

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ
МАТЕМАТИКИ И ФИЗИКИ
В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ

Сборник трудов
Международной научно-практической конференции

5 апреля 2024 года



ПОЛИТЕХ-ПРЕСС

Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

Санкт-Петербург
2024

УДК [502+551.4/.5+556]:[004+51+53](063)

ББК 26.23

И66

Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях : сборник трудов Международной научно-практической конференции, 5 апреля 2024 г. / под. ред. И. В. Зайцевой. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 370 с.

В сборнике предлагаются научные статьи и доклады, представленные на III Международной научно-практической конференции «Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях» в РГГМУ.

Направления работы конференции отражают области научных интересов коллективов кафедр, входящих в состав института информационных систем и геотехнологий. Опубликованные в сборнике материалы могут быть полезны студентам вузов, аспирантам и молодым специалистам, ищущим решения актуальных научных задач с применением перспективных методов математики, физики и информационных технологий.

Сборник предназначен для широкого круга лиц. Материалы сборника публикуются в авторской редакции.

Редакционная коллегия:

Зайцева Ирина Владимировна – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой высшей математики и физики РГГМУ;

Бобровский Анатолий Петрович – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры высшей математики и физики РГГМУ;

Дробжева Яна Викторовна – доктор физико-математических наук, доцент, декан Метеорологического факультета РГГМУ;

Дьяченко Наталия Владимировна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры высшей математики и физики РГГМУ;

Ермакова Татьяна Сергеевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры метеорологических прогнозов РГГМУ;

Завгородний Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры информационных технологий и систем безопасности РГГМУ;

Малафеев Олег Алексеевич – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой моделирования социально-экономических систем СПбГУ;

Потапова Ирина Александровна – доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики и физики РГГМУ;

Сикарев Игорь Александрович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий и систем безопасности РГГМУ;

Фадеев Сергей Николаевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики и физики РГГМУ.

© Российский государственный гидрометеорологический университет, 2024

© Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2024

ISBN 978-5-7422-8623-3

Предисловие

Представленный сборник научных статей составлен по материалам III Международной научно-практической конференции «Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях», проходившей 5 апреля 2024 года в РГГМУ, и затрагивает актуальную тему развития основных направлений математики и физики в области разработки, создания и практического использования современных информационных систем и технологий в гидрометеорологии.

Актуальность вопросов, поднятых на конференции, обусловлена необходимостью их рассмотрения, как с точки зрения практического применения, так и с позиций их теоретического осмысления. Именно поэтому собранные в данном сборнике статьи не только взаимодополняют друг друга, но и позволяют сформировать представление об инновационном развитии методов математики и физики, информационных систем и технологий в гидрометеорологии.

Сборник состоит из четырех разделов, в соответствии с секциями работы конференции:

Секция 1. Фундаментальные и прикладные аспекты высшей математики в современных исследованиях.

Секция 2. Физические исследования природных процессов.

Секция 3. Современные прикладные информационные системы и геотехнологии.

Секция 4. Развитие исследований в гидрометеорологии и экологии.

Представленные на конференции статьи отражают области научных интересов участников конференции. Опубликованные в сборнике материалы могут быть полезны студентам вузов, аспирантам и молодым специалистам, ученым, преподавателям, ищущим решения актуальных научных задач с применением перспективных методов математики, физики и информационных технологий.

Организаторы конференции надеются, что инновационные материалы, изложенные в статьях участников III Международной научно-практической конференции «Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях», найдут достойное применение в реальном секторе развития современного общества.

СЕКЦИЯ 1. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ В СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

УДК 519.6:511.13

МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ РЕШЕНИЮ ДРОБНО- РАЦИОНАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

*Арбапов Сердар Муратбаевич, Гелдиев Юнус Махмыт оглы,
Мереев Артыкбай Гурбанбаевич, Мереев Сердар Артыкбаевич,
Махемов Юсуп Дадебаевич*

*Туркменский сельскохозяйственный институт, г. Дашогуз,
Туркменистан, mahemowyusup@gmail.com*

Аннотация. В данной статье рассматриваются методы обучения с помощью дробно-рациональных уравнений. Решение примеров имеет большое значение для закрепления теоретических знаний в курсе высшей математики. В результате реформ в системе образования улучшено содержание курсов, также проводится обязательная работа по совершенствованию преподавания, издаются учебники, соответствующие новым учебным программам. Учебники содержат хорошо разработанные задачи. На их основе представлены особенности, помогающие обучающимся овладеть соответствующими навыками для решения задач с помощью дробно-рациональных уравнений.

Ключевые слова: дробно-рациональный, обучение, методы, проблема, уравнение.

TEACHING METHOD USING FRACTIONAL RATIONAL EQUATIONS

Arbapov Serdar Muratbayevich, Geldiyev Yunus Mahmyt ogly, Meredov Artykbay Gurbanbayevich, Meredov Serdar Artykbayevich, Mahemov Yusup Dadebayevich

*Turkmen Agricultural Institute, Dashoguz, Turkmenistan,
mahemowyusup@gmail.com*

Annotation. This article discusses teaching methods using fractional rational equations. Solving examples is of great importance for consolidating

theoretical knowledge in a higher mathematics course. As a result of reforms in the education system, the content of courses has been improved, and mandatory work is being carried out to improve teaching. Textbooks corresponding to the new curricula are published. These textbooks contain well-designed problems. Based on them, features are presented that help students master the appropriate skills for solving problems using fractional rational equations.

Keywords: rational, training, methods, problem, equation.

Рассмотрим методы решения задач с помощью дробно-рациональных уравнений.

Задача №1. Два трактора вместе могут выполнить работу на 18 ч быстрее, чем первый трактор в отдельности, и на 32 ч быстрее, чем второй. За сколько часов каждый трактор сможет выполнить эту работу [1]?

Решение. Метод 1. Пусть два трактора работают вместе x часов. Тогда их общая производительность составит $\frac{1}{x}$. Первый трактор выполнит работу за $x + 18$ часов и будет иметь производительность $\frac{1}{x+18}$. Второй трактор выполнит работу за $x + 32$ часа и будет иметь производительность $\frac{1}{x+32}$. На основании этих данных составим следующую таблицу 1.

Таблица 1 – Таблица дробно – рациональных уравнений

	Время	Производительность
Первый и второй трактор	x	$\frac{1}{x}$
Первый трактор	$x + 18$	$\frac{1}{x + 18}$
Второй трактор	$x + 32$	$\frac{1}{x + 32}$

Составим следующее уравнение в соответствии с условиями задачи:

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{x + 18} + \frac{1}{x + 32}.$$

Решение. $\frac{1}{x} = \frac{2x+50}{(x+18)(x+32)}$ или $(x + 18)(x + 32) = x(2x + 50)$;
 $x^2 + 50x + 18 \cdot 32 = 2x^2 + 50x$; $x^2 = 18 \cdot 32 = 9 \cdot 64 = (3 \cdot 8)^2$.

Так как $x > 0$, то $x = 24$. Тогда первый трактор выполнит работу за $x + 18 = 24 + 18 = 42$ часа, а второй трактор за $x + 32 = 24 + 32 = 56$ часов.

Метод 2. Первый и второй трактор могут выполнять эту работу по отдельности: $32 - 18 = 14$ ч.

Пусть второй трактор выполняет работу за x часов. Тогда его производительность будет равна $\frac{1}{x}$. Первый трактор выполняет эту работу за $x - 14$ часов, и будет иметь производительность $\frac{1}{x-14}$. Два трактора вместе выполнят работу за $x - 32$ часа, и их производительность будет одинаковой $\frac{1}{x-32}$.

Составим следующее уравнение в соответствии с условиями задачи:

$$\frac{1}{x-32} = \frac{1}{x-14} + \frac{1}{x}.$$

Решение. $\frac{1}{x-32} = \frac{2x-14}{x(x-14)}$ или $(x-14) = (2x-14)(x-32)$; $x^2 - 14x = 2x^2 - 78x + 14 \cdot 32$; $x^2 - 64x + 14 \cdot 32 = 0$; $x_1 = 56$; $x_2 = 8$. x_2 не удовлетворяет условию задачи. Если второй трактор выполнит работу за 56 часов, то первый трактор за $x - 14 = 56 - 14 = 42$ часа.

Метод 3. Пусть первый трактор выполняет всю работу за x часов. Его производительность будет $\frac{1}{x}$. Второй трактор выполняет работу за $x + 14$ часов, и будет иметь производительность $\frac{1}{x+14}$. Два трактора вместе выполнят работу за $x - 18$ часов, и производительность их будет одинаковой $\frac{1}{x-18}$.

Составим следующее уравнение в соответствии с условиями задачи:

$$\frac{1}{x-18} = \frac{1}{x+14} + \frac{1}{x}.$$

Решение. $\frac{1}{x-18} = \frac{2x+14}{x(x+14)}$ или $x(x+14) = (2x+14)(x-18)$; $x^2 + 14x = 2x^2 - 22x - 14 \cdot 18$; $x^2 - 36x - 14 \cdot 18 = 0$; $x_1 = 42$; $x_2 = -6$. x_2 не удовлетворяет условию задачи. Если первый трактор выполнит эту работу за 42 часа, то второй трактор за $x + 14 = 42 + 14 = 56$ часов.

Ответ: 42 часа и 56 часов.

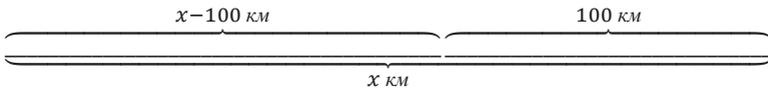
Задача 2. Несколько рабочих работают вместе. Первый рабочий выполняет всю работу n_1 за день самостоятельно. Второй рабочий выполняет всю работу n_2 за день и т. д. N – рабочий выполняет всю работу n_n за день. За сколько дней все рабочие вместе выполнят работу?

Решение. Первый рабочий выполняет часть работы $\frac{1}{n_1}$ за один день, второй рабочий выполняет часть работы $\frac{1}{n_2}$ за один день и т. д., n – рабочий выполняет часть работы $\frac{1}{n_n}$ за один день. В результате получаем: $\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} + \dots + \frac{1}{n_n}$. Затем: $\frac{1}{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} + \dots + \frac{1}{n_n}}$.

Ответ: $\frac{1}{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} + \dots + \frac{1}{n_n}}$.

Задача 3. Грузовик ехал из одного села в другое 4 ч. На обратном пути первые 100 км он ехал с той же скоростью, а затем уменьшил ее на 10 км/ч и поэтому на обратный путь затратил на 30 минут больше. Найти расстояние между селами, если известно, что расстояние между ними больше 180 км.

Решение. Пусть x км расстояние между селами. Если учесть, что грузовик проехал это расстояние за 4 часа, то начальная скорость грузовика будет равна $\frac{x}{4}$ км/ч.



На основе схемы составим линейно-рациональное уравнение:

$$\frac{x-100}{\frac{x}{4}-10} - \frac{1}{2} = \frac{x-100}{\frac{x}{4}}$$

После некоторых преобразований получим: $\frac{x-100}{x-40} - \frac{1}{8} = \frac{x-100}{x}$

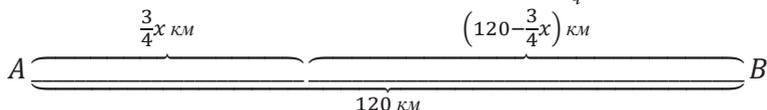
или $\frac{8x-800-x+40}{8(x-40)} = \frac{x-100}{x}$; $7x^2 - 760x - 8x^2 + 320x + 800x - 32000 = 0$;

$x^2 - 360x + 32000 = 0$; $(x - 160)(x - 200) = 0$; $x_1 = 160$, $x_2 = 200$. Расстояние между селами должно быть больше 180 км. Так как $x_1 < 180$, расстояние между селами будет равно 200 км.

Ответ: 200 км.

Задача 4. От станции А к станции В расстояние между которыми равно 120 км, одновременно отправились два катера. Первый катер двигался с постоянной скоростью. Второй катер шёл $\frac{3}{4}$ ч с той же скоростью, что и первый, затем на 15 мин остановился. После этого он увеличил скорость на 5 км/ч и на станцию В прибыл вместе с первым катером. Найдите скорость первого катера [2].

Решение. Пусть скорость первого катера $x \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.



На основе схемы составим следующее уравнение:

$$\frac{120 - \frac{3}{4}x}{x} = \frac{120 - \frac{3}{4}x}{x + 5} + \frac{1}{4}.$$

Решение. $\frac{480-3x}{x} = \frac{480-3x}{x+5} + 1; (x+5)(480-3x) - x(485-2x) = 0; 480x - 3x^2 + 2400 - 15x - 485x + 2x^2 = 0; x^2 + 20x - 2400 = 0;$

$(x+60)(x-40) = 0; x_1 = -60, x_2 = 40.$ Скорость должна быть положительна, поэтому скорость первого катера будет равна 40 км/ч.

Ответ: 40 км/ч.

Решение задач на занятиях помогает обучающимся полностью усваивать новую информацию и является основой их творческого мышления. Вышеуказанные задачи могут быть эффективно использованы для обучения и повышения самостоятельной активности студентов, для проведения внеаудиторной работы.

Список использованной литературы

1. Минорский, В.П. Сборник задач по высшей математике. – Москва: Наука, 1971. – 151 с.
2. Ашыров О., Гурбанмаммедов М., Солтанов Х., Алмазов М. Высшая математика. Т. 2. – Ашхабад: Туркменская государственная издательская служба, 2012.– 108 с.

УДК 519.6:511.12

АНАЛИЗ ЗАДАЧ, СВЯЗАННЫХ С СУММАМИ ЧИСЕЛ

*Атаев Мердан Нургельдиевич, Сапаргелдиев Джумадурды,
Балышев Туркеш Ашырбаевич, Махемов Юсуп Дадебаевич, Ковусов
Шыхмырат Нурмамедович*

*Туркменский сельскохозяйственный институт,
г. Дашогуз, Туркменистан, mahemowyusup@gmail.com*

Аннотация. В данной статье рассматривается анализ задач на сумму чисел. Для достижения цели преподаватель постоянно предоставляет учащимся новую информацию. В процессе обучения происходит подготовка к участию в олимпиадах. Соответственно, в этой научной статье авторы проанализировали решения некоторых задач, связанных с суммой нескольких чисел и суммой бесконечного числа чисел.

Ключевые слова: числа, сумма, задача, олимпиада, пример.

ANALYZE PROBLEMS INVOLVING SUMS OF NUMBERS

*Atayev Merdan Nurgeldiyevich, Sapargeldiyev Jumadurdy, Balyshev
Tirkesh Ashyrbayevich, Mahemov Yusup Dadebayevich, Kowusov
Shyhmyrat Nurmamedovich*

*Turkmen Agricultural Institute, Dashoguz, Turkmenistan,
mahemowyusup@gmail.com*

Annotation. This article discusses the analysis of sum-of-numbers problems. To achieve the goal, the teacher constantly provides students with new information. During the learning process, students prepare for participation in Olympiads. Accordingly, in this scientific article, the authors analyzed solutions to some problems involving the sum of several numbers and the sum of an infinite number of numbers.

Keywords: numbers, sum, task, olympiad, example.

Рассмотрим решения задач олимпиадного характера. Представим решение задачи на сумму чисел.

Задача 1. Найти сумму следующих чисел:

$$\left\lfloor \frac{1 \cdot 101}{2024} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{2 \cdot 101}{2024} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{3 \cdot 101}{2024} \right\rfloor + \dots + \left\lfloor \frac{2023 \cdot 101}{2024} \right\rfloor,$$

где $[\alpha]$ выражение α является целой частью.

Решение. Запишите сумму этих чисел S :

$$\begin{aligned} S &= \left[\frac{1 \cdot 101}{2024} \right] + \left[\frac{2 \cdot 101}{2024} \right] + \left[\frac{3 \cdot 101}{2024} \right] + \dots + \left[\frac{2023 \cdot 101}{2024} \right] = \\ &= \left[\frac{(2024-2023) \cdot 101}{2024} \right] + \left[\frac{(2024-2022) \cdot 101}{2024} \right] + \left[\frac{(2024-2021) \cdot 101}{2024} \right] + \dots + \\ &\left[\frac{(2024-1) \cdot 101}{2024} \right] = \\ &= \left[101 - \frac{2023 \cdot 101}{2024} \right] + \left[101 - \frac{2022 \cdot 101}{2024} \right] + \left[101 - \frac{2021 \cdot 101}{2024} \right] + \dots + \\ &\left[101 - \frac{1 \cdot 101}{2024} \right]. \end{aligned}$$

Теперь, когда $[\alpha]$ выражение n является натуральным $\alpha (\alpha > 0, \alpha \notin Z)$ действительным числом:

$$[n - \alpha] = n - 1 - [\alpha]. \quad (1)$$

Как известно, $\frac{1 \cdot 101}{2024}, \frac{2 \cdot 101}{2024}, \frac{3 \cdot 101}{2024}, \dots, \frac{2023 \cdot 101}{2024}$ ни одно число не является целым. Соответственно, исходя из свойства (1), получаем следующее равенство:

$$\begin{aligned} S &= \left[101 - \frac{2023 \cdot 101}{2024} \right] + \left[101 - \frac{2022 \cdot 101}{2024} \right] + \left[101 - \frac{2021 \cdot 101}{2024} \right] + \dots + \\ &\left[101 - \frac{1 \cdot 101}{2024} \right] = 100 - \left[\frac{2023 \cdot 101}{2024} \right] + 100 - \left[\frac{2022 \cdot 101}{2024} \right] + 100 - \\ &\left[\frac{2021 \cdot 101}{2024} \right] + \dots + 100 - \\ &- \left[\frac{1 \cdot 101}{2024} \right] = 100 \cdot 2023 - \left(\left[\frac{2023 \cdot 101}{2024} \right] + \left[\frac{2022 \cdot 101}{2024} \right] + \left[\frac{2021 \cdot 101}{2024} \right] + \right. \\ &\left. \dots + \left[\frac{1 \cdot 101}{2024} \right] \right) = \\ &= 202300 - S. \end{aligned}$$

Тогда $S = 202300 - S$, значит $2S = 202300$ или $S = 101150$.

Ответ: 101150.

Задача 2. Если $b_1 = b_2 = 1, b_3 = -1$ и $b_n = b_{n-1} \cdot b_{n-3}, n \geq 4$, найдите сумму следующих чисел:

$$b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + \dots + b_{2023} + b_{2024}.$$

Решение. Запишем некоторые значения, которые принимают эти числа:

$$\begin{aligned} b_1 &= 1, b_2 = 1, b_3 = -1, b_4 = -1, b_5 = -1, b_6 = 1, b_7 = -1; \\ b_8 &= 1, b_9 = 1, b_{10} = -1, b_{11} = -1, b_{12} = -1, b_{13} = 1, b_{14} = \\ &-1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{15} &= 1, b_{16} = 1, b_{17} = -1, b_{18} = -1, b_{19} = -1, b_{20} = 1, b_{21} = \\ &-1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{7k+1} &= 1, b_{7k+2} = 1, b_{7k+3} = -1, b_{7k+4} = -1, b_{7k+5} = -1, \\ b_{7k+6} &= 1, b_{7(k+1)} = -1; k = 0, 1, 2, \dots \end{aligned}$$

Набор цифр повторяется через каждые семь слагаемых. Тогда получим следующее уравнение:

$$\begin{aligned} b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + b_5 + b_6 + b_7 \\ &= b_8 + b_9 + b_{10} + b_{11} + b_{12} + b_{13} + b_{14} = \\ &= \dots = b_{7k+1} + b_{7k+2} + b_{7k+3} + b_{7k+4} + b_{7k+5} + b_{7k+6} + \\ b_{7(k+1)} &= \dots = -1. \end{aligned}$$

Теперь находим нужную сумму:

$$\begin{aligned} S = b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + \dots + b_{2023} + b_{2024} &= (b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + \\ + b_5 + b_6 + b_7) + (b_8 + b_9 + b_{10} + b_{11} + b_{12} + b_{13} + b_{14}) + \dots + (b_{2017} \\ + \\ + b_{2018} + b_{2019} + b_{2020} + b_{2021} + b_{2022} + b_{2023}) + b_{2024} \\ &= \underbrace{-1 - 1 - 1 \dots - 1}_{289-1} + 1 = -288. \end{aligned}$$

Ответ: -288 .

Задача 3. Найдите сумму следующих чисел, когда $|q| < 1$ [1]:

$$1 - 3q^2 + 5q^4 - 7q^6 + 9q^8 - 11q^{10} + \dots + (-1)^n(2n+1)q^{2n} +$$

...

Решение. Сумму чисел S можно представить:

$$S = (1 + 5q^4 + 9q^8 + \dots) + (-(3q^2 + 7q^6 + 11q^{10} + \dots)) = S_1 + S_2.$$

То есть, $S_1 = 1 + 5q^4 + 9q^8 + 13q^{12} + \dots$, $S_2 = -(3q^2 + 7q^6 + 11q^{10} + \dots)$.

Теперь найдем S_1 и S_2 :

$$\begin{aligned} q^4 S_1 &= q^4 + 5q^8 + 9q^{12} + 13q^{16} + \dots; \\ S_1 - q^4 S_1 &= 1 + 5q^4 - q^4 + 9q^8 - 5q^8 + 13q^{12} - 9q^{12} + \dots; \\ S_1(1 - q^4) &= 1 + 4q^4 + 4q^8 + 4q^{12} + \dots = 1 + \frac{4q^4}{1 - q^4} = \frac{1 + 3q^4}{1 - q^4}; \end{aligned}$$

$$S_1 = \frac{1 + 3q^4}{(1 - q^4)^2}.$$

$$\begin{aligned} S_2 &= -3q^2 - 7q^6 - 11q^{10} - 15q^{14} - \dots; \\ q^4 S_2 &= -3q^6 - 7q^{10} - 11q^{14} - 15q^{18} - \dots; \end{aligned}$$

$$q^4 S_2 - S_2 = 3q^2 + 4q^6 + 4q^{10} + 4q^{14} + \dots = 3q^2 + \frac{4q^6}{1 - q^4}$$

$$= \frac{3q^2 + q^6}{1 - q^4};$$

$$S_2(q^4 - 1) = \frac{3q^2 + q^6}{1 - q^4}; \quad S_2 = -\frac{3q^2 + q^6}{(1 - q^4)^2}.$$

Затем,
$$S = S_1 + S_2 = \frac{1+3q^4}{(1-q^4)^2} - \frac{3q^2+q^6}{(1-q^4)^2} = \frac{1-3q^2+3q^4-q^6}{(1-q^4)^2} =$$

$$\frac{(1-q^2)^3}{(1-q^2)^2(1+q^2)^2} = \frac{1-q^2}{(1+q^2)^2}.$$

Ответ: $\frac{1-q^2}{(1+q^2)^2}.$

Задача 4. Докажите [2]:

$$\operatorname{arctg} \frac{1}{3} + \operatorname{arctg} \frac{1}{7} + \operatorname{arctg} \frac{1}{13} + \dots + \operatorname{arctg} \frac{1}{n^2 + n + 1} + \dots = \frac{\pi}{4}.$$

Доказательство. Сначала найдем сумму S , этих чисел, разделив сумму их S_n первых n членов S_n . Для этого разобьем n -й член этих чисел на несколько выражений:

$$\operatorname{arctg} \frac{1}{n^2 + n + 1} = \operatorname{arctg} \frac{1}{\frac{n^2 + n}{1} + \frac{1}{n^2 + n}} = \operatorname{arctg} \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{n} - \frac{1}{n+1}} + \frac{1}{n \cdot \frac{1}{n+1}}} =$$

$$= \operatorname{arctg} \frac{1}{n} - \operatorname{arctg} \frac{1}{n+1}.$$

Затем,
$$S_n = \operatorname{arctg} \frac{1}{3} + \operatorname{arctg} \frac{1}{7} + \operatorname{arctg} \frac{1}{13} + \dots + \operatorname{arctg} \frac{1}{n^2 + n + 1} =$$

$$\operatorname{arctg} 1 -$$

$$- \operatorname{arctg} \frac{1}{2} + \operatorname{arctg} \frac{1}{2} - \operatorname{arctg} \frac{1}{3} + \operatorname{arctg} \frac{1}{3} - \operatorname{arctg} \frac{1}{4} + \dots + \operatorname{arctg} \frac{1}{n} -$$

$$- \operatorname{arctg} \frac{1}{n+1} = \operatorname{arctg} 1 - \operatorname{arctg} \frac{1}{n+1} = \frac{\pi}{4} - \operatorname{arctg} \frac{1}{n+1};$$

$S_n = \frac{\pi}{4} - \operatorname{arctg} \frac{1}{n+1} < \frac{\pi}{4}$. Сумма этих чисел S_n образует некоторую последовательность чисел. Эта числовая последовательность $\{S_n\}_{n=1}^{\infty}$ ограничена сверху числом $\frac{\pi}{4}$, поэтому $S_n < \frac{\pi}{4}$. Неравенство $S_{n+1} > S_n$ верно.

Затем найдем предел

$$\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = S.$$

Отсюда

$$S = \lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{\pi}{4} - \operatorname{arctg} \frac{1}{n+1} \right) = \frac{\pi}{4} - \lim_{n \rightarrow \infty} \operatorname{arctg} \frac{1}{n+1} = \frac{\pi}{4} - 0 =$$

$$\frac{\pi}{4}.$$

Что и требовалось доказать.

Задача 5. Найдите сумму следующих чисел, если они действительные числа:

$$\cos \alpha + \cos 3\alpha + \cos 5\alpha + \dots + \cos 2021\alpha + \cos 2023\alpha.$$

Решение. Определить сумму этих чисел можно следующим образом:

$$S = \cos \alpha + \cos 3\alpha + \cos 5\alpha + \dots + \cos 2021\alpha + \cos 2023\alpha.$$

Обе части этого уравнения умножим на $\sin \alpha$, и получим:

$$\sin \alpha \cdot S = \sin \alpha \cos \alpha + \sin \alpha \cos 3\alpha + \sin \alpha \cos 5\alpha + \dots + \sin \alpha \cos 2021\alpha +$$

$$+ \sin \alpha \cos 2023\alpha = \frac{1}{2}(\sin(\alpha - \alpha) + \sin(\alpha + \alpha) + \sin(\alpha - 3\alpha) + \sin(\alpha + 3\alpha) + \sin(\alpha - 5\alpha) + \sin(\alpha + 5\alpha) + \dots + \sin(\alpha - 2021\alpha) + \sin(\alpha + 2021\alpha) + \sin(\alpha - 2023\alpha) + \sin(\alpha + 2023\alpha)) = \frac{1}{2}(0 + \sin 2\alpha - \sin 2\alpha + \sin 4\alpha - \sin 4\alpha + \sin 6\alpha - \sin 6\alpha + \dots - \sin 2020\alpha + \sin 2022\alpha - \sin 2022\alpha + \sin 2024\alpha) = \frac{1}{2} \sin 2024\alpha.$$

$$\sin \alpha \cdot S = \frac{1}{2} \sin 2024\alpha, \text{ тогда } S = \frac{\sin 2024\alpha}{2 \sin \alpha}.$$

Ответ: $\frac{\sin 2024\alpha}{2 \sin \alpha}$.

Рассмотренные в статье задачи и их решения можно эффективно использовать для подготовки студентов для участия в олимпиадах, для проведения учебной работы, и для повышения самостоятельной активности студентов.

Список использованной литературы

1. Демидович, Б.П. Сборник задач и упражнений по математическому анализу / Б.П. Демидович. – Москва: Наука, 1977. – 261 с.
2. Баврин, И. И. Высшая математика / И. И. Баврин. – Москва: Просвещение, 1980. – 88 с.

УДК 51(092)

ВЕЛИЧАЙШИЙ УМ РОССИИ – МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ

*Галина Иосифовна Беликова, Екатерина Анатольевна Бровкина,
Виталий Борисович Чесноков, Матвей Евгеньевич Гробылёв
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия, galabel45@gmail.ru*

Аннотация. Статья о великом Российском математике, главном теоретике космонавтики и самом молодом президенте Академии наук М.В. Келдыше. Его научное наследие и самоотверженная жизнь оказали огромное влияние на развитие науки и техники в СССР.

Ключевые слова: вычислительная математика, уравнения в частных производных, теория приближения, космос, самолёты.

RUSSIA'S GREATEST MIND – MSTISLAV KELDYSH

*Galina Iosifovna Belikova, Ekaterina Anatolyevna Brovkina, Vitaly
Borisovich Chesnokov, Matvey Evgenievich Grobylev
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
galabel45@gmail.ru*

Annotation. An article about the great Russian mathematician, the main theorist of astronautics and the youngest president of the Academy of Sciences M.V. Keldysh. His scientific legacy and dedicated life had a huge impact on the development of science and technology in the USSR.

Keywords: computational mathematics, approximation the, space, airplanes.



*Гордиться славою своих предков
не только можно, но и должно.*

А. С. Пушкин

Цель нашей статьи – познакомить с научной деятельностью выдающегося Российского учёного М. Келдыша и показать на его примере, как многого можно достигнуть в различных областях, включая гидрометеорологию и экологию, если глубоко понимать и применять математическую науку.

История Российской математической школы теснейшим образом связана с жизнью и творчеством наших математиков, преданных этой удивительной науке и России. Среди них ярко сияют такие звёзды, как: Лобачевский, Ляпунов, Чебышев, Шмидт, Крылов, Канторович, Колмогоров и Келдыш.

Мстислав Всеволодович Келдыш – один из выдающихся деятелей в истории XX века. Эпоху Келдыша называют "золотым веком" Российской науки. Он – великий человек и не менее великий учёный, посвятивший свою жизнь развитию науки в России.

Мстислав Всеволодович родился в Риге в семье В. Келдыша – профессора политехнического института, известного инженера-строителя, доктора наук.

В 1915 г. к Риге подошли немецкие войска. Город стал прифронтовым. Страх остаться в эмиграции привёл семью в Россию.

Мстислав учился в школе со строительным уклоном. Летом с отцом ездил на стройки и там работал разнорабочим. Отец надеялся, что его любимец станет строителем-конструктором и будет таким же, как знаменитый русский инженер В. Шухов. Мстислав окончил школу в 16 лет, а в таком возрасте ещё не брали на строительное отделение академии, в которой работал отец.

В старших классах школы учителя отмечали незаурядные способности Мстислава в точных науках и особенно в математике. По совету сестры он поступил в МГУ на мехмат и выбрал специализацию "чистая математика". Ещё в студенческую пору Келдыш вёл научную работу под руководством математика М. Лаврентьева. Позже они стали научными сотрудниками и друзьями. Одновременно с учёбой Келдыш работал ассистентом в двух учебных институтах Москвы.

МАТЕМАТИК ВЫСОЧАЙШЕГО УРОВНЯ

*Математика, как и искусство
– это особый способ познания.*

В.А. Успенский

Математика была страстью Келдыша-студента. Он увлёкся теорией функций комплексной переменной. В те времена её считали "прикладной дисциплиной" и использовали для решения различных плоских задач механики сплошных сред. Келдыш стал доктором физико-математических наук в 27 лет. Его докторская диссертация посвящена разложению в ряд гармонических функций и функций комплексной переменной. В 35 лет он уже был академиком. Келдыш успешно решал прикладные задачи благодаря его редкой способности найти для поставленной инженерной задачи адекватную математическую модель и с её помощью решить эту задачу. В совершенстве владея знаниями в разных областях математики, он удивительно быстро строил такие модели.

Основные направления в математике, которыми занимался Келдыш – это функциональный анализ и уравнения в частных производных. Он исследовал проблему среднеквадратичной аппроксимации функций на плоскости с помощью целых и аналитических функций.

Интересны и глубоки фундаментальные работы Келдыша о равномерных полиномиальных приближениях на замкнутых областях. Результаты, которые получил учёный в этой области, используются и в настоящее время.

М. Келдыш внёс значительный вклад в теорию аэродинамики, получив блестящие результаты в теории удара тела о жидкость и в теории движения тела под поверхностью жидкости.

В период 1942–1953 гг. Келдыш был профессором МГУ. На мехмате руководил научным семинаром по теории функций комплексной переменной и читал курс математической физики. Заведовал кафедрой термодинамики. Многие из его учеников стали видными учёными.

Во второй половине XX века множество открытий и изобретений в теоретических и прикладных науках произошло с помощью новой ветви математики – численных методов. В 1953 году Келдыш основал и до 1978 г. возглавлял институт прикладной математики, в котором главную роль играли численные методы. Он собрал коллектив единомышленников – ведущих математиков – специалистов в этой

области, среди которых были: И. Гельфанд, С. Годунов, А. Самарский и А. Тихонов.

Благодаря исключительным волевым качествам и научному авторитету Келдыша коллектив в короткий срок достиг выдающихся результатов. Позже этот институт стал институтом имени Келдыша. В нём проводили важнейшие вычисления для космоса, авиации, военных наук и атомной промышленности. Тогда математики России превосходили в области численных методов многих ведущих иностранных специалистов. В институтах и университетах СССР открылись кафедры вычислительной математики. Позже такие же кафедры были открыты в университетах других стран.

Интересны мысли великого учёного о связи математики с электронно-вычислительными машинами (ЭВМ). Келдыш говорил: "Численные методы нужны для того, чтобы благодаря им раскрывать закономерности. Создание ЭВМ дало возможность довести до числа решения многих важных задач и реализовать то, что накапливалось в математике столетиями. Но, с развитием ЭВМ возникли новые проблемы и новые направления в математической науке".

АВИАЦИЯ И ВОЙНА

*Мужество делает
ничтожными удары судьбы.*

Декарт

После окончания университета Келдыш работал в математическом институте АН и теоретической группе Центрального аэродинамического института; его коротко называли ЦАГИ. Кроме научной работы сотрудников ЦАГИ в обязательном порядке, под руководством инструкторов, учили летать на самолёте. Полёты Келдыша были настолько хороши, что ему предложили стать профессиональным лётчиком. После учебы он знал самолёты "до основания" и считался первоклассным лётчиком.

Научные работы Келдыша в предвоенные и военные годы посвящены колебаниям авиационных конструкций. Исследования Келдыша заложили основы методов численного расчёта устранения двух особо опасных явлений в авиации. Одно из них называют флаттером, другое – шимми.

Флаттер (от английского. flutter – порхать, трепетать) – это резонансные колебания крыльев, которые возникают при определённых скоростях движения самолёта. Такие колебания приводят к его разрушению.

Шимми – самовозбуждающийся поворот и смещение носового колеса шасси, из-за чего оно полностью выходит из строя.

