проезжую часть, создавая риск наездов;

– зафиксировано превышение ПДК оксида углерода в 1,5-2 раза в зонах стихийной парковки;

– 89,5 % жителей не удовлетворены парковочной ситуацией, 42 % отмечают регулярные конфликты из-за мест.

Разработанный комплекс мероприятий включает два уровня:

1. Первоочередные меры: инвентаризация и освобождение пожарных проездов, установка пешеходных ограждений и искусственных неровностей, запрет стоянки с работающим двигателем.

2. Системные решения: переразметка парковки под углом 45-60 ° (увеличение емкости на 10-15 %), внедрение интеллектуальных систем мониторинга свободных мест, организация мест для МГН (не менее 10 %), стимулирование альтернативной мобильности (каршеринг, велопарковки).

Реализация предложенных мероприятий позволит снизить риск дорожно-транспортного травматизма на 40-50 %, обеспечить беспрепятственный проезд пожарной техники, уменьшить выбросы загрязняющих веществ на 20-25 % и снизить социальную напряженность. Предложенный подход может быть тиражирован на другие жилые комплексы и включен в программы капитального ремонта как обязательный раздел по обеспечению безопасности жизнедеятельности.

# КОНТРОЛЬ БЕЗОПАСНОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ: СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ

***Галеев Э.С.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра инженерного проектирования*

*e-mail: negaleeveldar@gmail.com*

## SAFETY CONTROL OF METAL STRUCTURES: MODERN METHODS

***Galeev E.S.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Одним из перспективных направлений обеспечения безопасности является внедрение цифровых технологий BIM-моделирования, позволяющих проводить комплексный анализ несущей способности конструкции на стадии проектирования [1]. Особое внимание уделяется интеллектуальным системам мониторинга, устанавливаемым на готовых конструкциях [2]. Датчики деформации, температурные сенсоры и системы контроля коррозии в режиме реального времени передают, что позволяет своевременно выявлять потенциальные угрозы безопасности. Оценка риска аварии может быть рассчитана по формуле:

$$R = P \times (D + C)$$

где R – общий риск аварии,
P – вероятность возникновения неблагоприятного воздействия,
D – степень дефектности конструкции,
C – коэффициент внешних воздействий.

**Таблица – Сравнение методов контроля безопасности металлоконструкций.**

| Метод контроля | Точность, % | Время диагностики | Стоимость, усл. ед. |
|---|---|---|---|
| Визуальный осмотр | 65-70 | 2-3 дня | 10 |
| Ультразвуковой контроль | 85-90 | 1 день | 25 |
| Системы статического мониторинга | 90-95 | непрерывно | 50 |
| Интеллектуальные системы с ИИ | 95-98 | непрерывно | 75 |

Современные интеллектуальные системы мониторинга с использованием искусственного интеллекта обеспечивают не только высокую точность контроля (см. таблицу), но и возможность оперативного реагирования на потенциальные угрозы безопасности.

Нанотехнологии в области защитных покрытий позволяют увеличить срок службы конструкций на 25-30 %, что напрямую влияет на безопасность эксплуатации.

**Литература:**

1. Прогнозирование надежности строительных конструкций / И.Н. Кокунько, И.А. Капралова, К.В. Маштакова, А.О. Бондарь // Научная весна - 2016: Материалы: Научное электронное издание, Шахты, 20 мая 2016 года. – Шахты: Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) Донского государственного технического университета в г. Шахты, 2016. – С. 204-209. – EDN XBESKX.

2. Васильев А.П. Безопасность металлических конструкций в современном строительстве / А.П. Васильев, С.В. Петров. – Москва: Стройиздат, 2024. – 320 с. – ISBN 978-5-98124-765-3.

# РАЗРАБОТКА ВИБРОЗАЩИТНОЙ ПЕРЧАТКИ С КОМБИНИРОВАННЫМИ УПРУГОДЕМПФИРУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ ПО СЛУХУ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ

***Денисова В.Н.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра инженерной защиты окружающей среды*

*e-mail*: *vikdennik17@yandex.ru*

# DESIGN A VIBRATION PROTECTION GLOVE WITH COMBINED ELASTIC ELEMENTS FOR HEARING-IMPAIRED PEOPLE USING A PNEUMATIC TOOL

***Denisova V.N.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Актуальность работы обусловлена высоким профессиональным риском развития вибрационной болезни у работников, использующих пневматический инструмент. Особую категорию риска составляют лица с нарушениями слуха, для которых тактильная чувствительность является критическим каналом восприятия информации при контроле инструмента и коммуникации [1; 2].

Разработана конструкция перчатки на основе комбинированных упругодемпфирующих элементов (УДЭ) с нелинейной характеристикой [3]. Методология базируется на зонированном подходе к защите с использованием многослойных материалов: внешний износостойкий слой; основной демпфирующий слой (сетчатый силиконовый эластомер с микросферами вязкоупругого геля); адаптивный слой из пенополиуретана с эффектом памяти формы (резонансная настройка 16–500 Гц); внутренний гигроскопичный трикотаж. Защита дифференцирована на три зоны: A — ладонь (до 8 мм); B — тыльная сторона (3–4 мм); C — подушечки пальцев (1.5–2 мм с перфорацией для сохранения тактильности).

Расчетная эффективность средств индивидуальной защиты (СИЗ) показывает коэффициент виброгашения в критическом диапазоне частот (31,5–250 Гц) не менее 12–18 дБ, что соответствует требованиям ГОСТ 12.4.002-97. Для эталонного пневмоинструмента (модель ИП-4110) прогнозируется снижение виброускорения со 127,6 дБ до ~110–115 дБ, приближая условия труда к допустимым показателям. Благодаря зонированию и перфорации, расчетное сохранение тактильной чувствительности оценивается на уровне не менее 70 %, что критически важно для глухонемых работников при управлении инструментом и использовании жестовой речи [2].

Предложенная конструкция виброзащитной перчатки с нелинейными УДЭ позволяет разрешить противоречие между эффективным гашением вибрации и сохранением сенсорных функций кисти [1; 3]. Дальнейшие исследования предполагают натурные испытания опытных образцов.

**Литература:**

1. Федеральный закон от 28.12.2013 № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» (ред. от 24.07.2023).

2. Jonsson, P. Anti-vibration gloves - in theory and practice / P. Jonsson, K. Kuklane, I. Balogh // Arbeteochhälsa. – 2016. – Vol. 49, No. 5. – P. 1–31.

3. Degan, G.A. Possible differences in the performances of vibration-reducing gloves when used with hammers of different sizes / G.A. Degan, A. Antonucci, G. Coltrinari, D. Lippiello // Heliyon. – 2024. – Vol. 10, No. 22. – e39945. – DOI 10.1016/j.heliyon.2024.e39945.

# К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

***Кокунько И.Н., Ежевчук М.Д., Смирнова В.В.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра инженерного проектирования*
*e-mail: i.kokunko@yandex.ru*

**TO THE QUESTION OF ENSURING THE SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT**

***Kokunko I.N., Yezhevchuk M.D., Smirnova V.V.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В результате проведенного натурного обследования городской многоэтажной застройки в г. Пскове разработан двухуровневый комплекс мероприятий, направленных на минимизацию рисков и приведение среды в соответствие с требованиями безопасности жизнедеятельности.

**Таблица – Комплексная реабилитация помещений общего пользования и придомовых территорий жилых зданий.**

| Направление | Нормативное основание / Мероприятия |
|---|---|
| **Уровень 1. Первоочередные меры (ликвидация критических рисков)** | |
| Обеспечение травмобезопасности конструкций | СП 59.13330.2020, ГОСТ Р 51261 / Ремонт ступеней (противоскользящие накладки), поручни, ремонт крылец, пандусы. Механическая безопасность конструкций [1] |
| Приведение путей эвакуации в пожаробезопасное состояние | СП 1.13130.2020, Правила противопожарного режима РФ /Демонтаж посторонних элементов, очистка лестничных клеток от горючих материалов, огнезащита чердаков |
| Нормализация освещения и электробезопасность | СП 52.13330.2016 /Замена светильников на светодиодные с защитным стеклом. Установка дополнительных светильников. Ревизия электропроводки, замена автоматов, установка УЗО |
| Санитарная очистка и гигиена территории | СанПиН 2.1.3684-21 / Ликвидация несанкционированных свалок. Установка урн. Организация регулярной уборки и противогололедной обработки в зимний период. |
| **Уровень 2. Перспективные меры (повышение уровня защищенности)** | |
| Антитеррористическая защищенность и контроль доступа | ФЗ-35/ Установка домофонов с электромагнитными замками. Монтаж системы видеонаблюдения. Установка металлических дверей в подвалы и чердаки |
| Обеспечение безопасности дорожного движения | ГОСТ Р 52605-2006, ПДД РФ / Установка искусственных неровностей на въездах во двор. Выделение пешеходных зон. Установка зеркал обзора на поворотах. |
| Информирование и обучение жителей | Приказ МЧС № 1120 /Размещение на информационных стендах планов эвакуации, номеров экстренных служб. Проведение инструктажей и действиях при ЧС |

**Литература:**

1. Кокунько, И.Н. Анализ технического состояния жилищного фонда по степени износа / И.Н. Кокунько, А.Л. Жилина, В.А. Кужелева // Научная весна – 2018: Строительство и техносферная безопасность: сборник научных трудов / Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) Донского государственного технического университета в г. Шахты. – Шахты: ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты, 2019. – С. 213–219. – EDN PFAMBK.

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ЖИДКОСТЯМИ

***Емельянова А.Н.*, *Сорокин И.А.*, *Степынин Д.В.***

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева»*

*e-mail: anna.nik.00@yandex.ru, igor_40in@mail.ru, dmitry.st.1967@gmail.com*

# ENSURING FIRE SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES WHEN HANDLING LIQUIDS

***Emelyanova A.N.*, *Sorokin I.A.*, *Stepynin D.V.***

*Saint-Petersburg University of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia*

Обеспечение пожарной безопасности современного промышленного производства является приоритетной задачей ввиду высокой вероятности возникновения аварийных ситуаций и инцидентов. Ключевым фактором, определяющим развитие пожара на подобных объектах, является поведение жидкости при нагреве, где интенсивность испарения и массовая скорость выгорания выступают важными составляющими для поддержания процессов горения.

Одними из наиболее распространенных и опасных жидкостей являются легковоспламеняющиеся жидкости. Для испытаний был выбран растворитель марки 646, с использованием которого были проведены исследования по влиянию углеродных наноразмерных структур (далее – УНС) [1] на массовую скорость выгорания жидкостей. Полученные результаты, представленные на рисунке, можно объяснить влиянием УНС на интенсивность испарения вследствие изменения поверхностного натяжения жидкости [2], что способствует изменению скорости испарения и массовой скорости выгорания.

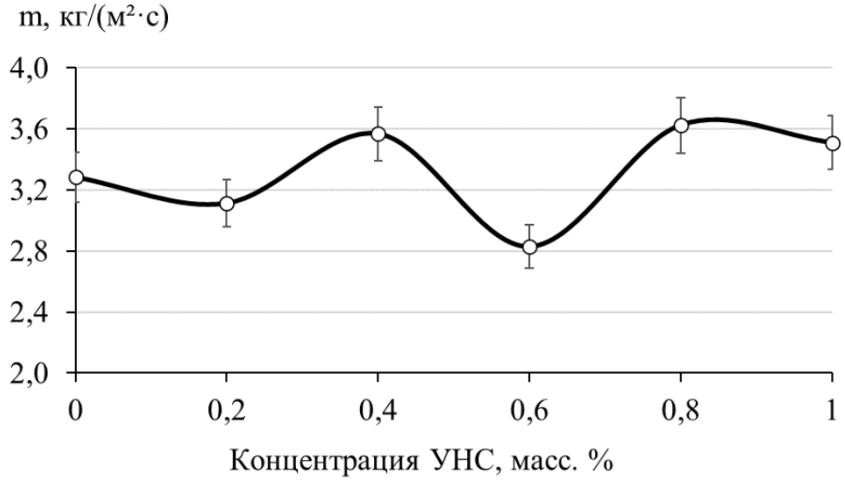



**Рисунок – Массовая скорость выгорания растворителя в условиях воздействия УНС.**

Таким образом, управление интенсивностью испарения и учет ее взаимосвязи с массовой скоростью выгорания выступают ключевыми факторами предотвращения пожаров и минимизации их последствий.

**Литература:**

1. Shah, N. Hydrogen production by catalytic decomposition of methane / N. Shah, D. Panjala, G.P. Huffman // Energy and Fuels. - 2001. - Vol. 15, No. 6. - P. 1528-1534. - DOI 10.1021/ef0101964.

2. Tanvir, S. Surface tension of Nanofluid-type fuels containing suspended nanomaterials / S. Tanvir, Li. Qiao // Nanoscale Research Letters. - 2012.- Vol. 7, No. 1. - P. 1-10. - DOI 10.1186/1556-276x-7-226.

# ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ КАТИОНИТОВ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ ЛЕСОСЕЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

***Далидович В.В., Григорьева Л.В., Карагачева Е.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химии и технологии материалов и изделий сорбционной техники*

*e-mail: dalidovich.vera@mail.ru*

**PRODUCTION OF CARBON CATIONITES FROM WOOD WASTE FROM LOGGING INDUSTRIES**

***Dalidovich V.V., Grigoryeva L.V., Karagacheva E.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Возможность использования разнообразных промышленных отходов в качестве сырья позволяет решить многие экологические проблемы. Развитие производства активных углей и катионитов из древесины с использованием метода фосфорилирования до недавнего времени сдерживалось высокой стоимостью фосфорной кислоты. Расширение объемов и необходимость утилизации отходов деревопереработки, а также разработка способов извлечения и повторного многократного использования активатора в производстве существенно повысили применимость данного метода. Известен способ получения фосфорнокислых катионитов (ФК) методом кислотной и кислотно-солевой активации из опилок [1].

В продолжение данных исследований были получены ФК из лесосечных отходов (ЛО) с добавлением лигнина (Л) кислотной активацией. В качестве активатора использовалась ортофосфорная кислота $H_3PO_4$ 40 % (масс. доли). Были оптимизированы технологические параметры получения ФК из смеси лесосечных отходов и лигнина: соотношение ЛО и Л составляло 3:2, смеси отходов и активатора 1:1,5, длительность и температура смешения 60 минут при 90 °С, таблетирование при давлении 15Мпа, термоотверждение в течение 3 часов при температуре 150 °С, отмывка водой и повторная сушка в течение 2 часов при температуре 130 °С.

Результаты исследования свойств ФК (полная ПОЕ и рабочая РОЕ обменная емкость, поглотительная способность по катионам металлов А, предельный объем сорбционного пространства по парам бензола $W_S$, суммарный объем пор $V_\Sigma$, прочность на истирание П) представлены в таблице.

**Таблица – Свойства фосфорнокислых катионитов.**

| Сорбент | Активатор | ПОЕ по NaOH | РОЕ по NaCl | РОЕ по $CaCl_2$ | $A_{Cu2+}$ | $A_{Fe3+}$ | $A_{Co2+}$ | $W_S$ | $V_\Sigma$ | П, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | мг-экв/г | | | | | | $см^3/г$ | | |
| ФК | $H_3PO_4$ | 4,80 | 1,60 | 0,90 | 2,4 | 1,72 | 1,21 | 0,14 | 1,70 | 40 |
| СМ-1 | Олеум $H_2SO_4$ | 3,90 | - | 0,40 | 1,4 | 1,01 | - | 0,10 | 1,00 | 24 |

**Литература:**

1. Петрова К.А. Возможность получения фосфорнокислых катионитов из хвои путем совмещения методов кислотной и солевой активации / К.А. Петрова // Материалы программы XXXI Менделеевской школы-конференции молодых ученых, 12—14 мая 2021 года, Москва. – Москва: Издательство «Перо», 2021. - С.117. – ISBN 978-5-00189-158-1.

# ВЛИЯНИЕ СПОСОБА МЕХАНО-ХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ КАТИОНИТОВ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ ЛЕСОСЕЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

***Далидович В.В., Григорьева Л.В., Карагачева Е.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химии и технологии материалов и изделий сорбционной техники*

*e-mail: dalidovich.vera@mail.ru*

# THE EFFECT OF THE METHOD OF MECHANOCHEMICAL ACTIVATION ON THE PROPERTIES OF CARBON CATIONITES FROM WOOD WASTE FROM LOGGING INDUSTRIES

***Dalidovich V.V., Grigoryeva L.V., Karagacheva E.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Создание сорбентов из возобновляемых растительных отходов, таких как палая листва, хвоя, опилки, методом фосфорнокислотной активации позволяет решить многие экологические проблемы и расширить сырьевую базу для их получения на основе новых нетрадиционных источников. Одним из таких видов сорбентов, обладающих высокими сорбционными и ионообменными свойствами, являются фосфорнокислые катиониты (ФК), синтезированные путем кислотной активации из опилок и лигнина (Л) [1].

Аналогичным методом были получены ФК из древесных лесосечных отходов (ДЛО) и лигнина кислотной активацией. Для этого использовалась в качестве активатора ортофосфорная кислота $H_3PO_4$ 40 % (масс. доли). С целью определения влияния способа механо-химической активации на ионообменные и поверхностные свойства катионитов применялся метод измельчения в шаровой барабанной мельнице (ШБМ) и размол с использованием лезвийного дезинтегратора. Измельчение материала проводили до получения фракции не более 1 мм. Дальнейшим таблетированием при давлении 15 МПа были получены ФК (соотношение ДЛО и лигнина 3:2, твердых отходов и активатора 1:1,5) с последующим их термоотверждением в течение 3 часов при температуре 150 °С, которые затем подвергались отмывке и повторной сушке в течение 2 часов при температуре 130 °С.

Результаты исследования свойств ФК (полная ПОЕ и статическая СОЕ обменная емкость; количество функциональных групп: КК - карбоксильных, КН - карбонильных, ГК - гидроксильных, определенных по методу Боэма) представлены в таблице.

**Таблица – Свойства фосфорнокислых катионитов из древесных отходов и лигнина.**

| Сорбент | ПОЕ по NaOH | СОЕ по NaCl | СОЕ по $CaCl_2$ | Количество функциональных групп | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | КК | КН | ГН | Общее |
| | мг-экв/г | | | | | | |
| $ФК_{ШБМ}$ | 4,80 | 1,60 | 0,90 | 1,70 | 1,30 | 1,80 | 4,80 |
| $ФК_{дезинтеграция}$ | 3,91 | 1,50 | 0,30 | 1,50 | 1,20 | 0,90 | 3,60 |

**Литература:**

1. Далидович, В.В. Фосфорнокислые катиониты из неиспользуемых отходов лесопромышленного комплекса / В.В. Далидович, Л.В. Григорьева // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). - 2018. - № 47(73). - С.117 -120.

# ПОЛУЧЕНИЕ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ ИЗ КОСТОЧЕК ПЛОДОВ И СКОРЛУПЫ ОРЕХОВ МЕТОДОМ ПАРОГАЗОВОЙ АКТИВАЦИИ

***Соловей В.Н., Кашубаро С.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химии и технологии материалов и изделий сорбционной техники*

*e-mail: sima.k2003@yandex.ru*

## OBTAINING ACTIVATED CARBON FROM FRUIT PITS AND NUT SHELLS BY STEAM-GAS ACTIVATION

***Solovei V.N., Kashubaro S.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Активные угли (АУ) на основе возобновляемого растительного сырья являются перспективными адсорбентами для применения в очистки газовоздушных сред и жидких сред. Сырьем для получения АУ выступают отходы переработки сельскохозяйственной продукции, в том числе и косточки фрутовых плодов, скорлупа орехов.

Целью работы являлось получение методом парогазовой активации (ПГА) и сравнительное исследование свойств, полученных АУ из скорлупы грецкого и лесного орехов, а также косточек абрикоса и черешни. Карбонизацию дробленных образцов проводили при 500 °С в токе азота в течение 1 ч. Парогазовую активацию осуществляли при 800 °С в среде перегретого водяного пара в течение 1 ч. Параметры пористой структуры образцов и их адсорбционная активность представлены в таблице.

**Таблица – Параметры пористой структуры образцов, полученных из разных видов сырья методом парогазовой активации.**

| Образец | $V_{ми,}^{эф}$, см$^3$/г | $V_{ME}$, см$^3$/г | $V_{MA}$, см$^3$/г | Адсорбционная активность | | Удельная поверхность, м$^2$/г |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | по йоду, % | по МГ, мг/г | |
| Скорлупа грецкого ореха | 0,34 | 0,16 | 0,63 | 95 | 116 | 974 |
| Скорлупа лесного ореха | 0,30 | 0,17 | 0,55 | 87 | 128 | 1034 |
| Косточки абрикоса | 0,26 | 0,08 | 0,24 | 77 | 55 | 396 |
| Косточки черешни | 0,30 | 0,10 | 0,22 | 85 | 62 | 821 |

Установлено, что образцы из скорлупы орехов характеризуются наибольшими значениями эффективного объема микропор $V_{ми,}^{эф}$ (0,30 – 0,34) см³/г и удельной поверхностью (974 – 1034) м²/г по сравнению с углями из косточек плодов. Высокие значения адсорбционной активности по метиленовому голубому (116 – 128) мг/г также свидетельствуют о наличии более развитой мезопористости $V_{ME}$, следствием которой является улучшение осветляющей способности углей, как и более высокие значения адсорбционной активности по йоду (87 – 95) %, характеризующей объем микропор. Транспортная пористость $V_{MA}$ углей из скорлупы орехов превосходит косточковые больше, чем в 2 раза.

Пористость углей из косточек плодов меньше, но образец из косточек черешни имеет высокие показатели микропористости (0,30 см³/г) и адсорбционной активности по йоду (85 %), сопоставимые с углями из скорлупы орехов. Это делает его перспективным микропористым сорбентом для поглощения низкомолекулярных соединений.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №21-79-30029).*

# АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

***Наумов Р.С.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра инженерного проектирования*

*e-mail: ruslannaumov2003@mail.ru*

# ASPECTS OF SAFE USE OF POLYMER COMPOSITE REINFORCEMENT IN BUILDING STRUCTURES

***Naumov R.S.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Современное строительство предъявляет повышенные требования к надёжности и безопасности конструкций. Коррозия стальной арматуры остаётся одной из главных причин преждевременного разрушения железобетонных элементов, что создаёт риски для эксплуатации и требует применения альтернативных материалов. Полимерная композитная арматура (АКП) на основе стеклянных или базальтовых волокон обладает высокой химической стойкостью, малой теплопроводностью и радиопрозрачностью, однако её физико-механические характеристики отличаются от стальных, что необходимо учитывать при оценке безопасности [1].