Молодой учёный Келдыш взялся за решение устранения таких опасных явлений. Для этого он разработал новый раздел функционального анализа, который позже назвали в математике "Теория пучков Келдыша". На основе этой теории он вывел специальное уравнение колебаний, рассчитал критические скорости и выяснил, как можно предотвратить опасное поведение самолёта. После этого провёл эксперименты в аэродинамической трубе и дал нужные рекомендации конструкторам. Его расчёты стали основой нового раздела науки о прочности авиационных конструкций.

Благодаря работам Келдыша в СССР прекратились аварии, связанные с флаттером или шимми, а в немецкой авиации их было более 150. Известный в те времена авиационный конструктор Теодор фон Карман посетил ЦАГИ в 1937 г., после чего написал: "Русские учёные умеют блестяще сочетать математическую теорию с экспериментальными исследованиями и воплощать их в жизнь".

Во время работы в ЦАГИ М. Келдыш решил внешнюю задачу Неймана для нелинейных уравнений эллиптического типа. Решение этой задачи успешно использовалось в теории крыла в сжимаемом газе.

В октябре 1941 г. Келдыша с семьёй и с другими сотрудниками ЦАГИ эвакуировали в Казань. Сначала эвакуированные жили в спортивном зале, перегороженным простынями, позже в комнатах авиационного института. Семья учёного жила как все – голод, холод и болезни. Келдыш, конечно, заботился о семье, но мог прилетать из Москвы только на пару дней, так как он постоянно работал на авиазаводе и занимался проблемой вибрации самолётов.

ГЛАВНЫЙ ТЕОРЕТИК КОСМОНАВТИКИ

*Структура мироздания
основана на математике.*

Архимед

В области ракетной техники и космонавтики Келдыш был лидером в знаменитой "Тройке К" – Курчатов, Королёв, Келдыш. С этой областью науки и техники связаны наиболее эмоциональные события его жизни: запуск первых спутников и первый человек в космосе.

В 1954 г. М. Келдыш, С. Королёв и М. Тихонравов предложили два года руководству страны создать искусственный спутник Земли (ИСЗ). Через два года Келдыш уже возглавлял специальную комиссию

по ИСЗ. Он сыграл решающую роль в создании ракеты-носителя для выведения на орбиту спутников семейства «Космос». Кроме этого, он руководил "лунной" программой, в которую входили полёты автоматических станций «Луна», принимал участие в программе по исследованию Венеры. Келдыш был основным инициатором и руководителем всестороннего изучения ближнего и дальнего космоса. Он решал: куда, зачем и на чём лететь.

Известный космонавт Леонов вспоминал про случай, произошедший при запуске одного космического корабля, Келдыш был на полигоне. Корабль уже был выведен на орбиту, но неточно. Необходимо было произвести срочную коррекцию. Баллистика сразу послала вычислить на компьютере необходимое количество коррекций орбиты. Келдыш вынул из кармана пачку папирос, на ней что-то написал и через полминуты тихо и спокойно сказал, что следует сделать 20 коррекций. Через полчаса вернулся баллистик и произнёс: «20 коррекций».

Академик Б. Черток вспоминал, что при подготовке запуска первой автоматической станции к Марсу планировали разместить на ней готовый прибор, который должен был определить, есть ли на Марсе вода, а значит, возможна ли жизнь на Марсе. Келдыш предложил испытать этот прибор на Земле. Прибор показал, что жизни на Земле нет. В результате интуиции Келдыша космическая станция стала на 12 килограммов легче.

М. Келдыш вложил много сил и таланта в развитие космической метеорологии и космической навигации. Так, под его руководством впервые в мире была разработана высокоточная астронавигационная автономная система. Келдыш часто ставил новые научные проблемы по исследованию околоземного и межпланетного космического пространства. Уделял большое внимание проблемам механики космического полёта и теории управления.

Келдыш взял на себя всю ответственность за обеспечение запуска в космос первого космонавта планеты. Весь полёт и возвращение были полностью рассчитаны Келдышем.

В 1961 г. произошёл полёт Юрия Гагарина. Без Келдыша вряд ли случилось такое чудо планетарного масштаба.

ВОЕННАЯ НАУКА

*Счастье достаётся тому,
кто много трудится.*

Леонардо да Винчи

После победы нашей страны в Отечественной войне появились новые проблемы, связанные с укреплением её обороны. Первая – это создание атомного оружия, вторая – оснащение армии ракетной техникой. Келдыша привлекли к решению таких проблем. В 1946 г. он покинул ЦАГИ и возглавил Реактивный научно-исследовательский институт (НИИ-1). С этого времени деятельность учёного была посвящена ракетной технике, атомной энергетике и освоению космоса.

В 1954 г. правительство страны назначило Келдыша научным руководителем работ по созданию межконтинентальной крылатой ракеты «Буря». Её главным конструктором стал С. Лавочкин.

Разработкой ядерного оружия занимались ведущие физики: Ю. Харитон, Я. Зельдович, А. Сахаров. В процессе работы они встретились с задачами вычислительной математики небывалой сложности. Академик И. Виноградов вспоминал, что физики просили его найти математика, который смог бы осуществить расчёты по атомной тематике. Виноградов сразу предложил Келдыша и добавил, что в любом приложении математики он разбирался лучше любого другого математика.

Келдыш понимал, что для такой научной работы необходимо срочное развитие компьютерных технологий и постоянно требовал от правительства увеличение финансирования развития отечественных ЭВМ.

С тех пор и до конца жизни Келдыш был ведущим математиком в области атомной энергетике и вооружения.

ПРЕЗИДЕНТ АКАДЕМИИ НАУК

*Человечность, ответственность
и надёжность. Таковы
составляющие учёного.*

А.Д. Александров

Сразу после полёта Ю. Гагарина М. Келдыша избрали в 50 лет президентом Академии наук СССР. Он был самым молодым президентом. Роль учёного в организации космических побед нашей страны долгое время оставалось тайной. В печати его называли теоретиком космонавтики без имени и фамилии. Келдыш, как

президент Академии, выступал с рассказами о новых космических программах, но он никогда не говорил о своей роли в этих программах.

В сфере ответственности Келдыша входили 100 научных институтов. Он руководил академиками, среди которых было много великих учёных с мировым именем, людей порой эксцентричных и своенравных. Но Келдыш не руководил с помощью директив и разносов, никогда не повышал голоса. Он часто повторял: "У нас наука, а не воинское подразделение". Знал, что для учёных нужна атмосфера свободы без "всякой казёнщины". Жестокости в его характере не было. Келдыш всегда был корректным и выдержанным руководителем. Принимал административные решения только с учётом интересов дела.

В научных институтах был обычай называть за глаза самых уважаемых руководителей первыми буквами их имени и отчества: ЭсПэ, ВэПэ и т.д. В институте прикладной математики АН к Келдышу обращались: "Послушайте, дорогой ЭмВэ,...".

Со времён Петра I к учёным в России относятся почтительно. Вот пример времён президента Келдыша. Правительство страны не простило академику Сахарову его диссидентства, поэтому лидеры страны советовали Келдышу исключить Сахарова из Академии. Келдыш обсудил эту проблему в узком кругу академиков: "Кто знает хотя бы один случай, когда Академия вышвыривала за борт своих действительных членов"?

Нобелевский лауреат Н. Семёнов: "Нет, такого не бывало".

П. Капица вспомнил: "Один случай был. В гитлеровской Германии из Академии исключили Эйнштейна".

А. Сахаров остался академиком.

Келдыш 15 лет возглавлял АН СССР. В работе на этом посту он соблюдал три важных жизненных принципа.

1. Не бороться со злом, а браться и делать добрые, хорошие дела.
2. Не слушать жалобы в отсутствие того, на кого жалоба.
3. Никому ничего не обещать, но если пообещал, то сделать, даже если обстоятельства ухудшились.

Огромный авторитет М. Келдыша во всём мировом научном сообществе был основан не только на гениальности великого учёного, но и на его глубоких знаниях в различных областях науки, техники, музыки, живописи, литературы и языков. При этом он всегда оставался скромным и в высшей степени воспитанным человеком.

М.В. Келдыш писал: «В природе всё соединено тончайшими связями. И поэтому исследование природы должно идти комплексно,

чтобы не нарушать этих связей. Надо постигать природу не нарушая её, а сохраняя и улучшая».

В 1986 г. были изданы «Избранные труды» М. В. Келдыша в 3-х томах и один том с воспоминаниями о нём его учеников и соратников.

Почти вся жизнь великого учёного связана с Москвой. Поэтому на зданиях, в которых жил и работал Келдыш, установлены памятные доски. На аллее космонавтов и на Миусской площади ему воздвигнуты памятники. Есть площадь Келдыша. Его именем названы: научно-исследовательское судно, два научных института России, кратер на Луне, малая планета Солнечной системы.

В России учреждены медали имени Келдыша: за заслуги в области прикладной математики и за заслуги перед отечественной космонавтикой.

Список использованной литературы

1. М.В. Келдыш: творческий портрет по воспоминаниям современников. // М: Наука, 2001, – 398 с.

2. М.Я. Маров. Слово об Учителе. Академик Мстислав Всеволодович Келдыш. – Физматлит, 2021, – 136 с.

3. В.А. Садовничий. Мстислав Всеволодович Келдыш (1911 – 1978). // О людях Московского университета. – М: Изд. Московского университета. 2019 г. 264 с.

4. Г.И. Беликова, Л.В. Витковская. Дополнительные главы математики. Математики России. (Исторический обзор). – СПб.: РГГМУ, 2023 –104 с.

УДК 556.114:519.23

МЕТОДИКА НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОДНОРОДНОСТИ И СВЯЗИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Вершинин Александр Константинович

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия, vershinin5454@gmail.com

*Научный руководитель: д-р тех. наук, профессор кафедры ИТУСБ
РГТМУ Завгородний В. Н.*

Аннотация. Рассматриваются возможность применения непараметрического анализа для оценки экологических показателей в водных объектах. Показаны различные методы непараметрического анализа, и их возможности для конкретного использования в расчётах, в экологической сфере. Анализируется целесообразность методов. Предложена методика расчёта U-критерия Манна–Уитни для оценки корреляции экологических показателей водных ресурсов.

Ключевые слова: экологические показатели воды, методика непараметрического анализа, оценка статистической однородности, концентрация железа в воде.

METHODOLOGY OF NON-PARAMETRIC ANALYSIS OF STATISTICAL HOMOGENEITY AND RELATIONSHIP OF ECOLOGICAL INDICATORS OF WATER BODIES

Vershinin Aleksandr Konstantinovich

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
vershinin5454@gmail.com*

*Scientific supervisor: Dr. Tech. Sciences, Professor of the IT&SB
Department of the Russian State Humanitarian University
Zavgorodniy V. N.*

Annotation. The possibility of using non-parametric analysis for the assessment of environmental indicators in water bodies is considered. Different methods of non-parametric analysis are shown, and their possibilities for specific use in calculations, in the ecological sphere. The feasibility of the methods is analyzed. The method of calculation of Mann-

Whitney U-criterion for estimation of correlation of ecological indicators of water resources is offered.

Keywords: environmental indicators of water, non-parametric analysis methodology, statistical homogeneity assessment, iron concentration in water.

Введение. В настоящее время использование высшей математики является неотъемлемым фактором для различных исследований. Использование различных методик анализа данных, позволяет обнаружить загрязнения водных объектов и спрогнозировать дальнейшее изменения их состояния. Анализ экологических показателей, даёт возможность оценить состояние водных ресурсов и выявить тенденции в изменении качества воды на основе методов статистики. Одна из основных задач экологического мониторинга, это обнаружение и контроль за загрязнением объекта химическими веществами водных объектов. Рассмотрим р. Охту. Река примечательна своим красновато-коричневым цветом, что служит маркером повышенной концентрации железа в воде [1]. Главными источниками соединений железа в воде являются процессы химического выветривания горных пород, сопровождающиеся их обрушением и растворением. В процессе взаимодействия с содержащимися в природных водах минеральными элементами и органическими веществами образуется сложный комплекс соединений железа, находящихся в воде в растворенном, коллоидном и взвешенном состояниях. В речные системы железо преимущественно поступает со сточными и канализационными водами. Сохранение и улучшение качества воды является важной задачей. Одна из принятых мер — это наблюдение за состоянием реки, сбор и химический анализ проб [2]. Данные, полученные в ходе многолетнего мониторинга, представляют собой комплексную экологическую информацию. Они включают данные о концентрации различных химических веществ и другие гидрологические данные, значения представлены в форме многомерных временных рядов. Приступая к статистической обработке данных, необходимо определить наиболее подходящие методы по особенностям выборок - параметрические или непараметрические. Обычно параметрические методы, используемые в анализе данных, основаны на предположении нормальности распределения этих данных [3-6]. В нашем случае, объём выборки экологических данных невелик и распределение не всегда нормальное, рационально использование непараметрических методов статистики,

перечислим их: метод ранговой корреляции Спирмена и Кеналла, тест Фридмана, Вилкоксона, и критерий Манна-Уинти, коэффициент корреляции Пирсона [7-8]. Выбор данных критериев обусловлен сравнительной простотой расчетов и практичностью для наших целей.

Коэффициент корреляции Спирмена – мера линейной связи между случайными величинами. Является ранговой, то есть для оценки силы связи используются не численные значения, а соответствующие им ранги. Данный метод будет полезен в некоторых случаях, когда нужно оценить взаимосвязь между двумя переменными [9-10]. Для водных объектов значимым показателем является популяция рыб. Фактором для количества популяции является концентрация примесей. Обозначим нулевую гипотезу H_0 : количество примесей не влияет на популяцию. Альтернативная гипотеза — H_1 : количество примесей влияет на популяцию рыб. Рассчитываем по формуле (1):

$$r_R = 1 - \frac{6 \sum_i d_i^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (1)$$

где d^2 – квадрат разностей рангов; n – количество признаков, используемых при расчете. Получаем коэффициент корреляции, если значение r приближается к +1, то у них идеальная ранговая связь, что обозначает подтверждение гипотезы H_1 .

Подобным служит критерий Кендалла, который является непараметрической альтернативой коэффициенту корреляции Пирсона. Достоинством этого критерия является то, что он применим к случайным величинам, распределение которых неизвестно, требуется лишь, чтобы величины были непрерывными. Способ вычисления критерия более прост, но результаты его расчетов дают более грубую картину происходящих процессов. Данный метод может быть использован не только для количественно выраженных данных, но также и в случаях, когда регистрируемые значения определяются описательными признаками различной интенсивности. Предлагается применять критерий Кендалла в случаях, когда ситуацию надо увидеть в целом, при необходимости более детального исследования, применять критерий Спирмена. Преимуществом метода является возможность анализа данных с выбросами. Применительно к анализу данных гидрохимии, результат измерения, выделяющийся из генеральной совокупности обычно, не попадает в выборку. В случае отсутствия выброса, использование данного метода не рационально.

Тест Уилкоксона — это непараметрический статистический критерий, который используется для сравнения двух связанных

выборок, для оценки сдвига значений исследуемого показателя. Т-критерий Уилкоксона для связанных выборок рассчитывается по следующей формуле: $T = \sum Rr$, где $\sum Rr$ - сумма рангов, соответствующих нетипичным изменениям показателя. Тест Уилкоксона является исследованием "до-после", с помощью него можно выявить изменения показателей воды во времени [11].

U-критерий Манна–Уитни — непараметрический критерий различия между двумя независимыми выборками, основан на ранговом анализе данных и позволяет проверить гипотезу о равенстве средних значений двух выборок. Являются непараметрическими аналогами теста Стьюдента [12]. Данный метод можно применить для исследования водных объектов, в частности р. Охта. Регулярно берутся пробы воды с дна и поверхности, в лаборатории определяется химический состав воды, относятся: сухой остаток (минерализация общая), водородный показатель (рН), жесткость общая, содержание железа, сульфатов, хлоридов, марганца, меди, цинка. Концентрация железа в природной воде колеблется от 0,01 до 26,0 мг/л. В поверхностных водоемах железо содержится в виде стойкого гуминовокислого железа (III), в подземных водах — гидрокарбоната двухвалентного Fe (II). Результаты концентрации железа мг/л за 2012 год представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Измерения

Измерения	Поверхность	Дно
1	1,08	1,34
2	0,88	1,15
3	1,63	1,6
4	0,51	1,34
5	1,16	1,27
6	1,41	0,71
7	0,77	2,01
8	0,66	0,89
9	0,89	0,57
10	0,3	0,31
11	0,81	0,97
12	1,31	0,52
13	2,12	1,63

При проверке сложных гипотез критерий перестает быть свободным от распределения, поэтому в данной работе критерий рассматривается только для простых гипотез. Выдвинем нулевую и альтернативную гипотезу.

Нулевая гипотеза H_0 заключается в отсутствии распределении частот, концентрация железа с поверхности и дна не различается

Альтернативная H_1 Различие распределения частот, концентрация железа с поверхности и дна различна.

Ранжируем значения по возрастанию и считаем сумму рангов по формуле (2), где N — общее количество ранжируемых значений. Ранги измерений со дна помечаем жирным шрифтом, для обозначения их причастности ко второй выборке. В случае, если значение одинаковое, присеваем им ранг, равный среднему значению их порядковых номеров. Ранжированные результаты записываем в таблицу 2:

$$\sum (R) = \frac{N(N + 1)}{2}. \quad (2)$$

Таблица 2 – Ранжирование

№	Значение	Ранг	№	Значение	Ранг
1	0,3	1	14	1,08	14
2	0,31	2	15	1,15	15
3	0,51	3	16	1,16	16
4	0,52	4	17	1,27	17
5	0,57	5	18	1,31	18
6	0,66	6	19	1,34	19,5
7	0,71	7	20	1,34	19,5
8	0,77	8	21	1,41	21
9	0,81	9	22	1,6	22
10	0,88	10	23	1,63	23,5
11	0,89	11,5	24	1,63	23,5
12	0,89	11,5	25	2,01	25
13	0,97	13	26	2,12	26

Определяем значение U n_1 — количество вариант в выборке 1; n_2 — количество вариант в выборке 2; T_x — большая из ранговых сумм; n_x — количество вариант в группе с большей суммой рангов. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты

R1	167
R2	184
U1	76
U2	93
α	0,05
Uэип	76
Uкрит	45

Уровень значимости — это такая вероятность, которую принимают за основу при статистической оценке гипотезы. Уровень значимости может быть принят равным 0,05 или 0,01 [13-14]. При уровне значимости $\alpha = 0,05$, значение $U_{кр} = 45$, т.е. $76 > 45$, $U_{эип} > U_{кр}$. Следовательно, нет оснований отклонить нулевую гипотезу.

Вывод. Основная особенность использования непараметрических методов, что они могут использоваться при ненормальном распределении и маленькой выборке. При исследовании экологических показателей есть возможность использовать различные непараметрические методы. U-критерий Манна–Уитни может быть использован оценки корреляции экологических показателей водных ресурсов. В данной статье были проведены расчёты, которые показывают, что концентрация железа в р. Охта, в пробах, взятых с поверхности и со дна коррелирует между собой.

Список использованной литературы

1. Железо в воде [Электронный ресурс]: <https://admsysert.ru/info/zashchita-prav-potrebiteley/4046>.
2. Колбина О.Н., Яготинцева Н.В., Сафонова Т.В., Мокряк А.В. Контроль и мониторинг экологической безопасности окружающей среды. Международный научно-исследовательский журнал. 2022. №5-1 (119). С. 120—127.
3. Завгородний В. Н. Методика непараметрического статистического анализа однородности экологических показателей водных объектов // Изв. вузов. Приборостроение. 2021. Т. 64, № 5. С. 392—397.
4. Завгородний В. Н., Зарукина М. А. Роль и место статистических методов в исследовании экологических явлений //

Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2017. №3. С. 16—19.

5. Завгородний В. Н., Зарукина М. А. Статистические методы анализа экологических явлений // Метеорологический вестник. 2018. Т. 10, №4. С. 1—5

6. Ивахненко А. Г., Чаинская В. А., Ивахненко Н. А. Непараметрический комбинаторный алгоритм МГУА на операторах поиска аналогов // Автоматика. 1990. № 5. С. 14—27.

7. Теория надежности в развитии концепции уровней описания старения оборудования сложных систем с длительными сроками активного существования, 2022. С. 23—41.

8. Топоров А.В., Пивоварова И.И., Саркисов С.В. - Методы статистического анализа для оценки однородности пространственно-распределенных данных и экологического районирования, 2019г. С. 8—12.

9. Холлендер М. Непараметрические методы статистики / М. Холлендер, Д. Вульф. – М: Финансы и статистика, 1983. С. 518—520.

10. Епанечников В. А. Непараметрическая оценка многомерной плотности вероятности // Теория вероятности и ее применения. 1969. Т. 14, С. 156—161.

11. Критерий Вилкоксона для проверки однородности выборок [Электронный ресурс]: <<https://docplayer.ru/35735873-Kriteriy-vilkoksona-w-dlya-proverki-odnorodnosti-vyborok-v-1-2.html>>.

12. Лапко А. В., Лапко В. А., Соколов М. И., Ченцов С. В. Непараметрические системы классификации. Новосибирск: Наука, 2000. С. 240—241.

13. Орлов А. И. Непараметрическое точечное и интервальное оценивание характеристик распределения // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2004. Т. 70, № 5. С. 64—69.

14. Орлов А. И. Состоятельные критерии проверки абсолютной однородности независимых выборок // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78. С. 60—71.

**О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕККУРЕНТНОЙ
НЕЙРОННОЙ СЕТИ С РАЗЛИЧНЫМИ ВХОДНЫМИ
ПАРАМЕТРАМИ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ТЕКУЩИХ
ПРОГНОЗОВ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА**

*Ефременко Дмитрий Сергеевич, Кузнецов Анатолий Дмитриевич,
Сероухова Ольга Станиславовна*

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия, freeearth768@gmail.ru*

Аннотация. В данной работе представлены результаты применения нейронной сети (НС) для выполнения текущего прогнозирования приземной температуры воздуха. В качестве НС использовалась рекуррентная LSTM (РНС LSTM). Особенности применения РНС LSTM для составления текущего прогноза подробно рассмотрены в работе [1]. Цель проведения данного исследования - анализ результатов численных экспериментов с использованием рекуррентной LSTM НС, проведенных для выявления влияния комбинаций входных параметров на результаты текущего прогноза.

Ключевые слова: текущий прогноз, нейронные сети, статистические характеристики.

**ABOUT THE POSSIBILITY OF APPLYING RECURRENT
NEURAL NETWORK WITH A DIFFERENT INPUT DATA FOR
MAKING SHORT-TERM SURFACE TEMPERATURE
FORECASTS**

*Efremenko Dmitry Sergeevich, Kuznetsov Anatoly Dmitrievich,
Seroukhova Olga Stanislavovna*

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
freeearth768@gmail.ru*

Annotation. In this paper there were presented the results of applying recurrent neural network method for making short-term forecasts of surface temperature. It was used recurrent neural network LSTM (RNN LSTM). Some core characteristics and features of RNN LSTM for short-term forecasts making purposes were considered in a paper [1]. The main target of the research was the analysis of numerical experiments using RNN LSTM,

conducted to conclude impacting different RNN input data on making short-term forecasts of surface temperature.

Keywords: short-term forecast, neural networks, statistical characteristics.

Используемые данные. Для проведения численных экспериментов были использованы временные ряды приземной температуры воздуха, относительной влажности, атмосферного давления и температуры точки росы (точки росы) от АМС с дискретностью измерений 5 минут. Длина архива для проведения экспериментов составила около 2-х месяцев (17283 точки, общая продолжительность 86415 минут). Рассматривались заблаговременности прогноза в 1, 2 и 3 часа. Архитектура, параметры РНС, а также алгоритм проведения численных экспериментов полностью соответствуют архитектуре, параметрам РНС и алгоритму в работе [1].

Таблица 1 – Сочетания входных и выходных параметров РНС LSTM

Условный номер комбинации входных и выходных параметров	Входные параметры	Выходные параметры
1	Температура	Температура
2	Температура и относительная влажность	Температура и относительная влажность
3	Температура и относительная влажность	Температура
4	Температура и точка росы	Температура и точка росы
5	Температура и точка росы	Температура
6	Температура и атмосферное давление	Температура и атмосферное давление
7	Температура и атмосферное давление	Температура

При проведении численных экспериментов для каждой комбинации входных параметров рассчитывались 424 текущих прогноза заблаговременностью в 60, 120 и 180 мин. Всего рассматривались 7 комбинаций входных параметров, описания которых представлены в таблице 1.

Результаты численных экспериментов. Для каждого из численных экспериментов прогнозов были рассчитаны абсолютные значения разностей с реальными значениями соответствующей метеорологической величины (абсолютные значения ошибок прогнозов) и базовые статистические характеристики таких разностей, а именно - среднее значение, дисперсия, минимум, максимум, асимметрия и эксцесс.

Результаты расчётов приведены в таблицах 2-7. Значения в столбце «Обозначение эксперимента» соответствуют аналогичным значениям в Таблице 1 в столбце «Условный номер комбинации входных и выходных параметров».

К примеру, значение 1 соответствует следующим входным параметрам рекуррентной нейронной сети (РНС): температура и точка росы, а выходными параметрами РНС в этом случае являются температура и точка росы. При этом рассматриваемая статистическая характеристика рассчитывалась для абсолютного значения разностей прогноза и реального значения температуры.

Таблица 2 – Дисперсии абсолютных значений ошибок текущего прогноза с заблаговременностью 60, 120 и 180 минут

Обозначение эксперимента	60	120	180
1	0,070	0,057	0,062
2	0,103	0,087	0,113
3	0,029	0,041	0,041
4	0,054	0,052	0,044
5	0,049	0,042	0,051
6	0,042	0,044	0,041
7	0,049	0,043	0,051

Таблица 3 – Среднее абсолютных значений ошибок текущего прогноза с заблаговременностью 60, 120 и 180 минут

Обозначение эксперимента	60	120	180
1	0,227	0,212	0,219
2	0,253	0,242	0,255
3	0,168	0,164	0,178
4	0,188	0,185	0,178
5	0,186	0,179	0,190
6	0,173	0,179	0,169
7	0,189	0,187	0,187

Таблица 4 – Минимумы абсолютных значений ошибок текущего прогноза с заблаговременностью 60, 120 и 180 минут

Обозначение эксперимента	60	120	180
1	0,000	0,000	0,001
2	0,000	0,000	0,000
3	0,001	0,000	0,001
4	0,000	0,000	0,000
5	0,001	0,000	0,000
6	0,000	0,000	0,000
7	0,001	0,001	0,000

Таблица 5 – Максимумы абсолютных значений ошибок текущего прогноза с заблаговременностью 60, 120 и 180 минут

Обозначение эксперимента	60	120	180
1	2,275	1,521	1,562
2	2,856	2,890	2,896
3	0,983	1,643	1,613
4	1,849	1,779	1,495
5	1,631	1,818	1,640
6	1,430	1,677	1,580
7	1,620	1,632	1,704

Таблица 6 – Асимметрии абсолютных значений ошибок текущего прогноза с заблаговременностью 60, 120 и 180 минут

Обозначение эксперимента	60	120	180
1	2,715	2,411	2,381
2	3,251	3,217	3,170
3	1,843	3,195	2,745
4	2,963	2,978	2,905
5	2,821	2,793	3,073
6	2,476	2,659	2,775
7	2,737	2,477	2,792

Таблица 7 – Эксцесс абсолютных значений ошибок текущего прогноза с заблаговременностью 60, 120 и 180 минут

Обозначение эксперимента	60	120	180
1	11,338	7,595	6,809
2	16,552	17,927	14,388
3	3,996	15,239	10,597
4	12,401	12,590	11,998
5	11,221	12,689	13,781
6	8,046	10,292	10,981
7	10,522	9,030	11,087

Анализ полученных данных. Из анализа таблиц 2-7 следует, что распределение абсолютных ошибок текущего прогноза несимметричное, а хвост распределения смещён вправо. В значениях ошибок присутствуют экстремумы, достаточно удалённые от среднего, о чём свидетельствуют высокие значения эксцесса.

В среднем, наибольшие максимумы ошибок текущего прогноза приземной температуры воздуха наблюдаются при использовании в качестве входных параметров РНС температуры и относительной влажности, а выходных параметров - температуры и относительной влажности (метод 2).

Наименьшие ошибки текущего прогноза были получены при использовании в качестве входных параметрах температуры и

относительной влажности, а выходных параметров - температуры (метод 3).

Для анализа влияния заблаговременности прогноза на его точностные характеристики рассмотрим данные, представленные на рисунке 1. Здесь номер ряда в легенде для каждого графика соответствует условному номеру комбинации входных и выходных параметров в таблице 1.

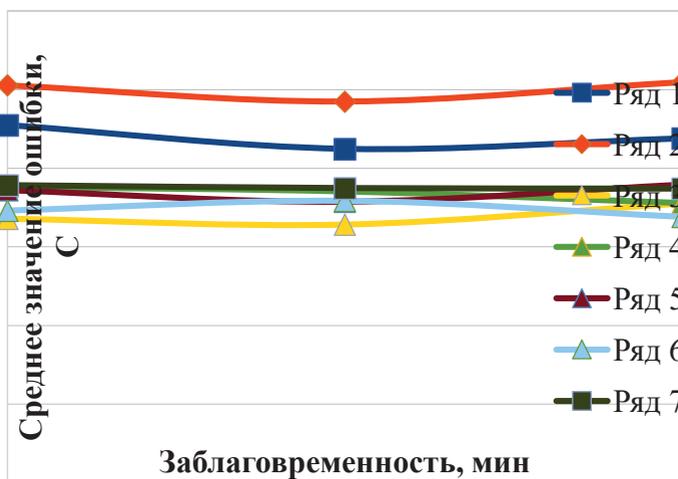


Рисунок 1 – Зависимость от заблаговременности текущего прогноза среднего значения ошибки прогноза для 7-ми вариантов комбинации входных и выходных данных РНС

Анализ кривых на рисунке 1 позволяет отметить весьма неоднозначную зависимость средней ошибки прогноза в рассматриваемом цикле от заблаговременности прогноза. Здесь резко выделяется ряд 2, для которого наблюдается самая большая разница средней ошибки прогноза для трех заблаговременностей.

Увеличение заблаговременности не приводит во всех случаях к увеличению среднего значения ошибки, что также было выявлено в работе [1] и может быть связано с тем, что изначальные веса РНС инициализируются случайным образом и разброс значений ошибок прогноза находится в допустимом диапазоне. Теоретически, с применением данной РНС потенциально возможно рассчитывать качественные прогнозы с большей заблаговременностью, а при достижении определённого порога длительности прогноза ошибка

будет увеличиваться. Однако для подтверждения этого предположения требуется провести дополнительные исследования.

В целом же поведение кривых на рисунке 1 позволяет выделить ряд 3 как оптимальный с точки зрения минимума ошибки. Также следует отметить, что использование в качестве комбинации входных и выходных параметров РНС только значений температуры (ряд 1) заметно проигрывает по сравнению с другими комбинациями.

Таким образом, завершая анализ данных, можно сделать вывод о том, что среди рассмотренных сочетаний входных и выходных параметров РНС оптимальным является следующее сочетание: на входе РНС – температура и относительная влажность, на выходе РНС – температура.

Заключение. Целью данной работы было выявление влияния входных параметров РНС LSM на выходной параметр – текущие прогнозы значений приземной температуры воздуха. Для этого были проведены численные эксперименты, где в качестве входных данных рассмотрены различные комбинациями значений метеорологических величин, такие как температура, атмосферное давление, относительная влажность и температура точки росы. Для оценки качества прогнозов использовались базовые статистические характеристики абсолютных значений разности прогнозов и реальных данных.

Было выявлено значительное улучшение качества прогноза при входных данных РНС – температуры и относительной влажности и выходных данных – температуры.

Логическим продолжением исследования может быть проведение численных экспериментов для составления текущих прогнозов прочих, не рассмотренных в данной работе метеорологических величин, с подобными же различными комбинация входных данных РНС.

Список использованной литературы

1. Ефременко Д.С., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С. О возможности применения рекуррентных нейронных сетей для составления текущих прогнозов приземной температуры воздуха // Проблемы физики атмосферы, климатологии и мониторинга окружающей среды: доклады IV международной научной конференции; Ставрополь, 23–25 мая 2022 г. / под ред. Р. Г. Закиняна. – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2022. – С. 230-234.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОВЕДЕНИЯ ИНСПЕКЦИЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

*Зайцева Ирина Владимировна¹, Малафеев Олег Алексеевич²,
Тюрина Оксана Дмитриевна¹, Чжан Кунь², Чуркин Ярослав
Дмитриевич¹*

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия,
i.zaitseva@rshu.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-
Петербург, Россия, *o.malafeev@spbu.ru*

Аннотация. Информационные ресурсы играют существенную роль в современном мире, и их безопасность является неотъемлемой частью обеспечения стабильной работы различных организаций и государственных структур. Инспекции информационных ресурсов позволяют выявлять уязвимости и улучшать их защиту, что является важным шагом в обеспечении безопасности данных. Математическое моделирование проведения инспекций информационных ресурсов позволяет оптимизировать процесс и повысить эффективность проверки. В данной статье представлена математическая модель проведения инспекций информационных ресурсов, а также методы ее применения.

Ключевые слова: математическая модель, математическое моделирование, инспекции, информационные ресурсы, информационная среда, защита, угрозы, безопасность.

MATHEMATICAL MODELING OF INSPECTIONS OF INFORMATION RESOURCES

*Zaitseva Irina Vladimirovna¹, Malafeev Oleg Alekseevich²,
Tyurina Oksana Dmitrievna¹, Zhang Kun², Churkin Yaroslav
Dmitrievich¹*

¹ Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
i.zaitseva@rshu.ru

² St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia,
o.malafeev@spbu.ru

Annotation. Information resources play an essential role in the modern world, and their security is an integral part of ensuring the stable operation of various organizations and government structures. Inspections of information resources make it possible to identify vulnerabilities and improve their protection, which is an important step in ensuring data security. Mathematical modeling of inspections of information resources makes it possible to optimize the process and increase the efficiency of verification. This article presents a mathematical model for conducting inspections of information resources, as well as methods of its application. An example of mathematical modeling of inspections of information resources is given.

Keywords: mathematical model, mathematical modeling, inspections, information resources, information environment, protection, threats, security.

Математическое моделирование проведения инспекций информационных ресурсов является актуальным направлением исследований в области информационной безопасности. В современном мире данные являются одним из ценнейших активов, поэтому важно обеспечить их защиту от различных угроз и атак. Информационные ресурсы могут быть подвержены различным видам инцидентов, начиная от вредоносного программного обеспечения и кибератак до случайных ошибок и сбоев в работе системы. Для обнаружения и предотвращения таких инцидентов используются инспекции, которые позволяют выявить уязвимости и проблемы в системе [5-6]. Математическое моделирование проведения инспекций информационных ресурсов позволяет оптимизировать процесс проверки и обнаружить уязвимости на ранних этапах развития системы [1]. Это помогает сократить риски и уменьшить вероятность возникновения инцидентов, а также улучшить общую безопасность информационной среды.

Математическая модель проведения инспекций может быть представлена в виде следующих элементов:

- входные данные (объекты, которые подлежат инспекции, параметры, описывающие состояние объектов и необходимость инспекции, ресурсы для проведения инспекций (человеческие, материальные и временные));

- функция стоимости - определяет затраты на проведение инспекций и возможные расходы в случае обнаружения дефектов или нарушений;

- функция полезности - вычисляет пользу или выгоду от проведения инспекций и выявления возможных проблем;
- оптимизационная задача. На основе входных данных, функций стоимости и полезности строится оптимизационная задача, цель которой - найти оптимальный план проведения инспекций, максимизирующий полезность при минимизации затрат;
- методы оптимизации. Для решения оптимизационной задачи могут применяться различные методы, такие как линейное программирование, динамическое программирование, алгоритмы оптимизации и т. д.

Инспекции информационных ресурсов могут включать в себя проверку архитектуры и дизайна ресурса, исследование и анализ программного обеспечения, проверку безопасности данных, а также проверку соответствия стандартам и регулятивным требованиям. Для успешной инспекции необходимо учитывать различные параметры, такие как тип информационного ресурса, его уровень защиты, область применения и другие факторы [3]. Математическое моделирование позволяет провести анализ и прогнозирование результатов инспекции информационных ресурсов. С помощью математических моделей можно оптимизировать процесс проведения инспекции, учитывая различные факторы, влияющие на безопасность данных [4]. Использование математического моделирования позволяет также автоматизировать процесс инспекции информационных ресурсов, что увеличивает эффективность и точность результатов. Кроме того, математические модели позволяют проводить анализ большого объема данных и выявить тенденции и закономерности, которые могут быть упущены при ручной проверке [2].

Рассмотрим следующий пример. Предположим, что имеется информационный ресурс, который содержит 10000 записей. Каждая запись, может быть, либо защищена, либо уязвима. Вероятность того, что запись уязвима, равна 0.1. Инспектор имеет возможность проверить 100 записей в час. Стоимость проверки одной записи составляет 10 у.е. Стоимость утечки информации из уязвимой записи составляет 100 у.е. Теперь построим математическую модель проведения инспекций информационных ресурсов. Пусть X - случайная величина, обозначающая количество уязвимых записей в информационном ресурсе. Вероятность того, что запись защищена, равна 0.9, а вероятность того, что запись уязвима, равна 0.1. Тогда математическое ожидание числа уязвимых записей равно:

$$E[X] = 0.1 \times 10000 = 1000.$$

Теперь рассмотрим оптимальную стратегию проведения инспекций. Пусть N - количество инспекций, которые следует провести. Тогда средняя стоимость проверки информационного ресурса составляет: $\text{Стоимость} = N \times 10 \text{ у.е.} + (10000 - N) \times 100 \text{ у.е.}$

Для минимизации средней стоимости найдем оптимальное значение N , при котором производная от средней стоимости равна нулю: $d(\text{Стоимость})/dN = 10 - 100 = 0$. Отсюда получаем, что оптимальное значение N равно 10. Следовательно, оптимальная стратегия проведения инспекций информационного ресурса заключается в проверке 10 записей, что позволяет минимизировать среднюю стоимость проверки и обеспечить достаточный уровень безопасности информации.

Таким образом, математическое моделирование проведения инспекций информационных ресурсов является важным инструментом для обеспечения безопасности данных и защиты информационной среды от угроз. Его использование помогает оценить риски, оптимизировать процессы проверки и улучшить общую безопасность системы.

Список использованной литературы

1. Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов XI Международной научно-практической конференции. В 2-х томах. Т.1. - М.: РАИИ, 2022. - 352 с.
2. Ким Д.П. Методы поиска и преследования подвижных объектов. М., 1989. 336 с.
3. Малафеев О. А., Зубова А. Ф. Математические и компьютерное моделирование социально-экономическим систем на уровне многоагентного взаимодействия. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2006. 1006 с.
4. Строцев А.А. Совместное оптимальное управление поиском и наблюдением за условно детерминированными динамическими объектами в импульсной многоканальной измерительно-поисковой системе // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 2004. Т. 47. № 9. С. 22 – 29.
5. Шемакин, Ю.И. Теоретическая информатика: учеб. пособие / Ю.И. Шемакин; под ред. К.И. Курбакова. – М.: Изд-во Рос. экон. акад., 1998. – 132 с.
6. Зайцева И.В. Методы исследования состояний информационной системы // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2011. № 2 (17). С. 7.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ АППРОКСИМАЦИИ ЭМПИРИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ СРЕДСТВАМИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Зоткина Дина Вадимовна, Чуркин Ярослав Дмитриевич

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия,
dinazotkina2205@gmail.com, bezlikiy59@gmail.com*

*Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент, зав. кафедрой
ВМиФ РГГМУ Зайцева И. В.*

Аннотация. Непрерывное биномиальное распределение (распределение Пирсона III типа) используется в задачах аппроксимации эмпирических распределений, расчёта и оценки вероятностных характеристик. Оно широко используется для моделирования случайных событий, которые могут иметь более чем два исхода. Данный метод получил широкое распространение в Data Science, статистике, теории вероятности и экономике. В данной статье рассмотрим основные аспекты распределения и реализацию алгоритма на языке программирования Python с применением встроенных библиотек.

Ключевые слова: непрерывный, биномиальный, распределение, алгоритм, решение.

SOLVING PROBLEMS OF APPROXIMATION OF EMPIRICAL DISTRIBUTIONS USING PROGRAMMING TOOLS

Zotkina Dina Vadimovna, Churkin Yaroslav Dmitrievich

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
dinazotkina2205@gmail.com, bezlikiy59@gmail.com*

Scientific supervisor: Ph.D. physics and mathematics Sciences, Associate Professor, Head. Department of Military and Physics of the Russian State Humanitarian University Zaitseva I. V.

Annotation. Continuous binomial distribution (Pearson type III distribution) is used in problems of approximation of empirical distributions, calculation and evaluation of probabilistic characteristics. It is widely used to model random events that can have more than two outcomes. This method is widely used in Data Science, statistics, probability theory and economics.

In this article we will consider the main aspects of distribution and implementation of the algorithm in the Python programming language using built-in libraries.

Keywords: continuous, binomial, distribution, algorithm, solution.

Распределение Пирсона задаётся дифференциальным уравнением

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y(z+a)}{b_0+b_1z+b_2z^2} \quad (1)$$

где Z – случайная величина, связанная с исходной СВ X соотношением

$$z = \frac{x}{m_x} - 1 = k - 1, \quad (2)$$

k – модульный коэффициент,

y – ордината функции плотности вероятности СВ Z ,

a – расстояние от центра распределения (m_k) до моды (M_0),

b_0, b_1, b_2 – параметры, от которых зависит типы кривых распределения.

Для центрированных распределений ($m = 0$), параметры имеют следующую связь с центральными моментами $\mu_i, i = \overline{2, 4}$:

$$a = b_1 b_0 = \frac{c_0}{d} \quad b_1 = \frac{c_1}{d} \quad b_2 = \frac{c_2}{d}, \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} c_0 &= -\mu_2(4\mu_2\mu_4 - 3\mu_3^2), \\ c_1 &= -\mu_3(\mu_4 - 3\mu_2^2), \\ c_2 &= -2\mu_2\mu_4 + 6\mu_2^3 + 3\mu_3^2, \\ d &= 10\mu_2\mu_4 - 18\mu_2^3 - 12\mu_3^2. \end{aligned} \quad (4)$$

В зависимости от корней $x_{1,2} = -\frac{b_1}{2b_2}(1 \pm \sqrt{1 - k^{-1}})$, $k = \frac{b_1^2}{4b_0b_2}$

уравнения:

$$b_0 + b_1x + b_2x^2 = 0,$$

решение дифференциального уравнения приводит к появлению двенадцати типов распределений.

Рассмотрим III тип. Уравнение ссылка, для кривой Пирсона III типа ($b_2 = 0$), принимает вид

$$\frac{dy}{dz} = \frac{y(z+a)}{b_0+b_1z}. \quad (5)$$

Чтобы $y(z)$ являлась искомой функцией плотности вероятности, необходимо ввести ряд условий:

1. $\int_{Z_{min}}^{\infty} y(z)dz = 1,$
2. $y(z) = 0$ при $z = Z_{min},$
3. $y(z) = 0$ при $z \rightarrow \infty.$

Интегрируя (5) и переходя к модульным коэффициентам, можно получить выражение для функции плотности вероятности

$$y(k) = \begin{cases} 0, & \text{при } k \leq k_{min} \\ [\beta^\alpha / \Gamma(\alpha)] (k - k_{min})^{\alpha-1} \exp[-\beta(k - k_{min})], & k > k_{min} \end{cases} \quad (6)$$

где $\Gamma(\cdot)$ – гамма функция, α и β – параметры распределения, связанные с C_v и C_s случайной величины X соотношениями

$$\begin{aligned} \alpha &= (2 / C_s)^2, \\ \beta &= 2 / (C_s \cdot C_v). \end{aligned} \quad (7)$$

Минимальное значение модульного коэффициента в выражении ссылка определяются формулой

$$k_{min} = 1 - 2 C_v / C_s. \quad (8)$$

Из (8) следует, что

$$\begin{aligned} C_s &= 2C_v \text{ при } k_{min} = 0, \\ C_s &> 2C_v \text{ при } k_{min} > 0, \\ C_s &< 2C_v \text{ при } k_{min} < 0. \end{aligned}$$

Таким образом, дифференциальная кривая распределения Пирсона III типа начинается: в первом случае - с нуля, во втором - с некоторого положительного числа и в третьем – с уходит в область отрицательных чисел.

Основываясь на значения C_s и C_v , можно получить численные значения параметров k_{min} , α и β , а также записать выражение для вычисления обеспеченностей модульных коэффициентов

$$P(k) = \int_k^\infty y(s) ds = \left(\frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \right) \int_k^\infty (s - k_{min})^{\alpha-1} \exp[-\beta(s - k_{min})] ds, \quad (9)$$

где s – переменная интегрирования.

В случае $C_s = 2C_v$ имеем:

$$\begin{aligned} k_{min} &= 0, \\ \alpha &= \frac{1}{C_v^2}, \\ \beta &= \frac{1}{C_v} \end{aligned}$$

и уравнение существенно упрощается:

$$y(k) = [\alpha^\alpha / \Gamma(\alpha)] k^{\alpha-1} \exp(-\alpha k). \quad (10)$$

Выражение (10) называют двухпараметрическим гамма-распределением.

Воспользуемся языком программирования Python для построения графика плотности и гистограммы данного распределения.

Для реализации воспользуемся встроенными библиотеками `scipy.stats` и `matplotlib.pyplot`. Значения для распределения сгенерируем при помощи функции `gamma.rvs` из гамма-распределения. На рисунке 1 показана реализация построения гамма-распределения с помощью программирования.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.stats import gamma

# Генерация случайных значений из гамма-распределения
samples = gamma.rvs(a=5, scale=3, size=1000)

# Построение гистограммы
plt.hist(samples, bins=30, density=True, alpha=0.6, color='g')

# Построение графика плотности гамма-распределения
x = np.linspace(gamma.ppf(0.01, a=5, scale=3), gamma.ppf(0.99, a=5, scale=3), 100)
plt.plot(x, gamma.pdf(x, a=5, scale=3), 'r-', lw=2, alpha=0.6, label='gamma pdf')