Цель работы – анализ технических возможностей и ограничений применения полимерной композитной арматуры в строительных конструкциях.

Композитная арматура имеет временное сопротивление растяжению 600–1200 МПа (против 360–600 МПа у стали), но модуль упругости составляет всего 40–70 ГПа, что в 3–4 раза ниже стального (200 ГПа). Из-за низкого модуля упругости при одинаковом уровне напряжений относительные удлинения АКП существенно выше, что приводит к увеличению прогибов и ширины раскрытия трещин в изгибаемых элементах. Такие деформации могут превышать предельные значения, установленные нормами, и тем самым снижать безопасность конструкций.

С учётом указанных особенностей применение АКП наиболее целесообразно в следующих случаях:

- конструкции на упругом основании;
- элементы в агрессивных средах (химпроизводства, морские сооружения);
- предварительно напряжённые конструкции;
- специальные сооружения с требованиями радиопрозрачности и магнитоинертности (медицинские центры, объекты связи).

В России разработана нормативная база, регламентирующая применение АКП: ГОСТ 32486-2021, СП 295.1325800.2017 и др. Соблюдение этих документов позволяет обеспечить безопасность проектируемых конструкций при условии выполнения расчётов по двум предельным состояниям с учётом повышенной деформативности композитной арматуры [2].

Таким образом, полимерная композитная арматура является перспективным материалом для повышения долговечности и безопасности строительных конструкций в условиях агрессивных сред, однако её использование требует тщательного обоснования расчётом и не может механически заменять стальную арматуру в изгибаемых элементах без дополнительных мероприятий (предварительное напряжение, увеличение сечения).

**Литература:**

1. Кокунько И.Н., Капралова И.А., Маштакова К.В., Бондарь А.О. Прогнозирование надежности строительных конструкций // Научная весна - 2016. Шахты, 2016. С. 204–209.

2. СП 295.1325800.2017 Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования.

# КОНЦЕПЦИЯ УМНОГО ГОРОДА

***Тучаев Г.М.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра инженерной защиты окружающей среды*

*e-mail: ms.t.green@mail.ru*

# SMART CITY CONCEPT

***Tuchaev G.M.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Концепция **«Умный город»** (Smart City) представляет собой интегрированную систему технологий и решений, направленных на повышение качества жизни горожан. Эта концепция объединяет современные технологии в области информационно-коммуникационных сетей, экологического планирования, транспорта, энергетики, управления ресурсами и общественной безопасности (см. рисунок) [2].




**Рисунок – Ключевые компоненты концепции умного города.**

Ключевую роль в умном городе играет информационная инфраструктура: широкое внедрение интернета вещей (IoT), сенсорных устройств и систем обработки больших данных позволяет в режиме реального времени получать точную информацию о состоянии городской среды. На этой основе строятся интеллектуальные системы видеонаблюдения и экстренного реагирования, обеспечивающие высокий уровень безопасности [1].

Важнейшим направлением является обеспечение экологической устойчивости. Использование возобновляемых источников энергии, энергоэффективных технологий («зелёное» строительство) и «умных» сетей (Smart Grid) позволяет снижать выбросы и оптимизировать потребление ресурсов. Дополняет эту картину интеллектуальное управление транспортом: автоматическое регулирование потоков, развитие общественного транспорта и альтернативных видов передвижения уменьшают заторы и улучшают мобильность [2].

Не менее значима социальная интеграция: электронные сервисы, открытые данные и платформы для участия граждан в принятии решений, формируют инклюзивное сообщество и повышают доверие к городскому управлению.

Успешная реализация концепции умного города требует комплексного подхода и тесного сотрудничества государственных органов, частного сектора и общественности, что обеспечивает баланс между экономическим развитием, социальной справедливостью и заботой об окружающей среде [3].

**Литература:**

1. Росляков А.В., Ваняшин С.В., Гребешков А.Ю. Интернет вещей. Самара: ПГУТИ, 2015. 200 с.

2. Копейкин В.Г., Васильева Т.А., Зайцев И.Д., Захарчук С.С., Маляр Л.Е. Экологическая устойчивость умных городов: инновационные подходы к управлению ресурсами и инновации и инвестиции. 2024. Л /. С. 13-15.

3. Макаревич И. В. Концепция «умный город» на примере города Сингапур // Устойчивое развитие науки и образования. 2019. № 3. С. 29-31.

# ВЛИЯНИЕ ВОДЯНОГО ПАРА В МЕТАНОВОЗДУШНЫХ СМЕСЯХ НА НИЖНИЙ КОНЦЕНТРАЦИОННЫЙ ПРЕДЕЛ

***Фокин Д.Р.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра инженерной защиты окружающей среды*

*e-mail: fokin_d.r@mail.ru*

# THE INFLUENCE OF WATER VAPOR IN METHANE-AIR MIXTURES ON THE LOWER FLAMMABILITY LIMIT

***Fokin D.R.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Обеспечение взрывобезопасности при работе с углеводородными газами остается одной из ключевых задач нефтегазовой и химической промышленности. Метан, как основной компонент природного газа, образует с воздухом взрывоопасные смеси, характеризующиеся определенными концентрационными пределами распространения пламени (КПР). Справочные значения нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР) для метана в стандартных условиях (сухой воздух, 20 °С, 0,1 МПа) составляют 4,4–5,0 об. %.

Водяной пар, образующийся в результате испарения остаточной влаги в замкнутом объеме, выступает не просто как инертный разбавитель, но и как активный компонент, способный влиять на кинетику цепных реакций окисления метана и тепловой баланс зоны реакции.

При выполнении экспериментов по синергизму газов [1] для 100 % концентраций исследуемых газов значения НКПР превышали табличные и экспериментальные значения вне взрывного сосуда. После слива воды и заполнения метаном объект исследования перестает быть бинарной смесью «метан-воздух». Система трансформируется в трехкомпонентную: «метан — воздух — водяной пар ($H_2O$)». В этом случае водяной пар выступает в роли флегматизатора (инертного разбавителя). Для метана из коммунального газоснабжения с примесями одорантов изменение НКПР после заполнения взрывного сосуда водой и сливом составило 0,2 % (с 4,4 % до 4,6 %). Для водорода полученного из установки для электролиза «ЛИГА» изменение составило 0,3 % ( с 4 % до 4,3 %).

При воспроизведении экспериментов для шахтных условий при предельно возможном объемном влагосодержании 6 % получены аналогичные результаты [2]. Верхний КПР метановоздушной смеси снижается на 1,5 % по сравнению с пределом распространения пламени сухих смесей. Нижний КПР при тех же условиях повышается на 0,75 %.

Для совершенствования системы безопасности нефтегазовой и горнорудной промышленности имеет смысл продолжить работу в этом направлении.

**Литература:**

1. Ивахнюк, Г.К. Синергизм влияния углеводородного газа на окислительные процессы метановоздушных смесей / Г.К. Ивахнюк, Д.Р. Фокин // Нефтегазохимия - 2025: Материалы VIII Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 03–05 декабря 2025 года. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2025. – С. 43-47. – EDN NYIXPX.

2. Голинько В.И., Котляров А.К. Влияние водяных паров на пределы распространения пламени метановоздушных смесей // Пожаровзрывобезопасность. 2010. №12.

# АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ СИНЕРГИЗМА МИКРОПРИМЕСЕЙ В МЕТАНОВОЗДУШНЫХ СМЕСЯХ, КАК ФАКТОРА БЕЗОПАСНОСТИ

***Фокин Д.Р., Ивахнюк А.Г.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра инженерной защиты окружающей среды*

*e-mail: fokin_d.r@mail.ru*

# THE RELEVANCE OF STUDYING SYNERGISTIC EFFECT OF TRACE IMPURITIES IN METHANE-AIR MIXTURES AS A SAFETY FACTOR

***Fokin D.R., Ivakhnyuk A.G.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Современная энергетика и химическая промышленность характеризуются устойчивым переходом от использования чистых углеводородов к многокомпонентным газовым смесям. Это обусловлено как стремлением к снижению углеродного следа (добавление водорода к метану и т.д.), так и экономической целесообразностью утилизации попутных газов.

Однако подобная замена состава топлива не является тривиальной с точки зрения безопасности: по сравнению с традиционным углеводородным топливом, процесс взрыва газовых смесей более сложен и его труднее предотвратить.

Введение в смесь даже небольшой доли высокореакционного компонента способно качественно изменить параметры взрывобезопасности. Наиболее ярко проблема синергизма проявляется в области гибридных смесей (газ + пыль или газ + газ) [1], поскольку гибридные взрывы могут быть инициированы, даже если концентрация газа и концентрация пыли ниже значений их нижних концентрационных пределов распространения пламени.

Несмотря на наличие обширных данных по одиночным газам и их минимальных изменений, анализ литературы показывает существенный пробел. Большинство исследований, проводятся в строго контролируемых условиях с предварительно подготовленными гомогенными смесями. Однако реальные аварийные ситуации часто возникают в системах с газовыми смесями, сорбированными газами или стратификацией.

Наиболее частой причиной трагедий в нефтегазовой и горнорудной отрасли остаются взрывы, возгорания метана и его смесей с различными компонентами шахтной атмосферы, которые не были своевременно выявлены и нейтрализованы. Тем не менее, вопрос синергизма этих газов и влияния на кинетику горения не изучен в должном объеме.

Для совершенствования системы промышленной безопасности и снижения аварийности промышленности имеет смысл исследования в этом направлении.

**Литература:**

1. Wu D., Krietsch A., Zhao P. et al. A review on hybrid mixture explosions: Safety parameters, explosion regimes and criteria, flame characteristics // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2023. Vol. 82.

# ПОЛУЧЕНИЕ НЕФТЕСОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ ШЛАМА ВОДОПОДГОТОВКИ ТЭЦ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК

***Фомина Л.С.*, *Хохлачев С.П.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химии и технологии материалов и изделий сорбционный техники*

*e-mail: fominalilia16@mail.ru*

# PRODUCTION OF OIL SORBENTS BASED ON WATER TREATMENT SLUDGE FROM CHP USING MODIFYING ADDITIVES

***Fomina L.S., Khokhlachev S.P.***

*Saint Petersburg State Institute of Technology*

Для ликвидации разливов нефти используются сорбенты на основе природных материалов. Однако их добыча ограничена, а производство зачастую дорого. В связи с этим актуальной задачей является поиск дешевого вторичного сырья. Шламы водоподготовки ТЭЦ (Ш) могут стать такой альтернативой. Цель работы — исследование влияния структурообразующих добавок на свойства материалов на основе шлама для создания нефтесорбентов.

Исходный шлам использовали в виде водной суспензии. Добавки вводили в пересчете на сухую массу Ш: сода (гидрокарбонат натрия) – 0,5; 1; 3 и 7 % мас.; ОП-10 – 0,3; 0,6; 1,2 % мас.; сульфанол – 1 и 2 % мас.; жидкое стекло (ЖС) –50 % мас. После смешения образцы подвергали термической обработке в сушильном шкафу при 300 °С.

Для образцов определены основные характеристики: нефтеемкость (Н) по компактированной нефти, предельный объем сорбционного пространства по парам бензола ($W_S$), суммарный объем пор по воде ($V_\Sigma$). Результаты представлены в таблице.

**Таблица - Сорбционные свойства образцов в зависимости от типа и концентрации вспенивателя.**

| | Шлам | Ш+Сода | | | | Ш+ОП-10 | | | Ш+Сульфанол | | Ш+ЖС |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ко-во, % мас. | 0 | 0,5 | 1 | 3 | 7 | 0,3 | 0,6 | 1,2 | 1 | 2 | 50 |
| Н, г/г | 0,22 | 1,34 | 1,28 | 1,29 | 1,13 | 0,65 | 0,69 | 0,51 | 0,89 | 0,92 | 0,73 |
| $W_S$, см³/г | 0,20 | 0,31 | 0,27 | 0,27 | 0,20 | 0,29 | 0,26 | 0,20 | 0,34 | 0,35 | 0,17 |
| $V_\Sigma$, см³/г | 0,46 | 0,35 | 0,53 | - | 0,58 | - | - | 0,66 | - | - | 1,04 |

Анализ полученных данных показывает, что введение добавок увеличивает нефтеемкость шлама (0,22 г/г) до 1,34 г/г для образца с 0,5 % соды, что сопровождается ростом объёма пор по бензолу до 0,31 см³/г. Наибольший суммарный объём пор (1,04 см³/г) достигнут при введении 50 % мас. жидкого стекла, при этом нефтеемкость составляет 0,73 г/г. Для сульфанола характерны высокие значения Ws (до 0,35 см³/г). Несоответствие параметров Н и $V_\Sigma$ для образцов с добавлением соды объясняется тем, что при термическом разложении соды в материалы образуются крупные макропоры, которые опорожняются при измерении $V_\Sigma$, при этом компактированная нефть в этих порах удерживается достаточно хорошо благодаря капиллярным силам.

Таким образом, проведенное исследование подтверждает возможность получения нефтесорбентов на основе шлама очистных сооружений ТЭЦ путем его модификации. Выявленная развитая пористая структура создает основу для переработки крупнотоннажного отхода в востребованный сорбционный материал, что соответствует принципам экономики замкнутого цикла.

*Исследование выполнено при поддержке стипендии почетного профессора СПбГТИ(ТУ) Чистякова Александра Николаевича.*

# СЕКЦИЯ 17.
# БИОТЕХНОЛОГИЯ



# ВЛИЯНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ КИЗИЛОВЫХ ВЫЖИМОК НА СОДЕРЖАНИЕ В НИХ ФЕНОЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

***Андрущук Я.О.*, *Крыласов Д.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии микробиологического синтеза*

*e-mail: huntaaandr@gmail.com*

# INFLUENCE OF ENZYMATIC PROCESSING OF DOGWOOD POMACE ON THE CONTENT OF PHENOLIC SUBSTANCES

***Andruschuk Y.O.*, *Krylasov D.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Вторичным сырьем производства кизилового сока являются выжимки, в химический состав которых, входит широкий спектр биологически активных компонентов [1]. Содержание этих веществ в выжимках варьируется в зависимости от сорта кизила, а также от ферментативной обработки кизиловой мякоти, которую проводят для повышения выхода кизилового сока. Особый интерес представляют фенольные веществ, оказывающие на организм человека антидиабетический и противотромбический эффекты.

Для проведения исследования использовали кизиловые выжимки, обработанные ферментным препаратом (ФП) пектолитического действия Fructozym P6-L в дозировке 0,13 % от массы мякоти и комплексом ферментных препаратов: Fructozym P6-L в дозировке 0,13 % и Целлолюкс А, содержащего целлюлазу, в дозировке и 0,09 % в течение 1 ч при температуре 60 °С. По окончании ферментативной обработки из мякоти отжимали кизиловый сок, а полученные выжимки сушили при 60 °С в жаровом шкафу до влажности 5 %. Содержание фенольных веществ в сухих выжимках определяли по ГОСТ Р ИСО 14502-1-2010, результаты представлены в таблице.

**Таблица – Содержание фенольных веществ в кизиловых выжимках.**

| Наименование показателя | Кизиловые выжимки без обработки ФП | Выжимки, обработанные Fructozim PL-6 | Выжимки, обработанные Fructozim PL-6 и Целлолюкс А |
|---|---|---|---|
| Содержание фенольных веществ, мг/г | 0,702 ± 0,1 | 0,684 ± 0,1 | 0,772 ± 0,1 |

Из результатов, представленных в таблице, следует, что дополнительное внесение ферментного препарата Целлолюкс А, увеличило степень деструкции растительной клетки и повысило содержание фенольных веществ в кизиловых выжимках на 13 %.

**Литература:**

1. Багатурия Н.Ш., Купатадзе И.В. Натуральность кизилового сока // Пиво и напитки. 2006. №4. С.44-45

# РАЦИОНАЛЬНЫЙ ДИЗАЙН И СИНТЕЗ ПЕПТИДНОГО ФРАГМЕНТА РЕЦЕПТОРА CD4

***Аполинская М.И.*, *Сахабеев Р.Г.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра молекулярной биотехнологии*

*e-mail: apolimary@gmail.com*

# RATIONAL DESIGN AND SYNTHESIS OF A PEPTIDE FRAGMENT OF THE CD4 RECEPTOR

***Apolinskaya M.I.*, *Sakhabeev R.G.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Инфицирование клеток вирусом иммунодефицита человека – 1 (ВИЧ-1) инициируется взаимодействием вирусного белка gp120 с рецептором CD4 на поверхности иммунных клеток [1]. Перспективной стратегией противовирусной терапии является создание пептидных фрагментов CD4, которые, выступая в роли ловушек, могли бы конкурировать с клеточным рецептором за связывание с вирусом, тем самым блокируя его проникновение в клетку [2].

На основе данных, полученных в предыдущей работе, было показано, что ключевыми аминокислотами во взаимодействии гликопротеида gp120 ВИЧ-1 с рецептором CD4 при инфицировании являются Phe-43 и Arg-59.

Следовательно, при дизайне пептида мы исходили из необходимости включения данных остатков. Минимальная протяженность фрагмента определялась участком с 43 по 59 а.о. Для обеспечения пространственной доступности ключевых остатков последовательность была дополнена N-концевым фрагментом нативного белка. При выборе границ пептида учитывалась необходимость сохранения нативных элементов вторичной структуры (α-спиралей, β-тяжей) и минимизации длины последовательности. В результате была выбрана последовательность, соответствующая участку 35-59 рецептора CD4. Длина пептида составила 26 аминокислотных остатков.

Синтез пептида был осуществлен твердофазным методом с использованием Fmoc-химии. Очистка целевого продукта проведена методом обращенно-фазовой ВЭЖХ. Структура пептида подтверждена методом MALDI-TOF масс-спектрометрии. Молекулярная масса пептида - 2,85 кДа, по среднему индексу GRAVY (-1,1) - гидрофильный.

В настоящее время планируется проведение экспериментов по оценке взаимодействия синтезированного пептида с gp120 in vitro. В случае положительных результатов полученный пептид может рассматриваться как кандидат для разработки ингибиторов проникновения ВИЧ-1 в клетку.

**Литература:**

1. Allosteric induction of the CD4-bound conformation of HIV-1 Gp120 / A. Roitburd-Berman, G. Dela, G. Kaplan et al. // Retrovirology. - 2013. - Vol. 10. - P. 147. - DOI: 10.1186/1742-4690-10-147.

2. Cheng K. Binding of HIV-1 gp120 Glycoprotein to Silica Nanoparticles Modified with CD4 Glycoprotein and CD4 Peptide Fragments / K. Cheng, K. El-Boubbou, C.C. Landry // ACS Applied Materials & Interfaces. - 2012. - Vol. 4, № 1. - P. 235-243. - DOI: 10.1021/am2013008.

# КИНЕТИКА РОСТА ЧИСЛЕННОСТИ КЛЕТОК МИКРОВОДОРОСЛИ *CHLORELLA VULGARIS*

***Беспалов Д.С.*, Мик И.И., Степанчук А.П., Головин Г.Д., Ковалёв И.Ю., Жуков С.А.**
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра ресурсосберегающих технологий*
*e-mail: den_chim@mail.ru*

## KINETICS OF CELL GROWTH IN THE MICROALGA *CHLORELLA VULGARIS*

***Bespalov D.S.*, Mik I.I., Stepanchuk A.P., Golovin G.D., Kovalev I.Y., Zhukov S.A.**
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Эксперимент по изучению кинетики роста численности клеток микроводоросли *Chlorella vulgaris* (штамм ИФР С-11), поставленный на кафедре ресурсосберегающих технологий СПБГТИ(ТУ) в феврале 2026 года, имел целью оптимизировать параметры работы установки культивирования.

Условия проведения эксперимента и использовавшееся оборудование описывались ранее [1]. Число клеток в культуральной среде ежесуточно определяли микроскопически, прямым подсчётом, используя камеру Горяева. Продолжительность эксперимента – 14 суток.

На основании собранных экспериментальных данных была построена кривая роста *Chlorella vulgaris*, представленная на рисунке. Вид кривой соответствует S-модели роста численности биологических объектов. Можно выделить следующие фазы эксперимента: лаг-фаза (замедленный рост) – с момента начала эксперимента по 3-и сутки, экспоненциальная – 4-10 сутки, стационарная – 11 сутки, фаза упадка – началась на 12 сутки и продолжилась до конца эксперимента. В течение цикла культивирования культуральная среда изменилась: прозрачная жидкость с лёгким салатным оттенком стала непрозрачной тёмно-виридоновой, появился осадок. Фаза упадка характеризовалась образованием «ила» - плотного налёта клеток водоросли на стенках биореактора.

Эксперимент показал целесообразность сокращения периода культивирования микроводоросли *Chlorella vulgaris* до 10 суток.

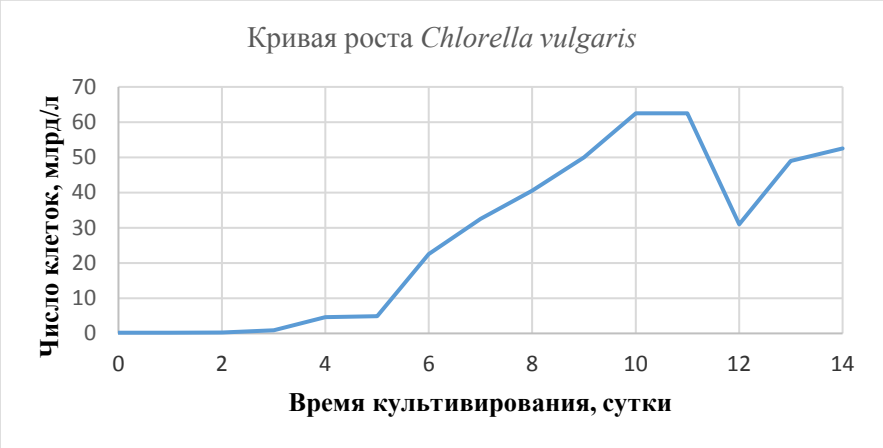



**Рисунок – Кривая роста *Chlorella vulgaris*.**

**Литература:**

1. Беспалов, Д.С. Концепция аппарата для культивирования микроводоросли *Chlorella Vulgaris* / Д.С. Беспалов, А.В. Гудкин, А.В. Утёмов, Д.А. Сладковский // Традиции и Инновации: сборник тезисов XIV научной конференции. – 2023. – С. 209.