plt.title("Гамма-распределение (shape={}, scale={})".format(5, 3))
plt.xlabel("Значение")
plt.ylabel("Плотность")
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()
```

Рисунок 1 – Реализация построения гамма-распределения

В результате работы алгоритма получим гистограмму и график плотности распределения, представленный на рисунке 2.

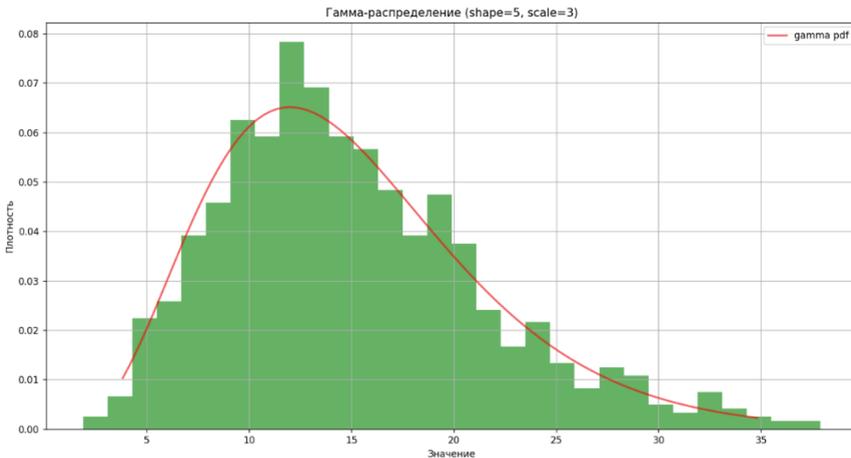


Рисунок 2 – Гистограмма и график плотности распределения

Таким образом, в статье показано, что непрерывное биномиальное распределение — мощный инструмент для моделирования вероятности успеха в ситуациях, когда количество испытаний не фиксировано и вероятность успеха может меняться со временем. Его свойства и приложения делают его ценным понятием в теории вероятностей и статистике.

Список использованной литературы

1. Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов XI Международной научно-практической конференции. В 2-х томах. Т.1. - М.: РАИИ, 2022. - 352 с.

2. Наумов, В. А. Методы обработки гидрологической информации: учебное пособие. - Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. - 94 с.

3. Сикан А.В. С 35 Вероятностные распределения в гидрологии. Специальные главы теории и практики гидрологических расчетов: учебник. - СПб.: РГГМУ, 2020. - 286 с.

4. Тарасенко Е.О., Зайцева И.В., Корнеев П.К., Гладков А.В. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие. - Ставрополь: СКФУ, 2018. - 229 с.

5. Фадеев С.Н., Зайцева И.В. Теория вероятностей и математическая статистика. — Санкт-Петербург: РГГМУ, 2021. - 92 с.

6. Зайцева И.В., Астахова Н.И. Оптимизация управленческой деятельности организации с использованием современных информационных систем. Информационные системы и технологии как фактор развития экономики региона. II Международная научно-практическая конференция. - Ставрополь, СтГАУ, 2013. - С. 25-26.

7. Зайцева И.В., Курочкина А.И., Таранушенко Ю.В. Развитие моделирования с ориентацией на новые информационные технологии. В сборнике: Модели управления производством и совершенствование информационных технологий. 2010. - С. 146-147.

8. Тюрина О.Д. Исследование математическими методами функционирования отдела информационных технологий на предприятии. В сборнике: Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. Под редакцией И.В. Зайцевой. Санкт-Петербург, 2023. С. 61-68.

ПРИМЕНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ПЛАНИРОВАНИИ РАБОЧЕЙ СИЛЫ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Карнадуд Олеся Сергеевна¹, Шебукова Анна Сергеевна²

¹ *Центр детского научного и инженерно-технического творчества
«УникУм» при ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово,*

Россия, karnadudos@mail.ru

² *ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия, ashebukova@mail.ru*

Аннотация. В статье рассмотрено применение модели динамического программирования на примере решения задачи по минимизации дополнительных затрат при приеме и увольнении работников путем регулирования численности рабочих, выполняющих намеченный проект в определенный период времени.

Ключевые слова: динамическое программирование, планирование рабочей силы, математическое моделирование, поиск оптимального решения.

DYNAMIC PROGRAMMING APPLICATION IN PLANNING THE WORKFORCE AT THE ENTERPRISE

Karnadud Olesya Sergeevna¹, Shebukova Anna Sergeevna²

¹ *Center for Children's Scientific, Engineering and Technical Creativity
"Unique" at the T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University,
Kemerovo, Russia, karnadudos@mail.ru*

² *Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg, Russia,
ashebukova@mail.ru*

Annotation. The article discusses the use of a dynamic programming model using the example of solving the problem of minimizing additional costs when hiring and dismissing workers by regulating the number of workers performing a planned project in a certain period of time.

Keywords: dynamic programming, workforce planning, mathematical modeling, search for an optimal solution.

Динамическое программирование – метод оптимизации, в ходе которого процесс принятия какого-либо решения разбивается на этапы, т.е. задача может быть решена только после того, как решатся все предыдущие этапы. Поэтому операции динамического программирования являются многошаговыми. Разработку динамического программирования начал американский ученый-математик Ричард Беллман еще в 50-х годах 20 века.

Также понятие «динамическое программирование» можно интерпретировать следующим образом: «динамическое программирование – метод математического характера, позволяющий решить сложную задачу оптимальным способом, а именно подразделяя ее на простые подзадачи».

Модель динамического программирования применяется в решении задач, которые в своей сущности подразумевают не крупномасштабные плановые решения, как это происходит в линейном программировании [1, 2]. Так, например, модель динамического программирования может быть использована на предприятии в решении следующих видов задач:

- разработка методики управления запасами организации – в какой момент заказывать очередную партию товара и сколько будет заказано;
- решение о принятии дополнительных единиц работников для выполнения конкретного проекта на предприятии;
- календарное планирование производства продукции на предприятии;
- выравнивание занятости работников в условиях нестабильного спроса на сезонную продукцию;
- решение о распределении конкретной суммы денежных средств на разные направления деятельности компании;
- составление производственной программы текущего и капитального ремонта узлов и агрегатов;
- распределение денежных средств между предприятиями-партнерами;
- использование ресурсов предприятия на протяжении определенного срока;
- процесс планирования замены оборудования по истечению срока полезного использования.

Решение задач динамического программирования должно соответствовать таким условиям, как:

- решение должно начинаться с последнего шага;

- отсутствие последствий – формирование принципа оптимальности Беллмана;

- не должно быть обратной связи;
- целевая функция должна быть аддитивная.

Преимущества динамического программирования:

- не накладываются какие-то специальные требования на форму представления данных;

- специфические условия не влияют на решение задачи;
- затраты на вычисления не зависят от числа шагов;
- алгоритм метода можно решить на ЭВМ;

- решаются такие задачи, которые не могут быть решены другими методами.

Недостатки динамического программирования:

- задачи не поддаются аналитическому решению;
- трудность подхода к многозадачности;
- необходимость определения возможного масштаба изменения данных, зависящих друг от друга.

Особенности модели динамического программирования [1, 3, 5]:

- задача представляется в виде процесса управления с n -шагами;
- общая целевая функция представлена суммой всех целевых функций каждого этапа (шага) в задаче;

- выбор управления на каждом последующем шаге зависит только от состояния предшествующего шага.

Принцип оптимальности Беллмана был сформулирован в 1953 году [3]. Сущность данного принципа состоит в следующем: «Вне зависимости от состояния системы в результате различных шагов, решение на ближайшем шаге нужно выбрать такое, чтобы оно в совокупности с решением оптимального характера на всех последующих шагах приводило к оптимальному выигрышу на всех оставшихся шагах, включая данный».

Рассмотрим применение модели динамического программирования на примере решения задачи по планированию рабочей силы на предприятии. Постановка задачи по планированию рабочей силы на предприятии интерпретируется следующим образом: при выполнении различного рода работ требуется рабочая сила. Величина рабочей силы регулируется как приемом работников, так и их увольнением. Данные действия требуют дополнительных затрат.

Цель решения данной задачи – минимизировать дополнительные затраты на прием и увольнение работников путем регулирования

численности рабочих, выполняющих намеченный проект в определенный период времени.

На предприятии ООО «Ремонтник» было принято решение о том, что для капитального ремонта узлов и агрегатов в течении пяти недель потребуется следующее минимальное количество рабочих: 5, 7, 8, 4, 6. Расходы в 4 тысячи рублей – содержание избытка рабочего потенциала в расчете на 1 рабочего в неделю, но при этом наем дополнительной единицы рабочей силы в течение недели составляет 5 тысячи рублей и плюс 2 тысячи рублей на 1 рабочего в неделю.

Требуется решить данную задачу методом динамического программирования и найти оптимальное решение [1, 3, 4].

Для начала введем следующие обозначения:

- этап i обозначается по порядку согласно номеру недели i , т.е. $i = 1, 2, 3, 4, 5$;
- вариант решения на этапе i – значение количества работников на протяжении i -й недели (x_i);
- состояние на этапе i – значение количества работников на протяжении i -й недели (x_{i-1});
- $C_1(x_i - b_i)$ – расходы на содержание избытка рабочего потенциала $x_i - b_i$;
- $C_2(x_i - x_{i-1})$ – расходы на дополнительный найм рабочих $x_i - x_{i-1}$.

Запишем данные задачи в следующем виде:

$$b_1 = 5, b_2 = 7, b_3 = 8, b_4 = 4, b_5 = 6$$

$$C_1(x_i - b_i) = 4 * (x_i - b_i), x_i > b_i, i = 1, 2, 3, 4, 5$$

$$C_2(x_i - x_{i-1}) = 5 + 2 * (x_i - x_{i-1}), x_i > x_{i-1}, i = 1, 2, 3, 4, 5$$

Теперь поэтапно решим данную задачу. В нашем случае задача решается в 5 этапов. Далее в таблицах 1-5 приведены решения задачи.

Таблица 1 – Этап 5. $b_5 = 6$

•	$C_1(x_5 - b_5) + C_2(x_5 - x_4)$	Оптимальное решение	
		$f_5(x_4)$	x_5
x_4	$x_5 = 6$		
4	$4 * (6-6) + 5 + 2 * (6-4) = 9$	9	6
5	$4 * (6-6) + 5 + 2 * (6-5) = 7$	7	6
6	$4 * (6-6) + 5 + 2 * (6-6) = 5$	5	6

Таблица 2 – Этап 4. $b_4 = 4$

•	$C_1(x_4 - b_4) + C_2(x_4 - x_3) + f_5(x_4)$			Оптимальное решение	
x_3	$x_4 = 4$	$x_4 = 5$	$x_4 = 6$	$f_4(x_3)$	x_4
8	$4 * (4-4) + 5 + 2 * (4-8) + 9 = 6$	$4 * (5-4) + 5 + 2 * (5-8) + 7 = 10$	$4 * (6-4) + 5 + 2 * (6-8) + 5 = 14$	6	4

Таблица 3 – Этап 3. $b_3 = 8$

•	$C_1(x_3 - b_3) + C_2(x_3 - x_2) + f_4(x_3)$		Оптимальное решение	
x_2	$x_3 = 8$		$f_3(x_2)$	x_3
7	$4 * (8-8) + 5 + 2 * (8-7) + 6 = 13$		13	8
8	$4 * (8-8) + 5 + 2 * (8-8) + 6 = 11$		11	8

Таблица 4 – Этап 2. $b_2 = 7$

•	$C_1(x_2 - b_2) + C_2(x_2 - x_1) + f_3(x_2)$		Оптимальное решение	
x_1	$x_2 = 7$	$x_2 = 8$	$f_2(x_1)$	x_2
5	$4 * (7-7) + 5 + 2 * (7-5) + 13 = 22$	$4 * (7-7) + 5 + 2 * (8-5) + 11 = 22$	22	7
6	$4 * (7-7) + 5 + 2 * (7-6) + 13 = 20$	$4 * (7-7) + 5 + 2 * (8-6) + 11 = 20$	20	7
7	$4 * (7-7) + 5 + 2 * (7-7) + 13 = 18$	$4 * (7-7) + 5 + 2 * (8-7) + 11 = 18$	18	7
8	$4 * (7-7) + 5 + 2 * (7-8) + 13 = 16$	$4 * (7-7) + 5 + 2 * (8-8) + 11 = 16$	16	7

Таблица 5 – Этап 1. $b_1 = 5$

•	$C_1(x_1 - b_1) + C_2(x_1 - x_0) + f_2(x_1)$				Оптимальное решение	
x_0	$x_1 = 5$	$x_1 = 6$	$x_1 = 7$	$x_1 = 8$	$f_1(x_0)$	x_1
0	$4 * (5-5) + 5 + 2 * (5-0) + 22 = 37$	$4 * (6-5) + 5 + 2 * (6-0) + 20 = 41$	$4 * (7-5) + 5 + 2 * (7-0) + 18 = 45$	$4 * (8-5) + 5 + 2 * (8-0) + 16 = 49$	37	5

Исходя из представленных выше расчетов оптимальным решением задачи будет являться:

$$x_0 = 0 \rightarrow x_1 = 5 \rightarrow x_2 = 7 \rightarrow x_3 = 8 \rightarrow x_4 = 4 \rightarrow x_5 = 6.$$

Таблица 6 – План действий

Номер недели (i)	Минимум рабочей силы (b_i)	Количество фактически работающих (x_i)	Решение
1	5	5	Принять 5 рабочих
2	7	7	Принять 2 рабочих
3	8	8	Принять 1 рабочего
4	4	4	Уволить 4 рабочих
5	6	6	Принять 2 рабочих

Таким образом, применение модели динамического программирования позволит предприятию разработать четкий план приема и увольнения рабочих для реализации конкретного проекта во избежание несения больших затрат.

Список использованной литературы

1. Зайцева, И.В. Математическая модель решения задачи оптимальной схемы распределения трудовых ресурсов / Зайцева И.В., Казначеева М.Г., Шебукова А.С., Демчук А.А., Новикова С.С. // Наука и бизнес: пути развития. 2022. № 6 (132). С. 18-21.

2. Зайцева, И.В. Математическое моделирование задачи многоагентного взаимодействия перемещения ресурсов / И.В. Зайцева, С.А. Теммояева, А.С. Шебукова, А.А. Филимонов // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 11 (137). С. 6-10.

3. Карнадуд О.С. Математика. Основы математического моделирования / О.С. Карнадуд // Сборник упражнений: учебное пособие / Кемерово, 2019.

4. Николаева, Е.А. Математическая модель денежных выплат по страховым полисам обязательного страхования автогражданской ответственности (ОСАГО) // Николаева Е.А., Карнадуд О.С., Грибанов Е.Н. // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 8-2. – С. 286-291.

5. Новиков, А.И. Экономико-математические методы и модели: учебник / А.И. Новиков. – Москва: Дашков и К°, 2020. – 532 с.

6. Тюрина О.Д. Исследование математическими методами функционирования отдела информационных технологий на предприятии. В сборнике: Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. Под редакцией И.В. Зайцевой. Санкт-Петербург, 2023. С. 61-68.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКЕ

*Карнадуд Вадим Кириллович¹, Карнадуд Олеся Сергеевна²,
Шебукова Анна Сергеевна³*

¹ Санкт-Петербургский Политехнический Университет им. Петра
Великого, Санкт-Петербург, *karnadud_vadim@mail.ru*

² Центр детского научного и инженерно-технического творчества
«УникУм» при ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово,
Россия, *karnadudos@mail.ru*

³ ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия, *ashebukova@mail.ru*

Аннотация. В статье рассмотрено решение задач линейного программирования в транспортной логистике. Установлено, что, применяя математические методы в транспортной логистике можно найти оптимальный путь, благодаря которому товары могут быть доставлены до потребителя с минимальными затратами.

Ключевые слова: линейное программирование, транспортная логистика, запасы, снижение затрат.

SOLVING LINEAR PROGRAMMING PROBLEMS IN TRANSPORT LOGISTICS

*Karnadud Vadim Kirillovich¹, Karnadud Olesya Sergeevna², Shebukova
Anna Sergeevna³*

¹ St. Petersburg Polytechnic University named after. Peter the Great,
St. Petersburg, Russia, *karnadud_vadim@mail.ru*

² Center for Children's Scientific, Engineering and Technical Creativity
"Unique" at the T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University,
Kemerovo, Russia, *karnadudos@mail.ru*

³ Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
ashebukova@mail.ru

Annotation. The article discusses the solution of linear programming problems in transport logistics. It has been established that by applying

mathematical methods in transport logistics it is possible to find the optimal way through which goods can be delivered to the consumer at minimal cost.

Keywords: linear programming, transport logistics, inventories, cost reduction.

Цель транспортной логистики - обеспечить грамотную организацию логистики: доставить товары в нужном объеме в установленные сроки и с минимальными затратами. Для достижения необходимых целей потоковые процессы были связаны посредством интеграции поставок, производства, отслеживания, продаж, потребления и информационной среды.

Основными традиционными задачами, решаемыми логистической транспортной системой, являются координация обслуживания частных клиентов, коммерческих компаний, государственных и муниципальных организаций по заказу, доставке, а также минимизация транспортных расходов, что может существенно отразиться на спросе и предложении, равновесной цене, суммой по контрактам. Транспортировка является одним из наиболее затратных и значимых элементов логистических операций. От качества и скорости перевозки грузов зависит не только динамичный выпуск продукции, но и бесперебойность производства и потребления, что непременно сказывается на социально-экономическом развитии регионов [1, 4].

Транспортировка является частью производственной деятельности, что связано с увеличением степени удовлетворения потребностей в пространстве размещения товарных и человеческих ресурсов.

Невозможность раскрывать потенциал без решения комплекса транспортных проблем, как реализация логистических каналов для продвижения материальных ресурсов (невозможно без участия транспорта), в том числе с использованием математических моделей, которые легко адаптируются под разные исходные данные, что еще раз подтверждает универсальный язык математики [3]. Решение о выборе каналов продвижения материальных потоков в значительной степени зависит от элементов транспортной системы, участие которых предполагается в том или ином варианте погрузочно-разгрузочных, складских и транспортных работ, что освещалось в литературе [3].

Таким образом, транспорт – это не просто элемент логистики, но основным средством, через которое логистика, независимо от её масштабов, прагматически выражается в существующей реальности.

Транспортная логистика основана на рациональном сочетании экономических интересов:

- отправитель, который формирует материальные потоки;
- получатель;
- перевозчик.

На транспортную логистику возлагают ключевые функции управления материальными потоками и перемещение ресурсов по всем логистическим каналам от источника возникновения до места назначения или конечного потребления.

Сутью изучения, т.е. предметом транспортной логистики являются задачи, связанные с оптимизацией потоковых процессов, таких как:

- выбор транспортных средств;
- комплексное планирование производственных и транспортно-складских процессов;
- разработка маршрутов и графиков продвижения;
- интеграция транспортных и складских операций в единый процесс.

Таким образом, общая цель транспортной логистики заключается в доставке необходимых товаров, требуемого качества, в нужном количестве, в нужное время, в нужном месте с минимальными затратами.

Рассмотрим поиск оптимального распределения поставок товара от поставщиков к потребителям на примере следующей задачи.

При заданных объёмах запасов поставщика в пункте отправления и потребности потребителя в пункте назначения. Определите оптимальный путь от отправителя к потребителю.

Вводные данные. Определим запасы следующим образом:

$A_1=127, A_2=152, A_3=225, A_4=175$ – Запасы,

Установим следующие потребности:

$B_1=100, B_2=200, B_3=50, B_4=252, B_5=77$ - Потребности.

Тогда матрица тарифов перевозки будет выглядеть следующим образом:

$$C_{IJ} = \begin{pmatrix} 40 & 51 & 82 & 66 & 200 \\ 70 & 35 & 72 & 25 & 40 \\ 27 & 40 & 40 & 52 & 52 \\ 55 & 8 & 52 & 12 & 11 \end{pmatrix}.$$

Рассмотрим решение данной задачи с использованием нескольких методов. В таблице 1 приведено решение задачи методом «Северо-западного угла», в таблице 2 - «Метод наименьшего элемента», таблица 3 – «Метод штрафов». Подробно данные методы описаны в литературе [1, 2, 3].

Таблица 1 – Метод «Северо-западного угла» [2]

Запасы поставщиков	Потребности потребителей				
	$B_1=100$	$B_2=200$	$B_3=50$	$B_4=252$	$B_5=77$
$A_1=127$	40	51	82	66	200
	100	27			
$A_2=152$	70	35	72	25	40
		152			
$A_3=225$	27	40	40	52	52
		21	50	154	
$A_4=175$	55	8	52	12	11
				98	77

$$f(x) = 100 \cdot 40 + 27 \cdot 51 + 152 \cdot 35 + 21 \cdot 40 + 50 \cdot 40 + 154 \cdot 52 + 98 \cdot 12 + 77 \cdot 11 = 23568.$$

Таблица 2 – Метод наименьшего элемента [2]

Запасы поставщиков	Потребности потребителей				
	$B_1=100$	$B_2=200$	$B_3=50$	$B_4=252$	$B_5=84$
$A_1=127$	40	51	82	66	200
	100				27
$A_2=152$	70	35	72	37	40
		25		127	
$A_3=232$	57	40	42	52	56
			50	125	57
$A_4=175$	55	8	52	12	11
		175			

Заполнение таблицы начинается с клетки, соответствующей минимальной стоимости перевозок. Такой клеткой является канал A_4-B_2 . Поставим сюда 175, т.к. $A_4=175$ [1].

Следующая по затратам клетка соответствует каналу A_2-B_2 . По этому каналу можно перевезти 152 единицы продукции, однако, потребитель B_2 уже получил от A_4 175 единиц и ему необходимо еще только 25 единиц ($200-175=25$).

Следующая по затратам клетка A_2-B_4 . Здесь можно осуществить поставки в объеме 152 единиц, но поставщик A_2 уже поставляет потребителю B_2 25 единиц и у него остается только 127, что и ставится в клетку A_2-B_4 .

$$f(x)=100*40+200*27+35*25+37*127+42*50+52*125+57*56+175*8=28166.$$

Таблица 3 – Метод штрафов [2]

Запасы поставщиков	Потребности потребителей					Штрафы
	$B_1=100$	$B_2=200$	$B_3=50$	$B_4=252$	$B_5=77$	
$A_1=127$	40	51	82	66	200	11
	25	102	-	-	-	
$A_2=152$	70	35	72	25	40	40
	-	-	-	152	-	
$A_3=225$	27	40	40	52	52	13
	75	-	50	100	-	
$A_4=175$	55	8	52	12	11	3- 4
	-	98	-	-	77	
Штрафы	13	27 5 11	8- 32	13 27 14	29	

$$f(x)=25*40+102*51+152*25+75*27+5*40+100*52+98*8+77*11=19058.$$

В этой задаче с помощью метода штрафов нашли оптимальный путь, благодаря, которому мы можем добраться до потребителя с минимальными затратами.

В нашей жизни такие расчёты производятся часто, например, продукция «Яшкино», встречается на прилавках различных магазинов.

Для того что бы сократить затраты и в нужное время доставить товар, приходится производить большие вычисления для нахождения оптимального пути.

Список использованной литературы

1. Зайцева, И.В. Математическое моделирование задачи многоагентного взаимодействия перемещения ресурсов / И.В. Зайцева, С.А. Теммоева, А.С. Шебукова, А.А. Филимонов // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 11 (137). С. 6-10.

2. Карнадуд О.С. Математика. Основы математического моделирования / О.С. Карнадуд // Сборник упражнений: учебное пособие / Кемерово, 2019.

3. Николаева, Е.А. Математическая модель денежных выплат по страховым полисам обязательного страхования автогражданской ответственности (ОСАГО) // Николаева Е.А., Карнадуд О.С., Грибанов Е.Н. // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 8-2. – С. 286-291.

4. Шебукова, А.С. Современные тенденции социально-экономического развития Кемеровской области // В сборнике: Инновационный конвент "Кузбасс: образование, наука, инновации". Материалы Инновационного конвента. – 2014. – С. 241-242.

5. Зайцева И.В., Астахова Н.И. Оптимизация управленческой деятельности организации с использованием современных информационных систем. Информационные системы и технологии как фактор развития экономики региона. II Международная научно-практическая конференция. - Ставрополь, СтГАУ, 2013. - С. 25-26.

6. Зайцева И.В., Курочкина А.И., Таранушенко Ю.В. Развитие моделирования с ориентацией на новые информационные технологии. В сборнике: Модели управления производством и совершенствование информационных технологий. 2010. - С. 146-147.

7. Зайцева И.В., Астахова Н.И. Оптимизация управленческой деятельности организации с использованием современных информационных систем. Информационные системы и технологии как фактор развития экономики региона. II Международная научно-практическая конференция. Ставрополь, СтГАУ, 2013. С. 25-26.

8. Лабуренко Е.С., Зайцева И.В., Шаповал А.С. Компьютеризация информационных процессов в бухгалтерском учете. В сборнике: Моделирование производственных процессов и развитие информационных систем. Ставрополь, СтГАУ, 2012. С. 86-87.

ТЕОРИЯ ИНТЕНСИФИЦИРОВАННОЙ ТЕПЛООТДАЧИ В ТРУБАХ С ДИАФРАГМАМИ В ОБЛАСТИ ПЕРЕХОДА К ТУРБУЛЕНТНОМУ ТЕЧЕНИЮ И В ЛАМИНАРНОЙ ОБЛАСТИ

Лобанов Игорь Евгеньевич

ФГБОУ ВО «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, лётчика-космонавта А. А. Леонова», г. Королёв, Россия, grigorchuk.grigorchuck@list.ru

Аннотация. Произведено математическое моделирование теплообмена в канале с внутренними рёбрами полукруглых поперечных очертаний критериями Рейнольдса, характерными для ламинарного и переходного гидрорежима, на основаниях разноблочных численных технологий, сформированных на расчётах конечно-объёмным факторизованным способом рейнольдсовых уравнений и энергетических уравнений, и выявлены интенсифицирования теплосъёмов для невысоких критериев Рейнольдса в большом диапазоне критериев Прандтля, что перспективно актуально в канале теплообменника. Достоинство реализованного в статье способа на основах методов контрольного объёма над имеющимися заключаются в том, что существующие основываются на существенных приближениях, к примеру: приближений, сделанных Галёркиным, линеаризования уравнений, использования способов переменного направления с последующими реализациями метода прогонок, реализация способов переменного уравнения с дальнейшими реализациями на базе метода прогонок. Реализованные способом (ФКОМ-ом) в статье были сгенерированы как местные, так и интегральные, как стационарные, так и нестационарные характеристики потока и теплоотдачи в трубе с внутренними рёбрами для ламинарного и переходного режимов течения теплоносителя, что позволило детерминировать для этих режимов уровни интенсификации теплообмена, которые удовлетворительно коррелируют с имеющимися данными эксперимента. Полученные закономерности могут использоваться при инженерном и научном расчёте интенсифицированного ламинарного и переходного теплообмена при течении в каналах с выступами, используемых в перспективных теплообменниках, с целью улучшения их экологических характеристик.

Ключевые слова: теплообмен, моделирование, присоединение, труба, турбулизатор, течение, ламинарный, турбулентный, переходный.

THEORY OF INTENSIFIED HEAT TRANSFER IN PIPES WITH DIAPHRAGMS IN THE TRANSITION REGION TO TURBULENT FLOW AND IN THE LAMINAR REGION

Lobanov Igor Evgenievich

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
"Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,
Cosmonaut A. A. Leonov", Korolev, Russia,
grigorchuk.grigorchuck@list.ru*

Annotation. Mathematical modeling of heat transfer in a channel with internal edges of semicircular transverse outlines by Reynolds criteria, characteristic of laminar and transient hydraulic modes, on the basis of multiblock numerical technologies formed on calculations by the finite-volume factorized method of Reynolds equations and energy equations, was performed, and intensification of heat removal for low Reynolds criteria in a large range of Prandtl criteria was revealed, which is promising in the channel of the heat exchanger. The advantage of the method implemented in the article based on the control volume methods over the existing ones is that the existing ones are based on significant approximations, for example: approximations made by Galerkin, linearization of equations, use of methods of variable direction with subsequent implementations of the run method, implementation of methods of variable equation with further implementations based on the run method. Implemented by the method (FCOM) in the article, both local and integral, both stationary and non-stationary characteristics of flow and heat transfer in a pipe with internal ribs for laminar and transient modes of coolant flow were generated, which made it possible to determine for these modes the levels of heat transfer intensification, which satisfactorily correlate with the available experimental data. The obtained patterns can be used in the engineering and scientific calculation of intensified laminar and transient heat transfer during flow in channels with protrusions used in advanced heat exchangers in order to improve their environmental characteristics.

Keywords: heat transfer, modeling, connection, pipe, turbulator, flow, laminar, turbulent, transient.

Общеизвестным и довольно хорошо апробированным при практическом применении методом смерчевой интенсификации теплоотдачи является использование периодической системы турбулизаторов на стенках омываемой поверхности канала [1].

Исследования структур интенсифицированных потоков, в основном, проводились экспериментальными способами [1, 2], в то время как современный расчётный потенциал был использован в форме интегральных и приближённых подходов к рассматриваемой научной проблематике. Кроме экспериментальных исследований, интенсификация теплоотдачи в переходной области течений изучалась теоретическим образом для выступов потоков полукруглых поперечных профилей на базе многоблочной вычислительной технологии, основанной на решениях факторизованными конечно-объёмными методами (ФКОМ-ами) рейнольдсового уравнения (замыкаемого посредством моделей переносов сдвигового ментеровского напряжения) и энергетического уравнения (на разномасштабной пересекающейся структурированной сетке) [3]. Численные расчёты показали, что интенсифицирование теплоотдачи будет проявляться только с определённых критериев Рейнольдса, но при меньших критериях Рейнольдса она будет незначительной.

Кроме этого, были получены расчётные линии тока для переходного условия при течении, которые качественным образом отличаются при повышении критерия Рейнольдса: $Re=2 \cdot 10^3 \div 10^4$. Последнее указывает на то, что интенсификация теплоотдачи увеличивается не только количественно, но и качественно [3]. Были сделаны, в том числе, численное исследование при увеличенных критериях Рейнольдса для трубы с турбулизаторами: $Re=10^4 \div 10^6$, а после и при $Re=10^6 \div 10^{10}$ [4].

Влияния критериев Прандтля на интенсифицирование теплоотдачи для труб с турбулизаторами при переходных режимах течений, как показали расчётные результаты, такое, что большая интенсифицирование теплоотдачи реализуется при больших числах Прандтля при относительно средней и большей высоте турбулизатора, а при относительно малой высоте турбулизатора интенсифицирование теплоотдачи уменьшается с повышением числа Прандтля.

Вышесказанное детерминирует использование в целях интенсифицирования теплоотдачи в переходных областях течений относительно больших по высоте выступов и теплоносителя с увеличенными значениями критериев Прандтля.

Успешная реализация математического моделирования турбулентных и переходных режимов течений теплоносителей фундирует использование этого расчётного способа для пониженных критериев Рейнольдса, т.е. для ламинарных областей, которые экспериментальным образом были исследованы для трансформаторных масел в [5].

В этой работе исследовались также аналогичные течения и теплообмен для неньютоновских жидкостей [5], уровень интенсификации теплообмена, который может превышать ньютоновские.

В рамках данного научного исследования проводились математические моделирования вышеприведённым способом ламинарных течений и теплоотдачи для ньютоновских жидкостей в трубе с турбулизаторами для нижеследующего диапазона параметров (Pr, Re — критерии Прандтля и Рейнольдса; t/D и d/D — относительные межтурбулизаторный шаг и диаметр диафрагм; θ_c — фактор температуры, т.е. во сколько раз температуры стенок выше среднемассовых температур течений): $\theta_c=1,07\div 1,15$; $Pr=170\div 320$; $Re=10^2\div 10^3\div 1,5\cdot 10^3$; $d/D=0,80; 0,86; 0,92$; $t/D=0,33; 0,66; 1,22$.

Для некоторых условий течения вычислены расчёт линий тока между рёбрами с полукруглыми трансверсальными профилями, полученный на базе сгенерированных в исследовании низкорейнольдсовой ментеровой модели (для транзитивного диапазона), специфичные для: переходных режимов ($Re=2\cdot 10^3\ldots 10^4$; $d/D=0,875\ldots 0,983$; $t/D=0,486\ldots 1,987$; $Pr=0,72\ldots 50$); ламинарных режимов течений ($Re=10^2\ldots 1,5\cdot 10^3$; $d/D=0,80\ldots 0,92$; $t/D=0,33\ldots 1,94$; $Pr=170\ldots 320$). Получены результаты расчётов нестационарных потоков воздушного теплоносителя в трубе с внутренними рёбрами квадратных, полукруглых и треугольных трансверсальных профилей при периодических постановках задачи для условий $d/D=0,86$; $t/D=0,33$; $Pr=250$; $Re=10^2$; 10^3 ; $2\cdot 10^3$.

Рассчитаны линии токов для циклических граничных условий в синхронные моменты времени. Для критериев Рейнольдса $Re=10^2$ и $Re=10^3$; характерен ламинарный режим течения, а для $Re=2 \cdot 10^3$ – переходный.

Выявлено расчётные смерчевые структуры в их динамическом развитии нестационарных в трубах с турбулизаторами с различными трансверсальными профилями.

Для случая с $Re=10^2$ характерно развитие достаточно небольшого вихря после полукруглого турбулизатора, который довольно быстро стабилизируется и остаётся на одном уровне.

Для случая с $Re=10^3$ вышеуказанная стабилизация вихря происходит несколько раньше, чем для случая с $Re=10^2$, причём стабилизация реализуется, когда главный смерч достигает размеров смерчей для закрытой впадины, а затем реализуется его стабилизация.

Однако, эта генерация гасится со временем, а не развивается, как при турбулентных режимах течений. Для верификационного сравнения получены нестационарные линии токов для этих условий, где видны генерации и перекачивания смерчей при критериях Рейнольдса, которые на два порядка выше, чем при рассматриваемых в статье. Вышесказанное обуславливает уменьшение интенсификации теплоотдачи для переходного режима с уменьшением гидравлического сопротивления по отношению к турбулентному режиму. Данная область была опытным образом изучена в [5], где было установлено, что при $Re \approx 1600$ режим течения становится переходным, поскольку качественно меняется характер изменения гидравлического сопротивления [5].

Математическое моделирование режимов после $Re > 1600$ ($Re=1,6 \cdot 10^3 \div 2 \cdot 10^3$) и далее вплоть до $Re=2,4 \cdot 10^3$ проводилось как для турбулентных течений методом, апробированным в [3, 4]. Была получена расчётная информация по интенсифицированной теплоотдаче и гидросопротивлению для рассматриваемых условий ($Re=10^2 \dots 2,4 \cdot 10^3$; $d/D=0,80 \dots 0,92$; $t/D=0,33 \dots 1,22$; $Pr=170 \dots 320$). Максимальные значения относительного теплообмена составили $Nu/Nu_{гр} \approx 2,5$ при $Re=2,4 \cdot 10^3$; $d/D=0,80$; $t/D=0,66$; $Pr=250$, а относительное гидросопротивление были наибольшими при $\xi/\xi_{гр} \approx 2,5$ при $Re=2,4 \cdot 10^3$; $d/D=0,80$; $t/D=0,33$; $Pr=250$. Для более низких турбулизаторов $d/D=0,86$ вышеуказанные значения ниже: $Nu/Nu_{гр} \approx 2,3$

при $\xi/\xi_{\text{гл}} \approx 2,3$ при тех же условиях идентичности. При уменьшении высоты турбулизатора до параметра $d/D=0,92$ вышеуказанные относительные параметры будут ещё меньшими. Минимальные значения относительного теплообмена имели место в ламинарной области течения при $Re=10^2$: $Nu/Nu_{\text{гл}} \approx 0,90 \div 0,95$ при относительных гидросопротивлениях $\xi/\xi_{\text{гл}} \approx 1,15 \div 1,75$. Интенсифицирование теплоотдачи проявляется в ламинарной области при $Re=10^3$, когда значения относительного интенсифицированного гидросопротивления $\xi/\xi_{\text{гл}} \approx 1,35 \div 2,25$.

Выводы

1. В работе было произведено математическое моделирование теплоотдачи в трубе с выступами полукруглых поперечных профилей при критериях Рейнольдса, характерных для ламинарных ($Re=10^2 \div 2 \cdot 10^3$) и переходных ($Re=2 \cdot 10^3 \div 10^4$) режимов течения теплоносителя, на базе многоблочной вычислительной технологии, основанной на реше Annotation. ниях факторизованными конечно-объёмными методами уравнения Рейнольдса и энергии и выявлено, что интенсифицирование теплоотдачи для относительно малых критериев Рейнольдса $Re=2 \cdot 10^3 \div 10^4$ при широких диапазонах критериев Прандтля, что может быть актуальным при течениях в каналах с турбулизаторами, применяемых в перспективных теплообменных аппаратах и устройствах современного нефтегазопромышленного оборудования.

2. Преимущества реализованного в работе способа расчёта на базе метода контрольного объёма над существующим методом заключается в том, что последние [5] основывались на целом ряде приближений, например, приближения Галёркина, линеаризации уравнений, применения методов переменных направлений с последующей реализацией методов прогонки, применения метода переменных уравнений с последующей реализацией на основе методов прогонки и т.п.

3. Применённым методом ФКОМ в работе были получены как локальные, так и осреднённые характеристики потоков и теплоотдачи в трубе с выступами для ламинарных и переходных режимов течений теплоносителей, что позволило рассчитать для данных режимов уровень интенсифицирования теплоотдачи.

4. Полученные закономерности могут использоваться при инженерном и научном расчёте интенсифицированного ламинарного и переходного теплообмена при течении в каналах с выступами, используемых в перспективных теплообменниках, с целью улучшения их экологических характеристик.

Список использованной литературы

1. Калинин Э. К. Интенсификация теплообмена в каналах / Э. К. Калинин, Г. А. Дрейцер, С. А. Ярхо. – Москва.: Машиностроение, 1990. – 208 с.

2. Мигай В. К. Моделирование теплообменного энергетического оборудования / В. К. Мигай. – Ленинград: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1987. – 263 с.

3. Лобанов И. Е. Предельный теплообмен при интенсифицированном турбулентном течении в каналах / И. Е. Лобанов, Н. В. Пармонов. – Москва: Издательство МАИ, 2013.

4. Лобанов И. Е. Математическое моделирование интенсифицированного теплообмена при течении в каналах на основе сложных моделей турбулентного пограничного слоя / И. Е. Лобанов, Н. В. Пармонов. – Москва: Издательство МАИ, 2011. – 160 с.

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ
ПРЕСЛЕДОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ
АППАРАТОВ**

Малафеев Олег Алексеевич¹, Чжан Кунь¹, Шлаев Дмитрий Валерьевич², Филимонов Александр Алексеевич³, Скворцова Ольга Ивановна⁴

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург, Россия, o.malafeev@spbu.ru, o.malafeev@spbu.ru

² ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», г. Ставрополь, Россия, shl-dmitrij@yandex.ru

³ Ставропольский филиал ФГКОУ ВО «Краснодарский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации», г. Ставрополь, Россия, afilimon12010@mail.ru

⁴ ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь, Россия, olga-skvorcova2015@yandex.ru

Аннотация. В исследовании рассматриваются сценарии с одним преследователем, преследующим одного уклониста, а также ситуации с несколькими преследователями, преследующими нескольких уклонистов. Мы формулируем задачу как задачу поиска и преследования для квадрокоптеров (беспилотных летательных аппаратов). Теория игр предлагает математическую основу для моделирования и изучения стратегических взаимодействий с участием нескольких лиц, принимающих решения. Наша цель - оптимизировать эффективность стратегий обнаружения и захвата таких беспилотников.

Ключевые слова: теория игр, квадрокоптер, кооперативная теория игр, моделирование.

**SIMULATION MODELING OF THE PROBLEM OF PURSUING
UNMANNED AERIAL VEHICLES**

Malafeev Oleg Alekseevich¹, Zhang Kun¹, Shlaev Dmitry Valeryevich², Filimonov Alexander Alekseevich³, Skvortsova Olga Ivanovna⁴

¹ St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, o.malafeev@spbu.ru, o.malafeev@spbu.ru

² Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia, shl-dmitrij@yandex.ru

³ Stavropol branch of the Federal State Budgetary Educational Institution "Krasnodar University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation Federations", Stavropol, Russia, afilimon12010@mail.ru

⁴ North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia, olga-skvorcova2015@yandex.ru

Annotation. The study examines scenarios with one pursuer chasing one draft dodger, as well as situations with multiple pursuers chasing multiple draft dodgers. We formulate the task as a search and pursuit task for quadcopters (unmanned aerial vehicles). Game theory offers a mathematical framework for modeling and studying strategic interactions involving multiple decision-makers. Our goal is to optimize the effectiveness of detection and capture strategies for such drones.

Keywords: game theory, quadcopter, cooperative game theory, Simulink MPC modeling.

В настоящее время метод математического моделирования получил широкое распространение, польза от построения и исследования с помощью математических моделей в целях анализа и прогноза всевозможных процессов в естественных, технических, экономических и других науках [1-7].

Рассмотрим следующую ситуацию. Корабль-перехватчик, оснащенный эхолотом, обнаружил перископ подводной лодки, которая тут же скрылась в неизвестном направлении. Необходимо перехватить лодку за минимально возможное время. Предположим, что корабль-перехватчик не знает точно скорость подводной лодки. Однако известен дискретный набор скоростей, одна из которых является действительной скоростью подводной лодки. Далее, корабль-перехватчик будем называть преследователем, а подводную лодку – убегающим и обозначать соответственно Р и Е.

Представим сначала алгоритм для нахождения времени поиска в условиях, когда преследователю достоверно неизвестна скорость убегающего. Предположим, что скорость преследователя намного больше скорости убегающей лодки. В первоначальный момент времени обнаружения корабль точно определяет местоположение подводной лодки. Таким образом, преследователю известно расстояние между ним и убегающим. Обозначим его через D_0 . Для нахождения времени поимки необходимо определить траекторию, по которой должен

двигаться корабль-перехватчик. Введем полярную систему координат ρ и φ таким образом, чтобы полюс, точка O , находился в точке обнаружения подводной лодки, а полярная ось проходила через точку, в которой находился корабль-перехватчик. Тогда динамика убегающего описывается уравнениями: $\rho^E = v, \varphi^E = 0$.

Преследователю точно неизвестна скорость v , однако известно, что она выбирается из дискретного множества V^E . Максимально возможную скорость корабля-преследователя обозначим через V^P . Преследователь может гарантировать поимку, перебрав все элементы множества V^E . Первоначально, корабль делает предположение, что убегающий имеет скорость $v_1 \in V^E$. Для поимки подводной лодки в момент t_0 преследователь начинает движение со скоростью V^P в направлении на точку O и движется так до момента t_1 , в который игроки оказываются на одинаковом расстоянии от точки O , т.е. чтобы выполнялось равенство

$$\rho_1^P = \rho_1^E \text{ и } \int_{t_0}^{t_1} v_1 dt + V^P(t_1 - t_0) = D_0.$$

С момента t_1 преследователь должен двигаться, выбирая скорость, так, чтобы постоянно находился на таком же расстоянии от точки O , что и убегающий. Для этого скорость корабля-перехватчика раскладывается на две составляющие: радиальную V_ρ и тангенциальную V_φ . Радиальная составляющая – скорость, с которой корабль отдаляется от полюса, т.е. $V_\rho = \dot{\rho}$.

Тангенциальная составляющая представляет собой линейную скорость вращения относительно полюса, т.е. $V_\varphi = \rho \dot{\varphi}$.

Для того, чтобы встреча произошла, радиальную составляющую скорости преследователя полагается равной скорости убегающего. Тогда для нахождения траектории преследователя необходимо решить систему дифференциальных уравнений: $\rho = v_1, \varphi^2 \rho^2 = (V^P)^2 - (v_1)^2$. Начальными условиями для этой системы будут: $\varphi(t^*) = 0, \rho(t_1) = v_1 t_1$, решая ее, получим $\varphi(t) = \frac{\sqrt{(V^P)^2 - (v_1)^2}}{v_1} \ln \frac{v_1 t}{v_1 t_1}, \rho(t) = v_1 t$. Выразим время как функцию полярного угла:

$$t(\varphi) = t_1 \exp\left(\frac{v_1 \varphi}{\sqrt{(V^P)^2 - (v_1)^2}}\right).$$

Таким образом, траектория состоит из прямолинейных участков и участков логарифмической спирали. В [2] доказано, что при

движении по спирали, встреча произойдет за время, не превышающее время прохождения одного витка. Тогда, если корабль, обойдя виток спирали, не находит подводную лодку, значит первоначальное предположение о скорости убегающего было неверным. Далее выбирается следующая скорость $v_2 \in V^E$. Значит убегающий за время t_2 прошел расстояние $\rho_E(t_2) = v_2 t_2$, а преследователь $\rho_P(t_2) = v_1 t_2$. Если $\rho_P(t_2) > \rho_E(t_2)$, тогда расстояние между игроками будет равно $D_2 = \rho_P(t_2) - \rho_E(t_2)$ и для нахождения момента времени t_3 необходимо решить уравнение $\int_{t_2}^{t_3} v_2 dt + V^P(t_3 - t_2) = D_2$. Если $\rho_P(t_2) < \rho_E(t_2)$, значит расстояние между игроками будет равно $D_2 = \rho_E(t_2) - \rho_P(t_2)$ и для нахождения момента времени t_3 необходимо решить уравнение $V^P(t_3 - t_2) - \int_{t_2}^{t_3} v_2 dt = D_2$. После движения по прямолинейному участку, преследователь движется по спирали. Преследователю для уменьшения времени целесообразно упорядочить перебор скоростей по убыванию.

Однако, если это становится известно убегающему, он может двигаться с минимальной скоростью, что позволит максимизировать время поиска. Таким образом, получается следующая игра. Множество стратегий подводной лодки – это множество комбинаций возможных скоростей v его движения и направлений движения α . Множество стратегий корабля-перехватчика – это множество всевозможных перестановок элементов V^E . Матрица полученной игры состоит из элементов T , которые являются временем поимки.

Теперь предположим, что корабль-перехватчик должен обнаружить n подводных лодок, для поимки каждой из которых требуется τ_{ij} часов. Для реализации перехвата имеется m катеров, каждый из которых направляется за лодкой. Известна матрица $A = \{\tau_{ij}\}$ - матрица эффективности выполнения поиска i -катером j -подводной лодки. Требуется построить такой план назначений $X = \{x_{ij}\}, i = 1..m, j = 1..n$, который минимизирует время поиска, при этом каждый катер назначают искать не более чем одну лодку, и каждую лодку может искать не более чем один катер. Величины x_{ij} могут принимать только 2 значения:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ assigned } i \text{ boat for } j \text{ submarine} \\ 0, \text{ assigned } i \text{ boat for } j \text{ submarine} \end{cases}$$

Математическая формулировка задачи об оптимальных назначениях $\min z = \min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tau_{ij} * x_{ij}$, $\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq 1, j = 1..n$, $\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq 1, i = 1..m, x_{ij} \geq 0$. Для того, чтобы задача об оптимальных назначениях имела оптимальное решение необходимо и достаточно, чтобы количество катеров было равно количеству подводных лодок, т.е. $n = m$. При этом условия ограничения неравенства превращаются в равенства: $\min z = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tau_{ij} * x_{ij}$, $\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 1..n$, $\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = 1..n, x_{ij} \geq 0$. Если $n \neq m$, то задача о назначениях несбалансированна. Любую задачу о назначениях можно сбалансировать, введя необходимое количество фиктивных катеров или лодок. Двойственная задача об оптимальных назначениях $\max \omega = \max(\sum_{i=1}^n i + \sum_{i=1}^n i)$, $i + i \geq \tau_{ij}, i = 1..n, j = 1..n$.

Венгерский метод решения задачи о назначениях.

1. В исходной матрице А производительностей определим в каждой строке минимальный элемент и вычтем его из всех других элементов строки.

2. В матрице, полученной на первом этапе, найдем в каждом столбце минимальный элемент и вычтем его из всех других элементов столбца. Если после выполнения п.1 и п.2 не получено допустимое решение, необходимо выполнить:

а. В последней матрице проводится минимальное число горизонтальных и вертикальных прямых по строкам и столбцам, чтобы вычеркнуть все нулевые элементы.

б. Находится минимальный невычеркнутый элемент и вычитается из всех остальных невычеркнутых элементов и прибавляется ко всем элементам, стоящим на пересечении проведенных в предыдущем пункте прямых.

с. Если новое распределение нулевых элементов не позволяет построить допустимое решение, повторяем п. 2, а). В противном случае, переходим к п.3

3. Оптимальным назначениям будут соответствовать нулевые элементы, полученные в п.2.

4. Рассмотрим еще один случай. Предположим, что корабль-перехватчик отправляет n катеров за одной подводной лодкой. Убегающий имеет дискретный набор скоростей и направлений движений и ему необходимо выбрать, как действовать, чтобы максимально увеличить время поимки. Другими словами, убегающий должен выбрать наилучший вариант действий или лучшую стратегию

поведения. Воспользуемся теорией принятия решений. Каждый катер последовательно в случайном порядке пытается перехватить подводную лодку. Следовательно, имеем n шагов. Пусть находимся на шаге t . Необходимо определить вероятность победы в случае выбора стратегии t , при условии, что она лучше всех предыдущих, т.е. вероятность, что она вообще лучше всех. Обозначим эту вероятность через g_t . Кроме того, определим вероятность, что в последняя стратегия будет самой лучшей, при условии, что пропускаем первые t стратегий и далее убегающий пользуется оптимальной стратегией. Эту вероятность обозначим через h_t .

По принципу динамического программирования убегающий знает, как действовать оптимально начиная с шага $t+1$. Оптимальная стратегия поведения: если на шаге t стратегия не лучше всех предыдущих, то ее нужно отвергнуть; если же она действительно лучше среди первых t , то необходимо сравнить g_t и h_t . Если $g_t \geq h_t$, то убегающий выбирает стратегию t ; если $g_t < h_t$, то переходим к следующей.

Посчитаем g_t . Начнем с конца, т.е. $g_n, g_{n-1} \dots$. Если на шаге n стратегия оказалась лучше всех предыдущих, то вероятность $g_n = 1$. Рассмотрим шаг $n-1$. Эта стратегия лучше всех предыдущих. Вероятность проигрыша в случае, если убегающий выберет ее, будет вероятностью того, что последний лучше всех. По условию, стратегии упорядочены по возрастанию качества и равновероятно разбросаны по списку. Тогда вероятность самой лучшей стратегии оказаться на n -месте равна $1/n$. Следовательно, вероятность победы $g_{n-1} = 1 - \frac{1}{n} = \frac{n-1}{n}$.

Найдем g_{n-2} . Пусть $n-2$ -стратегия оказалось лучшей среди всех предыдущих. Посчитаем вероятность того, что он действительно лучше всех, т.е. вероятность того, что ни n -стратегия, ни $n-1$ -стратегия не являются самыми лучшими. Вероятность $n-1$ -стратегии оказаться лучше $n-2$ -стратегии равно $\frac{1}{n-1}$. Вероятность, что $n-1$ -стратегия будет не лучше $n-2$ -стратегии, равна $1 - \frac{1}{n-1} = \frac{n-2}{n-1}$. Далее посчитаем условные вероятности победы. Если $n-1$ -стратегия лучше $n-2$ -стратегии, то $n-2$ -стратегия точно не самый лучший среди всех n стратегий, т.е. вероятность победы равна 0.

5. Если $n - 1$ -стратегия хуже $n - 2$ -стратегии, то тогда $n - 2$ -стратегия является лучшим среди первых $n - 1$ стратегий. Вероятность победить в этом случае равна $\frac{n-1}{n}$, т.е. g_{n-1} . Таким образом,

$$g_{n-2} = \frac{1}{n-1} * 0 + \frac{n-2}{n-1} * g_{n-1} = \frac{n-2}{n}.$$

Методом математической индукции можно доказать, что $g_t = \frac{t}{n} [2]$.

Найдем h_t . Это вероятность выбрать в конце концов самую лучшую стратегию, если дойти до шага t , пропустить эту стратегию, а дальше действовать по оптимальной стратегии. Таким образом, это вероятность победить, действуя оптимально начиная с $t+1$ шага. По определению h_t для любой стратегии поведения, при которой убегающий может делать свой выбор только с шага $t+1$, вероятность успеха не превосходит h_t в случае действия в соответствии с этой стратегией поведения. Т.е. для любого t $h_t \geq h_{t+1}$. Чем раньше действовать оптимально, тем больше вероятность победить.

Следовательно, h_t – монотонно невозрастающая функция. Вставить графики функций. По выбранной стратегии поведения, если на шаге t вероятность $h_t > g_t$, то продолжаем перебор. Если $h_t \leq g_t$, то убегающий останавливается в случае, когда текущая стратегия лучше всех предыдущих, и продолжает перебор в противном случае.

Пусть T – точка пересечения графиков, а t_1 – последнее целое число перед T . Очевидно, что $h_n = 0$. h_{n-1} - вероятность того, что E выберет лучшую стратегию, если пропустит $n-1$. Это может произойти только, если последняя окажется лучше всех. Вероятность такого события равна $\frac{1}{n}$.

Найдем h_{n-2} . Пусть убегающий пропустил стратегию $n-2$ и дальше действует оптимально.

Тогда возможны два случая:

1) $n-1$ является лучшей среди первых n – стратегий (вероятность этого равна $\frac{1}{n-1}$);

2) $n-1$ стратегия не является лучшей (вероятность равна $\frac{n-2}{n-1}$).

Из первого случая следует, что убегающий выбирает n – стратегию, что соответствует оптимальному поведению. Вероятность победы в этом случае $g_{n-1} = \frac{n-1}{n}$. Из второго случая следует, что E пропускает n – стратегию. Тогда шансы на победу $h_{n-1} = \frac{1}{n}$, значит,

$$h_{n-2} = \frac{1}{n-1} * \frac{n-1}{n} + \frac{n-2}{n-1} * \frac{1}{n} = \frac{(n-2)+(n-1)}{n*(n-1)}.$$

Продолжая рассуждать аналогичным образом, получим [3]:

$$h_t = \frac{t}{n} \left(\frac{1}{t} + \frac{1}{t+1} + \dots + \frac{1}{n-1} \right).$$

Проанализируем выражение $\frac{h_t}{g_t}$ для $t \geq t_1$:

$$\frac{h_t}{g_t} = \frac{1}{t} + \frac{1}{t+1} + \dots + \frac{1}{n-1}.$$

В [3] найдено число, которое соответствует точке пересечения на графике, равно $t = \frac{n}{e}$. При этом $h_t = g_t = \frac{t}{n} = \frac{1}{e}$, т.е. вероятность успеха при $n \rightarrow \infty$ равна $\frac{1}{e} = 0,368$.

Таким образом, модельное прогнозирующее управление может предсказывать будущие события и обрабатывать их соответствующим образом [17-20]. Для нелинейных систем с ограничениями точное аналитическое решение не может быть получено путем прямого решения уравнения Гамильтона-Якоби-Беллмана. Поэтому этот метод, основанный на численной оптимизации в реальном времени, привлек к себе большое внимание.

Список использованной литературы

1. Koopman, B.O. Search and screening. In Operation Evolution Group Office of the Chief of Naval Operations; Report No. 56; Washington, DC, USA, 1946. Available Online: <https://www.loc.gov/item/2009655247/> (accessed on 07 May 2023).
2. Hellman, O. Introduction to the Theory of Optimal Search; Nauka: Moscow, Russia, 1985.
3. Abchuk, V.A.; Suzdal, V.G. Search for Objects; Sovetskoe Radio: Moscow, Russia, 1977.
4. Staroverov, O.V. On one search problem. Probab. Theory Its Appl. 1963, 8, 184–187.
5. Kelin, M. Note a sequential search. Nav. Res. Logist. Q. 1968, 15, 3. Pages 469-475
6. Koopman, B.O. Theory of search: I. Kinematic bases. Oper. Res. 1956, 4, 324–346.
7. Koopman, B.O. Theory of search: III. The optimum distribution of searching efforts. Oper. Res. 1957, 5, 613–626.
8. Andersson, A.; Näsholm, E. Fast Real-Time MPC for Fighter Aircraft. Dissertation, Department of Electrical Engineering, Lin-köping University, 2018. Master of Science Thesis in Electrical Engineering. Linköping, Sweden Available Online: <https://liu.diva->

portal.org/smash/get/diva2:1217945/FULLTEXT01.pdf (accessed on 07 May 2023).

9. MacQueen, J.; Miller, R.G. Optimal persistence policies. *Oper. Res.* 1960, 8, 362–380.

10. Posner, E.C. Optimal search procedures. *IEEE Trans. Inf. Theory* 1963, 9, 157–160.

11. Danskin, J.M. A theory of reconnaissance. I. *Oper. Res.* 1963, 10, 285–299.

12. Иванов В.Т. Математическое моделирование. Модели оптимизации. – Уфа, 1988.

13. Самарский А.А. Гулин А.В. Численные методы - М.: Наука, 1989.

14. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: Высшая школа, 1998.

15. Теория вероятностей. — М.: Изд-во физико-математической литературы, 1958. — 464 с.

16. Целых, А.Н. Оценка эффективности информационного поиска / А.Н. Целых, Э.М. Котов // Изв. Таганрог. гос. радиотехн. ун-та. – 2006. – № 10. – С. 43–45.

17. Тюрина О.Д. Применение NOSQL при построении геоинформационных систем. В сборнике: Инновационное развитие информационных систем и технологий в гидрометеорологии. сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2022. С. 86-91.

18. Гусева Л.Л., Зайцева И.В. Методы резервирования механизмов защиты для повышения отказоустойчивости системы защиты информации // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2010. № 14. С. 102-106.

19. Zaitseva I.V., Malafeyev O.A., Zakharov V.V., Smirnova T.E., Novozhilova L.M. Mathematical model of network flow control. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 1. Ser. "1st International Conference on Innovative Informational and Engineering Technologies, ИЕТ 2020" 2020. P. 012036.

20. Malafeyev O., Parfenov A., Smirnova T., Zubov A., Bondarenko L., Ugegov N., Strekopytova M., Strekopytov S., Zaitseva I. Game-theoretical model of cooperation between producers. *AIP Conference Proceedings. International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM)*. 2019. P. 450059.

ОСОБЕННОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛОВ

*Мамедов Джумамырат Какабаевич, Мередов Парахат Овезович,
Гылыжов Голбай Хожаахмедович, Досназаров Байрамбай
Сатбаевич, Махемов Юсуп Дадебаевич*
Туркменский сельскохозяйственный институт, г. Дашогуз,
Туркменистан, mahemowyusup@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассматриваются особенности вычисления интегралов. Решение примеров имеет большое значение для закрепления теоретических знаний в курсе высшей математики. Вычисление определенных и неопределенных интегралов на занятиях по математике имеет некоторые сходства, особенности и общие черты, которые рассматриваются в статье.

Ключевые слова: интеграл, признак, общность, определенность, пример, задача.

FEATURES OF CALCULATING INTEGRALS

*Mamedov Jumamyrat Kakabayevich, Meredov Parahat Ovezovich,
Gylyjov Golbay Hojaahmedovich, Dosnazarov Bayrambay Satbayevich,
Mahemov Yusup Dadebayevich*
Turkmen Agricultural Institute, Dashoguz, Turkmenistan,
mahemowyusup@gmail.com

Annotation. This article discusses the features of calculating integrals. Solving examples is of great importance for consolidating theoretical knowledge in a higher mathematics course. The calculation of definite and indefinite integrals in mathematics classes has some similarities, features and common features that are discussed in this article.

Keywords: integral, sign, generality, certainty, example, task.

Рассмотрим примеры, связанные с особенностями вычисления интегралов.

Задача 1. Если $-\infty < x < +\infty$ и $f(x)$ непрерывная, дифференцируемая и периодическая функция на интервале, то докажите, что $f''(x) \cdot f(x) \leq 0$.

Доказательство. Предположим обратное. Пусть $f''(x) \cdot f(x) > 0$, тогда период функции равен числу T доходящих до точки равновесия $f(x)$:

$$\int_x^{x+T} f''(x) \cdot f(x) dx > 0.$$

Методом интегрирования по частям получаем:

$$\int f''(x) \cdot f(x) dx = \int f(x) d(f'(x)) = f(x)f'(x) - \int [f'(x)]^2 dx;$$

$$\begin{aligned} \int_x^{x+T} f''(x) \cdot f(x) dx &= f(x)f'(x) \Big|_x^{x+T} - \int_x^{x+T} [f'(x)]^2 dx = \\ &= - \int_x^{x+T} [f'(x)]^2 dx \leq 0. \end{aligned}$$

Пришли к противоречию, значит неравенство $f''(x) \cdot f(x) \leq 0$ верно.

Теперь рассмотрим, как вычислять неопределенные интегралы разными способами.

Задача 2. Вычислить интеграл $\int x|x|dx$.

Решение. Интегрируем по частям:

$$I = \int x|x|dx = \frac{x^2|x|}{2} - \frac{1}{2} \int x|x|dx = \frac{x^2|x|}{2} - \frac{1}{2}I.$$

Из последнего уравнения получаем:

$$\frac{3}{2}I = \frac{x^2|x|}{2}; I = \int x|x|dx = \frac{x^2|x|}{3} + C.$$

Ответ: $\int x|x|dx = \frac{x^2|x|}{3} + C$.

Задача 3. Вычислить интеграл $\int (x + |x|)^2 dx$.

Решение. $\int (x + |x|)^2 dx = \int (x^2 + 2x|x| + (|x|)^2) dx = 2 \int (x^2 + x|x|) dx = 2 \int x^2 dx + 2 \int x|x| dx = \frac{2x^3}{3} + \frac{2x^2|x|}{3} + C = \frac{2x^2}{3} (x + |x|) + C$.

Ответ: $\int (x + |x|)^2 dx = \frac{2x^2}{3} (x + |x|) + C$.

Задача 4. Вычислить интеграл $\int (|1 + x| - |1 - x|) dx$ [1].

Решение. $\int (|1 + x| - |1 - x|) dx = \int |1 + x| dx - \int |1 - x| dx = \int |1 + x| d(1 + x) + \int |1 - x| d(1 - x)$. По формуле $\int |t| dt = \frac{|t|^2}{2} + C$ получаем:

$$\int |1+x|d(1+x) + \int |1-x|d(1-x) = \frac{1}{2}(|1+x|(1+x) + |1-x|(1-x)) + C.$$

Ответ: $\int (|1+x| - |1-x|)dx = \frac{1}{2}(|1+x|(1+x) + |1-x|(1-x)) + C.$

Задача 5. Если $f'(\sin^2 x) = \cos^2 x$, найти функции $f(x)$.

Решение. Введем замену $\sin^2 x = t$, тогда $f'(t) = 1 - t$.

$$\int f'(t)dt = \int (1-t)dt; f(t) = t - \frac{1}{2}t^2 + C \text{ или } f(x) = x - \frac{1}{2}x^2 + C.$$

Ответ: $f(x) = x - \frac{1}{2}x^2 + C.$

Задача 6. Если $f'(x^2) = \frac{1}{x}$, найти функции $f(x)$.

Решение. Введем замену $x^2 = t$, тогда $x = \sqrt{t}$, $f'(t) = \frac{1}{\sqrt{t}}$.

$$\int f'(t)dt = \int \frac{1}{\sqrt{t}}dt; f(t) = 2\sqrt{t} + C.$$

Обратная замена: $f(x) = 2\sqrt{x} + C.$

Ответ: $f(x) = 2\sqrt{x} + C.$

Задача 7. Вычислить интеграл $\int \frac{dx}{\sin(x+a)\sin(x+b)}$.

Решение.
$$\begin{aligned} \int \frac{dx}{\sin(x+a)\sin(x+b)} &= \frac{1}{\sin(a-b)} \int \frac{\sin[(x+a)-(x+b)]}{\sin(x+a)\sin(x+b)} dx = \\ &= \frac{1}{\sin(a-b)} \int \frac{\sin(x+a)\cos(x+b) - \cos(x+a)\sin(x+b)}{\sin(x+a)\sin(x+b)} dx = \\ &= \frac{1}{\sin(a-b)} \int \left(\frac{\cos(x+b)}{\sin(x+b)} - \frac{\cos(x+a)}{\sin(x+a)} \right) dx = \frac{1}{\sin(a-b)} \left(\int \frac{d(\sin(x+b))}{\sin(x+b)} - \int \frac{d(\sin(x+a))}{\sin(x+a)} \right) = \\ &= \frac{1}{\sin(a-b)} (\ln|\sin(x+b)| - \ln|\sin(x+a)|) + C = \\ &= \frac{1}{\sin(a-b)} \ln \left| \frac{\sin(x+b)}{\sin(x+a)} \right| + C. \end{aligned}$$

Задача 8. Вычислить интеграл $\int \frac{dx}{\sin(x+a)\cos(x+b)}$.

Решение.
$$\begin{aligned} \int \frac{dx}{\sin(x+a)\cos(x+b)} &= \frac{1}{\cos(a-b)} \int \frac{\cos[(x+a)-(x+b)]}{\sin(x+a)\cos(x+b)} dx = \\ &= \frac{1}{\cos(a-b)} \int \frac{\cos(x+a)\cos(x+b) + \sin(x+a)\sin(x+b)}{\sin(x+a)\cos(x+b)} dx = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{\cos(a-b)} \int \left(\frac{\cos(x+a)}{\sin(x+a)} + \frac{\sin(x+b)}{\cos(x+b)} \right) dx = \\
&= \frac{1}{\cos(a-b)} \left(\int \frac{d(\sin(x+a))}{\sin(x+a)} dx - \int \frac{d(\cos(x+b))}{\cos(x+b)} \right) = \\
&= \frac{1}{\cos(a-b)} (\ln|\sin(x+a)| - \ln|\cos(x+b)|) + C = \\
&\frac{1}{\cos(a-b)} \ln \left| \frac{\sin(x+a)}{\cos(x+b)} \right| + C.
\end{aligned}$$

Задача 9. Вычислить интеграл $\int \frac{x^2 dx}{(x \sin x + \cos x)^2}$ [2].

Решение. $\int \frac{x^2 dx}{(x \sin x + \cos x)^2} = \int \frac{x^2 (\sin^2 x + \cos^2 x) dx}{(x \sin x + \cos x)^2} =$

$$= \int \frac{x^2 \sin^2 x - x \sin x \cos x + x \sin x \cos x + x^2 \cos^2 x}{(x \sin x + \cos x)^2} dx =$$

$$= \int \frac{x \sin x (x \sin x + \cos x) - x \cos x (\sin x - x \cos x)}{(x \sin x + \cos x)^2} dx =$$

$$=$$

$$\int \frac{(\cos x + x \sin x - \cos x)(x \sin x + \cos x) - (\sin x + x \cos x - \sin x)(\sin x - x \cos x)}{(x \sin x + \cos x)^2} dx =$$

$$= \int \frac{(\sin x - x \cos x)'(x \sin x + \cos x) - (x \sin x + \cos x)'(\sin x - x \cos x)}{(x \sin x + \cos x)^2} dx =$$

$$= \int d \left(\frac{\sin x - x \cos x}{x \sin x + \cos x} \right) = \frac{\sin x - x \cos x}{x \sin x + \cos x} + C.$$

Ответ: $\int \frac{x^2 dx}{(x \sin x + \cos x)^2} = \frac{\sin x - x \cos x}{x \sin x + \cos x} + C.$

Рассмотренные примеры могут эффективно использоваться преподавателями и студентами в научных исследованиях, и для решения различных задач.

Список использованной литературы

1. Демидович, Б.П. Сборник задач и упражнений по математическому анализу / Б.П. Демидович. – Москва: Наука, 1977. – 261 с.
2. Баврин, И. И. Высшая математика / И. И. Баврин. – Москва: Просвещение, 1980. – 88 с.

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ

Пичугин Юрий Александрович

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье рассматривается геометрическая интерпретация статистических критериев, показана связь этих критериев с различными метриками m -мерного вещественного пространства.

Ключевые слова: обобщенная евклидова метрика, критерии хи-квадрат и Стьюдента, правдоподобие.

A GEOMETRIC INTERPRETATION OF STATISTICAL CRITERIA

Pichugin Yury Alexandrovich

*Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,
St. Petersburg, Russia*

Annotation. The article discusses the geometric interpretation of statistical criteria and shows the connection of these criteria with various metrics of m -dimensional real space.

Keywords: generalized Euclidean metric, chi-square and Student's tests, likelihood.

Гауссовское распределение, как хорошо известно, является вполне геометрически интерпретируемым. Например, параметры одномерного нормального распределения $N(m, \sigma^2)$ принято называть: m – параметр сдвига и σ – параметр масштаба, чем уже указывают на возможность геометрической интерпретации. Если по некоторой выборке объема n вычислены оценка среднего значения \bar{x} и несмещенная оценка дисперсии $\hat{\sigma}^2$, то проверка гипотезы $H: m = m_0$ осуществляется посредством статистики Стьюдента $(\bar{x} - m_0)\sqrt{n}/\hat{\sigma}$. Как

нетрудно видеть, здесь расстояние между точками на вещественной оси \bar{x} и m_0 вычисляется в единицах $\hat{\sigma}/\sqrt{n}$.

В задачах статистического контроля данных измерений или контроля измеренных параметров производимой продукции за единицу расстояния обычно принимают стандартное отклонение σ , а на практике (т.е. фактически) его несмещенную оценку $\hat{\sigma}$. При этом проверяют, вписывается ли подлежащая контролю величина в некоторый заранее определенный диапазон, т.е. вычисляются расстояния от контролируемого значения до границ диапазона.

За единицу масштаба оценку стандартного отклонения $\hat{\sigma}$ принимают и в задачах разделения смеси распределений, когда построенная по выборке гистограмма имеет явно бимодальный характер.

Рассмотрим случай, когда решается задача разделения смеси распределений в m -мерном вещественном пространстве при условии нормального распределения случайных векторов (выборка объема n). В многомерной статистике, в частности в задаче разделения смеси, П.Ч. Махаланобисом (1893 – 1972) было предложено вычислять расстояние между случайными m -мерными гауссовскими векторами x и y по формуле:

$$d_M(x, y) = \sqrt{(x - y)^T \hat{V}^{-1} (x - y)},$$

где \hat{V} – несмещенная оценка ковариационной матрицы одного из векторов, например, x или оценка общей ковариационной матрицы x и y , когда векторы принадлежат одному распределению, T – оператор транспонирования.

Расстояние Махаланобиса является частным случаем обобщенной евклидовой метрики, в свою очередь определяемой через обобщенное скалярное произведение:

$$\langle v, w \rangle_A = v^T A w,$$

где A – симметричная положительно определенная матрица. В этом случае норма вектора v определяется формулой:

$$\|v\|_A = \sqrt{v^T A v},$$

а обобщенное евклидово расстояние между векторами v и w вычисляется по формуле:

$$d_{A,2}(v, w) = \sqrt{(v - w)^T A (v - w)}.$$

Пусть Q есть ортогональная матрица, которая приводит матрицу A к диагональному виду, т.е.

$$\mathbf{Q}^T \mathbf{A} \mathbf{Q} = \mathbf{M} = \text{diag}(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m),$$

тогда:

$$d_{\mathbf{A},2}(\mathbf{v}, \mathbf{w}) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (\tilde{v}_i - \tilde{w}_i)^2},$$

где \tilde{v}_i и \tilde{w}_i ($i = 1, 2, \dots, m$) суть компоненты векторов $\tilde{\mathbf{v}} = \mathbf{M}^{1/2} \mathbf{Q}^T \mathbf{v}$ и $\tilde{\mathbf{w}} = \mathbf{M}^{1/2} \mathbf{Q}^T \mathbf{w}$, соответственно, которые отличаются от исходных поворотом в пространстве (\mathbf{Q}^T) и изменением масштаба каждой из координат ($\mathbf{M}^{1/2} = \text{diag}(\sqrt{\mu_1}, \sqrt{\mu_2}, \dots, \sqrt{\mu_m})$ – матрица растяжения), что и приводит обобщенную евклидову метрику к обычной метрике m -мерного евклидова пространства d_2 .

На основе обобщенной евклидовой метрики $d_{\mathbf{A},2}$ можно построить и обобщенную метрику, аналогичную известной метрике d_∞ , т.е.:

$$d_{\mathbf{A},\infty}(\mathbf{v}, \mathbf{w}) = \max_i |\tilde{v}_i - \tilde{w}_i|,$$

которая, как и в случае обычной евклидовой метрики, будет эквивалентна $d_{\mathbf{A},2}$.

Пусть теперь ортогональная матрица \mathbf{P} приводит к диагональному виду несмещенную оценку ковариационной матрицы $\hat{\mathbf{V}}$, которая фигурирует в метрике Махаланобиса (см. выше), т.е.

$$\mathbf{P}^T \hat{\mathbf{V}} \mathbf{P} = \mathbf{\Lambda} = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m).$$

Тогда квадрат метрики Махаланобиса равен:

$$d_M^2(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sum_{i=1}^m \left(\frac{\tilde{x}_i - \tilde{y}_i}{\tilde{\sigma}_i} \right)^2 = \sum_{i=1}^m (x'_i - y'_i)^2,$$

где $\tilde{\sigma}_i^2 = \lambda_i$ есть несмещенная оценка дисперсии i -ой компоненты \tilde{x}_i вектора $\tilde{\mathbf{x}} = \mathbf{P}^T \mathbf{x}$, а x'_i ($i = 1, 2, \dots, m$) суть компоненты вектора $\mathbf{x}' = \mathbf{\Lambda}^{-1/2} \mathbf{P}^T \mathbf{x}$. Вектор \mathbf{x}' отличается от вектора $\tilde{\mathbf{x}}$ тем, что имеет нормированные компоненты. Однако у обоих векторов компоненты взаимно независимы. Компоненты векторов $\tilde{\mathbf{y}}$ и \mathbf{y}' вычисляются аналогично и имеют те же самые свойства, если исходный вектор \mathbf{y} принадлежит тому же распределению.

Вернемся к задаче проверки простой статистической гипотезы, оставаясь в пределах предположения о многомерном гауссовском распределении. Предположим, что $\widehat{\mathbf{X}}$ есть несмещенная линейная оценка некоторого вектора \mathbf{x} , например, вектора каких-либо параметров, и известна ковариационная матрица этой оценки, которую мы, как и прежде, будем обозначать $\widehat{\mathbf{V}}$. Предположим, что нам требуется проверить простую гипотезу относительно истинного значения этого вектора $H: \mathbf{x} = \mathbf{x}_0$. Тогда из приведенных выше формул следует, что квадрат расстояния Махаланобиса $d_M^2(\widehat{\mathbf{x}}, \mathbf{x}_0)$, с одной стороны, есть квадрат обобщенного евклидова расстояния $d_{\widehat{\mathbf{V}}^{-1}, 2}^2(\widehat{\mathbf{x}}, \mathbf{x}_0)$, а с другой стороны, с увеличением объема выборки n асимптотически приближается к χ^2 -статистике для проверки гипотезы H . Последнее следует из того, что мы имеем сумму квадратов независимых величин, которые асимптотически приближаются к стандартному нормальному распределению, но при этом совершенно точно имеют распределение Стьюдента. Следовательно метрика $d_{\widehat{\mathbf{V}}^{-1}, \infty}(\widehat{\mathbf{x}}, \mathbf{x}_0)$ будет представлять собой статистику Стьюдента. Действительно, пусть, как и прежде, ортогональная матрица \mathbf{P} приводит матрицу ковариаций $\widehat{\mathbf{X}}$ к диагональному виду ($\widehat{\mathbf{V}} = \mathbf{P}\mathbf{\Lambda}\mathbf{P}^T$, где $\mathbf{\Lambda}$ диагональная матрица).

Вычислим вектор:

$$\mathbf{s} = (s_1, s_2, \dots, s_m)^T = \mathbf{\Lambda}^{-1/2} \mathbf{P}^T (\widehat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}_0).$$

Тогда при верной гипотезе H компоненты вектора \mathbf{s} будут взаимно независимы и будут иметь распределение Стьюдента (см. выше). При этом:

$$d_{\widehat{\mathbf{V}}^{-1}, 2}^2(\widehat{\mathbf{x}}, \mathbf{x}_0) = \sum_{i=1}^m s_i^2, \quad \text{а} \quad d_{\widehat{\mathbf{V}}^{-1}, \infty}(\widehat{\mathbf{x}}, \mathbf{x}_0) = \max_i |s_i|.$$

Следует также отметить, что несмотря на то, что $d_{\widehat{\mathbf{V}}^{-1}, \infty}(\widehat{\mathbf{x}}, \mathbf{x}_0)$ в точности подчиняется распределению Стьюдента, а $d_{\widehat{\mathbf{V}}^{-1}, 2}^2(\widehat{\mathbf{x}}, \mathbf{x}_0)$ лишь асимптотически приближается к распределению χ^2 , результаты применения этих критериев в конкретных задачах не дают сколь-либо заметных расхождений.

История математики показала, что замеченные когда-либо аналогии различных задач с задачами геометрии могут давать существенные продвижения в решении этих задач. Так, например, замеченная Ж.-Б.Ж. Фурье (1768 – 1830) аналогия между

определенным интегралом от произведения двух непрерывных функций и скалярным произведением векторов привело к появлению хорошо известных тригонометрических рядов Фурье, систем ортогональных функций и общих рядов Фурье. Приведенные же выше аналогии статистических критериев и метрик m -мерного вещественного пространства позволили решить задачу проверки сложной статистической гипотезы о принадлежности вектора \mathbf{x} некоторой замкнутой области G , имеющей кусочно-гладкую границу. Задача решена для трех вариантов линейного несмещенного оценивания этого вектора (см. [1]). Существенную роль при этом сыграло правдоподобие:

$$f(\mathbf{x}, \hat{\mathbf{x}}, \hat{\mathbf{V}}) = (2\pi)^{-m/2} [\det \hat{\mathbf{V}}]^{-1/2} \times \exp(-0,5(\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}})^T \hat{\mathbf{V}}^{-1}(\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}})).$$

Максимизация правдоподобия при наложении условия, что \mathbf{x} принадлежит границе G , позволяет найти на границе G точку \mathbf{x}_* , которая минимизирует $d_{\hat{\mathbf{V}}^{-1},2}^2(\hat{\mathbf{x}}, \mathbf{x}_*)$, $d_{\hat{\mathbf{V}}^{-1},\infty}(\hat{\mathbf{x}}, \mathbf{x}_*)$, а также и еще одну метрику [1], которую в пределах данной статьи мы не рассматриваем. В итоге проверка гипотезы $H: \mathbf{x} \in G$ свелась к легко проверяемой простой гипотезе $H': \mathbf{x} = \mathbf{x}_*$.