# О СОСТАВЕ ОТРАБОТАННОГО ГАЗА УСТАНОВКИ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРОВОДОРОСЛИ *CHLORELLA VULGARIS*

***Беспалов Д.С.*, *Степанчук А.П.*, *Алексеев А.Е.*, *Ковалёв И.Ю.*, *Жуков С.А.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра ресурсосберегающих технологий*
*e-mail: den_chim@mail.ru*

## ABOUT THE COMPOSITION OF THE EXHAUST GAS OF A CULTIVATION PLANT FOR *CHLORELLA VULGARIS* MICROALGAE

***Bespalov D.S.*, *Stepanchuk A.P.*, *Alekseev A.E.*, *Kovalev I.Y.*, *Zhukov S.A.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Микроводоросль *Chlorella vulgaris* представляет интерес в качестве перспективного компонента углекислотных биофильтров, в основе работы которых лежит способность микроводорослей к биофиксации углекислоты в процессе фотосинтеза.

В феврале 2026 года на кафедре ресурсосберегающих технологий СПБГТИ(ТУ) был поставлен эксперимент по изучению состава отработанного газа, выделяемого установкой культивирования микроводоросли *Chlorella vulgaris* (штамм ИФР С-11). В реактор со скоростью 1,5 л/мин вводился воздушно-углекислотный поток, содержавший 9 % $CO_2$. Условия культивирования микроводорослей и использовавшееся оборудование описывались ранее [1]. Состав выходящей из реактора газовой смеси анализировался с помощью газового хроматографа Shimadzu GC-2010. Время эксперимента – 14 суток.

По экспериментальным данным был построен график изменения концентрации $CO_2$ в отработанном биореакторном газе на протяжении эксперимента, представленный на рисунке. Концентрация $CO_2$ менялась в пределах от 4,06 % до 8,65 % и в среднем составляла 6,62 %. Эти колебания, скорее всего, связаны с естественным дыханием водорослей во время периодического замедления процессов фотосинтеза.

Таким образом, описанный фотобиореактор может рассматриваться как биологический фильтр, улавливающий до 4,94 % углекислоты из газового потока.

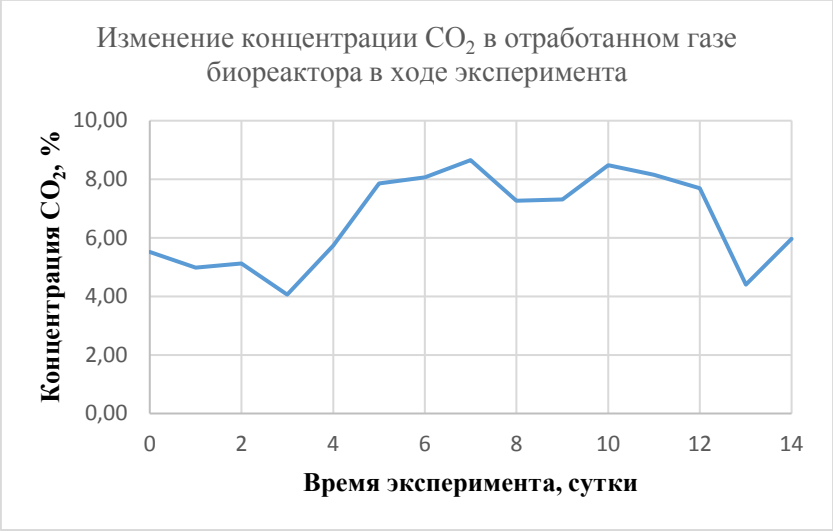



**Рисунок – Изменение концентрации $CO_2$ в отработанном биореакторном газе.**

**Литература:**

1. Беспалов, Д.С. Концепция аппарата для культивирования микроводоросли *Chlorella Vulgaris* / Д.С. Беспалов, А.В. Гудкин, А.В. Утёмов, Д.А. Сладковский // Традиции и Инновации: сборник тезисов XIV научной конференции. – 2023. – С. 209.

# СКРИНИНГ ФОЛАТ-ПРОДУЦИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ И ПРИМЕНЕНИЕ ИХ В КАЧЕСТВЕ ПРОБИОТИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ГИПЕРГОМОЦИСТЕИНЕМИИ

***Бочковский С.К.***[1,2]***, Дудина В.А.***[1]***, Орлова В.А.***[1,3]***, Милютина Ю.П.***[1]***, Арутюнян А.В.***[1]

[1]*Научно-исследовательский институт акушерства, гинекологии и репродуктологии им. Д.О. Отта,*

[2]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра молекулярной биотехнологии,*

[3]*Институт экспериментальной медицины*

*e-mail: serega86bochkovsky@gmail.com*

# SCREENING OF FOLATE-PRODUCING BACTERIA AND THEIR USE AS A PROBIOTIC SUPPLEMENT FOR THE CORRECTION OF HYPERHOMOCYSTEINEMIA

***Bochkovsky S.K.***[1,2]***, Dudina V.A.***[1]***, Orlova V.A.***[1,3]***, Milyutina Yu.P.***[1]***, Arutyunyan A.V.***[1]

[1]*D.O. Ott Research Institute of Obstetrics, Gynecology and Reproductive Medicine,*

[2]*Saint-Petersburg State Institute of Technology,*

[3]*Institute of Experimental Medicine*

Микробиота кишечника является метаболически активной динамической системой, которая принимает участие в регуляции процессов, связанных с врожденным и адаптивным иммунитетом, барьерной функцией слизистой кишечника, работой энтеральной и центральной нервных систем. Биосинтез некоторых витаминов *de novo* микробиотой кишечника также может оказывать влияние на здоровье хозяина. Дефицит витаминов B6, B12 и фолатов приводит к возникновению гипергомоцистеинемии - патологического состояния, характеризующегося повышенным уровнем гомоцистеина. Дефицит фолатов и гипергомоцистеинемия приводят к нарушению биосинтеза нуклеиновых кислот, эпигенетической регуляции, повреждению эндотелия сосудов. Статус витаминов и состав микробиоты находятся во взаимозависимом состоянии, что указывает на возможность использования пробиотических штаммов-продуцентов для коррекции обмена фолатов и гипергомоцистеинемии.

Цель. Провести скрининг продуцентов фолатов среди бактерий рода *Lactobacillus*.

Материалы и методы. Были исследованы 34 образца из различных источников (коллекционные образцы Института экспериментальной медицины, изоляты кишечников насекомых, крыс, человека, мамонта). Для определения возможности продуцировать фолаты образцы были прокультивированы на бесфолатной среде. Для опрределения количества продуцируемых фолатов проводили культивирование при 37 °C без перемешивания на протяжении 48 часов в среде MRS. Количество фолатов в питательной среде определяли иммунохимически.

Результаты. В исследуемой коллекции было обнаружено 5 образцов – продуцентов фолатов: *Lactobacillus rhamnosus (Фаворский)*; *Lactobacillus rhamnosus (Кацер); Lactiplantibacillus plantarum (B); Lactiplantibacillus plantarum 8PA3* и *Lactococcus lactis №11*. Прирост фолиевой кислоты в MRS среде после двух суток культивирования *L. plantarum 8PA3* составил 166,1 ± 22,5 нмоль/л среды за сутки, что больше в 1,8 ± 0,3 раза относительно ее содержания в среде без микроорганизмов. *L. lactis №11* увеличивал уровень фолиевой кислоты в MRS среде в 2,67 ± 0*,16 раза.*

Выводы. Разработанный методологический подход позволяет исследовать способность штаммов продуцировать фолаты. *L. plantarum 8PA3* и *L. lactis №11* являются перспективными штаммами-продуцентами для поддержания уровня фолатов и коррекции состояний, связанных с их дефицитом, что требует дальнейших экспериментальных исследований *in vivo*.

*Работа поддержана грантом РНФ № 22-15-00393П.*

# ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ ПАЦИЕНТОВ С СИМПТОМАМИ НАСЛЕДСТВЕННОГО АНГИООТЕКА

***Верес П.М.*[1,2], *Седых А.В.*[2]**

[1]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра молекулярной биотехнологии,*

[2]*Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Пастера*

*e-mail: polinaveres@gmail.com*

## GENETIC PROFILE OF PATIENTS WITH SYMPTOMS HEREDITARY ANGIOEDEMA

***Veres P.M.*[1,2], *Sedykh A.V.*[2]**

[1]*Saint-Petersburg State Institute of Technology,*

[2]*Saint-Petersburg Pasteur Research Institute of Epidemiology and Microbiology*

Наследственный ангиоотек (НАО) – редкое генетическое заболевание, сопровождающееся рецидивирующими отеками мягких тканей, слизистых и подслизистых оболочек, обусловленное нарушением регуляции системы комплимента и гиперактивацией брадикинина. Классические формы НАО с мутацией в гене *SERPING1* связаны с дефицитом (НАО I типа) или дисфункцией С1-ингибитора (C1-INH) (НАО II типа), однако встречается форма с нормальным уровнем и функциональной активностью C1-INH. Диагностика НАО достаточно затруднена из-за наличия симптомов схожих с другими заболеваниями. При нормальном уровне и функциональной активности С1-ингибитора постановка диагноза возможна при совокупности клинических данных и генетического анализа. Применение полногеномного секвенирования позволяет получить наиболее полную информацию о генетических вариантах пациента. Этот подход не только увеличивает вероятность выявления альтернативных или новых полиморфных вариантов, но и способствует лучшему пониманию молекулярной основы заболевания.

Целью исследования было изучить генетический профиль пациентов одной семьи с симптомами наследственного ангиоотека.

**Материалы и методы.** В молекулярно-генетическом исследовании участвовали три родственных пациента, в анамнезе которых встречались отеки различной локализации. Лабораторное тестирование содержало оценку уровня и функциональной активности С1-ингибитора. ДНК выделяли из 200 мкл крови с использованием набора реагентов MGIEasy Magnetic Beads Blood Genomic DNA Extraction Kit, (MGI, Китай). Приготовление геномных библиотек для секвенирования происходило набором ДНК MGIEasy FS PCR-Free Library Prep Set, (MGI, Китай). Полученные библиотеки анализировали на секвенаторе DNBSEQ-T7 (MGI, Китай).

**Результаты.** При анализе данных была выявлена семейная патогенетически значимая мутация со сдвигом рамки считывания в гене *SERPING1* c.808_809delACinsCAA (Thr270GlnfsTer35), при которой образуется преждевременный стоп-кодон, что приводит к нонсенс-опосредованному распаду мРНК. Дополнительно у всех исследуемых пациентов были найдены генетические варианты NM_001354930.2:c.1237C>T в гене *RIPK1* и NM_016816.4:c.628C>T в гене *OAS1* с неизвестным клиническим значением.

**Заключение.** Таким образом, у пациентов выявлен каузативный генетический вариант в гене *SERPING1,* отвечающий за развитие НАО. Дополнительные полиморфные варианты потенциально могут влиять на течение заболевания.

# АНАЛИЗ ИНТЕРНАЛИЗАЦИИ В КЛЕТКИ ФУЛЛЕРЕНСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В БИОМЕДИЦИНЕ

***Ганина А.А.*[1,2], *Болгова И.А.*[1,2], *Большакова О.И.*[1]**

[1]*Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального Исследовательского Центра «Курчатовский институт»,*

[2]*Санкт-Петербургский государственный технологических институт (технический университет), кафедра молекулярной биотехнологии*

*email: nastya.ganina04@mail.ru*

**STUDY OF THE INTERNALIZATION OF FULLERENE-CONTAINING MATERIALS IN CELL WITH PONENTIAL APLICATIONS IN BIOMEDICINE**

***Ganina A.A.*[1,2], *Bolgova I.A.*[1,2], *Bolshakova O.I.*[1]**

[1]*Petersburg Nuclear Physics Institute named by B.P. Konstantinov of the National Research Center «Kurchatov Institute»,*

[2]*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Фуллеренсодержащие наноматериалы (НМ) рассматриваются как перспективные платформы для тераностики и таргетной доставки благодаря их уникальным физико-химическим свойствам и возможности функционализации [1]. Эффективность их биомедицинского применения определяется, в том числе, способностью проникать в клетки и накапливаться в них, что делает анализ интернализации ключевым этапом оценки их потенциала.

Прямая визуализация наночастиц (НЧ) с использованием флуоресцентных красителей зачастую затруднена отсутствием конъюгации красителя с НЧ. Данную проблему можно решить, используя высокоспецифичный метод окраски антителами – иммуногистохимию. Целью работы была визуализация фуллеренсодержащих НЧ, имеющих перспективы в биомедицине, методом иммуногистохимии.

Исследования проводили на клетках карциномы шейки матки HeLa. Анализировали пять типов НМ: комплекс борофен+фуллерен $C_{60}$, фуллеренол $C_{60}(OH)_{24}$, конъюгат эндометаллофуллерена лютеция, фолиевой кислоты (ФК) и поливинилпирролидона (ПВП) – ФК-ПВП-Lu@$C_{82-84}$, а также конъюгаты ФК-ПВП-$C_{60}$ и дендример Lys-2Lys + карбоксифуллерен $C_{60}$. Окрашивание проводили первичными антителами на $C_{60}$ и визуализировали вторичными антителами, конъюгированными с флуорохромом Cy3 (550 – 570 нм). Результат анализировали на конфокальном микроскопе Leica TCS SP5 (Германия) при увеличении x63 с иммерсией.

Показано, что комплекс борофен+$C_{60}$, фуллеренол $C_{60}(OH)_{24}$, конъюгаты ФК-ПВП-$C_{60}$ и дендримера Lys-2Lys с карбоксифуллереном $C_{60}$ демонстрируют флуоресценцию разной степени интенсивности внутри клетки. В свою очередь не удалось обнаружить в клетках конъюгат ФК-ПВП-Lu@$C_{82-84}$. Данное различие может быть связано с иной конфигурацией эндометаллофуллерена $C_{82-82}$, малым количеством $C_{82-82}$ в комплексе или низкой скоростью проникновения.

Высокая интенсивность флуоресценции $C_{60}$-содержащих НМ внутри клетки свидетельствует об их способности к интерализации и перспективности использования данных частиц в биомедицине, как платформы для таргетной доставки лекарственных агентов.

**Литература:**

1. Большакова, О.И. Углеродные наночастицы как перспективные нейропротекторы: за и против (Pro et Contra). I. Функционализация и токсичность / О.И. Большакова, А.Д. Слободина, С.В. Саранцева. – DOI: 10.56304/S1992722322020054 // Российские нанотехнологии. – 2022. – Т. 17, № 2. – С. 148-157.

# ДИЗАЙН РЕКОМБИНАНТНЫХ РАСТВОРИМЫХ ВАРИАНТОВ CD4, КОНЪЮГИРОВАННЫХ С ПОЛИМЕРНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ, В КАЧЕСТВЕ ТАРГЕТНЫХ ВИРУСНЫХ ЛОВУШЕК ДЛЯ ВИЧ-1

***Григорьев Я.А.*, *Сахабеев Р.Г.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра молекулярной биотехнологии*

*e-mail: yagrigorev294@gmail.com*

# DESIGN OF RECOMBINANT SOLUBLE CD4 VARIANTS CONJUGATED TO POLYMERIC NANOPARTICLES AS TARGETED VIRAL TRAPS FOR HIV-1

***Grigorev Y.A.*, *Sakhabeev R.G.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Несмотря на достижения в области антиретровирусной терапии, вируса иммунодефицита человека типа 1 (ВИЧ-1) остается серьезной глобальной проблемой для здравоохранения. Одной из перспективных вспомогательных стратегий является прямая нейтрализация и удаление свободных вирусных частиц из кровотока. Данное исследование сосредоточено на рациональном дизайне искусственных «вирусных ловушек» путем использования высокоаффинного взаимодействия между оболочечным белком ВИЧ-1 gp120 и клеточным рецептором CD4. Мы предполагаем, что мультивалентная презентация рекомбинантного растворимого CD4 (rsCD4) на биосовместимых магнитных наночастицах позволит создать систему с высокой авидностью, способную к эффективному захвату вирионов [1].

В данной работе предлагается новая стратегия для захвата частиц ВИЧ-1 с использованием вирусных ловушек. Основная идея заключается в создании комплексов на основе наночастиц, которые репрезентируют высокоаффинный к ВИЧ-1 рецептор CD4. Данный подход направлен на специфичное связывание и изоляцию свободных вирионов за счет их поверхностного гликопротеина gp120, что потенциально может создать платформу для диагностических или терапевтических применений.

На данный момент были разработаны и клонированы генетические конструкции, кодирующие несколько вариантов рекомбинантного CD4 (rCD4), в частности: нативная полноразмерная структура rCD4, включающая 4 домена, короткий двухдоменный вариант rsCD4(D1D2), также спроектированы *in silico* варианты с мононуклеотидными мутациями (mCD4), которые могут увеличить выход белка и стабильность комплекса CD4-gp120. На данном этапе произведен дизайн экспрессионных кассет для наработки и очистки целевого белка в клеточных линиях млекопитающих и в бактериальной культуре *E. coli*. Оба подхода обладают как рядом преимуществ, так и недостатков. По результатам сравнительных *in vitro* тестов планируется окончательный выбор основной платформы для производства rCD4.

Мы разработали комплексную стратегию синтеза уникальных генетических последовательностей, позволяющих получить специфичные вирусные ловушки для ВИЧ-1, на основе сконструированных наночастиц с конъюгированными рецепторами. Предлагаемая система имеет потенциал в качестве платформенной технологии. Успешная реализация предстоящих экспериментальных этапов позволит подтвердить ее эффективность *in vitro* и заложит основу для будущей оценки терапевтического потенциала *in vivo*.

**Литература:**

1. Kwong P.D., Wyatt R., Robinson J. et al. Structure of an HIV gp120 envelope glycoprotein in complex with the CD4 receptor and a neutralizing human antibody // Nature. 1998. Vol. 393, № 6686. P. 648–659. DOI: 10.1038/31405.

# СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ТРАНСФЕКЦИИ ПЕРВИЧНЫХ КУЛЬТУР КЛЕТОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ МОДЕЛЬНЫХ КЛЕТОЧНЫХ ЛИНИЙ

***Гугняева С.Н.***[1,2]

*[1]Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра молекулярной биотехнологии,*
*[2]Институт цитологии Российской академии наук*
*e-mail: sofgug@mail.ru*

## COMPARISON OF TRANSFECTION METHODS OF PRIMARY CELL CULTURES FOR OBTAINING NEW MODEL CELL LINES

***Gugniaeva S.N.***[1,2]

*[1]Saint-Petersburg State Institute of Technology,*
*[2]Institute of Cytology Russian Academy of Science*

Получение стабильных клеточных линий на основе первичных культур является ключевой задачей для моделирования физиологических процессов, в том числе для изучения метастазирования опухолей in vivo. Трансфекция первичных культур сопряжена с их высокой чувствительностью к условиям культивирования. Несмотря на эффективность коммерческих реагентов, их высокая стоимость ограничивает масштабирование. Рассмотрим статью, цель работы которой было — на основе сравнительного анализа эффективности кальций-фосфатного метода (КФТ), полиэтиленимина (PEI) и коммерческого реагента TurboFect на панели клеточных линий определить оптимальные подходы для последующего получения стабильных флуоресцентных сублиний.

В работе использовали линии HEK293T, BHK21, CHO DG-44, CHO K-1, HUH7 и MRC5. Клетки трансфицировали плазмидами, кодирующими флуоресцентные белки Katushka, eGFP и tagBFP. Трансфекцию проводили тремя методами: классическая КФТ (с вариацией времени инкубации и ДМСО-шоком), катионная трансфекция PEI (с использованием лактатного буфера, pH 4,0) и реагент TurboFect согласно протоколу производителя. Эффективность трансфекции оценивали методом проточной цитометрии через 48 ч. Жизнеспособность клеток определяли с помощью MTT-теста через 24 ч. В качестве практической апробации метода на линиях HEK293T проведена сборка лентивирусных частиц с последующим титрованием [1].

Кальций-фосфатный метод трансфекции из вышеперечисленных является наиболее эффективным и воспроизводимым для широкого спектра адгезивных клеточных линий. В сочетании с доступностью этот метод оптимален для дальнейшей моей работы. На основании полученных данных я планирую в своей работе использование КФТ для трансфекции новой линии мышиного рака с целью получения стабильных сублиний, конститутивно экспрессирующих люминесцентные белки. Это позволит в режиме реального времени визуализировать процессы метастазирования и клеточной миграции при перевивке сублинии мышам, что станет мощным инструментом для изучения онкогенеза.

**Литература:**

1. П.О. Воробьев, Д.В. Кочетков, К.В. Василенко, А.В. Липатова. Сравнительный анализ эффективности общедоступных методов трансфекции модельных клеточных линий для задач биотехнологии // Вестник РГМУ. 2022. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-effektivnosti-obschedostupnyh-metodov-transfektsii-modelnyh-kletochnyh-liniy-dlya-zadach-biotehnologii.

# БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ АНИЛИНА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ

***Докторова М.Д.*[1,2], *Бочковский С.К.*[1]**

[1]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра молекулярной биотехнологии,*

[2]*Российский научный центр «Прикладная химия»*

*e-mail: maria.doktorova@yandex.ru*

# BIOLOGICAL TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER FROM ANILINE AND IT'S DERIVATIVES

***Doctorova M.D.*[1,2], *Bochkovsky S.K.*[1]**

[1]*Saint-Petersburg State Institute of Technology,*

[2]*Russian Scientific Center «Applied Chemistry»*

Производство органических азотсодержащих соединений является активно развивающейся отраслью промышленности. Высокая потребность в продуктах данного направления создает несколько дополнительных задач, одной из которых является очистка сточных вод. Наиболее перспективным направлением среди способов очистки выступает биологический. Бактерии, принадлежащие к родам *Mycobacterium, Paracoccus, Bacillus, Pseudomonas* и др. способны к биотрансформации ароматических азотсодержащих соединений. Известны штаммы, которые не только способны использовать ароматические азотсодержащие соединения в качестве источника углерода и азота, но и устойчивые к высоким концентрациям данных веществ. Поиск таких бактериальных культур является перспективной и важной задачей для очистки сточных вод и биоремедиации почв, на которых произошел, разлив азоторганических соединений.

Целью работы является поиск бактерий, которые способны проводить биологическую трансформацию анилина.

Сбор посевов воздуха и смывов производили на кафедрах ХТСБАВ и красителей СПбГТИ(ТУ). Высев искомых бактерий осуществляли на минимальную питательную среду Бушнелла-Хасса с анилином в качестве единственного источника углерода. [1] Для посева воздуха чашки Петри с агаризованной средой оставляли открытыми на 30 минут. Для взятия смывов 1 мл питательной распределяли по поверхности, после чего среду собирали и переносили в пробирки с стерильной питательной средой. Также были взяты образцы из органических сливов объемом 1 мл. Культивирование производили на агаризованных и жидких средах при 37 °С в течение 30 дней. Полученные образцы пересевали на среды, приготовленные с использованием бидистиллированной воды (электропроводность менее 0,1 мкСм) для исключения наличия других источников углерода.