Решение вышеуказанной теоретической задачи в свою очередь позволило дать новые решения ряда достаточно важных практических задач. Например, задача космической безопасности, связанная с вероятностью схода спутника со своей орбиты [1]; задача оценки надежности измеренных параметров каких-либо механизмов [2]; задача выявления фактов коррупции [3]; экономические задачи, такие, как оценка параметров производственной функции и оценка надежности фирмы по критерию Э. Альтмана [1].

Список использованной литературы

1. Пичугин Ю.А. Геометрические аспекты проверки сложных статистических гипотез в математическом моделировании // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. - 2015. № 2 (218) - С. 123-137.
2. Pichugin Yu., Alferov G., Malafeyev O., Parameters Estimation in Mechanism Design // Contemporary Engineering Sciences, Vol. 9, 2016, no. 4, pp 175 -185.
3. Pichugin Yu., Malafeyev O. Statistical Estimation of Corruption Indicators in the Firm // Applied Mathematical Sciences, Vol. 10, 2016, no. 41-44, pp 2065-2073.

РЕГРЕССИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОТНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ ПРИ УПЛОТНЕНИИ ВЗРЫВОМ

Тарасенко Елена Олеговна

*ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
г. Ставрополь, Россия*

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью оценки плотностных свойств грунта от его прочностных характеристик в результате реализации инженерно-производственного процесса гидровзрывного уплотнения просадочных толщ. Цель исследования: провести оценку удельного сцепления и угла внутреннего трения грунта от его плотности в рамках математического моделирования уплотнения взрывом просадочных грунтов. Проведено регрессионное моделирование зависимостей плотностных свойств грунта от показателей его прочностных характеристик. Корректное применение функционала математической статистики, и реализация средств корреляционного и регрессионного анализов позволило установить зависимости плотностных и прочностных характеристик грунта с целью прогнозирования поведения геологических систем. Установлена корреляционная взаимозависимость исследуемых показателей грунта. Положительная корреляция наблюдается между прочностными характеристиками и плотностью. Построены регрессионные модельные соотношения удельного сцепления и угла внутреннего трения от плотности уплотнённого грунта. Установлено, что с ростом плотности фиксируется рост удельного сцепления и угла внутреннего трения грунта. При этом статистические коэффициенты достоверности аппроксимации принимают значения не менее 0,83. Построенные регрессионные модели плотностных свойств уплотнённого гидровзрывами грунта могут найти практическую реализацию при проектировании оснований и фундаментов строительных объектов на просадочных грунтах.

Ключевые слова: просадочный грунт, удельное сцепление, угол внутреннего трения, уплотнение взрывом, регрессионное моделирование.

REGRESSION MODELING OF DENSITY PROPERTIES OF COMPLIANCE SOILS DURING COMPACTION BY EXPLOSION

Tarasenko Elena Olegovna

North Caucasian Federal University, Stavropol, Russia

Annotation. The relevance of the study is due to the need to assess the density properties of soil from its strength characteristics as a result of the implementation of the engineering and production process of hydraulic explosive compaction of subsidence strata. Purpose of the study: to assess the specific adhesion and angle of internal friction of the soil from its density within the framework of mathematical modeling of explosive compaction of subsidence soils. Regression modeling of the dependences of the density properties of soil on the indicators of its strength characteristics was carried out. The correct application of the functionality of mathematical statistics, and the implementation of correlation and regression analysis tools made it possible to establish the dependencies of the density and strength characteristics of the soil in order to predict the behavior of geological systems. The correlation interdependence of the studied soil parameters has been established. A positive correlation is observed between strength characteristics and density. Regression model relationships between specific adhesion and angle of internal friction on the density of compacted soil have been constructed. It has been established that with increasing density, an increase in the specific adhesion and angle of internal friction of the soil is recorded. In this case, the statistical coefficients of approximation reliability take values of at least 0.83. The constructed regression models of the density properties of soil compacted by hydraulic explosions can find practical implementation in the design of bases and foundations of construction projects on subsidence soils.

Keywords: subsidence soil, specific cohesion, angle of internal friction, explosive compaction, regression modeling.

Введение. Просадочные грунты имеют широкое распространение на Северном Кавказе и Юге России [1]. Важной и сложной проблемой строительства является проектирование и возведение зданий и сооружений на отмеченных грунтах. При этом строительные объекты должны обладать прочностью, а также нормальной длительностью эксплуатации. Актуальность проблемы обусловлена большой мощностью (до 50 метров) и практически повсеместным распространением (не менее 80% площади)

просадочной толщи [1, 2]. Во многих городах указанных регионов просадочные грунты являются основным типом грунтовых оснований.

Устранение просадочности грунтов реализуется различными способами – уплотнение грунтовыми сваями, глубинными гидровзрывами, термическое или химическое закрепление и др. Их сравнение по технико-экономическим основаниям показало, что уплотнение глубинными взрывами с предварительным замачиваем котлованов является эффективным и предпочтительным. Позволяет реализовать в мощных просадочных толщах (более 20–25 метров) полное устранение просадочных свойств [2].

Математическое моделирование уплотнения грунтов глубинными взрывами представляет собой многогранную задачу, учитывающую различные свойства геологических систем. В работах [3, 4] представлено математическое моделирование технологического процесса уплотнения специфических грунтов Северного Кавказа.

Необходимость оценки плотностных свойств просадочных грунтов в рамках математического моделирования их уплотнения глубинными взрывами указывает на актуальность настоящего исследования. В качестве инструмента выбран аппарат регрессионного анализа. Регрессионное моделирование позволит реализовать оценку удельного сцепления и угла внутреннего трения при различных значениях плотности грунта. Уравнения регрессии дают возможность прогнозировать плотностные свойства просадочного грунта на этапе проектирования оснований и фундаментов объектов строительства.

Постановка задачи регрессионного моделирования.

Регрессионное моделирование плотностных свойств просадочных грунтов позволяет говорить об их объективности, вне зависимости от условий опыта. Проведём исследование корреляционно-регрессионной взаимозависимости физических и прочностных характеристик просадочных грунтов. Уравнения регрессии дадут возможность прогнозировать плотностные свойства грунтов.

Анализ регрессионных зависимостей угла внутреннего трения и удельного сцепления от плотности проведём на основе опытных данных [2]. Исследуем показатели прочностных характеристик грунтов в результате устранения их просадочности глубинными взрывами на строительном объекте «Комплекс переработки попутного нефтяного газа месторождений Северного Каспия в полиэтилен на базе ООО «Ставролен» (г. Будённовск)».

Согласно опытной документации на площадке строительства мощность просадочных грунтов достигает 28 метров. Просадочная

толща представлена супесями и лёгкими суглинками. Грунтовые воды расположены на глубине 25–29 метров. Пробурили дренажно-взрывные скважины на глубину 6 метров, диаметр которых равен 200 мм. Их расположили по сетке 4,0х3,5 метра. Заряды взрывчатого вещества массой до 10 кг опустили в сухие скважины. Скважины заполнили гравием. В котловане провели замачивание просадочной толщи. После глубинных взрывов через месяц пробурили скважины и отобрали монолиты. Определили физические характеристики образцов уплотнённого грунта [2].

Регрессионное моделирование плотностных свойств грунта.

Показатели корреляционной зависимости удельного сцепления и угла внутреннего трения от плотности грунта представлены в таблице 1. Коэффициент корреляции Пирсона является мерой взаимозависимости между прочностными и физическими характеристиками грунта.

Таблица 1 – Коэффициенты корреляции взаимозависимости значений прочностных характеристик и плотности грунта

Прочностные характеристики	Физические характеристики	Коэффициент корреляции
Удельное сцепление, C	Плотность, ρ	0,92145
Угол внутреннего трения, φ	Плотность, ρ	0,91381

Анализ таблицы показывает, что между прочностными и физическими характеристиками грунта зафиксирована корреляционная связь. Коэффициенты корреляции удельного сцепления и угла внутреннего трения от плотности грунта принимают высокие значения, близкие к единице по абсолютной величине. Положительная корреляция наблюдается между прочностными характеристиками и плотностью грунта. В этом случае более высоким показателям прочности соответствуют высокие значения плотности. И наоборот, более низким – низкие.

Отметим, что значение корреляционного коэффициента более 0,9 по абсолютной величине показывает высокую корреляционную зависимость исследуемых показателей прочности и физических характеристик уплотнённого грунта. При этом коэффициент не достигает своего абсолютного значения равного единице.

Построим регрессионную модель, описывающую зависимость удельного сцепления C от плотности q уплотнённого грунта. Графическая интерпретация зависимости представлена на рисунке 1. Уравнение линии регрессии задаётся соотношением:

$$C = 0,0469q - 0,0126. \quad (1)$$

Регрессионная модель (1) имеет характер положительной зависимости. С увеличением значений плотности грунта фиксируется рост значений удельного сцепления. Уравнение регрессии (1) обладает высоким коэффициентом достоверности аппроксимации равным 0,8491 или 84,91%.

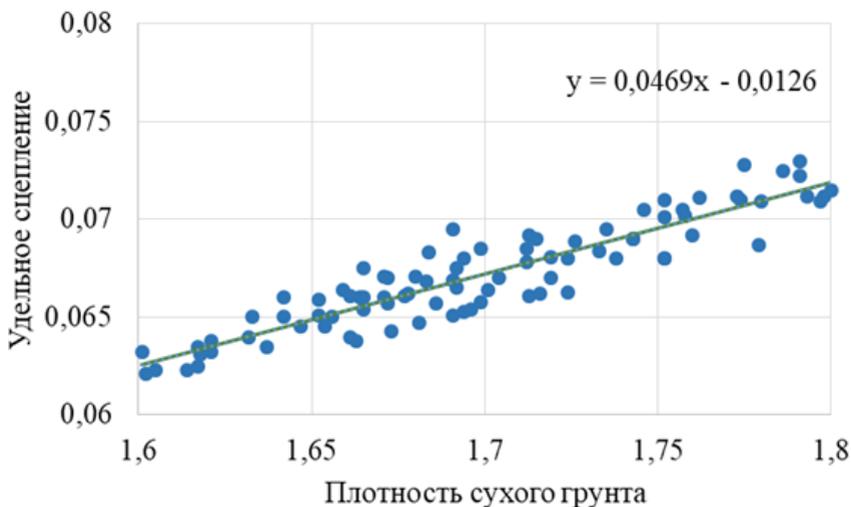


Рисунок 1 – Регрессионная модель зависимости удельного сцепления от плотности грунта

Угол внутреннего трения уплотнённого грунта φ коррелирует с физическими характеристиками грунта, согласно таблице 1. Исследуем эту зависимость аппаратом регрессионного анализа.

Исследование регрессионной зависимости угла внутреннего трения от плотности сухого грунта представлена на рисунке 2.

Уравнение регрессии (рисунок 2) задаётся соотношением

$$\varphi = 14,005q - 12,202. \quad (2)$$

Регрессионная модель (2) имеет высокую степень приближения к экспериментальным данным. Коэффициент достоверности аппроксимации равен 0,835. С ростом значений угла внутреннего трения отмечается рост значений плотности сухого уплотнённого грунта.

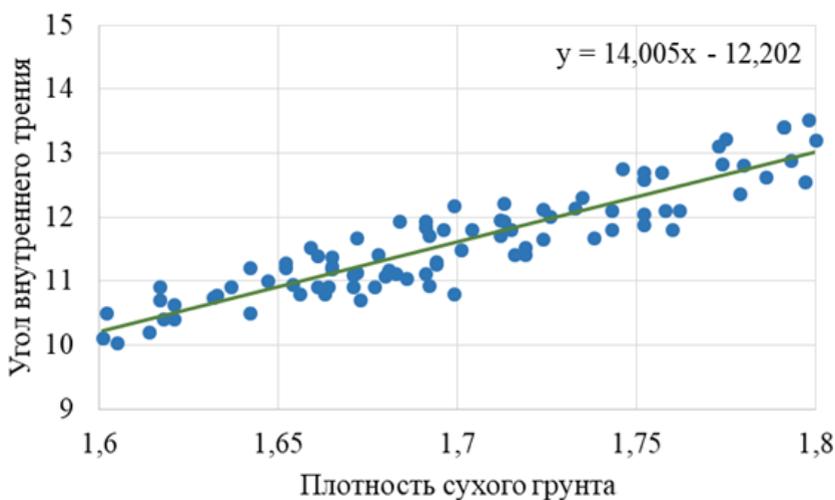


Рисунок 2 – Регрессионная модель зависимости угла внутреннего трения от плотности сухого грунта

Заключение. Методами корреляционного и регрессионного анализов исследованы плотностные свойства просадочных грунтов. Показана корреляционная зависимость удельного сцепления и угла внутреннего трения от плотности уплотнённого грунта. Значения корреляционных коэффициентов прочностных и физических характеристик грунта демонстрируют высокую взаимокоррелируемость. Это характерно для грунтов после устранения просадочных свойств глубинными взрывами. Построены

регрессионные модели зависимостей удельного сцепления, угла внутреннего трения и плотности грунтов после их уплотнения. Показано, что с ростом плотности грунта наблюдается рост значений удельного сцепления и угла внутреннего трения. Уравнения регрессионных моделей могут быть использованы при проектировании оснований и фундаментов объектов строительства на просадочных грунтах, как расчётные математические модели геологических систем. Способствуют составлению прогноза показателей прочности уплотнённого грунта на основе его физических характеристик.

Список использованной литературы

1. Трофимов В.Т., Балыкова С.Д., Болиховская Н.С. Лёссовый покров Земли и его свойства. – М.: МГУ, 2001. – 464 с.
2. Галай Б.Ф. Уплотнение просадочных грунтов глубинными взрывами. – Ставрополь: Изд-во Сервисшкола; СКФУ, 2015. – 240 с.
3. Тарасенко Е.О. Численная оценка плотности грунта методом конечно-разностных сеток при математическом моделировании уплотнения просадочных грунтов глубинными взрывами // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 5. – С. 103-108. <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/5/4022>
4. Tarasenko E.O. Numerical simulation of gas atom coordinate dispersion in a mathematical model of deep blast compaction for subsidence soils // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2023. – Volume 19, Issue 1. – P. 147-154. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2023-19-1-147-154>

УДК 519.865.7

**ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ
МОДЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ОШСКОЙ ОБЛАСТИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

Токошева Жазгул Аскербековна, Золотарева Татьяна Анатольевна
«Ошский государственный университет», г. Ош, Кыргызстан,
jtokosheva@mail.ru

Научный руководитель: д-р экон. наук, профессор ОГУ Кулуева Ч. Р.

Аннотация. В статье рассматривается универсальный метод корреляционной модели, которые можно применить в прогнозировании. На основе уравнения, полученной корреляционной модели можно спрогнозировать численность трудовых ресурсов Ошской области за период 2023-2033 гг. и определить их перспективные тенденции.

Ключевые слова: моделирование, корреляционная модель, трудовые ресурсы, корреляционно-регрессионный анализ, прогнозирование, рынок труда.

**INNOVATIVE FORECASTING METHOD LABOR RESOURCES
BASED ON CORRELATION MODELS BY EXAMPLE OSH
REGION OF THE KYRGYZ REPUBLIC**

Tokosheva Zhazgul Askerbekovna, Zolotareva Tatyana Anatolyevna
"Osh State University"

Osh, Kyrgyzstan, jtokosheva@mail.ru

*Scientific supervisor: Doctor of Economics. Sciences, Professor OSU
Kulueva Ch. R.*

Annotation. The article discusses a universal method of correlation model that can be used in forecasting. Based on the equation obtained by the correlation model, it is possible to predict the number of labor resources in the Osh region for the period 2023-2033. and determine their future trends.

Keywords: modeling, correlation model, labor resources, correlation and regression analysis, forecasting, labor market.

Трудовые ресурсы являются одним из основных факторов формирования национального дохода страны. В количественном отношении трудовые ресурсы определяют рынок труда, а их использование определяет производство национальной продукции с учетом материальных и духовных настроений общества. Нарастающие проблемы приводят к количественному и качественному снижению трудового потенциала в регионах. При этом наличие достаточного количества квалифицированных трудовых ресурсов является важнейшим условием эффективной деятельности любого региона.

Таким образом, эффективное управление трудовыми ресурсами, направленное на обеспечение трудового потенциала, является приоритетным уровнем управления на всех уровнях региональной системы Кыргызстана. Стратегические инициативы комплексной экономической и социальной политики в сфере рынка труда закреплены на законодательном уровне Постановлениями Президента Кыргызской Республики УП № УП от 31 октября 2018 года «О стратегии дальнейшего развития Республики». Кыргызстана» [1-2].

Цель исследования – проанализировать универсальный метод прогнозирования трудовых ресурсов на основе корреляционных моделей на примере Ошской области, а также практические рекомендации, направленные на экономическое развитие региона.

Корреляционная модель представляет собой математическое выражение типа уравнения, в котором среднее значение показателя эффективности формируется под влиянием одного или нескольких факторов. Корреляционная модель используется для проверки правильности использования ресурсов и обоснования значимых экономических показателей роста, а также для прогнозирования [3].

На основе зарубежного опыта разработана математическая модель прогнозирования занятости населения с использованием модели ARIMA [4]. В своей монографии Умарова М.А. провела исследовательскую работу в области многофакторного экономико-статистического анализа использования эффективности труда за рубежом, а также разработала модель прогнозирования трудовых ресурсов на основе временных рядов [5].

Значимых работ по системно-математическому анализу и прогнозированию трудовых ресурсов в условиях экономической трансформации явно недостаточно, и на уровне исследования трудовых ресурсов остаются регионы Кыргызстана, в том числе Ошская область. Представляется необходимым использовать в этом процессе инновационное моделирование и прогнозирование трудовых ресурсов.

В связи с этим построение сложных математических моделей, анализ и прогнозирование трудовых ресурсов с целью управления процессом социально-экономического развития региона во всем мире является актуальной проблемой в стране.

При определении исследования использовались следующие методы: системно-сравнительный анализ, экономико-математический анализ и линейное программирование. Существующий метод построения корреляционных моделей типа $y=f(x)$ при наличии данных о состоянии исследуемого объекта y_i и x_i широко используется в практике планирования и прогнозирования. Обоснование этого метода мы описали в опубликованных работах [6].

В статье предлагается универсальный метод определения в зависимости от типа $y=f(x)$, отличающийся от существующих.

Пусть функция $f(x)$ непрерывная и гладкая т.е. имеет производную n -го порядка. Как известно, все функции, используемые при прогнозировании социально-экономических явления, является такими. А данных x_i имеющихся в нашем распоряжении является значением функции $y=f(x)$ в точках x_i .

Так как в нашем условии функция $y(x)$ имеет производную n -го порядка, то

$$\lim_{x_{i+1} \rightarrow x_i} \frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{x_{i+1} - x_i} = f'(x_i). \quad (1)$$

Следовательно,

$$\lim_{x_{i+1} \rightarrow x_i} \frac{f'(x_{i+1}) - f'(x_i)}{x_{i+1} - x_i} = f''(x_i). \quad (2)$$

Таким образом,

$$\lim_{x_{i+1} \rightarrow x_i} \frac{f^{(n-1)}(x_{i+1}) - f^{(n-1)}(x_i)}{x_{i+1} - x_i} = f^{(n)}(x_i). \quad (3)$$

На основе (1), (2), (3) можно написать следующее равенство:

$$\lim_{x_{i+1} \rightarrow x_i} \frac{f^{(n-1)}(x_{i+1}) - f^{(n-1)}(x_i)}{x_{i+1} - x_i} = f^{(n)}(x_i). \quad (4)$$

Теперь рассмотрим на конкретном примере.

В таблице 1 приведены данные трудовых ресурсов по Ошской области Республики Кыргызстан в период 2010-2022гг. Нам необходимо было делать прогноз на основе этих показателей на период 2023-2032 годы, используя выше используемую методику [8]. При этом ограничились только Δ^2 и Δ^3 у:

$$\lim_{x_{i+1} \rightarrow x_i} \frac{f^{(n-1)}(x_{i+1}) - f^{(n-1)}(x_i)}{x_{i+1} - x_i} \approx f^{(n)}(x_i) = \Delta^n Y_i.$$

Пусть на основе этого равенства заполняем другие графики и таблицы. Здесь $X_{i+1}=x+1$ и $X_i = t$, следовательно, $x_{i+1} - x_i = t + 1 - t = 1$, при всех $i = \overline{1, x_n}$ и $x = \overline{1, x_n}$. В таблице 1 представлены данные трудовых ресурсов по Ошской области Республики Кыргызстан в период 2010-2022 гг.

В дальнейшем для определения функции $y=f(x)$ вычислим среднее значение

$\Delta^2 y_{\text{ср}} = -1,19$, $y'' = -1,19$ или $\frac{d^2 y}{dx^2} = -1,19$ и условия $y' = 12,4$
 $\frac{dy}{dx} = -1,19x + c$ и $12,4 = -1,19 \cdot 1 + c \rightarrow c = 14,3$ $y' = -1,19x + 14,3$
 при начальном условии $y(1) = 577,5$.

Решим дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными и получим $y = -0,6x^2 + 14,3x + c$. Подставляя значения $x=1$ и $y=577,5$, получим уравнение из которого определим c :

$$577,5 = -0,6 + 14,3 + c \rightarrow c = 564,4. \quad (5)$$

В итоге функция имеет вид:

$$y = -0,6x^2 + 14,3x + 564,4. \quad (6)$$

Таблица 1 – Данные трудовых ресурсов по Ошской области Республики Кыргызстан в период 2010-2022 гг.

t	Y	Δy	$\Delta^2 y$	$\Delta^3 y$
1	577,5			
2	590,0	12,4		
3	586,9	-3,0	-15,5	
4	518,5	-68,4	-65,4	-50,0
5	529,7	11,2	79,7	145,1
6	543,6	13,8	2,6	-77,1
7	550,4	6,8	-7,0	-9,6
8	537,3	-13,1	-19,9	-12,9
9	569,1	31,8	44,9	64,8
10	608,5	39,4	7,6	-37,3
11	607,9	-0,6	-40,0	-47,6
12	632,0	24,1	24,7	64,7
13	631,3	-0,7	-24,8	-49,5

Используя предложенную методику и предположения относительно тенденции основных показателей численности трудовых ресурсов Ошской области за 2010-2022гг. проведем расчет прогнозных

значений численности трудовых ресурсов в период 2023-2030 гг. и представим в таблице 2.

Таблица 2 – Прогнозные оценки показателей численности трудовых ресурсов Ошской области

Годы	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Прогнозируемая численность трудовых ресурсов, тыс. чел.	635,9	632,1	627,0	613,2	604,5	594,6	583,5	571,2
Темп роста, %	0,0%	9,9%	9,9%	9,8%	9,8%	9,8%	9,8%	9,8%

Проверив эту функцию, можно убедиться в корректности построенной модели. Однако предлагаемый способ имеет следующие недостатки:

а) если количество данных увеличивается, то степень многочлена $y = f(x)$ также увеличивается пропорционально количеству данных. Например, если количество данных $n=20$, то получаем многочлен 20-й степени, после $n=20$ краткая интегрированные;

б) Так как точность построенных моделей зависит от $|x_{i+1} - x_i| < \delta$ при решении экономических задач $|t_{i+1} - t_i| = 1$. Особенно если рассматриваются динамические ряды, но при решении задачи физики, химии биологии $\Delta x =$ можно уменьшить неограниченно, так как это будет зависеть от желания исследователя, проводящего эксперимент. При решении экономических задач можно успешно применить предложенный метод, ограничив вычислением $\Delta^2 y \Delta^3 y$.

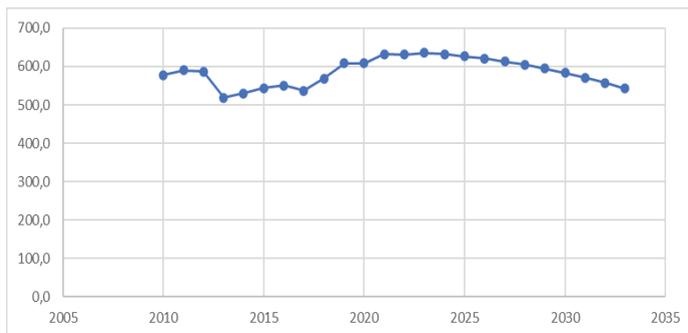


Рисунок 1 – Динамика показателей численности трудовых ресурсов Ошской области

На рисунке 1 представлена динамика показателей численности трудовых ресурсов Ошской области. Из таблицы 2 видно, что среднее значение роста численности трудовых ресурсов в Ошской области (без города Ош) составит в среднем 9,9 %, что определяет некоторую закономерность снижения численности трудоспособной части населения, основными причинами которых могут быть: активизация миграционных процессов среди женских и молодежных трудовых ресурсов репродуктивного возраста из-за сохранения низкого уровня и качества трудовой жизни сопровождаемая низким уровнем заработной платы, несоответствия между спросом и предложением на рынке труда из-за повышенного спроса со стороны работодателей на профессионально-квалификационную сторону нанимаемой рабочей силы, требующих высокий уровень профессионализма и компетенции при производстве продукции, при оказании услуг и выполнении работ. Так как современная бизнес-среда и инновационное предпринимательство должна поддерживаться не только инновационным поведением и настроением работодателей, но и поддерживаться соответствующей инновационной ориентированностью работников, которые непосредственно будут заняты в производственном процессе. Кыргызстан взял курс на креативную экономику, сопровождаемая соответствующей инновационностью и модернизацией, поэтому к 2030 году по всей территории Кыргызской Республики, в частности в Ошской области и городу Ош, не должна стоять проблема с отставанием и неустойчивым развитием регионов. В Указе Президента КР С.Н. Жапарова определены амбициозные задачи по строительству устойчивой страны до 2030 года посредством внедрения и развития ключевых позиций и направлений, где особое место предназначено важной роли трудовых ресурсов и их образовательному, поведенческому уровню в нашей стране.

В заключение, хотелось бы отметить, что предлагаемый метод механического программирования может быть использован в долгосрочном развитии рынка труда при разработке программ обеспечения устойчивости, составлении прогнозов основных показателей социально-экономического развития региона. Для динамичного экономического развития Ошской области и решения программных задач согласно заданным целевым показателям и достижения прогнозных показателей по размещению трудовых ресурсов, а также достижения высокого уровня занятости должны быть применяться следующие меры и механизмы:

- повышение качества местной рабочей силы, совершенствование системы оплаты труда как основы повышения уровня жизни населения;
- создание эффективной политики безопасности, обеспечивающей баланс количественного и качественного состава трудовых ресурсов в соответствии с потребностями рынка труда Ошской области;
- развитие высококвалифицированного кадрового потенциала, обновление профессиональных кадров как ценнейшего интеллектуального и профессионального ресурса, обеспечивающего высокие темпы социально-экономического развития Ошской области.

Список использованной литературы

1. Ахмедова М.А. Прогнозирование численности занятого населения в условиях Кыргызстана с использованием математических методов. // Экономика и инновационные технологии. // Научный электронный журнал.
2. Бараз В.Р. Корреляционно-регрессионный анализ связи показателей коммерческой деятельности с использованием программы Excel: учеб. пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2005.
3. Мерц Моника и Яшив Эран. Труд и рыночная стоимость фирмы. Дискуссионный документ CEPD № 690. Май 2005 г. // <http://cep.lse.ac.uk/pubs/download/dp0690.pdf>
4. Социально-экономическое развитие Ошской области. 2013-2022 гг. [Текст]. – Ош
5. Тейгл. Прикладное экономическое прогнозирование. М.: Прогресс, 1992.
6. Указ Президента Республики Кыргызстан № 4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Кыргызстан» от 7 февраля 2017 года // Народное слово. – Т., 2017 г.
7. Указ Президента Республики Кыргызстан №-5544 «О стратегии инновационного развития Республики Кыргызстан в 2019-2021 годах» от 21 сентября года // Народное слово. Т, 2018 г., 22 сентября
8. Умарова М.А. Методология статистического прогнозирования рынка.

О ПРИМЕНЕНИИ КРИТЕРИЯ КОКСА–СТЮАРТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ТРЕНДОВ

Фадеев Сергей Николаевич, Зайцева Ирина Владимировна
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия, fsn3@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается применение критерия Кокса–Стюарта для выявления трендов среднего значения и дисперсии для долгосрочных температурных данных; проверена эффективность критерия в модельном расчете с временным рядом, состоящим из экспоненциального тренда и псевдослучайного нормального шума; далее критерий применяется к выявлению тренда для доступных температурных данных в ряде пунктов на территории Российской Федерации; расчеты показали наличие тренда среднегодовых температур во всех пунктах, но не выявили тренда дисперсии.

Ключевые слова: проверка статистических гипотез, критерий Кокса–Стюарта, непараметрические критерии, температурный тренд, тренд дисперсии.

ON THE APPLICATION OF THE COX–STUART TEST FOR DETECTION OF THE TEMPERATURE TRENDS

Fadeev Sergey Nickolaevich, Zaitseva Irina Vladimirovna
Russian State Hydrometeorological University,
St. Petersburg, Russia, fsn3@yandex.ru

Annotation. In the article the Cox–Stuart test is applied to detect trends of mean value and variance for long-term temperature data; the efficiency of the tests is examined in the model calculation with a time series consisting of an exponential trend and pseudorandom normal noise; then, the test is applied to detect a trends of temperature for available data in a number of locations in the Russian Federation; calculations showed the presence of the trend of mean annual temperatures for all locations, but did not reveal a trend of the variance.

Keywords: testing statistical hypotheses, Cox–Stuart test, nonparametric tests, temperature trend, variation trend.

В настоящей работе анализируются тренды температуры приземного воздуха за период инструментальных наблюдений для ряда пунктов на территории России.

Фиксируемые в настоящее время температурные аномалии (действительные или кажущиеся) рассматриваются многими специалистами как результат глобального потепления, которое, предположительно, началось в середине семидесятых годов XX века [1]. К проявлениям глобального потепления следует отнести не только повышения осредненного за некоторый период значения температуры, но и увеличение дисперсии осредненных значений [2].

Анализ тренда временных рядов может быть выполнен посредством регрессионного анализа. К недостаткам такого метода следует отнести произвол в выборе функциональной зависимости для неслучайной составляющей ряда. Часто здесь ограничиваются линейной зависимостью, которая приводит к простым аналитическим выражениям для параметров линейной функции.

Альтернативным подходом являются параметрические и непараметрические критерии проверки гипотезы H_0 о случайности временного ряда $x(t)$ и, следовательно, отсутствии тренда. Обзор существующих критериев может быть найден в [3].

В настоящей работе для выявления трендов среднего значения и дисперсии температуры мы используем критерий Кокса–Стюарта [4]. Выбор данного критерия продиктован следующими соображениями. Критерий является непараметрическим, то есть не опирается на какие-либо предположения о распределении шума, что с нашей точки зрения следует рассматривать как преимущество. Стандартное предположение о нормальном распределении шума не более чем гипотеза, которая сама нуждается в проверке. Метод на единой основе позволяет проверить гипотезы тренда среднего значения и дисперсии. Критерий имеет высокую эффективность как для среднего значения исследуемого признака временного ряда, так и для дисперсии. Достаточно высокой является также мощность критерия для обнаружения трендов среднего и дисперсии [3, 5].

Альтернативной гипотезой критерия является гипотеза наличия, но не «направленности» тренда. Поэтому критерий имеет смысл использовать в совокупности с регрессионными моделями.

Статистика критерия тренда среднего значения для выборки $x_i = x(t_i)$ объема n имеет вид:

$$S_1 = \sum_{i=1}^{[n/2]} (n-2i+1)h_{i;n-i+1}, \quad h_{i;j} = \begin{cases} 1, & x_i > x_j \\ 0, & x_i \leq x_j \end{cases}, \quad i < j \quad (1)$$

Статистика для дисперсии имеет точно такой же вид (1), но вместо значений признака x_i используются значения размаха r_i . Выборка значений разбивается на подпоследовательности длины k каждая, далее для каждой из подпоследовательностей определяется размах r_i , $i = 1, 2, \dots, [n/k]$. Статистика критерия определяется в соответствии с (1), но с величинами r_i вместо x_i и значением $m = n/k$ вместо объема выборки n .

Выбор величины k зависит от значения n . В наших расчетах (как модельном, так и для реальных температурных данных) $n > 100$, для таких выборок рекомендованное значение $k = 5$ [4].

Нормализованная статистика критерия имеет вид:

$$S_1^* = \frac{S_1 - M(S_1)}{\sqrt{D(S_1)}}, \quad M(S_1) = \frac{n^2}{8}, \quad D(S_1) = \frac{n(n^2 - 1)}{24} \quad (2)$$

Отличием распределения статистики (2) от нормального распределения можно пренебречь при $n \geq 40$ [3]. В таком случае, гипотеза тренда среднего или дисперсии отклоняется, если $|S_1^*| < u_\alpha$, где критическое значение u_α для заданного уровня значимости α определяется из соотношения $\Phi(u_\alpha) = 1 - \alpha/2$, $\Phi(x)$ – функция распределения нормального закона $N(0;1)$. Полученные ниже нормализованные статистики сравнивались с критическим значением $u_{0,05} = 1,960$.

Чтобы сравнить эффективность критерия с эффективностью регрессионной модели мы смоделировали 200 значений временного ряда в соответствии с выражением:

$$x_i = e^{0,02 \cdot (i-t_0)} + \varepsilon_i, \quad i = 0, 1, \dots, 199, \quad (3)$$

где $t_0 = 120$, ε_i – псевдослучайные числа, распределенные по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и заданным средним квадратическим отклонением. Экспоненциальная зависимость (3) с пологим плато до значения t_0 и сравнительно быстрым ростом при $t > t_0$ лучше моделирует долгосрочные изменения температуры, чем простой линейный тренд. Чтобы

имитировать рост дисперсии величина среднего квадратического отклонения выбиралась равной 2 при $0 \leq i \leq 119$ и 3 при $120 \leq i \leq 199$.

Далее по методу наименьших квадратов в соответствии с функциональной зависимостью $f(t) = x_0 + e^{a(t-t_0)}$ была определена линия тренда, рисунок 1.

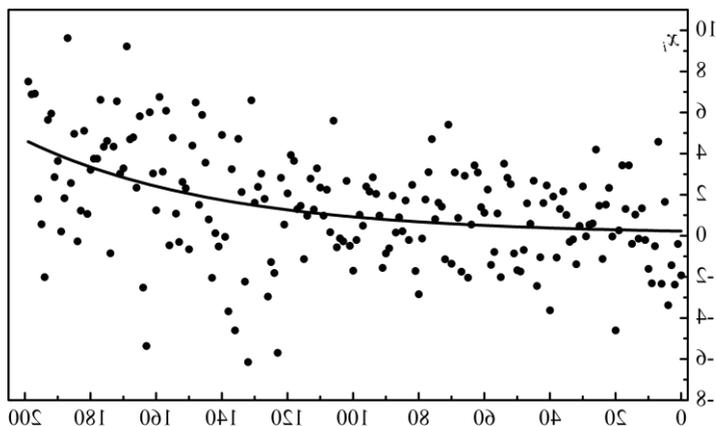


Рисунок 1 – Временной ряд (3) (точки) и тренд, построенный по методу наименьших квадратов (сплошная кривая)

В результате подгонки по МНК получены следующие значения параметров: $x_0 = 0,07$, $t_0 = 109,6$, $a = 0,0168$ с индексом детерминации $R^2 = 0,180$. Величина R^2 не позволяет сделать уверенного заключения о наличии тренда. Для данного модельного примера применение критерия Кокса-Стюарта дало следующие значения статистик. Для среднего значения $S_1^* = 4,64$, для дисперсии $S_1^* = 2,05$, что при уровне значимости $\alpha = 0,05$ подтверждает гипотезы о наличии трендов среднего значения и дисперсии.

Результаты применения критерия к долгосрочным температурным данным [6] некоторых городов России приведены в таблице 1. В первой строке для каждого населенного пункта приведен показатель нормализованной статистики S_1^* для среднего значения, во второй строке – для дисперсии.

Таблица 1 – Статистики средних значений и дисперсии

Населенный пункт	Температура наиболее холодного месяца	Температура наиболее теплого месяца	Средняя годовая температура
Териберка	1,201	1,155	3,862
	0,795	0,351	0,240
Мурманск	1,348	0,219	2,268
	1,382	0,147	0,147
Санкт-Петербург	4,895	2,817	7,077
	0,875	1,764	0,802
Белозерск	1,466	1,677	4,470
	0,439	0,751	2,306
Пенза	2,804	0,700	6,067
	0,970	0,880	0,844
Оренбург	3,723	1,793	4,742
	0,249	0,319	0,450
Тюмень	2,280	1,000	4,361
	0,310	0,450	0,729

Пункты наблюдения выбирались так, чтобы охватить всевозможные типы климатических условий: субарктический климат (Териберка, Мурманск), переходный от умеренно континентального до морского (Санкт-Петербург), умеренно континентальный (Белозерск, Пенза), континентальный (Оренбург, Тюмень).

Наиболее холодным месяцем Териберки и Мурманска является февраль, для остальных населенных пунктов – январь. Самый теплый месяц для всех населенных пунктов – июль.

Представленные в таблице расчеты свидетельствуют о наличии тренда среднегодовых температур. Наличие тренда среднемесячной температуры наиболее холодного месяца подтверждается для Санкт-Петербурга, Пензы, Оренбурга и Тюмени. Наличие тренда летней температуры выявлено только для Санкт-Петербурга. Выявленные тренды среднегодовой температуры для всех пунктов наблюдения связаны, таким образом, с увеличением среднего значения при суммировании месячных показателей.

Тренды дисперсии не выявлены. Здесь следует сказать следующее. Как отмечалось выше, отклонением распределения статистики критерия от нормального можно пренебречь, если объем выборки больше 40. Но для теста дисперсии объем выборки в наших расчетах уменьшается в пять раз. То есть объем выборки температурных данных не должен быть меньше 200, что выполняется только для Санкт-Петербурга. Как следствие, выводы об отсутствии тренда дисперсии нуждаются в дополнительной проверке. Однако даже если тренд дисперсий имеет место, его следует считать незначительным.

Список использованной литературы

1. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории российской федерации. Том I. Изменения климата. – М., 2008. С. 31-87.

2. Полонский А.Б., Бейцер С.С. Идентификация изменений температуры воздуха в атлантико-европейском и средиземноморском регионах по данным ре-анализа ERA5//Системы контроля окружающей среды. – 2021. – № 1(43). – С.18-24.