Было получено 4 образца, которые показали обильный рост. Все жизнеспособные образцы были выделены из органических сливов кафедры ХТСБАВ, что указывает на перспективность и целесообразность поиска аборигенной микрофлоры, которая возникает в местах длительного хранения сложных смесей различных органических веществ.

**Литература:**

1. Kafilzadeh F. and Khezri A., 2016. Biodegradation of aniline by Enterobacter ludwigii KH-A5 isolated from the soil around shiraz refinery, Iran. Global NEST Journal, 18(4), pp. 697-707.

# СИНТЕЗ И ОЦЕНКА ПРОТИВООПУХОЛЕВОЙ АКТИВНОСТИ ПИРРОЛО[3,4-d]ИЗОКСАЗОЛОВ В ОТНОШЕНИИ ЛИНИЙ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК

***Драчук А.С.*, *Хаирзаманова И.А.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра органической химии*
*e-mail: tichka208@gmail.com*

# SYNTHESIS AND EVALUATION OF ANTICANCER ACTIVITY OF PYRROLO[3,4-d]ISOXAZOLES AGAINST TUMOR CELL LINE

***Drachuk A.S.*, *Khairzamanova I.A.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Онкологические заболевания одна из наиболее распространенных проблем общественного здравоохранения. Натуральные продукты или синтетические соединения, созданные на основе натуральных продуктов, продолжают оставаться отличными источниками новых лекарственных препаратов. Производные изоксазола - гетероциклы, содержащие азот и кислород, рассматриваются в качестве одного из основных компонентов для создания лекарственных средств. Такие изоксазолы могут связываться с различными ферментами и рецепторами, и проявлять широкую биологическую активность (см. рисунок).

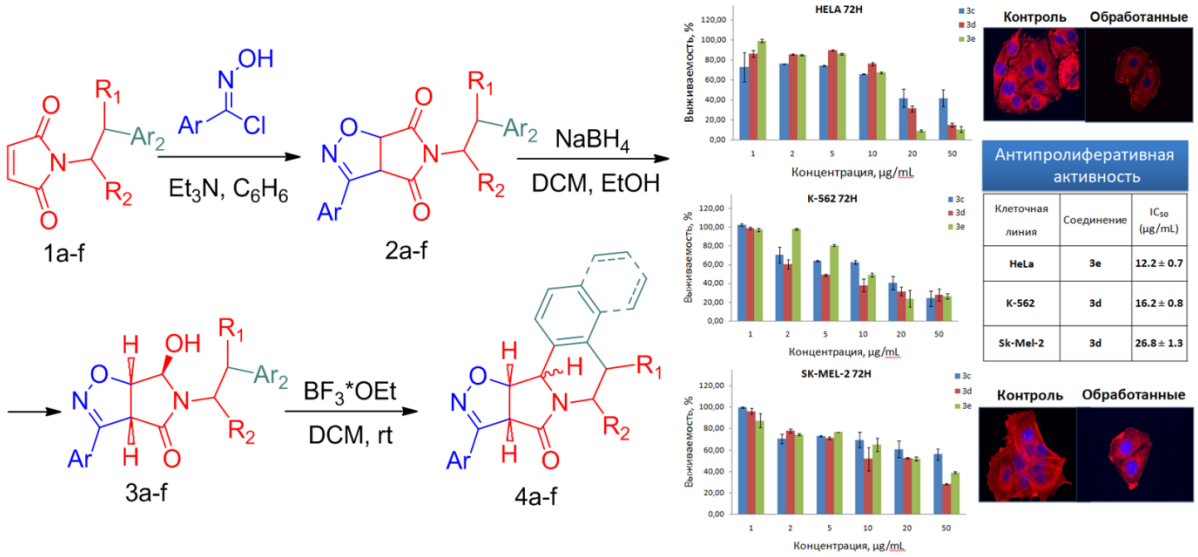



**Рисунок – Противоопухолевая активность пирроло[3,4-d]изоксазолов.**

Были синтезированы серии гетероциклических соединений, содержащих пирроло[3,4-d]изоксазольный каркас, и изучена их антипролиферативная активность в отношении клеточных линий рака шейки матки человека (HeLa), эритролейкоза человека (K-562) и меланомы человека (SK-MEL-2).

Результаты исследования показали, что синтезированные аддукты на основе пирроло[3,4-d]изоксазола проявили значительную активность при $IC_{50}$ до 16 мкг/мл. Исследование с помощью конфокальной микроскопии показало диффузное распределение гранулированного актина в цитоплазме с исчезновением актиновых нитей. Количество клеток с филоподиевидными выступами на мембране также уменьшилось после обработки некоторыми из тестируемых соединений. Полученные результаты подтверждают противоопухолевый эффект исследуемых соединений.

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГИДРОКСИАПАТИТА, ДОПИРОВАННОГО ВАНАДАТ-ИОНАМИ И МОДИФИЦИРОВАННОГО ВАНАДИЛ-ИОНАМИ: ЦИТОТОКСИЧНОСТЬ, КИНЕТИКА ВЫСВОБОЖДЕНИЯ И МЕТОДЫ ОЧИСТКИ

***Жижина К.П.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра молекулярной биотехнологии*

*e-mail: ksen_pav@mail.ru*

# COMPARATIVE ANALYSIS OF HYDROXYAPATITE DOPED WITH VANADATE IONS AND MODIFIED WITH VANADYL IONS: CYTOTOXICITY, RELEASE KINETICS, AND PURIFICATION METHODS

***Zhizhina K.P.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Актуальность модификации гидроксиапатита (ГАП) ионами ванадия обусловлена его остеогенной активностью и противоопухолевым действием в зависимости от степени окисления и способа введения в материал. Целью работы является сравнительный анализ двух типов ванадий-содержащих материалов: с замещением фосфат-ионов в решетке на ванадат-ионы ($V^{5+}$) и с адсорбцией ванадил-ионов ($V^{4+}$) на поверхности кристаллов. В первом случае ионы $VO_4^{3-}$ изоморфно замещают $PO_4^{3-}$, при высоких концентрациях возможно встраивание диванадат-ионов $V_2O_7^{4-}$, что снижает соотношение Ca/(V+P) и уменьшает размер кристаллитов [1]. Во втором случае ионы ванадила $VO^{2+}$ обратимо координируются с поверхностными ОН-группами ГАП, процесс зависит от pH среды [2].

Сравнительный анализ выявляет, что для ГАП с ванадат-ионами в решетке характерна выраженная цитотоксичность в отношении клеток остеосаркомы человека, причем в присутствии аскорбата часть $V^{5+}$ восстанавливается до $V^{4+}$, что снижает выход ионов ванадия в среду, но усиливает цитотоксичность материала [3]. Это указывает, что токсический эффект связан не только с растворением материала, но и с прямым контактом клеток с наночастицами и генерацией активных форм кислорода на поверхности. Для ГАП с ванадил-ионами предполагается быстрое высвобождение ионов $V^{4+}$ в среду и реализация преимущественно ионного механизма токсичности. В случае ванадат-замещенного ГАП высвобождение происходит медленно и контролируется скоростью растворения кристаллической решетки, поэтому достаточно многократной промывки водой или буфером для удаления остатков реакционной среды [3]. Для ГАП с ванадил-ионами характерно быстрое высвобождение адсорбированных ионов при контакте с физиологическим раствором, что требует тщательной промывки большим объемом воды или слабощелочным раствором для удаления физически связанных ионов [2]. Таким образом, ГАП с ванадат-ионами в решетке перспективен для создания имплантатов с долговременным локальным противоопухолевым действием, тогда как ГАП с ванадил-ионами перспективен в системах быстрой доставки ионов ванадия, но требует тщательной оценки безопасности в связи с высоким начальным выбросом.

**Литература:**

1. Влияние ванадат-ионов на химическое осаждение гидроксиапатита / И.Е. Глазов, А.Е. Дорошенко, В.К. Крутько [и др.] // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2025. – Вып. 17. – С. 822-830.

2. Removal of oxovanadium(IV) from aqueous solutions by using commercial crystalline calcium hydroxyapatite / E. D. Vega, J. C. Pedregosa, G. E. Narda, P. J. Morando // Water Research. – 2003. – Vol. 37, № 8. – P. 1776-1782.

3. Synthesis, Characterization and In-Vitro Anti-Cancer Activity of Vanadium-Doped Nanocrystalline Hydroxyapatite / D. Kalniņa, A. Levina, A. Pei [*et al*.] // New Journal of Chemistry. – 2019. – Vol. 43, № 45. – P. 17891-17901.

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВИРТУАЛЬНОГО СКРИНИНГА В СОВРЕМЕННОМ ДИЗАЙНЕ ЛЕКАРСТВ

***Жижина К.П.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра молекулярной биотехнологии*

*e-mail: ksen_pav@mail.ru*

# COMPARATIVE ANALYSIS OF VIRTUAL SCREENING METHODS IN MODERN DRUG DESIGN

***Zhizhina K.P.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Виртуальный скрининг является одним из ключевых инструментов современной биоинформатики и дизайна лекарств, позволяя осуществлять поиск потенциально активных соединений путем перебора больших библиотек химических структур. Традиционно выделяют два основных подхода: структурно-ориентированный (SBVS), основанный на молекулярном докинге и использующий трехмерную структуру белка-мишени, и лигандо-ориентированный (LBVS), опирающийся на известные активные молекулы и принципы подобия. Цель работы – сравнительный анализ эффективности методов с учетом современных вызовов (ультра-большие библиотеки, AI-технологии).

Сравнительный анализ методов показывает, что ни один из них не является универсальным, а их эффективность существенно зависит от характеристик конкретной задачи и используемых данных. Ранние исследования, в частности работа McGaughey и соавторов [1], показали, что LBVS в среднем превосходят алгоритмы докинга, однако последние могут быть эффективны при корректном учете типов атомов и химических свойств. Современные исследования, работы Sindt и соавторов [2], выявили серьезные ограничения даже продвинутых методов рескоринга: ни эмпирические, ни методы машинного обучения, ни молекулярно-механические или квантово-химические подходы не способны надежно отличить известные активные соединения от неактивных во всех наборах данных, что ставит под сомнение прямую применимость ультра-больших скринингов без дополнительной валидации. В этих условиях особую значимость приобретают гибридные стратегии, сочетающие последовательное или параллельное применение различных подходов: например, быстрый LBVS-скрининг миллионов соединений с последующим структурным анализом отобранных кандидатов или консенсусный скоринг, объединяющий результаты нескольких методов. Внедрение методов искусственного интеллекта и глубокого обучения, таких как KarmaDock, DeepDock и CarsiDock, открывает возможности для повышения точности предсказаний, однако требует тщательной валидации и не отменяет необходимости экспериментальной проверки. Доступность предсказанных структур от AlphaFold расширяет применимость структурных методов, но порождает новые проблемы, связанные с учетом конформационной подвижности и точностью моделирования боковых цепей.

Таким образом, выбор оптимальной стратегии виртуального скрининга должен основываться на комплексном анализе доступной информации о мишени, известных лигандах и особенностях химического пространства, а наиболее перспективным направлением развития является интеграция различных вычислительных подходов с экспериментальными методами валидации в рамках гибких, адаптивных протоколов.

**Литература:**

1. Comparison of topological, shape, and docking methods in virtual screening / G. B. McGaughey, R. P. Sheridan, C. I. Bayly [*et al*.] // Journal of Chemical Information and Modeling. – 2007. – Vol. 47, № 4. – P. 1504-1519.

2. Sindt, F. On the Difficulty to Rescore Hits from Ultra-large Docking Screens / F. Sindt, G. Bret, D. Rognan // Journal of Chemical Information and Modeling. – 2025. – Vol. 65, № 11. – P. 5553-5566.

# РОЛЬ ГЕНА *SWISS CHEESE DROSOPHILA MELANOGASTER* В ПОДДЕРЖАНИИ ВНУТРЕННИХ БАРЬЕРОВ ОРГАНИЗМА

***Иванова Е.А., Рябова Е.В., Саранцева С.В.***

*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

*e-mail: ivanova_ea@pnpi.nrcki.ru*

## THE ROLE OF *DROSOPHILA MELANOGASTER SWISS CHEESE* GENE IN MAINTAING THE INTERNAL BARRIERS

***Ivanova E.A., Ryabova E.V., Sarantseva S.V.***

*Petersburg Nuclear Physics Institute named by B.P. Konstantinov of National Research Centre «Kurchatov Institute»*

Внутренние барьеры в организме человека локализуются вокруг особо уязвимых органов, обеспечивая их защиту от патогенных воздействий и поддерживая гомеостаз. Основными барьерами организма являются гематоэнцефалический барьер мозга, образованный эндотелиальными клетками, гематотестикулярный барьер семенников, функцию которого выполняют клетки Сертоли, эпителий кишечника и гемато-ретинальный барьер глаз, основу которого составляют эндотелий сосудов и эпителий сетчатки. Между данными клетками находятся плотные контакты, которые ответственны за данную функцию.

Известно, что изменения в метаболизме липидов могут влиять на состояние внутренних барьеров и структуру плотных контактов. Ремоделирование клеточных мембран путем регулирования состава фосфолипидов в клетках осуществляется различными видами фосфолипаз, одной из которой является фосфолипаза PNPLA6, кодируемая геном *PNPLA6.* Нарушение работы данной фосфолипазы приводит к избыточному накоплению фосфолипидов, в результате поражаются в первую очередь нервная система, а также репродуктивная и пищеварительная.

Ортологом гена *PNPLA6* у плодовой мушки *Drosophila melanogaster* является *г*ен *swiss cheese* (*sws*), продукт которого также выполняет функции фосфолипазы. Его экспрессия наблюдается в фоторецепторных клетках глаз, в клетках субпериневральной глии [1], в энтероцитах среднего кишечника [2] и соматических клетках цисты семенников [3]. Между данными клетками находятся септированные контакты, которые являются аналогом плотных контактов и также отвечают за реализацию барьерной функции, защищая мозг от высоких концентраций гемолимфы, кишечник и развивающиеся сперматозоиды от проникновения патогенов.

В данной работе было проведено исследование внутренних барьеров дрозофилы с мутацией в гене *sws* ($sws^1$) – барьеров нервной системы, барьера соматической проницаемости в семенниках и кишечного барьера. Дисфункция данной фосфолипазы, приводила к нарушению структуры данных барьеров, из-за чего они становились проницаемыми для декстрана размером 10 кДа. В свою очередь, это вызывало изменения морфологии кишечника и сетчатки глаз, а также нарушения процесса сперматогенеза и двигательной активности мух.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-74-00165.*

**Литература:**

1. Ryabova E.V. et al. Cells. 2021. V.10, №.3. P. 529–548.

2. Ivanova E.A. et al. International Journal of Molecular Sciences. 2025. V.26. P. 11085–11104.

3. Melentev P.A. et al. Insects. 2022. V.13, №.1. P. 14–35.

# МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АБСЦИЗОВОЙ КИСЛОТЫ

***Климова Г.С.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии микробиологического синтеза*

*e-mail: galinaklimova358@gmail.com*

## ABSCISIC ACID DETERMINATION METHODS

***Klimova G.S.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Абсцизовая кислота (АБК) — это фитогормон, изопреноид, который встречается практически во всех царствах живых организмов. Она участвует в регуляции роста и развития растений на протяжении всего онтогенеза, а также определяет устойчивость к абиотическим и биотическим стрессовым факторам. В организме человека АБК вырабатывается в гранулоцитах в ответ на физические или химические раздражители и активирует их защитные функции [1]. Из-за малых концентраций абсцизовой кислоты в биологических объектах разрабатываются новые и совершенствуются старые подходы к её идентификации и количественному анализу.

Методы определения абсцизовой кислоты делятся на 4 типа: физико-химические, хроматографические, иммунохимические и биологические. Иммунохимические методы (иммуноферментный анализ, радиоиммунный анализ) основаны на специфическом взаимодействии меченного антитела или антигена (АБК) и выполняются на иммуноферментных анализаторах или планшетных фотометрах. Иммунохимические методы отличаются высокой чувствительностью, специфичностью, позволяют анализировать множество образцов и не требуют сложного оборудования. Физико-химические методы (капиллярный электрофорез, УФ-спектроскопия, высокоэффективная жидкостная хроматография с масс-спектрометром ((ВЭЖХ-МС)) измеряют зависимость физических свойств вещества от его природы и концентрации с использованием жидкостных хроматографов с масс-спектрометрами и систем капиллярного электрофореза. К преимуществам таких методов относятся: минимальная погрешность, высокая достоверность и чувствительность к следовым концентрациям веществ. Хроматографические методы (газо-жидкостная хроматография с электронно-захватным детектором, тонкослойная хроматография (ТСХ), ВЭЖХ) разделяют компоненты смеси благодаря их разной скорости движения в потоке подвижной фазы относительно неподвижной на газовых или жидкостных хроматографах, а также с использованием денситометров для ТСХ. Эти методы обеспечивают высокую эффективность разделения, точность количественного анализа и возможность работы со сложными смесями. Биологические методы (биотесты) используют изолированные клетки или ткани, чувствительные к экзогенному гормону. Они проводятся в климатических камерах и термостатах с применением микроскопов для наблюдения. Данные методы позволяют оценить физиологическую активность АБК в нативных условиях и не требуют сложного аналитического оборудования [2].

**Литература:**

1. Zocchi E, Hontecillas R, Leber A Abscisic Acid: A Novel Nutraceutical for Glycemic Control [Текст] / Zocchi E, Hontecillas R, Leber A, Einerhand A, Carbo A, Bruzzone S // Frontiers in nutrition. — 2017. — № 4.

2. Борзенкова, Р. А. Методы определения фитогормонов: твердофазный иммуноферментный анализ абсцизовой кислоты, ауксинов и цитокинов [Текст] / Р. А. Борзенкова — 1. — Екатеринбург: Уральского университета, 2006 — 44 с.

# СОВРЕМЕННЫЕ АНАЛОГИ СЫЧУЖНОГО ФЕРМЕНТА

***Кочергина О.Н.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии микробиологического синтеза*
*e-mail: olya.kochergina2003@mail.ru*

# MODERN ANALOGUES OF RENNET

***Kochergina O.N.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Традиционное получение сыра основано на сычужном ферменте. Однако в настоящее время ведётся активный поиск аналогов этого фермента, которые обладают высокой активностью и низкой себестоимостью. Помимо этого, у каждого аналога выделяют свои, индивидуальные достоинства, которые позволяют конечному продукту соответствовать этическим и религиозным нормам. Поэтому цель работы заключается в поиске аналогов сычужного фермента.

Выделяют ключевые группы заменителей сычужного фермента: микробные коагулянты, рекомбинантные аналоги, аналоги животного происхождения, растительные заменители.

Основными продуцентами молокосвертывающих ферментов, которые используются в пищевой промышленности, являются микроорганизмы. В сыроделии среди них востребованы дрожжи, в частности такие виды, как *Geotrichum capitatum* и *Geotrichum klebahnii* [1]. Помимо дрожжей, широко применяются грибные культуры – например, *Rhizomucor miehei* и *Rhizomucor pusillus*, – чьи коагулянты обладают важным преимуществом в виде гипоаллергенности [2]. Для получения рекомбинантных аналогов генетической модификации подвергают обычно штаммы *Aspergillus niger* или *Escherichia coli*. Животные аналоги представляют собой протеолитические ферменты (говяжий, свиной, куриный пепсин). Растительные заменители сычужного фермента территориально распространены в связи с образом жизни потребителей сырной продукции. Примеры растительных аналогов: артишок посевной (*Cynaria cardunculus*), инжир (*Ficus carica*) [3].

Таким образом, можно сделать вывод, что есть широкий выбор продуцентов для замены сычужного фермента со своими индивидуальными особенностями, которые позволяют выбирать между ними в зависимости от материальных возможностей и необходимых качеств продукта. Грибные культуры являются одними из наиболее перспективных продуцентов молокосвёртывающего фермента, особенно с учётом необходимости импортозамещения и уменьшения себестоимости готового продукта. На кафедре технологии микробиологического синтеза проводились исследования молокосвёртывающей активности у базидиомицетов, грибы культур *Coprinus lagopides* и *Lentinus arcularius* показали высокую молокосвёртывающую активность в сочетании с низкой протеолитической активностью, что позволяет их рассматривать как перспективные продуценты молокосвёртывающих ферментов.

**Литература**:

1. Рябцева, С.А. Роль дрожжей в сыроделии, их источники и разнообразие / С.А. Рябцева, А.Г. Храмцов // Сыроделие и маслоделие. – 2020. – №3. – С. 23-26.

2. Абрамов, Д.В. Современные тенденции рынка молокосвёртывающих ферментных препаратов / Д.В. Абрамов, Д.С. Мягконосов, М.А. Мордвинова // Сыроделие и маслоделие. – 2018. – №6. – С. 7-11.

3. Михайлова, Ю.А. Использование ферментов растительного происхождения в технологии мягких сыров / Ю.А. Михайлова, С.С. Бородин // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2023. –Т.9, №2. – С. 25-32.

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АЭРОБНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ

***Лесников Н.О.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра оптимизации химико-биологической аппаратуры*

*e-mail: lesnikoff.nikita2013@yandex.ru*

## MATHEMATICAL MODELLING OF THE AEROBIC FERMENTATION PROCESS

***Lesnikov N.O.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

С ростом численности населения потребность в производстве белка растет. Белки и аминокислоты важны и не могут быть заменены другими компонентами. Запас рыбного хозяйства ограничен и с увеличением вылова рыбы (как одного из важнейших источников белка) численность морских обитателей может упасть до критического уровня, что скажется на общем состоянии биосферы. Следовательно, необходимо искать другие источники белка.

Микроорганизм Methylococcus capsulatus может расти на дешевом углеродном сырье, таком как метан и метанол. Содержание протеина (гаприна) в сухом продукте, получающемся из этого организма, составляет примерно на 70 %. Белок называется одноклеточным, так как он производится из одиночных клеток [1].

Отечественные ученые из «ВНИИсинтезбелок» также работали с микроорганизмом Methylococcus capsulatus, получив его штамм под названием ВСБ-874, и провели его апробацию на Светлоярской опытной установке в 1975 г. Продуктом жизнедеятельности стал гаприн. Однако из-за снижения цен на нефть и газ и движения «зеленых» эко-активистов проект был свернут. И только в начале 21 века российские ученые вновь стали работать над проблемой получения кормового белка вследствие его дефицита почти в 2-3 млн т/год [2].