3. Лемешко Б.Ю., Комиссарова А.С., Щеглов А.Е. Свойства и мощность некоторых критериев случайности и отсутствия тренда // Научный вестник НГТУ. – 2012. – № 1.– С.53-66.

4. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2006. – 816 с.

5. Рябчиков М.Ю., Рябчикова Е.С., Курбетьев К.В. Сравнение статистических критериев для проверки гипотезы о наличии тренда применительно к задаче экстремального регулирования // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2018. – Т.3 №2(8) – С.11-16.

6. Погода и климат [Электронный ресурс] URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/>.

7. Тарасенко Е.О., Зайцева И.В., Корнеев П.К., Гладков А.В. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие. - Ставрополь: СКФУ, 2018. - 229 с.

8. Фадеев С.Н., Зайцева И.В. Теория вероятностей и математическая статистика. — Санкт-Петербург: РГГМУ, 2021. - 92 с.

СЕКЦИЯ 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК [502.51:504.5](26)

ВЛИЯНИЕ СБРОСА РАДИОАКТИВНОЙ ВОДЫ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Бертова София Сергеевна, Яковлева Татьяна Юрьевна
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия, yakovtat@yandex.ru

Аннотация. Накопившуюся в Японии за 13 лет радиоактивную воду с тритием в количестве более 1,3 млн. тонн из-за переполненности мест хранения приняли решение разбавлять и постепенно выливать в Тихий океан. В статье рассматривается к чему может это привести.

Ключевые слова: тритий, Фукусима, сброс воды, радиоактивность, океан.

THE EFFECT OF RADIOACTIVE WATER DISCHARGE IMPACT ON THE ENVIRONMENT

Bertova Sofia Sergeevna, Yakovleva Tatiana Yuryevna
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
yakovtat@yandex.ru

Annotation. The radioactive tritium water accumulated in Japan over 13 years in an amount of more than 1.3 million tons due to overcrowding of storage sites, it was decided to dilute and gradually pour into the Pacific Ocean. The article discusses what this can lead to.

Keywords: tritium, Fukushima, water discharge, radioactivity, ocean.

Тема сброса Японией воды, заражённой тритием (радиоактивным изотопом водорода), в Тихий океан сегодня известна всему миру [1,2]. После аварии 11.03.2011 г. максимального, 7-го уровня по Международной шкале ядерных событий (INES), произошедшей из-за землетрясения и последовавшего за ним цунами, на АЭС «Фукусима-1» эксплуатирующая ее Токийская энергетическая компания ТЕРСО (Токуо Electric Power Company) уже весной 2011 г. начала работы по устранению последствий аварии и сбору

радиоактивной воды. Во время работ не раз происходила утечка заражённой радионуклидами воды. В первый же месяц работ в Тихий океан попало около 150 литров (260 млрд Бк, в основном из-за радиоактивного стронция), что меньше одной бочки. Через 4 месяца объем утечки составил 770 тонн, а доза облучения – 4720 трлн Бк [3]. Компания поставила задачу полностью очистить радиоактивную воду и вернуть её в природную среду. Поэтому было подписано первое соглашение с французской компанией Areva SA о начале очистки радиоактивной воды, которая началась в июне того же года. Со временем компания вводила улучшенные системы, через которые заражённая вода проходила повторно. И с марта 2013 г. последней версией глубокой очистки стала система, разработанная американской компанией «EnergySolutions» – ALPS (Advanced Liquid Processing System), что позволило удалить многие радиоактивные элементы (почти 60 элементов) при помощи адсорбента, но неотфильтрованными остаются тритий ^3H [4,5]. Несмотря на поставленную задачу добиться полной очистки радиоактивной воды и вернуть очищенную воду в окружающую среду, японской стороне так и не удалось на сегодняшний день это выполнить. На территории АЭС «Фукусима-1», площадь которой составляет 3,5 км², в 2023 г. многочисленные резервуары с заражённой водой оказались заполнены на 90 %. Всего на территории располагается 1073 резервуара общей ёмкостью 1,37 миллиона тонн, рисунок 1. Ежедневно в резервуары поступает ещё 140 тонн заражённой воды [6,7].



Рисунок 1 – Вид сверху на резервуары с радиоактивной водой на территории АЭС «Фукусима-1» 11.11.2020 г. (фото Махар Technologies, Inc.)

Компания ТЕРСО старается минимизировать траты на ликвидацию загрязнения территории АЭС, не имеет возможности увеличить площадь территории, отведенной под хранение

радиоактивной воды. Поэтому комитет экспертов, организованный правительством Японии в 2013 г., потратил более шести лет на размышления о том, как распорядиться этой водой. Среди вариантов того, как утилизировать заражённую воду, были такие предложения как:

- разбавить радиоактивную воду до безопасных концентраций и слить в океан;
- нагреть воду, испарить и выпустить в атмосферу;
- преобразовать воду в водород посредством электролиза и выпустить в атмосферу;
- смешать воду с цементом и т. д., придать форму плиты и закопать в землю;
- закачать воду в пласты глубоко под землей [8,9].

В это время предлагалась Россией технология выделения и удаления трития, но эксперты пришли к выводу, что данная технология не находится на той стадии, когда ее можно сразу внедрить в существующую систему фильтрации, требует больших средств и она не была включена в дальнейшие исследования.

В феврале 2020 г. комитет пришел к выводу, что методы «разбавления очищенной воды ниже стандартов с последующим сбросом в океан», а также «испарения и выброса в атмосферу» являются наиболее оптимальными. Когда место в резервуарах стало заканчиваться, то было принято решение произвести сброс воды в Тихий океан, площадь которого близка к 178 млн км². По плану 1 тонну воды с содержащимся в ней тритием смешивают с 1,2 тысячами тонн чистой морской воды и только потом производят сброс по подводной трубе запланированного количества воды в течение 17 дней на расстоянии 1 км от берега [10]. Такая концентрация трития в воде, как уверяли правительство Японии и Токийская энергетическая компания ТЕРСО, является даже ниже уровня нормативных стандартов, установленных Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) [11]. Всего было запланировано на ближайшие годы 4 этапа сброса. Представив свой план по сбросу очищенной воды в МАГАТЭ, Японии удалось заручиться поддержкой агентства. Соседние страны (Китай, Южная Корея и др.) были категорически против этого плана [12,13]. В правительстве России также были обеспокоены планами Японии по сбросу не до конца очищенной радиоактивной воды, т. к. часть рыбы (сайра, скумбрия...) с теплыми течениями придут к берегам РФ [14]. Мировой океан в настоящее время имеет большие проблемы из-за загрязненности тяжелыми металлами, нефтепродуктами и

нефтью, свалкой из пластмассы, сливами радиоактивных веществ разными странами и любое дополнительное загрязнение оказывает всё большее влияние на экологическую систему.

На период с 24.08.2023 по 17.03.2024 был запланирован первый сброс очищенной воды в Тихий океан, разделённый на 4 этапа. Сброс очищенной воды в Тихий океан в общем количестве 39000 тонн проводился в следующие сроки: 24 августа – 11 сентября 2023 г.; 05–22 октября 2023 г.; 02–20 ноября 2023 г.; 28 февраля – 17 марта 2024 г. [15–17]. Перед последним этапом сброса по данным на 29 февраля 2024 г. в резервуарах на территории АЭС находилось 1331586 м³ заражённой воды [18]. Возможно, что такими темпами освобождение резервуаров на «Фукусиме-1» займет более 30 лет.

Таблица 1 – Общие выбросы трития с ядерных установок в разных странах

Страна	Название объекта	Выбросы	Базисный год
Япония	Атомная электростанция Фукусима-1	22 триллиона беккерелей	с 2023 года и далее
Южная Корея	Атомная электростанция Вольсон	23 триллиона беккерелей	2016 год
Америка	Атомная электростанция Каллауэй	42 триллиона беккерелей	2002 год
Китай	Атомная электростанция Тайшань Дайсан	143 триллиона беккерелей	2020 год
Канада	Атомная электростанция Дарлингтон	241 триллион беккерелей	2015 год
Франция	Завод по переработке ядерного топлива в Ла-Геге	13700 триллионов беккерелей	2015 год

Однако, несмотря на открытость действий японской стороны и сотрудничество с МАГАТЭ, многие страны выступили против сброса очищенной воды в Тихий океан. Здесь нужно отметить, что именно «открытость» обернулась для Японии тем, что весь мир стал считать,

что больше всего радиоактивной воды сбрасывает именно она. Но, если посмотреть на доклад, представленный премьер-министру Кисиде целевой группой из МАГАТЭ, состоящей из экспертов из 11 стран, (включая Китай), то можно увидеть, что сброс заражённой воды является мировой практикой, и больше всего сбросов в Мировой океан производит Франция, таблица 1, [19].

Почему же сложилась ситуация, когда большинство порицают действия именно Японии, при этом зная, что другие страны сбрасывают намного больше заражённой воды? Открытость действий «Страны восходящего солнца» связана напрямую с менталитетом.

Японцы не защищаются по этому вопросу, потому что то, что они делают, действительно наносит вред окружающей среде, но у них есть правило – брать ответственность, рассчитывать каждый шаг, последствия и риски. Именно поэтому Япония довольно открыто рассказывает о своих решениях и предпринимаемых действиях. Не только мировое сообщество испытывает беспокойство из-за сброса очищенной воды в Тихий океан, местные жители и, особенно те, кто вовлечены в рыболовный бизнес в Японии, также переживают по этому вопросу. Несмотря на то, что меньше всего сбросов заражённой воды производит Япония – это не отменяет того факта, что сброс очищенной воды негативно влияет на окружающую среду.

Тритий – радиоактивный изотоп водорода, имеет период полураспада ($12,32 \pm 0,02$) года и является слабым бета-излучателем, который способен проникать в различные среды. В процессе распада тритий ^3H превращается в стабильный изотоп гелия ^3He с испусканием электрона (бета-частицы) и антинейтрино [20]. Если сливать очищенную воду с тритием в Мировой океан, то он станет распространиться по всей водной среде. Водная флора и фауна также будут поглощать тяжёлый водород, который будет задерживаться в организме. Период полувыведения трития из организма человека составляет 7-14 дней. Около 10 % трития может остаться не выведенным из организма. В теле человека тритий не концентрируется в отдельных органах, а равномерно распределяется по мягким тканям. Предполагается, что после слива радиоактивной воды возможно облучение каждого человека на уровне до 0,1 мБэр в год [21]. Влияние тритиевой воды на организм человека при контакте с кожным покровом не является опасным, т.к. тяжёлый водород не имеет проникающей способности. Однако при попадании внутрь пероральным, воздушно-капельным путем или через повреждение кожного покрова, возникает риск попадания в клетки и ткани организма. В классической биохимии

есть мнение, что ^3H в виде оксида трития способен вести себя в живых клетках и организме как обычная вода [22]. Тяжёлый водород способен включаться в различные органические молекулы: азотистые основания, аминокислоты, липиды, углеводы и т.д. [23]. Органически связанный тритий (ОСТ) может распределяться в клетках и тканях, что в свою очередь приводит к высоким микролокальным дозам и серьезным повреждениям органических молекул [24].

Способность ОСТ замещать водород в молекуле ДНК может привести к значительным повреждениям генетического материала [24,25], а также увеличить период его выведения из организма и, тем самым, определить высокий риск отдаленных последствий облучения [26]. Потребители опасаются употреблять в пищу продукты с содержанием трития, но из токсичных для человека веществ не только тритий содержится в морепродуктах, а также свинец, кадмий, ртуть, метилртуть. Существуют санитарно-гигиенические или рыбохозяйственные нормативы, которые специально разработаны с целью регулирования значения вредного фактора на человека, ниже которого влияние какого-либо отдельного или в совокупности показателей считается безопасным [27]. На официальном сайте компании ТЕРСО можно встретить раздел об эксперименте, проводимом на рыбах с сентября 2022 г. В этом разделе представлены отчёты об исследованиях о выращивании камбалы (среднее время жизни камбалы около 30 лет) в количестве около 800 особей в 3 видах резервуаров: с обычной морской водой (0,1-1 Бк/л), с очищенной системой ALPS и разбавленной морской водой (1500 Бк/л), и резервуаром с очищенной и разбавленной морской водой (30 Бк/л). Кроме рыб в качестве подопытных также используют другие морские организмы: моллюски морское ушко (Abalone – около 800 штук) и морской салат (Sea lettuce, Gulfweed – несколько килограмм). Помимо отчётов на сайте дана ссылка на прямую трансляцию трех камер: 2 камеры в резервуарах с рыбами и 1 в помещении [28]. Проводя этот эксперимент, компания ТЕРСО пытается продемонстрировать, что сбрасываемая в океан вода безопасна, тем самым снижая неблагоприятные последствия влияния на репутацию компании, хотя ранее в рыбе в водах около места аварии уровень радионуклидов был превышен в 180 раз [29].

Заключение. Слив очищенной воды, содержащей радионуклиды с АЭС «Фукусима-1», является серьезной проблемой – попадание тяжёлого водорода будет влиять не только на всю окружающую среду, но и на здоровье человека. Особенно сильное воздействие может

оказываться на беременных женщин, эмбрионы и маленьких детей, вплоть до генетических поломок и онкологии.

Если бы набранная загрязненная вода была очищена от большинства радионуклидов с большими периодами полураспада, то оставшаяся после этого вода с тритием, имеющим период полураспада около 12,3 лет, простояв многие годы в резервуарах, могла сильно уменьшить свою радиоактивность. Но проблема в том, что на территории станции продолжает накапливаться новая вода, которая используется для охлаждения ядерного топлива, постоянно загрязняется радионуклидами, а затем ждет, что проведут её очистку от многочисленных радиоактивных элементов (кроме ^3H). Однако, как показала практика, сегодня система очистки всё ещё требует доработки и больших денежных вложений, причём, чем совершеннее она станет, тем меньше будет негативного влияния на все экосистемы. Ограниченная в ресурсах компания ТЕРСО не считает возможным десятилетиями или столетиями держать территорию станции зараженной и даже занимать дополнительную территорию под резервуары. Поэтому выбран вариант очистки воды, разбавления ее чистой морской водой и слива в океан.

Сброс заражённой радионуклидами воды в окружающую среду – является мировой практикой. Япония потратила много сил и средств на то, чтобы уменьшить негативное воздействие на окружающую среду, и продолжает искать решения проблемы. Прежде чем приступить к исполнению плана по сливу очищенной от большинства радионуклидов, но все еще загрязненной тритием воды в Тихий океан, были проведены исследования и получено согласие МАГАТЭ. Так как загрязняет планету не только Япония, но и другие страны, то следует объединить усилия многих правительств для решения вопроса защиты планеты от загрязнения.

Список использованной литературы

1. Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant 7 Years After the Disaster // NHK World-Japan, 14 March 2018
<https://www3.nhk.or.jp/nhkworld/en/news/backstories/125/>

2. Implementation Status of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit 1 Primary Containment Vessel Internal Investigation (ROV-A2) (Preliminary report) // Reference Material, Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. Fukushima Daiichi D&D Engineering Company, 14 March 2022, 10 P.

https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/newsrelease/reference/pdf/2022/reference_20220314_01-e.pdf

3. 150 литров загрязненной воды вылилось в море из-за утечки на Фукусиме дай-ичи (японс.яз.)

<https://www.asahi.com/special/10005/TKY201112060485.html>

4. IAEA Report Vol. 5, 2015, pp. 126-128.

5. Систему очистки APLS в Фукусиме введут в строй в декабре // Источник: fukushima-news.ru; Атомная энергия 2.0, 4 августа 2014. - 1 с.

<https://www.atomic-energy.ru/news/2014/08/04/50692>

6. <https://sputnik.by/20240228/sbros-novoy-partii-slaboradioaktivnoy-vody-s-fukusimy-nachalsya-v-yaponii-1084030437.html>

7. https://www.spf.org/iina/articles/yuki_kobayashi_12.html

8. Слив подсчитан: Япония сбросит в океан более 1 млн т радиоактивной воды // Приморье, 23.08.2023.

<https://prim.rbc.ru/prim/23/08/2023/64e5cf4a9a7947163505764d>

9. Романенкова А. "Японцы не глупее нас": Учёные прокомментировали слив в океан воды с "Фукусимы" // Life <https://life.ru/p/1391185>

10. <https://www4.tepco.co.jp/en/decommission/progress/watertreatment/oceanrelease/index-e.html#process>

11. Report 4: Review Mission to TEPCO and METI (Nov. 2022)// 2023. - 48 с. <https://www.iaea.org/sites/default/files/report-4-review-mission-tepco-and-meti.pdf>

12. <https://asia.nikkei.com/Business/Energy/China-s-2022-wastewater-tritium-level-higher-than-Fukushima-s>

13. Японцы, не убивайте Японское море: во что выльется слив радиоактивной воды с «Фукусимы»? // МИП 24. 4 сентября 2023 <https://dzen.ru/a/ZPVxON73-DJh8sSF>

14. <https://ria.ru/20230214/aes-1852047937.html>

15. <https://sputnik.by/20231102/yaponiya-nachala-sbros-tretej-partii-vody-s-tritiem-s-aes-fukusima-1-1080815381.html>

16. <https://www.tokyo-np.co.jp/article/287707>

17. <https://www.fukushima-tv.co.jp/localnews/2024/02/2024022800000001.html>

18. <https://www4.tepco.co.jp/en/decommission/progress/watertreatment/alpsstate/index-e.html> (Дата обращения 9 марта 2024 года)

19. https://www.spf.org/iina/articles/yuki_kobayashi_12.html

20. Доильницына Е. Груз с плеч: почему Япония сливает в океан «тяже-лую» воду? // ШЭР, Экология. 24 августа 2023 г. <https://sher.media/gruz-s-plech-pochemu-yaponiya-slivaet-v-okean-tyazheluyu-vodu/?ysclid=ltxxvf75py329137210>

21. Романенкова А. "Японцы не глупее нас": Учёные прокомментировали слив в океан воды с "Фукусимы" <https://life.ru/p/1391185>

22. Bannister L, Serran M, Bertrand L, Klokov D, Wyatt H, Blimkie M, et al. Environmentally Relevant Chronic LowDose Tritium and Gamma Exposures do not Increase Somatic Intrachromosomal Recombination in pKZ1 Mouse Spleen. *Radiat Res.* 2016.-186(6).-539-48.

23. Kim SB, Baglan N, Davis PA. Current understanding of organically bound tritium (OBT) in the environment. *J Environ Radioact.* 2013;126:83-91

24. Chao TC, Wang CC, Li J, Li C, Tung CJ. Cellular- and micro-dosimetry of heterogeneously distributed tritium. *Int J Radiat Biol.* 2012.–88(1-2). –P.151-7.

25. Review of risks from tritium: report of the independent Advisory Group on Ionising Radiation. Chilton: Health Protection Agency, Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards; 2007.

26. Гурьев Д.В., Кочетков О.А., Барчуков В.Г., Осипов А.Н. Биологические эффекты органических и неорганических соединений трития // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2020.–Т.65.№2.С.5–10. https://medradiol.fmbafmbc.ru/journal_medradiol/abstracts/2020/2/5-10_Guryev_et_al.pdf

27. Семенков И.Н., Королева Т.В. Международные системы нормирования содержания химических элементов в почвах: принципы и методы (обзор) // Почвоведение. – 2019. – Вып. 10. – С. 1259–1268.

28. Marine organisms rearing test /<https://www4.tepco.co.jp/en/decommission/progress/watertreatment/breedingtest/index-e.html>

29. Тридцать лет радиоактивной воды – спасибо, Япония. // Азия без фотошопа. 25 августа 2023. https://dzen.ru/a/ZOfbYv3hVFy6n9_e

30. https://www3.nhk.or.jp/news/special/nuclear-power-plant_fukushima/feature/article/article_06.html#:~:text=%E6%9D%B1%E4%BA%AC%E9%9B%BB

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПРОДОЛЬНОЙ ЖЕСТКОСТИ ПРУЖИН С ИХ ПАРАМЕТРАМИ

*Дьяченко Наталия Владимировна, Дружкова Вероника
Станиславовна, Козлов Никита Олегович, Ружицкая Ева
Витальевна*

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия, nat230209@yandex.ru,
veronicd556@gmail.com, nikitagarbuzko@gmail.com,
evaruzickaa26872@gmail.com*

Аннотация. В статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований зависимости коэффициента жесткости пружин растяжения от их параметров, таких как длина (число витков), диаметр цилиндра пружины, диаметр проволоки пружины. Приведенные результаты показывают хорошее соответствие теоретических и экспериментальных результатов.

Ключевые слова: пружины, коэффициент жесткости, модуль сдвига, модуль кручения, крутящий момент, касательные напряжения.

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE LONGITUDINAL STIFFNESS OF SPRINGS AND THEIR PARAMETERS

*Dyachenko Natalya Vladimirovna, Druzhkova Veronika Stanislavovna,
Kozlov Nikita Olegovich, Ruzhitskaya Eva Vitalevna*

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
nat230209@yandex.ru, veronicd556@gmail.com,
nikitagarbuzko@gmail.com, evaruzickaa26872@gmail.com*

Annotation. The article presents the results of theoretical and experimental studies of the dependence of the stiffness coefficient of tension springs on their parameters, such as length (number of turns), diameter of the spring cylinder, diameter of the spring wire. The above results show a good agreement between theoretical and experimental results.

Keywords: springs, stiffness coefficient, shear modulus, torsion modulus, torque, tangential stresses.

Пружины находят широкое применение в различных механизмах благодаря возможности запасать и отдавать упругую энергию. Имеется большое количество разнообразных типов пружин, среди которых можно выделить пружины растяжения, сжатия, кручения, отличающихся также различным сечением проволоки.

Важной характеристикой пружин является коэффициент жесткости K , показывающий, насколько сильно пружина сопротивляется деформации. Естественно, что коэффициент жесткости должен зависеть от параметров и материала пружины. В настоящей работе рассматриваются свойства цилиндрических пружин растяжения круглого сечения, изготавливаемых методом холодной навивки на оправу. При навивке пружин такого типа проволоке придается дополнительное осевое вращение, обеспечивающее плотное прилегание витков друг к другу.

Рассмотрим процесс создания пружины как скручивание стержня круглого сечения диаметром d , длиной l [1]. Энергия деформации закручиваемого стержня может быть представлена как

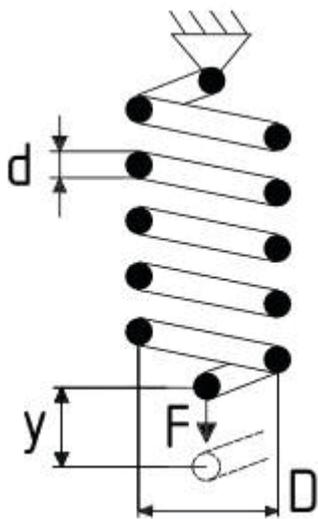
$$U = \frac{\tau_{max}^2}{4G} \times V = \frac{\tau_{max}^2}{4G} \times \frac{\pi d^2}{4} \times l, \quad (1)$$

где τ_{max} - максимальное касательное напряжение на поверхности стержня, V - его объем, а G - модуль сдвига материала стержня. Известно, что касательное напряжение изменяется от нуля на оси стержня до максимального значения на его поверхности, и выражается как

$$\tau_{max} = \frac{Td}{2J}, \quad (2)$$

где T – момент кручения стержня, а J - полярный момент инерции сечения стержня. На рис.1 показана сила F , растягивающая пружину (скрученный стержень) и создающая момент кручения

$$T = F \times \frac{D}{2}, \quad (3)$$



где D – диаметр цилиндра пружины. Полярный момент инерции сечения J характеризует способность стержня сопротивляться кручению и выражается как интегральная сумма произведений площадей элементарных площадок dS сечения на квадрат их расстояния от полюса ρ^2 .

Рисунок 1 – Устройство пружины

для расчета жесткости
 Применительно к рассматриваемому стержню круглого сечения

$$J = \int_S \rho^2 dS = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^r \rho^2 \rho d\rho = \frac{\pi r^4}{2} = \frac{\pi d^4}{32} \quad (4)$$

Подставив найденные значения в формулу (1), получим выражение для энергии деформации закручиваемого стержня

$$U = \frac{4D^2 F^2 l}{d^4 G \pi} \quad (5)$$

Эта энергия равна работе A , производимой силой F по растягиванию пружины на длину y

$$A = F \frac{y}{2} = \frac{4D^2 F^2 l}{d^4 G \pi} \quad (6)$$

$$F = \frac{d^4 G \pi}{4D^2 l} y = Ky \quad (7)$$

Следовательно, коэффициент жесткости пружины K может быть выражен через параметры пружины

$$K = \frac{d^4 G \pi}{4D^2 l} = \frac{d^4 G}{8D^3 n} \quad (8)$$

если выразить длину стержня (проволоки) через число витков и диаметр цилиндра пружины $l = \pi D n$.

Для проведения экспериментальных исследований были выбраны цилиндрические пружины с различными параметрами - диаметром проволоки, диаметром цилиндра пружины и количеством витков. Для удобства вычислений формула (8) была использована в виде:

$$K = \frac{d^5 G}{8D^3 L} \quad (9)$$

с заменой числа витков n на длину L пружины в нерастянутом состоянии ($n = \frac{L}{d}$). Производились измерения растяжения пружин под действием подвешиваемых к пружинам грузов. По полученным данным строились графики зависимости растяжения пружины y от силы тяжести, действующей на подвешиваемый груз. При этом $F = mg = Ky$. Они все являлись линейными зависимостями, угловые коэффициенты которых равны коэффициенту жесткости K пружин. Для выявления зависимости коэффициента жесткости от выбранного параметра пружины подбирались условия проведения эксперимента, при которых все прочие параметры были одинаковыми.

Приведем полученные результаты экспериментов.

Опыт № 1. Измерение зависимости коэффициента жесткости пружины от количества витков. Были отобраны 4 пружины, обладающие следующими одинаковыми параметрами: диаметр проволоки $d = 0,8$ мм, диаметр цилиндра пружины $D = 7,5$ мм. Длины пружин изменялись следующим образом: $L_1 = 41,8$ мм, $L_2 = 83,6$ мм, $L_3 = 125,4$ мм, $L_4 = 167,2$ мм. Измерялось растяжение пружин по шкале X_i под действием силы тяжести F_i , действующей на груз с массой m_i . Абсолютная погрешность силы принималась равной $\pm 0,05$ Н, абсолютная погрешность растяжения пружины ± 2 см.

Результаты эксперимента представлены на рис.2. Параметром на данном графике выступает длина пружины L .

Посредством графического анализа, из графика определили коэффициенты жесткости исследуемых пружин по формулам:

$$K = \frac{F_{\text{кон}} - F_{\text{нач}}}{X_{\text{кон}} - X_{\text{нач}}}, \quad \Delta K = \frac{2\Delta F}{X_{\text{кон}} - X_{\text{нач}}}. \quad (10)$$

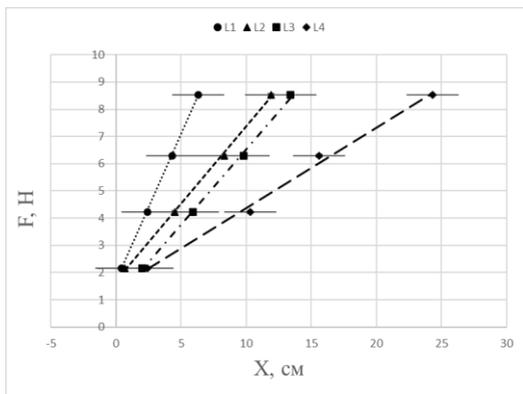


Рисунок 2 – Зависимость удлинения пружин от действия внешней силы

На рисунке 3 представлен график зависимости коэффициента жесткости пружины от ее длины в нерастянутом состоянии L (количества ее витков).

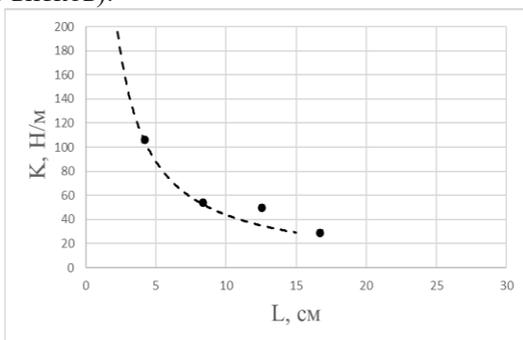


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента жесткости от первоначальной длины пружины L : точки – эксперимент, пунктирная линия – теоретическая зависимость в соответствии с формулой (9)

Опыт № 2. Измерение зависимости коэффициента жесткости пружины K от диаметра цилиндра пружины D . Для опыта были отобраны 4 пружины, обладающие следующими одинаковыми параметрами: диаметр проволоки $d = 0,5$ мм, длина пружины $L = 10,0$ мм; диаметры цилиндров пружин менялись следующим образом: $D_1 = 4,8$ мм, $D_2 = 5,5$ мм, $D_3 = 6,2$ мм, $D_4 = 7,5$ мм.

Измерения были проведены и обработаны аналогично первому опыту. Результаты исследования зависимости коэффициента жесткости от диаметра цилиндра пружины представлены на рисунке 4.

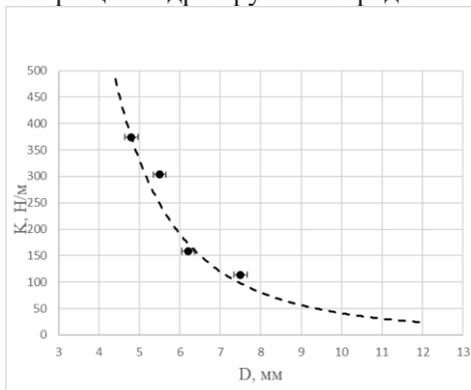


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента жесткости K от диаметра цилиндра пружины D : точки – эксперимент, пунктирная линия – теоретическая кривая согласно формуле (9)

Опыт № 3. Измерение зависимости коэффициента жесткости пружины K от диаметра проволоки d . В этом опыте были взяты 3 пружины с диаметрами проволоки $d = 0,5$ мм, $d = 0,8$ мм и $d = 1,0$ мм. Остальные параметры были подобраны таким образом, чтобы множитель C в формуле (11) оставался постоянным:

$$K = \frac{d^5 G}{8D^3 L} = d^5 C, \quad \text{где} \quad C = \frac{G}{8D^3 L}. \quad (11)$$

На рисунке 5 приведена зависимость коэффициента жесткости K от диаметра проволоки d .

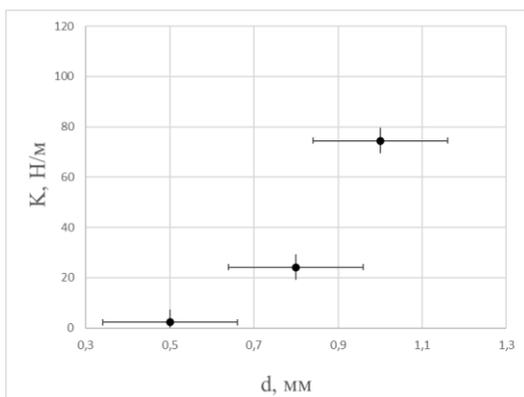


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента жесткости K от диаметра проволоки d : точки – эксперимент, пунктирная линия – теоретическая кривая согласно формуле (11)

В результате выполненных исследований установлены совпадения в пределах погрешностей зависимостей коэффициента жесткости пружин от их параметров с теоретическими расчетами.

Список использованной литературы

1. Кузьмин, Ю. А. Конструирование и расчет автомобиля. Расчет пружин: методические указания по выполнению курсовой работы для студентов специальности 19020165 «Автомобиле- и тракторостроение» / Ю. А. Кузьмин. Ульяновск : УлГТУ, 2008. - 29 с

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Карпенко Ксения Константиновна

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия,
franstuckybarnes@gmail.com*

Аннотация. В статье рассмотрено определение искусственных нейронных сетей. Приведены возможности использования нейронных сетей в материаловедении. Были определены области применения нейронных сетей. Рассмотрена обработка изображений поверхностей металлов при помощи искусственных нейронных сетей. Приведены примеры готовых нейронных сетей и их использование.

Ключевые слова: нейронные сети, материаловедение.

NEURAL NETWORKS IN MATERIAL SCIENCES

Karpenko Ksenia Konstantinovna

*Russian State Hydrometeorological University,
St. Petersburg, Russia, franstuckybarnes@gmail.com*

Annotation. The article discusses the definition of artificial neural networks. The possibilities of using neural networks in materials science are presented. Areas of application of neural networks have been identified. The processing of images of metal surfaces using artificial neural networks is considered. Examples of ready-made neural networks and their use are given.

Keywords: neural networks, material science.

Нейронная сеть или искусственная нейронная сеть – программное воплощение математической модели, построенной по принципу функционирования биологических нейронных сетей. Данный процесс использует взаимосвязанные узлы, или, так называемые, нейроны, которые создают систему, с использованием которой машина учится на своих ошибках и не перестает совершенствоваться [1].

На рисунке 1 представлено схематичное изображение работы нейронной сети. Зеленым цветом обозначены входные нейроны, голубым цветом – скрытые нейроны, а желтым – выходной нейрон.

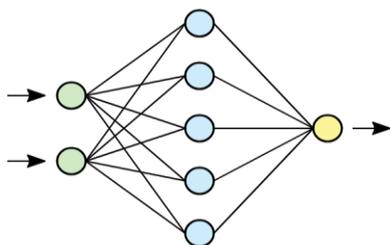


Рисунок 1 – Схематичное изображение работы нейронной сети.

Нейронные сети являются основой для многих современных приложений искусственного интеллекта, включая распознавание речи, компьютерное зрение и другие. Они могут использоваться для совершенно различных задач, включая анализ и классификацию изображений и видео, прогнозирование временных рядов и обнаружение аномалий.

Существует несколько типов задач для нейронных сетей в материаловедении:

1. Классификация материалов. Нейронные сети могут быть использованы в материаловедении для классификации материалов по их свойствам. Это может включать, например, классификацию по их механическим свойствам, структуре и свойствам поверхности.

2. Предсказание свойств материалов. Нейронные сети могут быть использованы для предсказания свойств материалов на основе их структуры и свойств поверхности. Это может включать, например, предсказание тепловых, электрических и других свойств.

3. Оптимизация структуры материалов. Нейронные сети могут быть использованы для оптимизации структуры материалов, что может улучшить их свойства. Это может включать, например, оптимизацию структуры материалов для увеличения их механической прочности или жаропрочности.

4. Изучение свойств поверхности материалов. Нейронные сети могут быть использованы для изучения свойств поверхности материалов, таких как площадь поверхности, химический состав, и другие. Это может быть осуществлено с помощью моделирования и других экспериментальных технологий.

5. Анализ и предсказание процессов получения новых материалов. Нейронные сети могут быть использованы для анализа и предсказания процесса получения новых материалов. Это может быть осуществлено с помощью моделирования, процессов машинного обучения и других.

В целом, использование нейронных сетей в материаловедении может помочь обнаружить закономерности, что может привести к улучшению свойств материалов и экономии времени при анализе данных.

В настоящее время нейронные сети постепенно внедряются в повсеместное использование в лабораториях и на производствах. Некоторые сферы все еще нуждаются в работающих программах на основе нейронных сетей, которые могли бы упростить работу с изображениями и данными, для сокращения времени обработки и общей энергозатратности работы. Одной из подобных работ является разработка модели, позволяющей определять расположение областей вязкого и хрупкого разрушения на изображениях изломов [2]. На рисунке 2 представлено изображение излома сварного соединения с выделенными в ручном режиме областями, представляющими интерес в последующей обработке. Прежде всего в таких задачах следует определить способ предварительной обработки изображений, для приведения их к одному виду, так как изначальные изображения могут иметь, например, различную освещенность, масштаб и др. Таким образом, одним из наиболее эффективных алгоритмов предобработки изображений излома образца сварного соединения является: поворот изображения надрезом вверх, удаление деталей фона и стандартизация гистограммы распределения уровней серого.

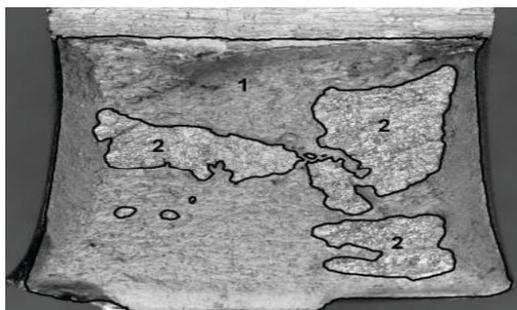


Рисунок 2 – Излом образца сварного соединения с выделенными областям. 1 – вязкая область, 2 – хрупкие участки

Далее выделяется алгоритм выделения областей с вязким и хрупким строением на изломе.

При выделении искомым областей используются различные системы признаков областей излома, такие как Фурье-образы, распределения локальных двоичных паттернов текстуры, матрицы взаиморасположения уровней серого и фильтр Кэнни.

На рисунке 3 представлена одна из используемых систем признаков – Фурье-образ отдельных интересующих областей.

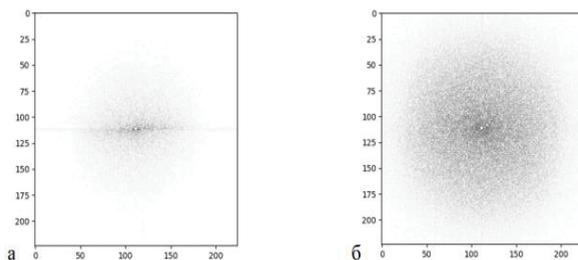


Рисунок 3 – Фурье образы изображений вязкой (а) и хрупкой (б) составляющих излома

В дальнейшем происходит тренировка построенной модели (данный этап важен только при создании, в дальнейшем модель используется без нее), а также ее валидация, по результатам которой идет определение точности модели, а также ее работоспособность.

После тренировки и валидации нейронная сеть в результате обработки изображений может с достаточно большой точностью определять границы хрупкого и вязкого излома. Один из полученных результатов работы модели представлен на рисунке 4.

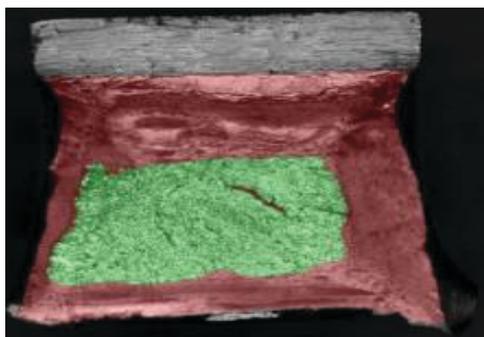


Рисунок 4 – Изображения излома после выделения на них областей с вязким (красный) и хрупким (зеленый) изломом нейронной сетью

Полученная таким образом нейронная сеть может уже использоваться в работе и потребуются только предобработка изображения, которую можно осуществить с помощью простейших программ.

Подводя итог, можно сказать, что нейронные сети все еще внедряются в научную сферу и также требуют доработки в некоторых сферах. Одной из наиболее перспективных областей использования нейронных сетей является материаловедение, так как с их помощью можно наиболее точно анализировать данные о материалах. Особый интерес представляет обработка изображений, так как в некоторых случаях человек не может достоверно точно определить, например, границы различных фаз, или вкрапления других материалов.

Список использованной литературы

1. Тягунов А. Г. Применение искусственных нейронных сетей в материаловедении: учеб. пособие // А. Г. Тягунов, О. Б. Мильдер, Д. А. Тарасов, А. П. Сергеев // М-во науки и высш. обр. РФ. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. – 2021. – С. 68.
2. Судьин В. В. Исследование особенностей разрушения низколегированных сталей и их сварных соединений в интервале вязко-хрупкого перехода: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.07. – ИМЕТ РАН, Москва, 2021 – 189 с.

УДК 551.510.42(985)

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

Ковригин Даниил Дмитриевич, Потапова Ирина Александровна
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия, dankov2003@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена проблеме загрязнения Арктики черным углеродом, рассмотрены физические процессы и методы исследования данной проблемы и возможные пути ее решения.

Ключевые слова: черный углерод, воздушные массы, аэрозольные станции, сила Кориолиса.