Количественный анализ такого биотехнологического процесса основан на базовой математической модели, включающую кинетическую и массообменную составляющие. Независимо от используемого углеродсодержащего субстрата, его содержание в среде может при определенных концентраций лимитировать рост клеток, а при высокой концентрации субстрата – ингибировать его. Массообменные процессы в биореакторе играют определяющую роль в обеспечении растущих микробных клеток питательными элементами и субстратом для роста. При масштабном переходе к осуществлению процессов биосинтеза в биореакторах большого объема вопросы массопередачи таких труднорастворимых газов как кислород и метан приобретают существенное значение, поскольку именно диффузионные процессы могут замедлять рост клеток.

Разработка экономически эффективной биотехнологии требует детального анализа всей совокупности вопросов: от сырья и штамма до оптимальной структуры и аппаратурных решений производства. Вопросы взаимодействия кинетики и стехиометрии микробной культуры с гидродинамическими и тепломассообменными процессами в биореакторе являются определяющими для создания оптимальной биотехнологии в промышленном масштабе.

**Литература:**

1. A D. F. Olsen, J.B. Jørgensen, J. Villadsen, S.B. Jørgensen, Modeling and Simulation of Single Cell Protein Production, IFAC Proceedings Volumes, V. 43, I. 6, (2010) 502-507, ISSN 1474-6670, ISBN 9783902661708, https://doi.org/10.3182/20100707-3-BE-2012.0099.

2. Винаров А.Ю. Процессы и аппараты биотехнологии. Производство белка из метана: учебное пособие для вузов/ А.Ю. Винаров. – СПб: Лань, 2022. – 128 с. – ISBN 978-5-8114-9669-3.

# ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ РЫБНОГО ПРОИЗВОДСТВА

***Манджиева Э.Д.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии микробиологического синтеза*

*e-mail: elista22092005@gmail.com*

## APPLICATIONS OF SECONDARY FISH PRODUCTS

***Mandzhieva E.D.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

При переработке рыбы остается много вторичного сырья – головы, кости, внутренности и т.п., доля которых может достигать 50 – 70 % от массы улова. Эти компоненты богаты белками, жирами и минеральными веществами, что обуславливает их промышленное применение. Основные направления переработки вторичного рыбного сырья включают в себя пищевые технологии, медицина, биотехнология, «зеленая» химия и энергетика, а также агропромышленный комплекс. Современные исследования показывают, что использование вторичных ресурсов от разделки рыбы позволяет получать пищеконцентраты, отличающиеся высокими органолептическими показателями. Рыбная мука и рыбий жир, производимые из сырья, являются легкоусвояемыми кормовыми ингредиентами и источниками омега-3 жирных кислот [1]. Жировые отходы используются в качестве источника биотоплива и липолитических ферментов, а также для получения биопластика [2, 3].

Новым направлением применения вторичного сырья переработки рыбы является получение белковых гидролизатов с применением протеолитических ферментов для микробиологических питательных сред [4]. В качестве сырья для проведения исследования использовали хребты и головы атлантической трески. Питательные среды с полученным гидролизатом показали высокую эффективность – коэффициенты производительности *Staphylococcus aureus* и *Salmonella enteriditis* составили 1,77 и 0,91 соответственно при норме более 0,7.

**Литература:**

1. Rout, R.K. Valorization of fish wastes and by-products towards green circular bio-economy: [Текст] / R.K. Rout, S. Sivaranjani, N. Puja [и др.] // Next Research. – 2025. – Vol. 2, iss. 4. – 101037. – DOI 10.1016/j.nexres.2025.101037.

2. Кутина, О.И. Вторичные ресурсы рыбной промышленности как источник пищевых и биологически активных добавок: [Текст] / О.И. Кутина // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2015. – № 3 (59). – С. 129-136.

3. Рыбные отходы стали основой для экологичной пищевой упаковки: [Текст] // наука.рф: [сайт]. – 2024. – 26 ноября. – URL: https://наука.рф/news/rybnye-otkhody-stali-osnovoy-dlya-ekologichnoy-pishchevoy-upakovki/ (дата обращения: 02.03.2026).

4. Живлянцева, Ю.В. Обоснование технологии белкового гидролизата из вторичного сырья трески атлантической для микробиологических питательных сред: диссертация ... кандидата технических наук: 1.5.6 – Биотехнология / Живлянцева Юлия Вячеславовна; Национальный исследовательский университет ИТМО. – Санкт-Петербург, 202.

# ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МИКРОКОЛОНИЙ БАКТЕРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ КЛИНИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА, ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

***Немешев М.М.*[1,2], *Краева Л.А.*[2]**

[1]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра молекулярной биотехнологии,*

[2]*Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Пастера*

*e-mail: nemeshevmarsel@gmail.com*

# DEVELOPMENT OF A MICROSCOPIC IMAGE DATABASE OF BACTERIAL MICROCOLONIES ISOLATED FROM CLINICAL SPECIMENS FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED IDENTIFICATION

***Nemeshev M.M.*[1,2], *Kraeva L.A.*[2]**

[1]*Saint-Petersburg State Institute of Technology,*

[2]*Saint-Petersburg Pasteur Research Institute of Epidemiology and Microbiology*

Распознавание родов и видов бактерий, выделенных их биологических образцов (кровь, моча, мокрота и т.д.) играет важную роль в клинической диагностике и санитарно-эпидемиологическом контроле [1]. Некоторые виды бактерий являются основной причиной различных заболеваний, поэтому точная и быстрая их идентификация является важной составляющей при постановке диагноза и назначении соответствующей терапии [2].

Микробиологи определяют биохимические и морфологические признаки бактерий для идентификации родов и видов. Например, внешний вид колоний и микроскопическое исследование препаратов из чистой культуры выросших бактерий позволяют оценить, к какому крупному таксону принадлежит микроорганизм [2]. Затем бактерии, например, идентифицируют с помощью биохимических тестов. Эта работа трудоёмка, требует экспертной оценки микробиологов с соответствующей квалификацией и опытом, а также наличия специального оборудования, питательных сред, реактивов и строгого соблюдения процедур культивирования [2].

Более того, выявление бактерий представляет собой сложную задачу из-за сложности образцов и больших объёмов, которые необходимо исследовать [1]. Таким образом актуальной проблемой остаётся разработка оптимального метода автоматической классификации бактерий, которая сократит время и стоимость их обнаружения.

В данной работе описывается создание набора визуальных образов микроколоний бактерий, выделенных их биологических образцов, для дальнейшей идентификации с использованием нейронной сети multi-headed ResNet (ResNet-MH). Запись изображений произоводили через 3–4 ч после посева материала на плотную среду с помощью микроскопа Axio Scope A1 («Zeiss») и специальных объективов N-achroplan для работы с объемным изображением при увеличении в 400 и 630 раз, профессиональной цифровой камеры AxioCam HRc Rev3 и программы для обработки изображений.

**Литература:**

1. Paquin P. и др. Spatio-temporal based deep learning for rapid detection and identification of bacterial colonies through lens-free microscopy time-lapses // PLOS Digit Health. 2022. Т. 1, № 10. С. e0000122.

2. Yachnaya V.O. et al. Improving generalization in classification of novel bacterial strains: a multi-headed ResNet approach for microscopic image classification // КО. 2024. №5.

# РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕВАТЕЛЬНОГО МАРМЕЛАДА НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ГИДРОКОЛЛОИДОВ

***Орлова В.С.*[1], *Слинкин Т.В.*[1,2]**

[1]*Национальный исследовательский университет ИТМО,*

[2]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии микробиологического синтеза*

*e-mail: orlovav409@yandex.ru*

# DEVELOPMENT OF A RECIPE AND PRODUCTION TECHNOLOGY FOR CHEWING MARMALADE BASED ON PLANT HYDROCOLLOIDS

***Orlova V.S.*[1], *Slinkin T.V.*[1,2]**

[1]*ITMO University*

[2]*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Рост популярности растительного питания и увеличение числа потребителей, исключающих продукты животного происхождения [1], формируют потребность в разработке альтернатив традиционному жевательному мармеладу на основе желатина, так как его потребление ограничено для людей с определёнными пищевыми ограничениями. Разработка растительной жевательной формы является технологически актуальной задачей, поскольку необходимо обеспечить упругую и эластичную текстуру, сопоставимую с желатиновой, при использовании исключительно растительных структурообразователей.

В рамках работы был разработан жевательный мармелад для потребителей, придерживающихся вегетарианского типа питания на основе растительных гидроколлоидов. Формирование структуры осуществлялось с применением агара, гуаровой и ксантановой камедей. Агар использован как основной гелеобразователь, обеспечивающий формирование плотного геля. Гуаровая и ксантановая камеди введены для повышения эластичности и снижения ломкости агаровой структуры [2]. Подбор и оптимизация соотношения гидроколлоидов позволили получить стабильную жевательную текстуру, близкую по характеристикам к желатиновой.

Получена устойчивая, эластичная структура без использования желатина (рисунок). Продукт соответствует современным тенденциям рынка растительных изделий и обладает потенциалом промышленного внедрения. Перспективным направлением является дальнейшая доработка текстурных характеристик и внедрение функциональных добавок.

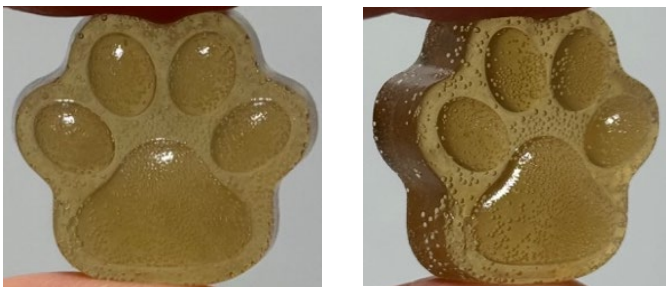


**Рисунок – Фотографии образца жевательного мармелада в разных проекциях.**

**Литература:**

1. Молибога Е.А. и др. Анализ рынка функционального питания: российский и международный аспект // Техника и технология пищевых производств. – 2022. – Т. 52. – №. 4. – С. 775-786.

2. Rawat S. et al. Application of Plant-Based Hydrocolloids on the Textural Profile of Vegan Gummies Supplemented with Turmeric and Black Pepper // International Journal of Food Science. – 2024. – Т. 2024. – №. 1. – С. 7127635.

# ФАКТОРЫ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ НЕРАЗВИВАЮЩЕЙСЯ БЕРЕМЕННОСТИ

***Румба П.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра молекулярной биотехнологии*

*e-mail: rumbapolina@yandex.ru*

**FACTORS DETERMINING THE GENETIC CAUSES OF NON-DEVELOPING PREGNANCY**

***Rumba P.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Неразвивающаяся беременность является серьезной проблемой современной медицины. Одной из главных причин остановки развития эмбриона является наличие аномалий в его кариотипе таких, как анеуплоидии. В связи с этим важно выявить причины, приводящие к таким нарушениям.

Важным фактором в возникновении анеуплоидий в яйцеклетках является возраст женщины. Согласно исследованию Грун и соавт., их зависимость от возраста образует U-образную кривую с минимумом в районе 20-32 лет. Оказалось, что аномалии в кариотипе эмбриона характерны для женщин как старшего, так и младшего репродуктивного возраста. В связи с этим было выявлено, что причины возникновения ошибок в кариотипе эмбриона отличаются у разных возрастных групп. Для представительниц молодой возрастной группы характерной ошибкой является нерасхождение хромосом в первом делении мейоза, причины которой на данный момент не установлены. Для старшей возрастной группы, в свою очередь, были характерны такие ошибки мейоза, как преждевременное расхождение хроматид и обратная сегрегация, возникающие вследствие ослабления сцепления хроматид, связанного с потерей когезина [1].

Белковые комплексы когезина важны в процессе деления, поскольку образуют кольцевые структуры, удерживающие вместе плечи гомологичных хромосом до анафазы первого деления мейоза и кинетохоры сестринских хроматид до анафазы второго деления мейоза. Следовательно, их потеря приводит к фрагментации кинетохор, вызывая увеличение расстояния между хроматидами, а также нарушает процесс прикрепления нитей веретена деления.

К другим ассоциированным с возрастом причинам, способствующим возникновению анеуплоидии у эмбриона, относятся структурные и метаболические нарушения ооцитов: возникновение мультиполярного веретена в ооцитах, нарушения в процессе деацетилирования гистонов, сниженное функционирование митохондрий [2].

Таким образом, причины возникновения аномалий в кариотипе эмбриона различны, но часто они ассоциированы с возрастом женщины. Влияние множества негативных факторов увеличивается с возрастом и приводит к нарушению механизмов контроля деления ооцита.

**Литература:**

1. Gruhn J.R., Zielinska A.P., Shukla V., Blanshard R. et al. Chromosome errors in human eggs shape natural fertility over reproductive life span. Science. 2019;365(6460):1466–9. DOI: 10.1126/science.aav7321

2. Пендина А.А., Тихонов А.В., Трусова Е.Д., Ефимова О.А., Коган И.Ю. Анеуплоидии у эмбрионов человека как основная причина неразвивающейся беременности. Женское здоровье и репродукция. 2026. № 1 (70). DOI: 10.31550/2712-8598-2026-1-8-ZhZiR. URL: https://journalgynecology.ru/statyi/aneuploidii-u-embrionov-cheloveka-kak-osnovnaya-prichina-nerazvivajushhejsya-beremennosti/(дата обращения: 25.02.2026)

# ВЛИЯНИЕ ПИЩЕВОЙ СУСПЕНЗИИ МИКРОВОДОРОСЛИ *CHLORELLA VULGARIS* НА ИММУНОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

***Рыбалкина А.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии микробиологического синтеза*
*e-mail: chickorbrik@list.ru*

## THE EFFECT OF THE FOOD SUSPENSION OF THE MICROALGAE CHLORELLA VULGARIS ON IMMUNOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PARAMETERS OF THE HUMAN BODY

***Rybalkina A.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Экспериментальные исследования по изучению влияния пищевой суспензии микроводоросли *Chlorella vulgaris* на организм человека продемонстрировали выраженный иммуностимулирующий эффект данного продукта [3]. В исследовании приняли участие 20 добровольцев, которые в течение 15 дней дважды в день принимали по 100 грамм суспензии микроводоросли штамма ИФР С №111 с плотностью клеток 50-60 млн/мл [1]. Анализ иммунологических, биохимических и клинических параметров крови выявил стимулирующее влияние на систему фагоцитоза у 65 % пациентов, на систему гуморального иммунитета – у 70 %, а на клеточный иммунитет – у 84 % обследованных. В 80 % случаев наблюдалась нормализация большинства биохимических показателей, включая билирубин, АСТ, АЛТ и тимоловую пробу, а клинический анализ крови зафиксировал улучшение картины крови по таким показателям, как цветной показатель, тромбоциты, лимфоциты и СОЭ в 68 % случаев [4].

Помимо влияния на иммунную систему, прием суспензии *Chlorella vulgaris* способствовал улучшению эндоэкологического состояния организма. С помощью специализированного иридопрогностического исследования было отмечено уменьшение процента тканевого, лимфатического и подкожно-жирового загрязнения. До приема микроводоросли загрязненность органов и тканей составляла 25,1 %, а накопление токсинов в подкожно-жировом слое достигало 35,1 %. После завершения курса приема суспензии эти показатели значительно улучшились. Кроме того, у участников эксперимента наблюдалось улучшение нейрофизиологических и электрофизиологических показателей в среднем на 15-25 % [2].

Полученные данные свидетельствуют о необходимости продолжения исследований с увеличением сроков применения пищевой суспензии и корректировкой концентрации клеток для нивелирования негативных эффектов у пациентов с тяжелыми метаболическими нарушениями.

**Литература:**

1. Александрова Р., Немцов В., Магидов М., Филлипова Н., Сазанец О. О возможности биоэлектрографии в мониторировании воспалительного процесса в бронхах и ЖКТ у больных с бронхиальной астмой // Наука. Информация. Сознание: материалы V международного конгресса. – СПб., 2001. – С. 10-13.

2. Гуляев Ю.В., Годик Э.Э. Физические поля биологических объектов // Кибернетика живого. – М.: Наука, 1984. – С. 16-22.

3. Туманова А.Л. Экспериментальные исследования по изучению влияния пищевой суспензии микроводоросли Chlorella vulgaris на организм человека // Медико-биологические науки. Материалы конференций. – 2008. – С. 1-4.

4. Богданов Н.И., Куницына Т.Г. Биологические свойства Chlorella vulgaris и перспективы ее использования в медицине. – 2010. – № 3. – С. 47-50.

# МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРУСА ГЕПАТИТА С СРЕДИ ЛИЦ, ОТБЫВАЮЩИХ НАКАЗАНИЕ В МЕСТАХ ЛИШЕНИЯ СВОБОДЫ

***Рязанова Ю.А.*[1,2], *Ануфриева Е.В.*[1]**

[1]*Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени Пастера,*

[2]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра молекулярной биотехнологии*

*e-mail: yuri.kerman@yandex.ru*

# A STUDY ON THE PREVALENCE OF HEPATITIS C MARKERS AMONG INCARCERATED INDIVIDUALS

***Ryazanova Y.A.*[1,2], *Anufrieva E.V.*[1]**

[1]*St. Petersburg Pasteur Research Institute of Epidemiology and Microbiology,*

[2]*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Лица, отбывающие наказание в местах лишения свободы, представляют собой одну из ключевых групп повышенного риска инфицирования парентеральными вирусными гепатитами. По данным мировой литературы, распространенность вируса гепатита С (ВГС) среди заключенных достигает 4,8 % [1]. К числу основных причин распространения инфекции в данной среде относятся: внутривенное употребление наркотических веществ с использованием общих игл и шприцев, нанесение татуировок, практика незащищенных половых контактов, а также бытовой путь передачи при совместном использовании предметов личной гигиены (в частности, бритвенных принадлежностей и ножниц) [2].

**Цель.** Оценить распространенность маркеров вирусного гепатита С и дать генетическую характеристику полученных изолятов среди лиц, отбывающих наказание в местах лишения свободы.

**Материалы и методы исследования.** Материалом исследования послужили 138 образцов плазмы крови, полученных от мужчин, пребывающих в следственном изоляторе Санкт-Петербурга. Методом ИФА оценивали распространенность серологических маркеров ГС (анти-HCV IgG). Выявление РНК ВГС проводили методом ПЦР с гибридизационно-флуоресцентной детекцией в режиме «реального времени». В случае достаточной вирусной нагрузки осуществляли секвинирование нуклеотидной последовательности.

**Результаты.** Возраст пациентов варьировал от 21 до 62 лет, и в среднем составил 41 год. При оценке общей распространенности серологических маркеров, анти-ВГС были обнаружены у 83 пациентов, что составило 60,14 % (95 %, ДИ: 51,5 – 68,4 %). С использованием молекулярных методов диагностики РНК ВГС выявлена у 46,38 % (95 %, ДИ: 37,9 – 55,1 %). При филогенетическом анализе субтипы ВГС распределены следующим образом: 1b – 27,27 %, 1a – 18,18 %, 2k – 13,64 %, 3a – 40,91 %.

**Выводы.** Полученные данные свидетельствуют о высокой частоте встречаемости вирусного гепатита С у лиц из мест лишения свободы.

**Литература:**

1. Gharaei H. A., Fararouei M., Mirzazadeh A., Sharifnia G., Rohani-Rasaf M., Bastam D., Rahimi J., Kouhestani M., Rezaian S., Dianatinasab M. The global and regional prevalence of hepatitis C and B co-infections among prisoners living with HIV: a systematic review and meta-analysis // Infectious diseases of poverty. 2021. V. 10. № 1. P. 1 – 17. DOI: 10.1186/s40249-021-00876-7

2. Sander G., Shirley-Beavan S., Stone K. The global state of harm reduction in prisons //Journal of Correctional Health Care. 2019. V. 25. № 2. P. 105 – 120. DOI: 10.1177/1078345819837909

# ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ РЕЦЕПТОРА CD4 ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ АФФИННОСТИ К ВИРУСУ ВИЧ-1

***Сайранова А.Р., Аполинская М.И.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра молекулярной биотехнологии*

*e-mail: nastya_sayranova@mail.ru*

**OPTIMIZATION OF CD4 RECEPTOR STRUCTURE TO INCREASE AFFINITY TO HIV-1 VIRUS**

***Sairanova A.R., Apolinskaya M.I.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Вирус иммунодефицита человека (ВИЧ), открытый ещё в 20-м веке и вызывающий смертельную и неизлечимую патологию, к текущему моменту является одной из самых распространенных во всём мире причин смерти наравне с онкологией и сердечно-сосудистыми заболеваниями. Несмотря на известные механизмы воздействия этого вируса на клетки и структуры мембранных и трансмембранных белков, участвующих в этом процессе, в настоящее время отсутствует гарантированная и безопасная стратегия терапии. Одним из перспективных направлений лечения является использование наночастиц с модифицированной поверхностью для связывания вирусных вирионов.

Взаимодействие вирионов с клетками иммунной системы человека, Т-клетками, макрофагами и дендритами, происходит путём связывания тримерного оболочечного вирусного белка Env (envelope glycoprotein) с пептидом CD4. Белок gp160 в структуре Env выступает предшественником двух субъединиц: поверхностного gp120 и трансмембранного gp41. Именно gp120 определяет аффинность вириона к клеткам человека за счёт связывания с CD4. Особая роль в этом взаимодействии отводится Phe43-карману gp120, в который глубоко проникает остаток этой аминокислоты рецептора CD4, в результате образуя прочный белок-белковый комплекс [1].

Целью данного исследования является поиск потенциальных ингибиторов взаимодействия CD4-gp120 за счёт большей аффинности связывания с рецептором вируса ВИЧ-1. Данные вещества называются миметиками и могут быть использованы для создания лекарственных препаратов против ВИЧ-1. Был проведён анализ литературы и найдены структуры нескольких пептидов-миметиков, в несколько раз превосходящих нативный рецептор CD4 по энергии связывания, таких как M48U12, M48U1, CD4M47, двойные пептиды 11-Fc и 16-Fc, P3, P4, P9, а также химически модифицированный пептид 12p1 [2].

**Литература:**

1. Structure of an HIV gp120 envelope glycoprotein in complex with the CD4 receptor and a neutralizing human antibody / P.D. Kwong, R. Wyatt, J. Robinson [и др.] // Nature. – 1998. – Т. 393. – № 6686. – С. 648-659.

2. Interfacial cavity filling to optimize CD4-mimetic miniprotein interactions with HIV-1 surface glycoprotein / L. Morellato-Castillo, P. Acharya, O. Combes [и др.] // Journal of Medicinal Chemistry. – 2013. – Т. 56. – № 12. – С. 5033-5047.

# РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ DROSOPHILA MELANOGASTER ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РОЛИ С-ПЕПТИДА ЧЕЛОВЕКА В РАЗВИТИИ ОСЛОЖНЕНИЙ САХАРНОГО ДИАБЕТА

***Латыпова Е.М.[1], Сайранова А.Р.[1,2], Саранцева С.В.[1]***

*[1]Федеральное государственное бюджетное учреждение «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»,*

*[2]Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра молекулярной биотехнологии*

*e-mail: nastya_sayranova@mail.ru*

# A DROSOPHILA MELANOGASTER MODEL TO STUDY THE ROLE OF HUMAN C-PEPTIDE IN THE DEVELOPMENT OF DIABETES COMPLICATIONS

***Latypova E.M.[1], Sairanova A.R.[1,2], Sarantseva S.V.[1]***

*[1]Federal State Budgetary Institution «Petersburg Nuclear Physics Institute named after B.P. Konstantinov of the National Research Centre «Kurchatov Institute»,*

*[2]Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Высокая распространенность и тяжесть осложнений делают сахарный диабет важной медико-социальной проблемой. На его долю приходится 50% нетравматических ампутаций и около 30 % случаев хронической почечной недостаточности, требующих гемодиализа. Поскольку даже тщательный гликемический контроль не исключает риск осложнений, необходим поиск альтернативных подходов. В этой связи перспективно изучение С-пептида, который, как было показано, предотвращает развитие нефропатии, нейропатии и ретинопатии, активируя внутриклеточные сигнальные пути. Однако точные молекулярные механизмы его действия требуют дальнейшего изучения.

Благодаря высокой степени консервативности метаболизма углеводов, *Drosophila melanogaster* активно используется для исследования метаболических нарушений человека. В частности, у дрозофилы обнаружены функциональные аналоги инсулина, биосинтез которых сходен с таковым у позвоночных. Данные обстоятельства позволяют применять дрозофилу для скрининга фармакологических агентов и исследования патогенеза диабетических осложнений [1, 2].

В рамках данной работы были получены трансгенные линии для экспрессии проинсулина человека с нативным или укороченным С-пептидами, а также одиночным С-пептидом под контролем конститутивного P(actin 5C) или глюкозозависимого P(dilp2) промоторов. Корректность встроенных последовательностей была подтверждена методом секвенирования по Сэнгеру. Картирование сайта интеграции осуществлено посредством инвертированной ПЦР. Установлено, что интеграция произошла в локус M{3xP3-RFPattP}, расположенного на хромосоме 2R.

Полученные в ходе выполнения проекта трансгенные линии мух позволят расширить представления о молекулярных механизмах действия С-пептида и инсулина в регуляции физиологических и биохимических процессов при развитии осложнений сахарного диабета (нефропатия, нейропатия, ретинопатия).

**Литература:**

1. Miao, Y., et al., Drosophila melanogaster diabetes models and its usage in the research of anti-diabetes management with traditional Chinese medicines. Front Med (Lausanne), 2022. 9: p. 953490.

2. Rani, L. and N.K. Gautam, Drosophila Renal Organ as a Model for Identification of Targets and Screening of Potential Therapeutic Agents for Diabetic Nephropathy. Curr Drug Targets, 2018. 19(16): p. 1980-1990.

# ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИКЛОНАЛЬНЫХ АНТИТЕЛ К БЕЛКУ HMGB1 И ИХ ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДОМ НЕПРЯМОГО ИММУНОФЕРМЕНТНОГО АНАЛИЗА

***Симоненко Л.А.*[1], *Соколова А.А.*[1], *Марченко Д.М.*[2], *Михайлова Е.Р.*[2]**

[1]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра молекулярной биотехнологии*

[2]*Институт цитологии Российской академии наук*

*e-mail: lida.simonenko.04@inbox.ru*

# PRODUCTION OF POLYCLONAL ANTIBODIES AGAINST THE HMGB1 PROTEIN AND THEIR VALIDATION BY INDIRECT ELISA

***Simonenko L.A.*[1], *Sokolova A.A.*[1], *Marchenko D.M.*[2], *Mikhailova E.R.*[2]**

[1]*Saint-Petersburg State Institute of Technology,*

[2]*Institute of Cytology Russian Academy of Science*

Белок HMGB1 является ключевым медиатором воспаления и перспективным биомаркером при различных патологиях, включая аутоиммунные заболевания и сепсис [1, 2]. Исследование показывает, что HSP70 и HMGB1, высвобождаясь из погибающих под действием химиотерапии опухолевых клеток, формируют внеклеточный комплекс, который действует как аутокринный фактор роста, стимулируя пролиферацию выживших клеток [4]. Следовательно, получение специфических поликлональных антител к HMGB1 необходимо как для фундаментальных исследований его роли в патогенезе, так и для разработки диагностических тест-систем [3]. Валидация антител методом непрямого иммуноферментного анализа (ИФА) является обязательным этапом, обеспечивающим достоверность их последующего применения [2].

Цель исследования – получение поликлональных антител к рекомбинантному белку HMGB1 и провести их валидацию методом непрямого иммуноферментного анализа.

Иммунизировали 5 мышей линии BALB/c рекомбинантным HMGB1 с полным/неполным адъювантом Фрейнда. Иммунизацию животных проводили в течение 1,5 месяцев. Провели контроль иммунного ответа посредством тестирования сыворотки иммунизированных мышей методом непрямого ИФА на наличие антител к белку HMGB1.

Иммунизация мышей позволила получить в сыворотки крови животных поликлональные антитела, специфичные к HNGB1. Согласно данным непрямого ИФА, у двух из пяти иммунизированных животных наблюдался достаточный для дальнейшей работы титр антител.

Таким образом, валидация полученных антител методом непрямого ИФА продемонстрировала их специфичность, что обеспечивает достоверность их последующего применения в экспериментальной работе.

**Литература:**

1. Andersson U., Tracey K.J. HMGB1 is a therapeutic target for sterile inflammation and infection. *Annu. Rev. Immunol.* 2011;29:139-162.

2. Chen R., Kang R., Tang D. The mechanism of HMGB1 secretion and release. *Exp. Mol. Med.* 2022;54:91-102.

3. Fan J. et al. HMGB1: new biomarker and therapeutic target of autoimmune and autoinflammatory skin diseases. *Front. Immunol.* 2025;16:1569632.

4. Sverchinsky D. V et al. Autocrine regulation of tumor cell repopulation by Hsp70-HMGB1 alarmin complex // Journal of Experimental & Clinical Cancer Research. 2023. Vol. 42, № 1. P. 279.

# ВАЖНОСТЬ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОГО ПОДХОДА ПРИ УПОТРЕБЛЕНИИ САХАРОЗАМЕНИТЕЛЕЙ

***Скороходова Е.К.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии микробиологического синтеза*

*e-mail: jelizaveta.skorohodova@yandex.ru*

## THE MODERN VIEW OF SWEETENERS – FROM A SIMPLE SUBSTITUTE TO A PERSONALIZED METABOLIC REALITY

***Skorohodova J.K.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В условиях глобальной эпидемии ожирения и рекомендаций ВОЗ по сокращению ежедневного употребления сахара в рационе человека, сахарозаменители позиционируются как альтернатива, сохраняющая сладкий вкус без калорий. Однако, подсластители представляют собой гетерогенную группу веществ, которые не являются метаболически инертными и оказывают сложное воздействие на организм через рецепторы сладкого вкуса, кишечную микробиоту и эндокринную систему.

Ключевым открытием последних лет стала роль кишечной микробиоты. Исследования показывают, что сахарин, сукралоза и аспартам способны изменять состав кишечных бактерий, что у некоторых людей приводит к нарушению толерантности к глюкозе [1,2]. Более того, натуральные подсластители (например, стевия) переваривается бактериями до биологически активных соединений (стевиол), которые влияют на ключевые механизмы канцерогенеза – апоптоз и воспаление в клетках желудочно-кишечного тракта. Это может привести к дисбалансу микрофлоры кишечника, а при хроническом воспалении существует повышенный риск развития различных заболеваний, в том числе, онкологии.

Параллельно накапливаются эпидемиологические данные, связывающие подсластители с сосудистыми заболеваниями. Исследование Women's Health Initiative показало: у женщин, употреблявших две и более порции диетических напитков в день, риск ишемического инсульта и общей смертности был значимо выше. Это разрушает миф о полной безвредности продукта, который миллионы людей используют ежедневно.

Важно подчеркнуть, что критика не может быть одинаково применена ко всем заменителям. Нельзя ставить знак равенства между аспартамом, ассоциированным с сосудистыми рисками, и эритритом. Последний, как и ксилит, стимулирует выработку гормонов насыщения (GLP-1, PYY) и замедляет опорожнение желудка, помогая контролировать аппетит без скачков сахара и инсулина [3]. Это принципиальное различие теряется в массовом сознании. Полученные данные свидетельствуют о необходимости дифференцированного подхода к применению сахарозаменителей, учитывающего их химическую природу и индивидуальные особенности метаболизма.

**Литература:**

1. Iizuka K. Is the Use of Artificial Sweeteners Beneficial for Patients with Diabetes Mellitus? The Advantages and Disadvantages of Artificial Sweeteners. Nutrients / Iizuka K. // Nutrients. – 2022. – № 14.

2. AL-Ishaq RK, Kubatka P, Büsselberg D. Sweeteners and the Gut Microbiome: Effects on Gastrointestinal Cancers. Nutrients / AL-Ishaq RK, Kubatka P, Büsselberg D. // Nutrients. – 2023. – №15.

3. Teysseire F, Bordier V, Beglinger C, Wölnerhanssen BK, Meyer-Gerspach AC. Metabolic Effects of Selected Conventional and Alternative Sweeteners: A Narrative Review. Nutrients / Teysseire F, Bordier V, Beglinger C, Wölnerhanssen BK, Meyer-Gerspach AC. // Nutrients. – 2024 – №16.

# РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЖЕВАТЕЛЬНОГО МАРМЕЛАДА, ОБОГАЩЕННОГО ХЕЛАТНЫМИ ФОРМАМИ ЦИНКА И МАГНИЯ

***Слинкин Т.В.*[1,2], *Орлова В.С.*[2]**

[1]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии микробиологического синтеза,*

[2]*Национальный исследовательский университет ИТМО*

*e-mail: t.slinkin@yandex.ru*

# DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL CHEWY MARMALADE ENRICHED WITH CHELATED FORMS OF ZINC AND MAGNESIUM

***Slinkin T.V.*[1,2], *Orlova V.S*[2].**

[1]*Saint-Petersburg State Institute of Technology,*

[2]*ITMO University*

В современных условиях дефицит микроэлементов в рационе населения в первую очередь обусловлен несбалансированным питанием и снижением нутритивной плотности потребляемых продуктов [1]. Недостаточное поступление данных микроэлементов негативно отражается на функционировании иммунной, нервной и сердечно-сосудистой систем. При этом традиционные таблетированные формы минеральных добавок характеризуются невысокой комплаентностью, поскольку требуют регулярного отдельного приёма и не интегрированы в повседневную структуру питания. В связи с этим актуальной задачей является разработка обогащённых пищевых продуктов, органично вписывающихся в рацион питания.

В исследовании была разработана рецептура и технология производства функционального жевательного мармелада, обогащённого хелатными формами цинка (Zn) и магния (Mg), отличающимися высокой степенью биодоступности и хорошей гастроинтестинальной переносимостью по сравнению с неорганическими солями. Выбор данных микроэлементов обусловлен их ключевой ролью в регуляции стресс-реакций, поддержании иммунного статуса и нормального функционирования сердечно-сосудистой системы. Мармеладная матрица является технологически удобной основой для инкорпорации функциональных компонентов благодаря отработанной схеме производства и наличию стадий с различными температурными режимами, что позволяет оптимизировать момент внесения обогащающих ингредиентов [2].

Разработанный мармелад при потреблении 100 грамм обеспечивает до 25 % средней суточной потребности в цинке и магнии, что подтверждает его функциональную направленность. Продукт обладает потенциалом промышленного внедрения и может рассматриваться как эффективная пищевая форма доставки микронутриентов для решения вопросов продовольственной безопасности. Перспективным направлением является использование биосинтезированных форм минералов с повышенной биодоступностью [3].

*Работа выполнена при партнёрстве с ООО «ФудТех Инновации».*

**Литература:**

1. Скальный А.В. Оценка и коррекция элементного статуса населения – перспективное направление отечественного здравоохранения и экологического мониторинга // Микроэлементы в медицине. - 2018. - №19(1). - С. 5-13.

2. Пискуненко К.Р., Попов В.Г. Тенденции производства мармелада функциональной направленности. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2020;82(2):72-76.

3. Wlodarczyk A., Sulkowska-Ziaja K., Sękara A. et al. Pleurotus spp. Mycelia enriched in magnesium and zinc salts as a potential functional food // Molecules. — 2020. —Vol. 26, № 162. — P. 1–17.

# ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАНОБАКТИНА

***Соболева А.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии микробиологического синтеза*

*e-mail: alisa_star07@mail.ru*

# PROSPECTS FOR THE USE OF METHANOBACTIN

***Soboleva A.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Метанобактин (Mb) представляет собой низкомолекулярный пептид, синтезируемый метанотрофными бактериями для захвата ионов меди. Способность Mb взаимодействовать с различными металлами и восстанавливать их определяет потенциал его применения в биотехнологии.

Одним из перспективных направлений использования Mb является синтез наноматериалов. Способность метанобактина восстанавливать Au(III) до Au(0) за одну стадию позволяет получать золотые наночастицы (AuNPs) в отсутствие токсичных реагентов, таких как: борогидрид натрия ($NaBH_4$) и гидразин. Преимущество Mb перед другими веществами заключается в том, что он выполняет две функции одновременно, выступает и как восстановитель, и как стабилизатор. Это позволяет получать исключительно монодисперсные и стабильные наночастицы золота. В результате формируются частицы практически одного диаметра 14.9 ± 1.1 нм, также благодаря прочному связыванию метанобактина с поверхностью, наночастицы сохраняют стабильность в течение нескольких месяцев. Кроме того, метанобактин способен сохранять свою биоактивность на поверхности наночастиц, что позволяет использовать полученный комплекс Mb-AuNPs для создания биосенсоров [1].

Помимо меди, метанобактин эффективно связывает ряд других металлов: Hg(II), Pb(II), Cd(II), Ag(I) и U(VI). При взаимодействии с ртутью наблюдается снижение ее токсического действия; появление серого преципитата может свидетельствовать о восстановлении Hg(II) до элементной Hg(0) [2].

Кроме того, Mb вовлечен в деметилирование метилртути — нейротоксичного соединения, способного накапливаться в водных экосистемах. У штаммов с нарушенным синтезом пептида деметилирование не происходит, что подтверждает существенную роль пептида в трансформации данного поллютанта [3].

Таким образом, метанобактин может быть применен в качестве компонента биосенсоров, хелатора металлов и агента детоксикации.

**Литература:**

1. Xin, J., Cheng, D., Zhang, L., Lin, K., Fan, H., Wang, Y. & Xia, C. (2013). Methanobactin-Mediated One-Step Synthesis of Gold Nanoparticles. International journal of molecular sciences. https://doi.org/10.3390/IJMS141121676

2. Vorobev, A., Jagadevan, S., Baral, B. S., DiSpirito, A. A., Freemeier, B. C., Bergman, B. H., Bandow, N. & Semrau, J. D. (2013). Detoxification of Mercury by Methanobactin from Methylosinus trichosporium OB3b. Applied and Environmental Microbiology, 79(19). https://doi.org/10.1128/AEM.01673-13

3. Lu, X., Gu, W., Zhao, L., Haque, M. F. U., DiSpirito, A. A., Semrau, J. D. & Gu, B. (2017). Methylmercury uptake and degradation by methanotrophs. Science Advances. https://doi.org/10.1126/SCIADV.1700041

# ЭКЗОГЕННЫЙ ЦИРКУЛИРУЮЩИЙ HSP70 КАК ОБЪЕКТ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА МЕТОДОМ СЭНДВИЧ–ИФА

***Соколенко А.В.*[1,2], *Михайлова Е.Р.*[2]**

*[1]Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра молекулярной биотехнологии,*

*[2]Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт цитологии Российской академии наук, лаборатория защитных механизмов клетки*

*e-mail: alex_sokol_03@mail.ru*

## EXOGENOUS CIRCULATING HSP70 AS AN ANALYTE FOR QUANTITATIVE DETERMINATION BY SANDWICH–ELISA

***Sokolenko A.V.*[1,2], *Mikhaylova E.R.*[2]**

*[1]Saint-Petersburg State Institute of Technology,*

*[2]Institute of Cytology of the Russian Academy of Sciences*

Экзогенный циркулирующий белок теплового шока 70 представляет собой рекомбинантный или очищенный белок HSP70, вводимый извне в биологическую систему в качестве экспериментального или терапевтического агента и находящийся в системной циркуляции, в том числе, во внеклеточном пространстве [1,2]. В отличие от эндогенного белка, индуцируемого стрессом и выполняющего преимущественно внутриклеточные шаперонные функции, экзогенный HSP70 опосредует широкий спектр биологических эффектов на системном уровне и служит объектом количественного мониторинга в плазме крови.

Взаимодействие белка с клетками–мишенями осуществляется посредством связывания с поверхностными рецепторами, в том числе Toll–подобные, с последующим эндоцитозом и активацией сигнальных каскадов [1]. Аналитически значимой особенностью является гетерогенность циркулирующих форм: свободного мономера, ассоциатов с другими шаперонами и везикулярных форм, что влияет на доступность эпитопов и детектируемость белка [1].

Двухсайтовая (сэндвич) иммуноферментная методика в наибольшей степени соответствует требованиям количественного анализа данного объекта. Использование пары антител к пространственно–разделенным эпитопам антигена обеспечивает высокую специфичность и снижает риск перекрестной реактивности с другими членами семейства белков теплового шока [2]. Поскольку экзогенный HSP70 циркулирует в концентрациях, сопоставимых с физиологическим уровнем эндогенного белка (1–20 нг/мл), критически важна аналитическая чувствительность метода: сэндвич-ИФА обеспечивает предел детекции на уровне десятых долей нг/мл [1, 2].

Молекулярная гетерогенность, низкие циркулирующие концентрации и необходимость дифференциации от эндогенного внеклеточного пула обуславливают аналитическую сложность экзогенного HSP70. Двухсайтовая иммуноферментная методика является оптимальным инструментом его количественного определения в доклинических и клинических исследованиях.

**Литература:**

1. Pockley A.G. The dual immunoregulatory roles of stress proteins / Pockley A.G., Muthana M., Calderwood S.K // Trends Biochem. Sci. — 2008. — Vol. 33 (2) — P. 71–79. – DOI: 10.1016/j.tibs.2007.10.005

2. Lequin R.M. Enzyme immunoassay (EIA)/enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) / Lequin R.M. // Clin Chem. – 2005. – Vol. 51(12). P. 2415-8. – DOI: 10.1373/clinchem.2005.051532

# МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ЛИПИДОВ ИЗ КЛЕТОК ДРОЖЖЕЙ

***Соловьев Д.С.*, *Бархатов Э.М.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии микробиологического синтеза*
*e-mail: danilsolo01@mail.ru*

# LIPID EXTRACTION METHODS FROM YEAST CELLS

***Solovev D.S.*, *Barhatov E.M.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Этап выделения липидов из дрожжевых клеток является ключевой частью исследования, от которого будет зависит успех дальнейшего анализа.

Методы экстракции липидов сводятся к их обработке подходящими растворителями. Из-за различной природы липидов, для эффективного их выделения желательна смесь растворителей, включающая как полярные, для экстракции липидов из мембран клеток, так и неполярные для растворения нейтральных липидов. Также при выборе учитывается летучесть, отсутствие токсичных, мутагенных или химически активных примесей и способность образовывать водную двухфазную систему [1].

Распространенными методами выделения липидов являются:

– Классические методы Фолча, Блайа и Дайера. Основаны на растворении образца в смеси хлороформа и метанола, и последующего смешения с водой и фильтрации для разделения липидов. Метод Фолча предпочтителен для извлечения липидов из твердых тканей, метод Блайя и Дайера – из биологических жидкостей [1].

– Экстракция Сокслета. Метод предусматривает кипячение и последующую переконденсацию растворителя в герметичной камере с диффузией липидов из твердого образца. Метод обеспечивает высокий выход, однако продолжительное воздействие высокой температуры может привести к окислению [1,2].

– Экстракция липидов с использованием «зеленых» растворителей. Среди «зеленых» растворителей используют, терпены растительного происхождения, ионные жидкости, пары этанол / этилацетат и изопропанол / n-пропанол, а также циклопентилметиловый эфир, 2-метилтетрагидрофуран, смесь 2-метиловый спирт/изоамиловый спирт/вода [1, 2].

– Сверхкритическая $CO_2$-экстракция. Включает отделение липидов от биологической матрицы с использованием сверхкритического жидкого $CO_2$ в качестве экстрагирующего вещества. Метод обеспечивает селективную экстракцию метаболитов, а также может быть использован в сочетании с другими способами экстракции [1].

– Твердофазная экстракция. Используются небольшие камеры, заполненные обратными, обычными или ионообменными сорбентами. Они избирательно удерживают целевые фракции за счет полярных, гидрофобных или ионных взаимодействий [1].

**Литература:**

1. Saini R.K. et al. Advances in lipid extraction methods—a review // International Journal of Molecular Sciences. – 2021. – Т. 22. – №. 24. – С. 13643.

2. Zainuddin M.F. et al. Current pretreatment/cell disruption and extraction methods used to improve intracellular lipid recovery from oleaginous yeasts // Microorganisms. – 2021. – Т. 9. – № 2. – С. 251.

# ДИСФУНКЦИЯ ГЕНА *SWS* КАК ФАКТОР ВЛИЯНИЯ НА МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА В КИШЕЧНИКЕ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

***Стулов А.А.*[1,2], Слепнёва Е.Э.[2], Комиссаров А.Е.[2], Иванова Е.А.[2], Рябова Е.В.[2], Булат С.А.[2]**

*[1]Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра молекулярной биотехнологии,*

*[2]Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра — Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова*

*e-mail: ant.stulov@gmail.com*

**DYSFUNCTION OF THE *SWS* GENE AS A FACTOR INFLUENCING MICROBIAL COMMUNITIES IN THE INTESTINES OF *DROSOPHILA MELANOGASTER***

***Stulov A.A.*[1,2], Slepneva E.E.[2], Komissarov A.E.[2], Ivanova E.A.[2], Ryabova E.V.[2], Bulat S.A.[2]**

*[1]Saint-Petersburg State Institute of Technology,*

*[2]Branch of the Federal State Budgetary Institution «B.P. Konstantinov St. Petersburg Institute of Nuclear Physics of the National Research Center» — I.V. Grebenshchikov Institute of Silicate Chemistry»*

Ген дрозофилы *sws*, ортолог человеческого гена *PNPLA6*, кодирует фосфолипазу, регулирующую фосфолипидный обмен в организме. Его ключевая роль в нормальном функционировании нейронов была показана по характерному фенотипу нейродегенерации при мутациях в *sws* и *PNPLA6*. Впоследствии профиль экспрессии sws был уточнён, и оказалось, что кодируемый им белок необходим для поддержания целостности клеточных барьеров, в том числе для поддержания целостности гематоэнцефалического барьера и кишечного эпителия [1].

Нарушение барьерной функции кишечника влияет на среду в его просвете, что закономерно должно влиять на микробные сообщества в пищеварительном тракте. Кишечная микробиота представляет собой совокупность организмов, колонизирующих кишечник животных. Она взаимодействует с нервной системой хозяина через множество метаболических путей [2].

В данном исследовании проводился сравнительный биоинформатический анализ таксономического состава кишечной микробиоты дрозофилы линии с мутацией в гене *swiss cheese* (*sws*[1]) и дикотипной *Canton-S* в роли контроля. У мух линии *sws*[1] же нокаут гена носит повсеместный характер. Проводился поиск общих и различных таксонов между образцами, оценка разнообразия.

Изучение микробного состава кишечника проводилось с помощью ампликонного секвенирования гена 16S рРНК на платформе OxfordNanopore и последующей классификации с помощью Kraken2 на базу данных NCBI «16S_ribosomal_RNA».

В результате анализа выявлено изменение состава микробиоты линии *sws*[1] по сравнению с линией *Canton-S*. Общее ядро микробиоты обоих генотипов составило 26 таксонов, присутствующих независимо от линии. В микробиоме мух линии *sws*[1] было идентифицировано 44 уникальных бактериальных таксона, а различие в разнообразии с *Canton-S* составило 56 таксонов.

**Литература:**

1. Swiss Cheese Gene Is Important for Intestinal Barrier, Microbiome, and Lipid Metabolism Regulation in Drosophila Gut / E.A. Ivanova, E.V. Ryabova, A.E. Komissarov [и др.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2025. – Т. 26. – № 22. – С. 11085.

2. Механизмы влияния кишечной микробиоты на процессы старения ЦНС и формирование когнитивных расстройств при болезни Альцгеймера / А.П. Сиденкова, В.С. Мякотных, Е.С. Ворошилина [и др.] // Психиатрия. – 2022. – Т. 20. – № 3. – С. 98-111.

# СЕКЦИЯ 18.

# ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ХИМИИ И ХИМИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ



# ОТ СТУДЕНТКИ ДО ПРЕПОДАВАТЕЛЯ: М.И. КУРОЧКИНА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

***Зикрацкая А.А., Басюк В.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра иностранных языков*

*e-mail: azikratskaia@mail.ru, veronika777606@gmail.com*

# FROM A STUDENT TO AN ASSOCIATE PROFESSOR: MARIA KUROCHKINA AND THE INSTITUTE OF TECHNOLOGY

***Zikratskaya A.A., Basyuk V.V.***

*Saint Petersburg State Institute of Technology*

В истории каждого университета есть имена, которые становятся настоящими символами преданности профессии и родному институту. Вспомним одно из них – Мария Ивановна Курочкина (ур. Шапкина) – ее биография неразрывно связана с Технологическим институтом. Она прошла путь от студентки до доцента, старшего научного сотрудника кафедры «Процессов и аппаратов химической технологии».

Мария Ивановна поступила в Ленинградский химико-технологический институт в 1934 г. и закончила в 1940 г. по специальности «Технология неорганических производств», получив диплом инженера-технолога с отличием. Была оставлена в аспирантуре, но не успела ее закончить в связи с началом Великой Отечественной войны. Курочкина стала примером настоящей стойкости и мужества. Даже в тяжелейшие годы блокады Ленинграда она продолжала работать в институте, в том числе в отряде МПВО, а потом вспоминала это в своих стихах. Мария Ивановна вступила в ряды Советской армии в сентябре 1942 года, служила в зенитном батальоне и инженерных частях. Ее фронтовой путь был отмечен медалями «За оборону Кавказа» (30.08.1944) и «За победу над Германией» (24.04.1946) [1].

Вернулась в Ленинград Мария Ивановна лишь в феврале 1954 г. и вновь поступила в Технологический институт, сначала младшим научным сотрудником, а затем ассистентом кафедры «Процессов и аппаратов». Вскоре, по приказу заместителя Министра высшего образования СССР, была прикомандирована в аспирантуру для ее окончания и защиты диссертации: «Исследование кинетики процесса десорбции во взвешенном слое» под руководством профессора П.Г. Романкова [1].

После получения ученой степени кандидата технических наук в 1961 году, начался стремительный карьерный путь. М.И. Курочкина – автор и соавтор свыше 200 научных трудов в области процессов и аппаратов химической технологии, в том числе более 10 книг и 10 авторских свидетельств. Помимо научно-исследовательской и педагогической работы она вела большую литературную и методическую работу, а также научное редактирование в журнале «Прикладная химия» Академии Наук СССР. Написанные ею монографии пользовались широкой известностью по всей стране [2].

Ветеран Великой Отечественной войны, ветеран Технологического института, замечательная женщина – Мария Ивановна Курочкина – яркий пример жизни ученого, преподавателя, посвятившего всю жизнь Alma mater.

**Литература:**

1. Архив Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). Дело №112. Курочкина Мария Ивановна. - 129 с.

2. Технологический институт. XX век: в 3 т. Т. 1. Наша биография. История развития института: структура, руководящие органы, учебная и научная деятельность/ Автор-сост. С. К. Лопатина. – М.: Рутения, 2018. – 1100 с. – с.629.

# ФОРМИРОВАНИЕ МОТИВАЦИИ К НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ: ЦЕЛИ И ПОДХОДЫ

***Жихарева А.С.*[1], *Усачева У.О.*[2]**

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), [1]кафедра химической технологии органических красителей и фототропных соединений, [2]кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов*

*e-mail: annzhiha04@mail.ru, ul.usa4eva@yandex.ru*

**FORMATION OF MOTIVATION FOR RESEARCH WORK OF STUDENTS OF VOCATIONAL EDUCATION AND TRAINING: GOALS AND APPROACHES**

***Zhikhareva A.S.*, *Usacheva U.O.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

В современных условиях модернизации системы российского образования особое внимание уделяется не только формированию у студентов профессиональных навыков, но и развитию способностей к автономному обучению. Для обучающихся по программам специального профессионального образования (СПО) важным фактором для личностного роста становится формирование устойчивой мотивации к самостоятельному ведению научно-исследовательской деятельности, что вызвано нехваткой специалистов с развитым инженерным мышлением, способных работать вне стандартных алгоритмов.

Вовлечение студентов СПО в исследовательскую работу преследует две ключевые цели. Во-первых, это действенный механизм построения образовательной траектории: научная деятельность позволяет обучающемуся подготовиться к поступлению в высшее учебное заведение, сформировать навыки, востребованные в высшей школе, и осознанно подойти к выбору дальнейшего направления профессионального развития. Во-вторых, проработка методологии исследования способствует глубокому освоению специальности. Специалист, умеющий анализировать, сопоставлять факты и выявлять причинно-следственные связи, становится не просто исполнителем, а профессионалом своего дела, способным к постоянному самосовершенствованию и системному видению своей отрасли.

Одним из наиболее эффективных методов приобщения к науке является принцип «живой демонстрации». Абстрактные теоретические выкладки обретают смысл, когда студенты СПО оказываются в стенах лабораторий профильных кафедр вуза. Общение с профессорско-преподавательским составом, наблюдение за реальными экспериментами или научным поиском позволяют снять психологический барьер перед «большой наукой». Посещение кафедр института выполняет функцию профессионального лифта, визуализируя для студента перспективы его роста и демонстрируя преемственность между средним профессиональным и высшим образованием.

Кроме ознакомительной деятельности, необходим практический подход, поэтому значительную роль играет поддержка инициативы участия студентов СПО в научно-практических конференциях наравне со студентами программ высшего образования. Площадки подобного формата создают щадящую, но стимулирующую среду, где студент колледжа или техникума может представить результаты собственных наблюдений, получить опыт публичной защиты своей гипотезы и почувствовать себя частью научного сообщества.

Таким образом, сочетание экскурсий на «рабочие места ученых» и персонального научного старта формирует у студентов СПО целостное представление о науке как о доступной и полезной сфере приложения интеллектуальных усилий, закладывая фундамент его академической и профессиональной успешности.

# ПРОМЫШЛЕННЫЕ АВАРИИ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ В ИСТОРИЧЕСКОЙ ПЕРСПЕКТИВЕ

***Кузьмин С.А.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра теоретических основ материаловедения*
*e-mail: saveliykuzzmin@gmail.com*

# INDUSTRIAL ACCIDENTS AND ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES IN HISTORICAL PERSPECTIVE

***Kuzmin S.A.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Актуальность. Промышленные аварии наносят комплексный урон экологии и экономике. Ежегодно в России происходит около 17 тыс. инцидентов с разливом нефтепродуктов, загрязнено более 55 тыс. га земель [1]. Рост штрафов и ужесточение законодательства требуют от заводов и предприятий адекватной оценки рисков и создания финансовых резервов.

Цель работы – анализ современных подходов к оценке урона от техногенных аварий и обоснование мер по снижению экологических и экономических потерь.

Методы. Сравнительный анализ нормативной базы, изучение последствий крупных катастроф (разлив мазута в Керченском проливе 2024 г., авария в Норильске 2020 г.).

Результаты. Ущерб от промышленных аварий подразделяется на экологический (вред природным объектам), экономический (убытки предприятий), социальный и репутационный [2]. Классификация опасности производств включает использование интегральных диаграмм зонирования, учитывающих вероятность аварии и величину ожидаемого ущерба. Это позволяет выделить зоны риска и разработать дифференцированные меры профилактики.

Выводы. Масштабные промышленные аварии, такие как в Норильске и Керченском проливе, демонстрируют необходимость перехода к системному управлению техногенными рисками, включающему цифровой мониторинг, формирование целевых резервных фондов и совершенствование методик комплексной эколого-экономической оценки ущерба, так, как только такой подход способен минимизировать катастрофические последствия для экологии и экономики.

**Литература:**

1. Шипилов Н.Ю., Гренадерова М.В. // Вестник СВФУ. Экономика. Социология. Культурология. 2025. № 1. С. 63–76

2. Булгакова М.А., Козина У.Ю. // Проблемы экономики и юридической практики. 2025. Т. 21. № 3. С. 186–192.

# РЕКЛАМНЫЕ ОБЪЯВЛЕНИЯ В ГАЗЕТЕ «ТЕХНОЛОГ» В 1970-1975 ГОДЫ

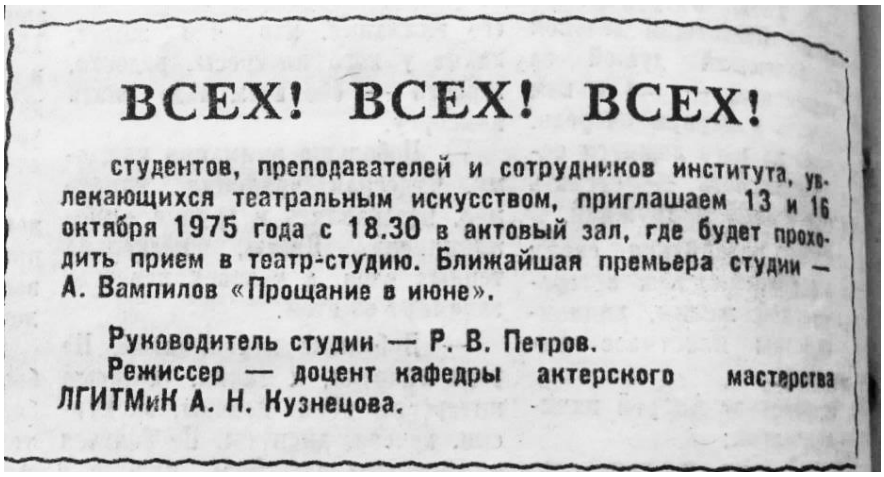
***Никифорова К.С.***
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра управления персоналом и рекламы*
*e-mail: moonyourown@gmail.com*

## ADVERTISEMENTS IN THE «TECHNOLOG» NEWSPAPER IN 1970-1975

***Nikiforova K.S.***
*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Целью работы является исследование рекламных объявлений, представленных в газете «Технолог» [1] в период с 1970 по 1975 годы, для анализа специфики рекламной деятельности Технологического Института.

Одним из примеров, демонстрирующих разнообразие рекламы данного периода, стали объявления, посвященные организации культурных мероприятий и встреч студентов и молодёжи. Среди объявлений были как стандартные материалы, отражающие повседневные нужды студенческого сообщества, так и оригинальные публикации, рекламировавшие уникальные инициативы института. Исследование позволяет понять динамику и особенности рекламы в условиях начала семидесятых годов XX века. Пример рекламного объявления представлен на рисунке.



**ВСЕХ! ВСЕХ! ВСЕХ!**

студентов, преподавателей и сотрудников института, увлекающихся театральным искусством, приглашаем 13 и 16 октября 1975 года с 18.30 в актовый зал, где будет проходить прием в театр-студию. Ближайшая премьера студии — А. Вампилов «Прощание в июне».

Руководитель студии — Р. В. Петров.
Режиссер — доцент кафедры актерского мастерства ЛГИТМиК А. Н. Кузнецова.

**Рисунок – Пример рекламного объявления от №28 (1878) 8 октября 1975 г.**

Особое внимание в докладе уделено освещению общественной деятельности института в рекламных сообщениях газеты: объявления о творческих конкурсах, спортивных мероприятиях и культурных событиях раскрывают специфику функционирования изданий широкого охвата того периода.

**Литература:**

1. «Технолог» / Газета Ленинградского ордена Трудового Красного Знамени технологического института имени Ленсовета. 1970-1975.

# КРИЗИС МЕТОДОЛОГИИ, МЕТОДИК И ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ В ВУЗЕ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАТИЗАЦИИ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

***Быданов В.Е.[1], Овчинникова В.Л.[2]***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), [1]кафедра философии, [2]кафедра химии и технологии высокомолекулярных соединений*

*e-mail: ovchinnikova.lera2015@yandex.ru*

## CRISIS OF METHODOLOGY, TEACHING METHODS, AND ORGANIZATION OF UNIVERSITY EDUCATION IN THE CONDITIONS OF INFORMATIZATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

***Bydanov V.E., Ovchinnikova V.L.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Несмотря на то, что своим развитием человечество обязано интеллекту, современные технологии (компьютеры, ИИ, интернет) парадоксальным образом ведут к его снижению, изменению нейронной структуры мозга, падению мыслительных и креативных способностей.

Искусственный интеллект – это множество технологий, которые позволяют машинам выполнять задачи, обычно требующие человеческого ума, это сложные математические модели и алгоритмы, которые умеют эффективно находить закономерности в данных, но не обладают ни сознанием, ни пониманием. [1]. Феномен ИИ является составной частью концепции современного информационного общества («технизированного»), но он ограничен в своих способностях заменять человека, поскольку неспособен на эмоции, которые во многом определяют нашу жизнь.

Одним из признаков человеческого сознания является способность переживать квалиа – качественный аспект любого субъективного переживания (субъективный опыт личности), например, физическая или моральная боль. Квалиа невозможно передать с помощью информации, невозможно описать как часть физического мира. Поэтому ИИ не может переживать сенсорный опыт, не может иметь представление о человеческой душе и самосознании индивида, которое формируется только в социальном окружении и непосредственном физическом (а не в телефонном или в сети Интернет) общении людей. Дистанционное обучение на всех уровнях образования во время пандемии наглядно показало ущербность желания заменить непосредственное обучение человека человеком.

Включение информационных технологий и ИИ в образование должны изменять общую методологию и методики учебного познавательного процесса, с учётом деформации интеллектуальных возможностей современных студентов под воздействием массовой культуры, отсутствия у них критического мышления, доминирования клипового и предметного сознания, ориентации на внешние ресурсы Интернет.

На институциональном, организационном уровне данные процессы дополняются технократическим обеднением содержания образовательных целей. Фиксируется подмена содержательных категорий воспитания и развития измеряемыми компетенциями, что ведёт к утрате этического и экзистенциального измерений образования. В том же направлении действуют механизмы надзорного капитализма: образовательная деятельность превращается в сырьё для алгоритмической оптимизации, а обучаемый — в объект непрерывного поведенческого прогнозирования [2] и статистической отчётности.

**Литература:**

1. Ильинский А. Искушение искусственным интеллектом. М.: РИПОЛ классик, 2026. С. 35.

2. Зубофф Ш. Эпоха надзорного капитализма: битва за человеческое будущее на новых рубежах власти. — Москва: Изд-во Института Гайдара, 2022. — 704 с.

# ЛОКАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ В ИСТОРИЧЕСКОЙ ПЕРСПЕКТИВЕ

***Рябова А.В.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра теоретических основ материаловедения*
*e-mail: anastasiarabova134@gmail.com*

## LOCAL SOLUTIONS TO FOOD WASTE PROBLEMS IN HISTORICAL PERSPECTIVE

***Ryabova A.V.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, примерно треть всех производимых в мире продуктов питания ежегодно отправляется на свалку. В России этот показатель составляет 42 млн тонн. Общий совокупный процент потерь составляет 41,3 % [1]. В среднем каждый житель страны выкидывает 80 кг пищи в год. К сожалению, несмотря на разработанные в 2015 году Генеральной ассамблеей ООН 17 Целей Устойчивого развития, проблема пищевых отходов останется актуальной на долгое время, ведь необходимо решение не только на масштабном, но и на локальном уровне. Распространение использования вермифермы – установки для переработки ПО червями в биогумус, органически чистое удобрение – может стать как масштабным, так и локальным способом реализации ЦУР 12 – ответственное потребление и производство – и 15 – сохранение экосистем суши [2].

Собрана и проанализирована информация, благодаря которой видны недостатки промышленного компостирования по сравнению с домашним [3]. Изучена конструкция и принцип работы вермифермы, положительные и негативные аспекты её установки. На основе полученных данных проведён анализ пользы масштабирования использования установки.

Анализ различных способов переработки пищевых отходов дал возможность понять, что вермиферма является эффективным и экологически безопасным способом решения проблем пищевых отходов и разрушения экосистем суши.

**Литература:**

1. Ежегодно в России образуется 42 млн тонн пищевых отходов – исследование фонда «Выручаем». [Электронный ресурс] URL: https://asi.org.ru/news/2025/09/29/ezhegodno-v-rossii-obrazuetsya-okolo-42-millionov-tonn-pishhevyh-othodov-issledovanie-x5-vyruchaem/ (дата обращения: 04.03.2026)

2. 17 целей. [Электронный ресурс] URL: https://sdgs.un.org/ru/goals (дата обращения: 04.03.2026)

3. Утилизация и переработка твердых бытовых отходов: бизнес идея. [Электронный ресурс] URL: https://businessmens.ru/article/utilizaciya-i-pererabotka-tverdyh-bytovyh-othodov-biznes-ideya (дата обращения: 04.03.2026)

# «ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ»: ИСТОРИЯ УЧРЕЖДЕНИЯ И НАГРАЖДЕНИЙ

***Костоправова М.М., Фарберов П.Я.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра управления персоналом и рекламы*

*e-mail: pf@gtifem.ru*

# «GOLD MEDAL FOR RADIATION PROTECTION»: HISTORY OF ITS ESTABLISHMENT AND AWARDS

***Kostopravova M.M., Farberov P.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Одной из самых престижных наград в области радиационной безопасности является учреждённая в 1962 году Шведской королевской академии наук «Золотая медаль радиационной защиты».

Медаль «присуждается лицу, внесшему ценный вклад в международную работу по радиационной защите в течение предшествующих 10 лет». Каждая медаль имеет индивидуальный характер. Пример награды врученной Ethel Gilbert приведен на рисунке.




**Рисунок – Медаль, врученная в 2016 году.**

Вручение происходит на Международном конгрессе Международной ассоциации радиационной защиты (IRPA), за редким исключением, раз в четыре года.

Награда не вручалась в 1969 и 1977 годах - из-за недостатка средств и в 1996/97 году из-за изменения места проведения. Награждение 2020 года было отложено на год в связи с эпидемией COVID-19.

Всего за 1962 по 2024 год было награждено 15 выдвинутых IRPA специалистов [1].

В 1962 году, в виде как исключения, были награждены 2 исследователя (K.Z. Morgan и W. Binks).

Полный список награжденных на 2026 год – 2024: Ohtsura Niwa, 2021: Dale Preston, 2016: Ethel Gilbert, 2012: Keith Eckerman, 2008: K. Sankaranarayanan, 2004: Richard Doll, 2000: Ангелина Гуськова, 1993: I Shigematsu, 1989: Bo Lindell, 1985: S. Takahashi, 1981: E.E. Pochin, 1973: L.S. Taylor, 1965: W.V. Mayneord, 1962: W. Binks и K.Z. Morgan.

**Литература:**

1. International Commission on Radiological Protection. Awards https://www.icrp.org/page.asp?id=411

# РЕКЛАМА В ГАЗЕТЕ «ТЕХНОЛОГ» 1950-Х ГОДОВ И СОВРЕМЕННАЯ УНИВЕРСИТЕТСКАЯ КОММУНИКАЦИЯ: СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

***Чибис С.А.*, *Фарберов П.Я.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра управления персоналом и рекламы*

*e-mail: chibisemk@gmail.com , pf@gtifem.ru*

**ADVERTISING IN THE «TECHNOLOG» NEWSPAPER OF THE 1950S AND MODERN UNIVERSITY COMMUNICATION: A COMPARATIVE ANALYSIS**

***Chibis S.A.*, *Farberov P.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Цель работы – сопоставительный анализ рекламных объявлений газеты «Технолог» (1950–1955 гг.) и современных форм университетской коммуникации для выявления устойчивых функций и трансформаций рекламы в образовательной среде. Газета выполняла те же базовые функции, что и сегодняшние цифровые каналы: информирование, продвижение продукции, мобилизация на общественно-политические мероприятия.

Праздничный номер к 37-й годовщине Октября (№ 35, 5 ноября 1954 г.) иллюстрирует событийное продвижение, подобное анонсам в соцсетях. Однако различия принципиальны: советская реклама находилась под идеологическим контролем вне рыночной конкуренции, в отличие от современной конкурентной среды с множеством платформ.

Анализ выявляет преемственность и отличия в вузовской коммуникации за 70 лет: при смене носителей ключевые функции внутренней рекламы остаются устойчивыми. Пример представлен на рисунке.




**Рисунок - Газета «Технолог» № 35 (1022) 5 ноября 1954 г.**

**Источники:**

1. «Технолог» / Газета Ленинградского Ордена Трудового Красного Знамени технологического института имени Ленсовета. 1950-1955.

# ВИЗУАЛЬНЫЙ ЯЗЫК РЕКЛАМЫ В ГАЗЕТЕ «ТЕХНОЛОГ» В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ 50-Х ГОДОВ XX ВЕКА

***Шунин М.Д.*, *Фарберов П.Я.***

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра управления персоналом и рекламы*

*e-mail: mikhshunin@ya.ru , pf@gtifem.ru*

# VISUAL LANGUAGE OF ADVERTISING IN THE «TECHNOLOG» NEWSPAPER IN THE FIRST HALF OF THE 1950S

***Shunin M.D.*, *Farberov P.***

*Saint-Petersburg State Institute of Technology*

Целью работы является анализ визуального оформления рекламных объявлений в газете «Технолог» в период с 1950 по 1955 годы [1], для выявления графических приемов и изобразительных средств, использовавшихся в условиях ограниченных полиграфических возможностей многотиражного издания.

Газета «Технолог» печаталась типографским способом, что накладывало существенные ограничения на визуальное решение публикуемых материалов. Тем не менее редакция использовала доступный арсенал выразительных средств: варьирование шрифтовых гарнитур и кеглей, рамки и линейки, а также оригинальные рисованные иллюстрации и карикатуры. Примером служит новогоднее обозрение «Ревизор» (№ 43, 31 декабря 1954 г.), в котором серия карикатур студента Б. Певзнера сопровождает сатирические тексты, превращая газетную полосу в цельную визуальную композицию.

Анализ позволяет лучше понять специфику визуальной коммуникации в советских многотиражных изданиях, работавших в условиях технологических ограничений и идеологических рамок, а также проследить формирование графической культуры вузовской прессы. Пример визуального оформления представлен на рисунке.

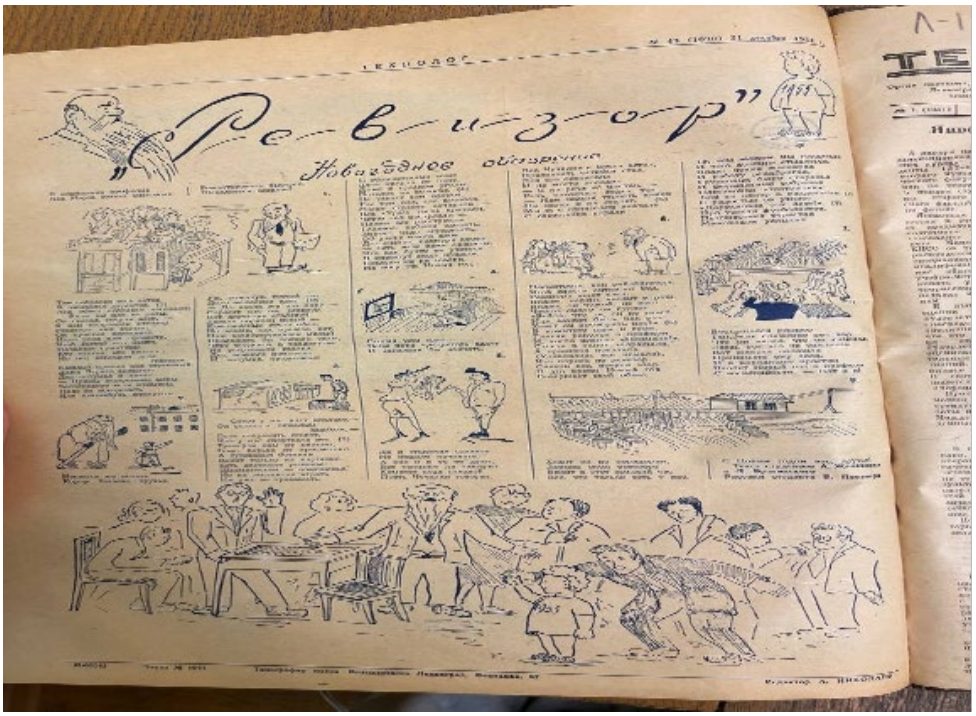



**Рисунок - Новогоднее обозрение «Ревизор», №43 (1030) 31 декабря 1954 г.**

**Литература:**

1. «Технолог» / Газета Ленинградского Ордена Трудового Красного Знамени технологического института имени Ленсовета. 1950-1955.

# АЛФАВИТНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ


**А**

Абиев Р.Ш. 23, 156
Агафонов А.Е. 76
Агафонов Д.В. 109
Акерма Э.М. 185
Александров С.А. 315, 316
Александрова С.А. 284, 302
Александрова Ю.В. 100, 108
Алексеев А.А. 95
Алексеев А.Е. 186, 335
Алексеев Д.Д. 187
Алексеев Ф.С. 93
Аликин М.Б. 146
Алтасина А.Д. 268
Ананченко И.В. 250, 281
Андреева О.М. 94, 95
Андрущук Я.О. 332
Антоненко Д.В. 41
Антонова Д.Р. 39, 44
Ануфриева Е.В. 354
Аполинская М.И. 333, 355
Арефьев Е.М. 159, 166
Арсентьев М.Ю. 253
Артамонов А.А. 156
Артемьева В.А. 309
Арутюнян А.В. 336
Афанасьева К.А. 188
Ахматнабиев М.Ф. 264

**Б**

Банных О.П. 161
Баранова А.В. 189
Барканова Т.А. 149
Бархатов Э.М. 362
Барыльник И.Н. 59, 317
Басюк В.В. 365
Бахметьев В.В. 18, 22
Бахтеев К.А. 6
Беликов И.А. 269, 270
Белоусов В.А. 16
Белоусова О.Л. 19, 23
Беляев А.А. 271
Беляков А.Н. 114
Беляков Н.А. 104
Беналлал А-М.Н. 190, 191
Бенедиктов П.М. 40
Бережная Е.В. 174
Бермешев Т.В. 17
Беспалов Д.С. 334, 335
Бикмухаметов И.В. 77
Блинов И.Е. 120
Богданов С.П. 254
Богданова А.С. 254
Богодист О.Е. 266
Богомолов Д.В. 192
Богун А.Б. 96, 97
Бодалёв И.С. 312
Бойцов В.М. 50
Болгова И.А. 338
Болотова Л.Д. 121, 143
Большаков А.А. 195, 299
Большакова О.И. 338
Бондаренко С.Д. 6
Боридько Л.Ш. 32
Борисенкова А.А. 153, 154
Боровиков М.О. 221, 245
Боровков В.А. 248
Бородинов А.Г. 300
Бочковский С.К. 336, 341
Бразовская Е.Ю. 94
Брюхов Р.Р. 157
Букин Р.А. 255
Буковский П.Г. 74
Булат С.А. 363
Бурулев Т.В. 272, 273
Быданов В.Е. 369

**В**

Вагин А.А. 62
Варлашина Е.В. 274
Васильев И.В. 193
Васильев Н.В. 256
Верес П.М. 337
Видякин Е.А. 64, 65
Виноградова И.К. 194
Витоль П.А. 318
Власенко А.Б. 18
Волкова Д.Д. 10
Волкова С.В. 19
Ворожейкина Я.Д. 175
Ворона С.В. 40
Воронков М.Е. 25, 36

**Г**

Гаврилова Д.А. 20
Галеев Э.С. 319

Ганина А.А. 338
Гилевская О.В. 158, 161
Глухоедова М.А. 310
Голецкий Н.Д. 16
Головин Г.Д. 78, 334
Горлов А.Б. 275
Горлова И.А. 41
Гребенникова Н.А. 122
Григорьев Я.А. 339
Григорьева А.К. 79
Григорьева Л.В. 323, 324
Григорьева Н.Ю. 42
Григорьева Т.А. 179, 183
Грищук Е.М. 98
Грязных И.Д. 276
Гугняева С.Н. 340
Гудкин А.В. 123
Гукасов Д.А. 7
Гурьева К.И.[2] 262
Гущина М.А. 99

**Д**

Давтян А.А. 124
Дадыкин А.Ю. 21
Дакуо К.Н. 43
Далидович В.В. 323, 324
Даниличева П.Д. 100
Дашко Д.В. 263
Демьяненко Д.Б. 66, 71
Денисова В.Н. 320
Дидан А.А. 195
Дмитриев Д.Д. 159
Дмитрук В.В. 196
Докторова М.Д. 341
Долгин А.С. 260
Долженко А. 124
Долматов В.Ю. 255
Донченко Д.В. 285
Дорошенко К.С. 125
Драчук А.С. 342
Дудина В.А. 336
Дьяченко С.В. 257, 264

**Е**

Евдокимова Е.Н. 309
Евстропьев С.К. 310
Егоров Д.М. 53
Егоров Н.В. 8
Ежевчук М.Д. 321
Емельянова А.Н. 322
Ермакова Д.В. 160
Ермакова М.А. 258, 259

**Ж**

Железникова Е.И. 9
Жижина К.П. 343, 344
Жихарева А.С. 161, 366
Жуков С.А. 334, 335

**З**

Завьялова П.С. 265
Загидуллина Ф.Р. 197, 222
Загузова Е.Е. 101
Закиров И.А. 193
Занин Е.В. 198
Запорожченко А.С. 189
Заузин А.В. 277, 278
Захарова Н.В. 313
Зеленина Е.В. 265
Зенина А.Д. 176
Зикрацкая А.А. 365
Зимницкая М.В. 44, 49
Зубриловская Е.Е. 66
Зыков В.А. 80
Зыкова Д.А. 177, 178
Зыкова П.Д. 22

**И**

Иванов Ф.А. 162, 199
Иванова В.И. 24
Иванова Е.А. 345, 363
Иванова Е.Р. 67
Ивахнюк А.Г. 329
Ивахнюк К.С. 59
Ивлев М.Р. 200
Игнатьева М.А. 201, 279
Ижукова Ю.С. 102
Изотова С.Г. 12
Ильина М.А. 125

**К**

Кайгородова Е.А. 202
Калинин В.В. 126, 127
Карагачева Е.А. 323, 324
Караджаев М.М. 203
Каторкина Л.В. 128, 129
Качалов С.И. 103, 311
Кашубаро С.В. 325
Кельциева О.А. 180
Ким К.А. 178
Ким К.А. 177
Киндт Д.Н. 183

Киргизов В.В. 285
Кирсанова С.Р. 23
Клименко Д.И. 42
Климова Г.С. 346
Клинова А.И. 24
Клунко А.Г. 130
Клюев Б.С. 280
Кобко А.А. 204
Ковалёв И.Ю. 334, 335
Ковалёв С.А. 281, 282
Ковалева А.А. 163, 283
Коваль А.Р. 260
Ковжина А.Л. 120, 134
Ковинев Д.С. 205
Коготков М.А. 284
Кожевин А.Д. 181
Козлов А.В. 194, 249
Козлов А.С. 258, 259
Козловский П.С. 131
Кокунько И.Н. 318, 321
Колесникова А.С. 206, 207
Колобкова Е.В. 33
Коломиец С.В. 132, 133
Колосов М.А. 285
Колотилова А.Д. 45
Колчин Д.В. 46
Комиссаров А.Е. 363
Кондратьева А.О. 150
Копейкин М.Р. 164
Копылова М.Е. 81, 88
Копылова О.И. 104, 117
Коржикова-Влах Е.Г. 61
Коржиков-Влах В.А. 60
Корнилов И.Д. 24
Королев И.В. 247
Королёнок К.А. 47, 56
Коростылева А.А. 208, 209
Косолапов Г.А. 286, 287
Костецкая А.А. 134
Костикова Ю.А. 151
Костоправова М.М. 371
Кочергина О.Н. 347
Кочина Т.А. 47
Кочнев С.В. 262
Краева Л.А. 350
Краснов К.А. 42
Краснова А.А. 42
Крепышева Т.А. 10, 51
Кротов И.А. 210
Крутилин В.Е. 98
Крыласов Д.А. 332
Крылов А.С. 48
Кудряшова Ю.С. 19, 23
Кузнецов А.С. 152
Кузьмин С.А. 367
Кукушкин В.Ю. 4
Кульков М.М. 78
Купряхина М.В. 25
Куркина В.В. 227
Куропятник А.М. 261
Курушкин А.В. 82, 83
Кусов В.Е. 313
Кушакова А.И. 311

**Л**

Лаврищева С.А. 102
Лаптев Д.А. 211
Ларионов М.И. 24
Латыпова Е.М. 356
Лебедев С.О. 27
Лебедева А.Д. 135
Лёдов А.С. 212
Лёзов Д.В. 47, 56
Леонович М.С. 60
Лесников Н.О. 348
Липин Д.А. 12
Лисовская Е.С. 16
Литковский Н.С. 213
Литовченко А.С. 288, 289
Логачев Е.П. 290
Логинов С.В. 93, 118
Логунова Т.В. 291
Лопушкова Т.Н. 152
Лоскутов С.И. 150
Лотникова К.В. 255
Лукина В.А. 51
Лукконен В.Н. 262
Лукоянова Д.И. 84
Лютова Ж.Б. 149
Лян Д.С. 98
Лянко М.В. 186

**М**

Ма И.Х. 214
Макаров И.А. 266
Макаров Н.А. 215
Макарова А.М. 26
Макарова Л.Ф. 224
Макарук Р.В. 192
Максимова Я.С. 39, 49
Макулова М. 85
Макушев Р.В. 37
Макушева И.В. 165
Малахова К.А. 104

Малова В.В. 136
Мамчич М.В. 16
Манджиева Э.Д. 349
Манойлов В.В. 300
Мансуров П.А. 166
Маратканов А.О. 216, 217
Маратканова П.Н. 86
Марахова К.А. 137
Марголина К.Я. 179
Марков А.В. 158
Маркова А.И. 105
Маркова М.А. 149, 263
Маруева А.Д. 264
Марченко Д.М. 357
Матвеева А.Н. 91
Матвиенко В.Д. 61
Мельников И.Д. 292, 293
Мик И.И. 83, 334
Милютина Ю.П. 336
Мина Е.А. 218, 219
Миняев В.С. 220
Миронова И.Ю. 106
Михайлова Е.Р. 357, 361
Михайлова Ю.С. 221
Мкртчян С.С. 50
Моисеев А.Е. 222
Муравский А.А. 121, 144
Мусаев А.А. 203, 304
Мусаев Ан.А. 298
Мызников Л.В. 10, 51
Мякин С.В. 32, 37

**Н**

Нарушко М.Д. 27
Нарыжный С.Ю. 255, 259
Наумов А.А. 16
Наумов Р.С. 326
Некрасова Е.А. 180
Немешев М.М. 350
Непочатый Г.Д. 177, 178
Никифоров А.А. 61
Никифорова К.С. 368
Николаев А.М. 19, 23
Николаев А.Н. 28
Николаева А.Д. 30, 118
Николенко А.В. 29
Ниязов М.Г. 10, 51
Новикова В.Н. 294
Новикова Д.С. 40, 176
Новожилова И.В. 188, 189
Норберт К.Р. 79
Норкина Д.Д. 52

**О**

Овчинникова В.Л. 369
Омаров Ш.О. 91
Орлова В.А. 336
Орлова В.С. 351, 359
Островский В.А. 41
Отпущенников Л.А. 265

**П**

Павлов Б.Д. 72
Палесика А.А. 295
Панасюк В.А. 296
Панфилов Д.А. 141, 142
Папп В.Т. 42
Парамонов Р.И. 87
Патока А.С. 223
Пахомов Н.А. 101, 107
Певзнер Л.М. 43, 54
Перепечин Д.И. 30, 53
Перьков А.М. 297
Петренко Д.А. 76, 88
Петров А.И. 300
Петров Д.Н. 297
Петров М.Л. 43, 54
Печенкина Е.С. 98, 124
Пешехонов А.А. 251
Питерская Ю.Л. 57
Плонский В.Ю. 240, 241
Поварницына Н.А. 65
Подольская Е.П. 11
Полетаев К.А. 31
Полосин А.Н. 198, 212
Полтавец Е.А. 298
Полякова А.М. 200
Полякова Л.С. 109
Поначевный Н.М. 224
Потапов К.А. 124
Потапова К.К. 107
Потехин Д.А. 167
Привалов Н.Н. 225, 226
Пронина Ю.А. 181
Проститенко О.В. 206, 302
Простякова Р.Е. 227
Прудентова Е.В. 228, 229
Путис С.М. 52
Пухальский Я.В. 150

**Р**

Разыграев А.С. 210, 234
Растегаева С.А. 153, 154
Ревенко А.А. 138

Редина Т.В. 230, 231
Рогов А.Ю. 232, 233
Родин А.С. 139
Родина М.А. 168, 169
Романов Е.Ю. 68, 69
Романова А.А. 182
Романова В.В. 170
Рудакова И.В. 237
Румба П.А. 352
Румянцев Н.И. 312
Рухлова К.А. 239
Рыбалкина А.В. 353
Рыбалко Д.В. 140
Рябинина А.И. 141, 142
Рябова А.В. 370
Рябова Е.В. 345, 363
Рязанова Ю.А. 354

**С**

Савенков О.Г. 299
Савинцева А.А. 32
Сайранова А.Р. 355, 356
Салимова А.Ф. 234
Самсоненко А.А. 33
Сараев А.С. 300
Саранцева С.В. 345, 356
Сафаров Р.Ф. 235, 236
Сафина Е.В. 100, 108
Сахабеев Р.Г. 333, 339
Севастьянова А.Д. 89
Северова Е.А. 42, 180
Седов В.П. 153
Седых А.В. 337
Семенкин Г.А. 237
Семенков Д.И. 238, 239
Семяшкин В.Ю. 181
Сидоров Н.Э. 171
Силантьев В.В. 301
Силиверстов А.А. 109
Симоненко Л.А. 357
Синило Д.А. 313
Скороходова Е.К. 358
Сладковский Д.А. 82, 216
Слепнёва Е.Э. 363
Слинкин Т.В. 351, 359
Смелик А.М. 182
Смирная А.Д. 183
Смирнов И.А. 205
Смирнова А.В. 151
Смирнова В.В. 321
Смирнова Т.А. 70
Соболев А.В. 54
Соболева А.А. 360
Соколенко А.В. 361
Соколова А.А. 357
Соколова А.Н. 34
Соколова Н.Б. 45
Солдатов А.А. 253, 261
Солнцев А.Ю. 172
Соловей В.Н. 325
Соловьев Д.С. 362
Соннова В.А. 240, 241
Сорокин И.А. 322
Сорокина В.С. 271, 302
Сосновенко К.И. 55
Степаков А.В. 50, 181
Степанова К.А. 242, 303
Степанчук А.П. 334, 335
Степынин Д.В. 322
Сторожек Г.О. 126, 127
Стрельников С.А. 243
Стулов А.А. 363
Сукманюк В.Д. 244
Сулейманов Т.О. 304
Сулим Ю.С. 110
Суханова Д.А. 111, 115
Сыроквашин В.В. 213, 223
Сыса М.М. 11
Сысоев Е.И. 253
Сычев М.М. 253

**Т**

Тарасов И.А. 245
Тенникова Т.Б. 60
Терешкин В.А. 7
Тетерин М.А. 269, 277
Титова А.В. 153, 154
Титова А.Д. 12
Тищенко Е.А. 51
Толченкова А.А. 128, 129
Томаев В.В. 37
Трибулович В.Г. 34, 175
Трофимец Д.А. 109
Туманов П.А. 112
Тухватулина Е.А. 143
Тухватуллина Л.Г. 35
Тучаев Г.М. 327
Тяпкина Д.А. 144

**У**

Усачева У.О. 36, 366

**Ф**

Фарберов П.Я. 371, 372
Федин А.К. 190, 191
Федоренко Н.Ю. 19, 23
Федоров В.А. 246, 249
Федорова Ю.А. 154
Федоскина В.А. 113
Феклистова К.А. 42
Фенин М.М. 301
Феоктистова М.В. 71
Финогеев Р.Р. 197
Фокин Д.Р. 328, 329
Фомин М.Е. 37
Фомина Л.С. 330
Фоминых П.А. 305
Форсова К.А. 44, 49
Фураев Д.Н. 220

**Х**

Хаирзаманова И.А. 342
Халимон В.И. 193, 207
Халина М.А. 247
Халтурин А.А. 145
Хамова Т.В. 19, 23
Ханжиева М.А. 312
Ханыкова Н.К. 266
Хомяк А.Е. 180
Хотянович Д.В. 39
Хохлачев С.П. 330
Храмчихин А.В. 57

**Ц**

Цивинская М.Н. 13

**Ч**

Чекуряев А.Г. 114, 254
Чернец Ю.А. 111, 115
Чернышова К.А. 106
Четверикова В.А. 72
Чибис С.А. 372
Чикунова Е.Н. 90
Чистякова А.Г. 91
Чистякова Т.Б. 222, 238
Чистякова Э.П. 56
Чумаков С.И. 202

**Ш**

Шабанов К.О. 248
Шабурина С.Д. 14
Шаймарданова С.С. 249
Шангина Е.О. 116
Шаповалова В.А. 117
Шарагина О.Н. 31
Шевцова А.А. 306, 307
Шепотковский А.А. 250
Шепсман В.Д. 146, 147
Шилова М.П. 62
Шишаева С.М. 118
Шунин М.Д. 372

**Щ**

Щербакова Л.В. 291

**Ю**

Юнусов Г.И. 57
Юрикова Д.В. 73, 74

**Я**

Ядрихинская Н.А. 251
Яковлев А.В. 79, 89
Яковлева П.А. 40

# Научное издание

XVI научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых имени профессора, Лауреата Государственной премии СССР А.С. Дудырева

**«НЕДЕЛЯ НАУКИ-2026.**
**Творчество молодежи – будущему России»**
(с международным участием)

Отпечатано с оригинал-макета. Формат 60х84. 1/16
Печ.л. 16,5 Тираж 350 экз.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)

190013, Санкт-Петербург, Московский пр. дом 24-26/49, литер А

ISBN 978-5-6052067-8-1