PHYSICAL MECHANISMS AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF AIR POLLUTION

Kovrigin Daniil Dmitrievich, Potapova Irina Alexandrovna
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
dankov2003@mail.ru

Annotation. The article is devoted to the problem of pollution of the Arctic with black carbon, physical processes and research methods of this problem and possible solutions are considered.

Keywords: black carbon, air masses, aerosol stations, Coriolis force.

1. Загрязнение атмосферы в Арктике. Изучение и мониторинг загрязнения атмосферы в Арктике является крайне важным, поскольку данная область играет ключевую роль в глобальных климатических процессах. Черный углерод, выделяющийся в атмосферу, имеет значительное воздействие на климат и окружающую среду. Уменьшение выбросов черного углерода в этом регионе может способствовать снижению температуры поверхности и улучшению состояния окружающей среды. Важно продолжать исследования и принимать меры по сокращению выбросов черного углерода в Арктике для сохранения экосистем этого уникального региона [1].

2. Появление и воздействие черного углерода на окружающую среду. Неполное сгорание топлива в различных источниках, таких как дизельные двигатели, печи и лесные пожары,

является основным источником образования черного углерода. Выпадение сажи на поверхность снега и льда приводит к уменьшению их светоотражающих свойств, что ускоряет процессы таяния льда и снега. Это может привести к ускоренному изменению климата в регионе, а также оказать отрицательное воздействие на экосистемы и здоровье людей [1].

Изучение влияния верховых и низовых лесных пожаров на концентрацию черного углерода позволяет лучше понять механизмы его образования и распространения в атмосфере. Эти данные могут быть полезны для разработки стратегий по предотвращению лесных пожаров и сокращению выбросов черного углерода, что в свою очередь поможет снизить негативное воздействие на климатические процессы и окружающую среду.

3. Транспортировка загрязнений воздуха. Воздушные массы могут переносить черный углерод и другие загрязняющие вещества на дальние расстояния от источников пожаров. В случае лесных пожаров в Западной Сибири, европейской России, степных районах Восточно-Европейской равнины, южного Урала и Казахстана, черный углерод может быть перенесен в Арктику в результате перемещения воздушных масс. Этот процесс транспортировки загрязнений воздуха на дальние расстояния называется атмосферным транспортом. Он может приводить к глобальному распространению загрязнений, включая черный углерод, и оказывать негативное воздействие на климатические процессы, окружающую среду и здоровье людей не только на местах возникновения пожаров, но и в других регионах, куда эти загрязнения могут быть перенесены.

В арктических районах появляется дымка, вызванная комбинацией дальнего переноса антропогенных эмиссий и температурной инверсии, которая является серьезной проблемой в зимне-весенний период. Черный углерод, играет важную роль в этом процессе. Он поглощает солнечное излучение и способствует ускоренному таянию снега в Арктике. Этот процесс может привести к изменениям в гидрологическом цикле и климатических условиях Арктики [2]. Кроме того, черный углерод взаимодействует с облаками, что также оказывает влияние на климатические процессы. Он может изменять стабильность облаков, количество осадков и их отражающую способность, что в конечном итоге может повлиять на климатические условия не только в Арктике, но и в других регионах.

4. Полярная аэрозольная станция МГУ «Остров Белый». Аэрозольные станции, такие как станция МГУ «Остров Белый», играют

важную роль в мониторинге уровня загрязнения атмосферы и изучении его источников. Измерения чёрного углерода на таких станциях позволяют определить основные источники этого загрязнителя и оценить их вклад в общее загрязнение атмосферы.

Изучение этих процессов помогает не только понять механизмы формирования аэрозольных загрязнений, но и разрабатывать меры по их снижению для защиты окружающей среды и здоровья людей. Благодаря непрерывным измерениям на станции МГУ «Остров Белый», ученые могут получить ценные данные о составе атмосферы в этом регионе, что важно для понимания процессов, происходящих в арктической атмосфере и их влияния на климатические изменения [2]. Учеными было установлено, что основным зимним источником загрязнения является сжигание ископаемого топлива, а летним – сжигание биомассы, то есть лесные пожары и другие причины. Именно сжигание биомассы дает до половины всей годовой эмиссии черного углерода в атмосферу.

5. Причина движения воздушных масс на Северный полюс.

Почему воздушные массы, переносящие черный углерод перемещаются в сторону Арктики? Какой физический закон может описать их движение на Север?

Ветер – одна из главных сил природы. Он является важной составляющей циркуляции атмосферы. Причиной появления ветра является сила барического градиента на участках с высоким давлением, происходит отток его в область с низким давлением. Чем больше разность давления, тем сильнее отток. Немаловажным фактором является отклонение оси Земли – сила Кориолиса. Эта сила возникает за счет вращения Земли вокруг своей оси. Под действием силы Кориолиса прямолинейный вектор движения воздушных масс постепенно смещается вправо – в северном полушарии, влево – в южном – влево, начинает двигаться по дугообразной траектории до уравнивания сил: после этого он направлен вдоль изобар. Такой вид ветра называется геострофическим. Главное проявление силы Кориолиса в природе – это закручивание атмосферных вихрей – циклонов и антициклонов. Причем именно из-за нее они закручиваются в разные стороны в северном и южном полушарии [3]. Под действием силы Кориолиса прямолинейный вектор движения воздушных масс постепенно смещается вправо – в северном полушарии, влево – в южном – влево, начинает двигаться по дугообразной траектории до уравнивания сил, рисунок 1: после этого он направлен вдоль изобар.



Рисунок 1 – Движение воздушных масс под действием силы Кориолиса

Силу Кориолиса мы не чувствуем напрямую, но она тем не менее играет роль в движении атмосферных масс, океанских течений и даже полетах самолетов. Циклоны и антициклоны, большие вихри воздуха, формируются и двигаются под влиянием силы Кориолиса. В северном полушарии циклоны движутся против часовой стрелки, а антициклоны – по часовой. В южном полушарии все наоборот. Для этого явления имеются две причины: первая, вращение Земли на восток; и вторая - зависимость от географической широты тангенциальной скорости точки на поверхности Земли (эта скорость равна нулю на полюсах и достигает своего максимального значения на экваторе).

Вы когда-нибудь замечали, что птицы и самолеты часто летят по кривым маршрутам, а не строго с севера на юг или с востока на запад? Это тоже связано с силой Кориолиса. Пилоты и навигаторы учитывают этот эффект при планировании маршрутов, чтобы экономить топливо и время.

Сила Кориолиса – это возникающая инерционная сила, перпендикулярно давящая на движущиеся от центра или к центру тела, на вращающейся поверхности [4]. Кориолисово смещение есть результат движения объекта, вращения Земли и географической широты. По этой причине в ответе должны присутствовать удвоенный синус широты, скорость тела и угловая скорость вращения Земли. Точная формула довольно проста:

$$\vec{F}_C = 2m \cdot [\vec{\Omega} \times \vec{V}]$$

- результат векторного произведения частоты вращения Земли и скорости движения тела (вектор частоты вращения Земли направлен на полярную звезду). Сила Кориолиса имеет большое значение, особенно для метеорологии, геофизики и океанографии, потому любые движущиеся вблизи поверхности Земли объекты подвергаются ее действию. Так, например, сила Кориолиса вносит решающий вклад в

динамику атмосферы, определяя направление и силу преобладающих ветров, и направление вращения циклонов, а в гидросфере направление океанских течений [5].

Двигателем атмосферной циркуляции также является и солнечный свет. В условиях гравитации, тяги Архимеда и силы Кориолиса из-за вращения Земли разница температур между экватором и полюсами заставляет воздух циркулировать вокруг Земли. Воздух в тропических районах, нагретый солнечным излучением и, таким образом, облегченный, поднимается на вершину тропосферы. При этом он всасывает пассаты, которые сходятся с севера и юга по направлению к экватору, создавая экваториальный восточный поток. В самой высокой части тропосферы воздух отклоняется на восток, что порождает относительно медленное субтропическое струйное течение (менее 100 км/ч) в каждом полушарии. Между полюсами и параллелями $\pm 60^\circ$ температурные различия вызывают циркуляцию, ветры у земли ориентированы от полюса к умеренным регионам. А доминирующий ветер на уровне земли направлен к ближайшему полюсу [4].

6. Последствия загрязнения сажей арктической поверхности.

- Таяние ледников способствует повышению уровня моря.

По мере таяния ледников в мировой океан поступает больше воды в результате чего поднимается глобальный уровень моря.

- Негативное воздействие на флору и фауну.

Из-за изменений в морском льду и ледниках у многих животных изменились условия жизни. Это относится к маленьким планктонным организмам, которые обитают рядом с кромкой ледяного покрова, обеспечивающей условия для их выживания и размножения. Под угрозой оказалась популяция белых медведей, потерявших большую часть своей среды обитания. Ожидается, что в будущем деревья будут распространяться дальше на север и леса вытеснят значительную часть тундры.

- Последствия для людей и общества.

Территория обитания человека может подвергаться наводнениям, оползням. Изменения климата ведет к сокращению рыбного промысла в арктических широтах и уменьшению экономического вклада в региональную экономику [6].

7. Государственное сотрудничество в Арктике.

- Проблема выбросов черного углерода поднимается в том числе на международном уровне. Региональный коллективный форум Арктического совета – первая организация, объединившая Канаду,

Данию, Финляндию, Исландию, Норвегию, Россию, Швецию и США на правительственном уровне. Также на конгрессах присутствуют представители коренных народов и ряд наблюдателей.

- Первоначальная совместная программа действий рассчитана на то, что в совокупности арктические страны сократят выбросы черного углерода на 25–33 % к 2025 году по сравнению с 2013 годом. В течение следующих двух лет цифры будут пересмотрены с целью дальнейшего уменьшения допустимого уровня загрязненности сажей.

8. Решение проблемы выбросов сажи. Загрязнение окружающей среды и его влияние на климат определяют необходимость проведения систематических исследований в Российской Арктике как регионе наиболее чувствительном к экологическим изменениям в результате воздействия хозяйственной деятельности.

Уменьшить влияние черного углерода на Арктику можно следующими способами:

- Переход на альтернативные способы получения энергии.
- Использование топлива, сжигание которого не сопровождается выбросами сажи (газ).
- Внедрение производительных технологий очистки газовых выбросов. Каталитические нейтрализаторы
- Повышение уровня государственного контроля и ужесточение ответственности за нарушение экологических норм.

Каталитические нейтрализаторы – решение проблемы выбросов сажи. Например, компания «ЭКОЭНЕРГОТЕХ» – российский разработчик и производитель систем очистки вредных выбросов. Для предприятий, осуществляющих деятельность в арктических районах и обязанных выполнять требования Государственной программы по развитию Арктики, было разработано эффективное оборудование – каталитические нейтрализаторы со встроенным сажевым фильтром, позволяющие минимизировать количество сажи, выбрасываемой в атмосферный воздух.

В основе принципа действия оборудования лежит способность превращения токсичных компонентов отработавших газов в нетоксичные на поверхности катализаторов. Поток отработавших газов проходит через систему, в которой сажа задерживается на каталитически активном сажевом фильтре и сгорает в потоке газов, превращаясь в углекислый газ.

Внедряя повсеместно подобное оборудование можно решить хотя бы проблему неконтролируемых выбросов при работе котельных

и двигателей внутреннего сгорания техники и энергетических установок [6].

Разрешить проблему загрязнения воздуха черным углеродом от лесных пожаров гораздо сложнее. Ее решение сводится не только к контролю над лесными угодьями в жаркое время года, но и к новому физическому подходу для решения данной проблемы. Возможно, это физические методы, которые будут учитывать влияния силы Кориолиса на атмосферные процессы, и тем самым помогут взять под контроль выбросы черного углерода. Например, при планировании мероприятий по снижению выбросов черного углерода можно учитывать направление и скорость ветра, которые будут влиять на распространение загрязнения в атмосфере. Понимание воздушных течений и их взаимодействия с силой Кориолиса может помочь оптимизировать стратегии по борьбе с загрязнением и минимизации его воздействия на окружающую среду.

Сила Кориолиса многими не учитывается из-за ее иногда низких значений, хотя она без сомнения оказывает влияние на самые разные процессы, включая циркуляцию атмосферы. «Кориолисово смещение» воздушных масс является перспективным для нас направлением изысканий.

Список использованной литературы

1. Научно-популярный физико-математический журнал "Квант"/ Смородинский Я. Сила Кориолиса:
https://kvant.mccme.ru/1975/04/sila_koriolisa.htm
2. ЦМИТ "Авиатор" 2019 - 2024 / Агро МЕТЕО: Атмосферная циркуляция: ее организация:
<https://agrometeo.online/articles/circulation.html>
3. Силы, действующие в атмосфере, и их влияние на ветер:
http://big-archive.ru/geography/earth_atmosphere/27.php
4. 200 законов мироздания физика. Эффект Кориолиса:
https://elementy.ru/trefil/21119/Effekt_Koriolisa
5. Российский фонд фундаментальных исследований, 1992–2024, Следы на снегу. Эмиссия чёрного углерода меняет климат Арктики:
https://www.rfbr.ru/rffi/ru/science_news/o_2128887 (дата обращения: 29.02.2024).
6. Вклад в спасение Арктики – минимизация выбросов сажи (черного углерода): <https://eet-msk.ru/posts/8>

УДК 551.463.22

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В МОРСКОЙ СРЕДЕ

Кудель Мария Дмитриевна, Михтеева Елена Юрьевна
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия, *belca2004@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются факторы, влияющие на скорость распространения звука в морской среде, вертикальное распределение скорости звука. Решена адаптированная практическая прямая расчетная задача по определению скорости звука в морской воде. Расчет скорости звука в океане выполнен по реальным данным, определен тип рефракции.

Ключевые слова: Скорость звука, акустическая волна, морская среда, рефракция, подводный звуковой канал.

VERTICAL DISTRIBUTION OF THE SPEED OF SOUND IN THE MARINE ENVIRONMENT

Kudel Maria Dmitrievna, Mikhteeva Elena Yuryevna
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
belca2004@mail.ru

Annotation. The article considers the factors influencing the speed of sound propagation in the marine environment, the vertical distribution of the speed of sound. An adapted practical direct calculation problem for determining the speed of sound in seawater has been solved. The calculation of the speed of sound in the ocean is based on real data, the type of refraction is determined.

Keywords: speed of sound, acoustic wave, marine environment, refraction, underwater sound channel.

В настоящее время акустические методы применяются в исследовании поверхности морского дна, получении информации о состоянии морской среды, создании карт для безопасной навигации подводной техники.

Ранее нами проводилось численное моделирование влияния температуры, солености и гидростатического давления на скорость

распространения звука [1]. Было принято, что эти характеристики распределяются с глубиной равномерно, однако в реальных условиях открытого океана это не так. Например, значения гидростатического давления с глубиной всегда возрастают, а значения температуры уменьшаются, и достигнув некоторой глубины остаются практически постоянными. В этой работе определяется вертикальное распределение скорости звука при изменении всех параметров морской воды по глубине.

Широкое применение автономных необитаемых подводных аппаратов АНПА в задачах картографирования, экологического мониторинга, а также при обследовании подводных сооружений, предъявляет высокие требования к точности пространственного маневрирования. Аппарат осуществляет сложные маневры на постоянном расстоянии от рельефа дна, который отслеживается с помощью эхолокационной системы АНПА. При этом становится важным учет вертикального распределения скорости звука в толще воды [2].

Распространение звуковых колебаний в морской воде представляет собой сложное явление, зависящее от распределения температуры T и солености S , изменения давления P , глубины моря z и характера грунта, состояния поверхности моря, замутненности воды примесями и т.д. [3].

Формула, представленная Чарлзом Томсоном Рисом Вильсоном, на сегодняшний день, считается наиболее точной, но она не учитывает влияние на скорость распространения звука таких факторов, как рассеяние звука, поглощение и реверберация. Дело в том, что на распространение звука влияют не только характеристики среды, но и организмы, предметы, поверхность моря или дна. При попадании звуковой волны на поверхность раздела сред, часть энергии этой волны отражается, часть поглощается. Из-за того, что поверхности дна и моря в реальных условиях не бывают идеально ровными, лучи акустической волны подходят к разным точкам таких поверхностей под разными углами и геометрическое отражение происходит в разных направлениях. При рассмотрении такого характера отражения выделяют когерентную (постоянную) и некогерентную (случайную) составляющие. По когерентной составляющей отраженного давления определяется коэффициент отражения, а по некогерентной – коэффициент рассеяния. Кроме того, рассеяние и отражение звука могут наблюдаться и в толще воды. Причиной этого явления могут послужить живые организмы, планктон, водоросли. Отражение и

рассеяние звукового сигнала затрудняют выявление полезного сигнала эхолокации, вызывая реверберацию, которая по сути является эхом. В данной работе мы не учитываем влияние рассеяния, отражения, поглощения и реверберации на скорость распространения звуковой волны.

Для решения задачи о распространении звука в море широко применяются приближенные методы и, в частности, лучевая теория.

Под звуковыми лучами понимают линии, перпендикулярные волновым поверхностям. При распространении звука в акустически неоднородной среде, кроме поглощения, рассеяния, наблюдается искривление траектории звукового луча, называемое рефракцией.

В зависимости от наблюдаемого в море вертикального распределения скорости звука (горизонтов скорости звука) выделяется 4 типа рефракции.

1 тип – положительная рефракция – характеризуется возрастанием скорости звука с глубиной, рисунок 1.

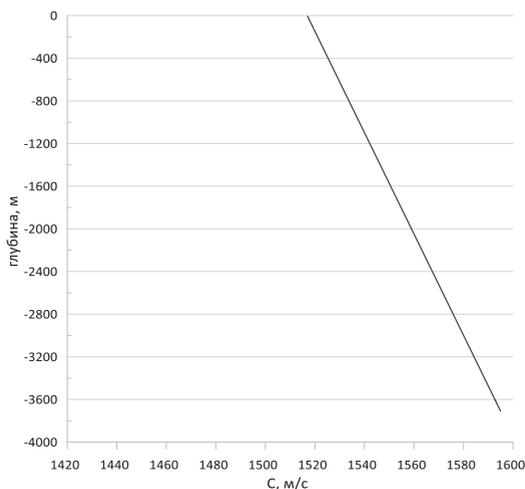


Рисунок 1 – Положительная рефракция

2 тип – отрицательная рефракция – характеризуется уменьшением скорости звука с глубиной, рисунок 2.

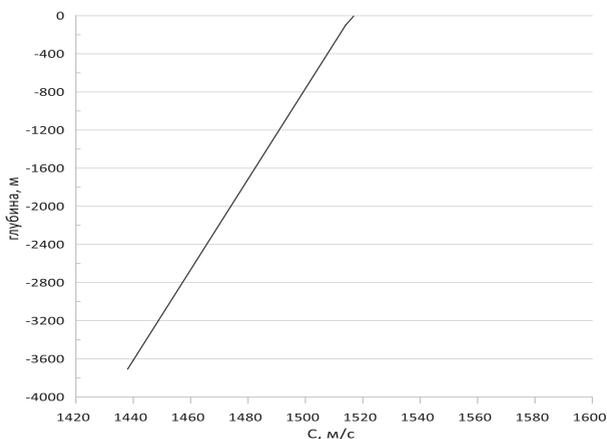


Рисунок 2 – Отрицательная рефракция

3 тип – изменение положительной рефракции в поверхностном слое, в котором с глубиной скорость звука возрастает, на отрицательную в нижележащих слоях, в которых скорость звука с глубиной уменьшается, рисунок 3.

4 тип – подводный звуковой канал – изменение отрицательной рефракции в поверхностном слое, где происходит уменьшение скорости звука с глубиной на положительную в нижележащих слоях, где скорость звука с глубиной увеличивается, рисунок 4. Слой с минимальной скоростью звука называется осью ПЗК. Чем ближе к оси ПЗК расположен излучатель, тем больший эффект будет оказываться на звук, т.е. звук будет распространяться дальше.

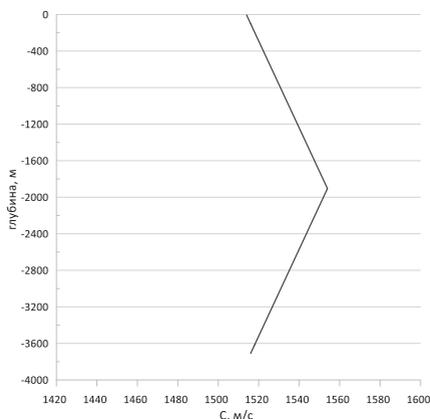


Рисунок 3 – Третий тип рефракции

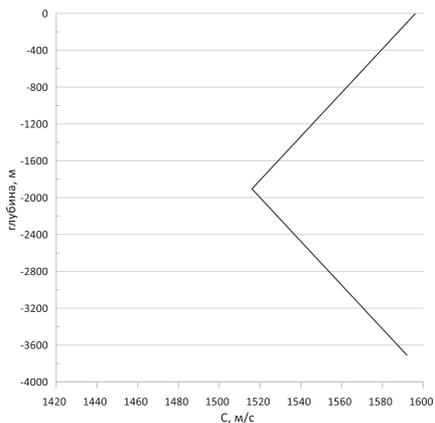


Рисунок 4 – Подводный звуковой канал

Основываясь на реальных значениях гидростатического давления, температуры и солености рассмотрим, как с глубиной изменяется скорость звука. Решим адаптированную практическую прямую расчетную задачу по определению скорости звука в морской воде, «очищенную» от чрезмерных технических подробностей, вычислительными методами. Для расчетов используются данные, взятые на трех станциях.

Станция №1 расположена вблизи северного полярного круга, координаты $64,75^\circ$ сш, $150,25^\circ$ зд. Скорость звука у поверхности примерно равна 1450 м/с, резко возрастает с увеличением глубины примерно до 2900м (1850 м/с), затем снижается до 1670 м/с у дна, что характеризует 3 тип рефракции, рисунок 5.

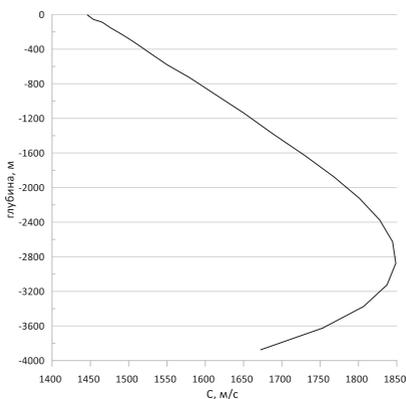


Рисунок 5 – Вертикальное распределение скорости звука на станции №1

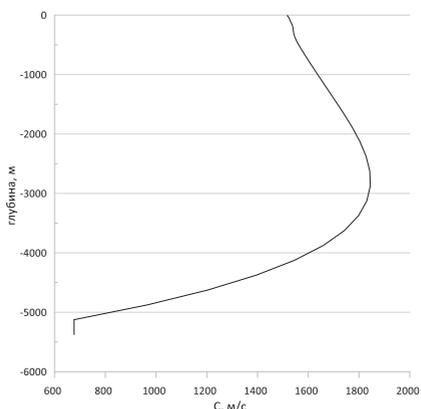


Рисунок 6 – Вертикальное распределение скорости звука на станции №2

Станция №2 расположена в умеренных широтах, координаты $34,75^{\circ}$ сш, $150,25^{\circ}$ зд. Из графика, рисунок 6. видим, что скорость звука на станции №2 на поверхности равна примерно 1520 м/с, с глубиной сначала незначительно возрастает (примерно до 2800 м и скорости звука примерно 1820 м/с), затем резко снижается (до 670 м/с у дна). Таким образом, можем сделать вывод, что на второй станции наблюдается 3 тип рефракции.

Станция №3 расположена вблизи экватора, координаты $9,75^{\circ}$ сш, $150,25^{\circ}$ зд. Скорость звука у поверхности сначала увеличивается до значения 1560 м/с на глубине примерно 130 м, затем уменьшается до значения 1550 м/с на глубине 320 м.

Далее снова увеличивается до значения примерно 1850 м/с на глубине около 2700 м, затем снова снижается до 1400 м/с у дна, рисунок 7. Таким образом, в поверхностном слое на глубине около 320 м наблюдается подводный звуковой канал, а в нижележащих слоях – 3 тип рефракции.

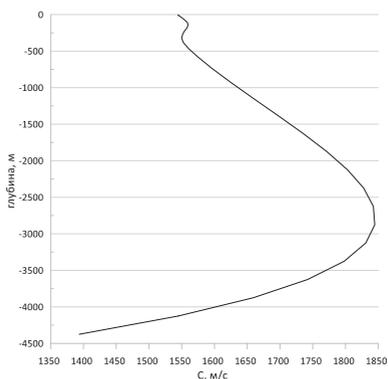


Рисунок 7 – Вертикальное распределение скорости звука на станции №3

На всех рассмотренных станциях наблюдается 3 тип рефракции – переход от положительного градиента скорости к отрицательному. Наименьшее значение скорости звука наблюдается на станции, расположенной в умеренных широтах. На станции, расположенной вблизи экватора, наблюдается подводный звуковой канал.

Список использованной литературы

1. Кудель, М. Д. Численное моделирование влияния гидростатического давления на скорость распространения звука в морской воде / М. Д. Кудель, Е. Ю. Михтева // Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях : Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 07 апреля 2023 года / Под редакцией И.В. Зайцевой. – Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2023. – С. 123-126. – EDN IPTQRX.

2. Сиек Ю. Л., Кирьянов А. В., Михтева Е. Ю., Борисов А. Н. Анализ точности наблюдателя состояния автономного необитаемого подводного аппарата при маневрах в вертикальной плоскости. - Морская радиоэлектроника. 2023. № 1 (83). С. 34-39.

3. С. Ш. Михтев, Е.Ю. Михтева. Моделирование распространения звука в морской воде. – Сб. материалов XXVI Международной НМК «Современное образование: содержание, технологии, качество». - СПбГЭТУ «ЛЭТИ», СПб, 2021. Т. 1.С. 73-75.

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА И МОДЕЛИРОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

*Курьшев Дмитрий Сергеевич, Мурзабеков Джамалейл
Гириханович, Скворцов Егор Святославович, Яковлева Татьяна
Юрьевна*

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия, yakovtat@yandex.ru*

Аннотация. Данная статья рассматривает основные физические методы мониторинга и моделирования климатических изменений, а также их значимость для изучения и прогнозирования климатических изменений и их последствий.

Ключевые слова: мониторинг, моделирование, климат, модели, изменения, доступ, данные.

PHYSICAL METHODS OF MONITORING AND MODELING OF CLIMATE CHANGE

*Kuryshov Dmitry Sergeevich, Murzabekov Jamaleil Girikhanovich
Skvortsov Egor Svyatoslavovich, Yakovleva Tatiana Yuryevna
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
yakovtat@yandex.ru*

Annotation. This article examines the main physical methods for monitoring and modeling climate change, as well as their significance for studying and predicting climate change and its consequences.

Keywords: monitoring, modeling, climate, models, changes, access, data.

Введение. На сегодняшний день изменение климатических показателей является одной из самых важных общечеловеческих проблем. Всемирное потепление, вызванное вредными выбросами в атмосферу, приводит к ряду пагубных последствий, таких как подъем уровня моря, изменение погодных условий, таяние ледников и другие. Эти изменения значительно влияют на все аспекты окружающей среды, включая биосферу, гидросферу, литосферу и атмосферу.

Многие виды животных и растений не способны приспособиться

к быстро меняющимся условиям окружающей среды, что приводит к их исчезновению или сокращению. Изменение климата вызывает изменение гидрологического режима, лесные пожары и другие природные катастрофы, которые негативно влияют на работу экосистемы. Под воздействием климатических изменений увеличивается количество стихийных бедствий, распространяются инфекционные заболевания, возникает дефицит продовольствия и воды, что отрицательно влияет на здоровье и благополучие людей [1].

Данные мониторинга показывают, что климат Земли меняется беспрецедентными темпами – глобальная температура поверхности Земли за последние 100 лет увеличилась на 1 °С, концентрация парниковых газов в атмосфере достигла рекордных значений, происходит таяние ледников, повышение уровня моря и появление экстремальных погодных явлений [2].

Основная роль в изучении климатических изменений и их последствий принадлежит физическим методам мониторинга и моделирования климата. Для мониторинга применяются прямые измерения, такие как измерение температуры, влажности, атмосферного давления, концентрации парниковых газов, уровня моря и других параметров, а также спутниковые наблюдения для изучения изменений в ледовых покровах, лесах, биомассе и других компонентов окружающей среды.

Моделирование включает в себя создание климатических моделей для прогнозирования будущих изменений климата, анализа различных сценариев развития в зависимости от различных факторов и разработки мер по снижению рисков, связанных с этими изменениями [3].

Данная статья рассматривает основные физические методы мониторинга и моделирования климатических изменений, а также их значимость для изучения и прогнозирования климатических изменений и их последствий.

Физические методы мониторинга климатических изменений.

Физические методы включают в себя:

- Наблюдения, осуществляемые метеорологическими спутниками, такими как спутники серии "Электро-Л" (Россия), GOES (США), Metop (Европа), FY (Китай);
- Наблюдения, осуществляемые спутниками для исследования Земли, такими как "Ресурс-П" №3 (Россия), "Канопус-В" №5 (Россия), Landsat (США), Sentinel-2 (Европа), ALOS (Япония).

- Радиозондирование при помощи сети радиозондовых станций (ВМО).
- Наземные измерения с использованием глобальной сети метеорологических станций (ВМО) и флюксометрических измерений.
- Океанографические измерения с использованием океанографических буев (ARGO) и исследовательских судов.
- Палеоклиматические исследования путем изучение ледяных кернов и дендрохронологии [4,5].

Физическое моделирование климатических изменений.

Физических модели климата разделяются на две группы:

1. Глобальные модели климата (ГМК), как например, CMIP6 – шестое поколение ГМК, разработанных в рамках международной программы CMIP (Coupled Model Intercomparison Project), INM-CM5 – модель, разработанная Институтом вычислительной математики им. Келдыша РАН или MPI-ESM1.2-LR – модель, разработанная Max Planck Institute for Meteorology (Германия) с участием ИВМ РАН.
2. Региональные модели климата (РМК) такие как RCA4 – модель, разработанная Rossby Centre (Швеция) с участием ИВМ РАН или COSMO-CLM – модель, разработанного консорциумом COSMO (Consortium for Small-Scale Modeling) с участием ИВМ РАН [6,7].

Несмотря на важность использования физических методов мониторинга и моделирования климата, возникают определенные проблемы и вызовы, требующие разрешения для более точного понимания и прогнозирования климатических изменений. Сложности и неопределенность климатических систем создают трудности при предсказании погоды и климата. Эти методы помогают выявить взаимосвязи между различными климатическими параметрами и определить их влияние на климатические процессы. Например, для моделирования климатических изменений применяется ансамблевый подход, который включает в себя создание нескольких моделей климата с разными наборами начальных условий и параметров для оценки возможных отклонений в результатах моделирования. Кроме того, для учета неопределенности данных используются методы статистического анализа, такие как анализ временных рядов, корреляционный анализ, регрессионный анализ и другие.

Эти модели используются для прогнозирования изменений в погоде, включая температуру, осадки и уровень моря, а также для

изучения влияния различных факторов на климат, таких как парниковые газы, аэрозоли и солнечная активность. Они также помогают оценить риски, связанные с климатическими изменениями, такие как экстремальные погодные условия и повышение уровня моря, а также разрабатывать меры по адаптации к изменениям климата. Прогнозы этих моделей указывают на то, что глобальная температура поверхности Земли будет продолжать расти, причем скорость потепления будет зависеть от уровня выбросов парниковых газов. Ожидается увеличение частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений, а также повышение уровня моря, что может привести к затоплению прибрежных районов [8].

Применение данных мониторинга и моделирования в экологии.

Данные мониторинга и моделирования климатических изменений играют ключевую роль в понимании их влияния на экологические системы и являются ценными инструментами для экологов.

Так, для исследования влияния изменения климата на популяции белых медведей в Арктике, ученые используют данные спутникового мониторинга для отслеживания состояния ледникового покрова, а также данные о численности и состоянии белых медведей.

Для изучения влияния изменения климата на коралловые рифы используются данные о температуре воды, уровне моря и других параметрах для прогнозирования будущего состояния коралловых рифов.

При разработке мер по адаптации лесного хозяйства к климатическим изменениям используются модели климата для прогнозирования изменений в лесных экосистемах и разрабатываются рекомендации по ведению лесного хозяйства в условиях меняющегося климата [9].

Мониторинговые данные и моделирование климатических изменений играют важную роль в понимании воздействия этих изменений на экологические системы и представляют собой ценные инструменты для экологов. Например, для изучения влияния изменения климата на популяции белых медведей в Арктике, ученые применяют данные спутникового мониторинга для отслеживания состояния ледового покрова, а также информацию о численности и состоянии белых медведей. Для анализа воздействия изменения климата на коралловые рифы используются данные о температуре

воды, уровне моря и других параметрах для прогнозирования будущего состояния рифов. При разработке мер адаптации лесного хозяйства к климатическим изменениям применяются модели климата для прогнозирования изменений в лесных экосистемах, а также разрабатываются рекомендации по управлению лесным хозяйством в условиях меняющегося климата [10].

Заключение. Изменение климата – это глобальная проблема, которая уже оказывает значительное влияние на нашу планету.

Данные мониторинга и моделирования климата позволяют лучше понять масштабы и скорость этих изменений, а также их влияние на различные экосистемы. Использование этих данных дает возможность оценить потенциальные риски и выработать превентивные и адаптационные меры.

Исследования изменения климата крайне необходимы для понимания проблем, с которыми мы сталкиваемся и разработки эффективной стратегии для предотвращения их последствий.

Возможными направлениями для будущих исследований могут стать разработки более совершенных моделей климата, изучение долгосрочных последствий изменения климата, разработка мер по предотвращению негативных изменений климата, повышение осведомленности общества о проблеме изменения климата.

Изучение изменения климата – это долгосрочная и комплексная задача и для решения этой задачи необходимо международное сотрудничество и координация усилий ученых, политиков и общественности, так как только совместными усилиями мы сможем справиться с этой глобальной проблемой.

Список использованной литературы

1. Изменение климата-2021: физические науки в основе. Вклад первой рабочей группы в подготовку Шестого оценочного доклада [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.unep.org/ru/resources/doklad/izmenenie-klimata-2021-fizicheskie-nauki-v-osnove-vklad-pervoy-rabochey-gruppy-v>. Дата доступа: 08.03.2024

2. Знания, наука и культура в области изменения климата [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.unesco.org/themes/znaniya-nauka-i-kultura-v-oblasti-izmeneniya-klimata>. – Дата доступа: 08.03.2024.

3. NASA Climate Change and Global Warming [Электронный

ресурс]. – Режим доступа: <https://climate.nasa.gov/>. - Дата доступа: 08.03.2024.

4. Роскосмос. Климат-контроль планеты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.roscosmos.ru/27071/>. - Дата доступа: 08.03.2024.

5. Фройбрих И., Разаков Р.М., Насонов В., Рахмонов Б., Рахматов Р., Алиев Р. Гидробиологическая очистка коллекторно-дренажных вод и повторное использование для орошения и рыбохозяйственных целей. // Международный семинар по теме: «Глобальные изменения, устойчивое развитие и управление окружающей средой в Средней Азии». – Ташкент. 20-22.01.2004 г.

6. MDPI. Review of Estimating and Predicting Models of the Wind Energy Amount. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/16/>. - Дата доступа: 08.03.2024.

7. WIRES. Mikhail Budyko's contributions to Global Climate Science: from heat balances to climate change and global ecology. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/wcc.412>. – Дата доступа: 08.03.2024.

8. A Review of High Impact Weather for Aviation Meteorology // Pure Appl. Geophys. 176 (2019), 1869–1921 2019 Crown. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02168-6>. – Дата доступа: 08.03.2024.

9. Yost C.R., Bedka K.M., Minnis P., Nguyen L., Strapp J.W., Palikonda R. et al. (2017). A prototype method for diagnosing high ice water content probability using satellite imager data. Journal of Atmosphere Measure Technology. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.5194/amt-2017-367>. – Дата доступа: 08.03.2024.

10. Williams P.D., Joshi M.M. Intensification of winter transatlantic aviation turbulence in response to climate change. // Nature. Climate Change., 2013.-3(7), 644–648. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1038/nclimate1866>. – Дата доступа: 08.03.2024.

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПРИ ТУННЕЛЬНОМ
ПЕРЕХОДЕ ЭЛЕКТРОНОВ МЕЖДУ
ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИМИ ЧАСТИЦАМИ ПЫЛИ**

*Малиновская Елена Александровна¹, Абделаал Мохамад Эссам
Сайед²*

¹ *Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН,
г. Москва, Россия*

² *Московский физико-технический институт,
г. Долгопрудный, Россия*

² *Институт космических исследований РАН*

Аннотация. При столкновении частиц песка в контролируемой среде с воспроизведением атмосферных условий выявлено возникновение электромагнитных сигналов. Всплесковое изменение напряженности электрического поля обусловлено взаимодействием заряженных частиц песка. Первичные и вторичные амплитуды которых зависят от соотношения размеров, участвующих во взаимодействиях частиц, а также порогового значения напряженности.

Ключевые слова: заряд частиц, всплесковое изменение напряженности электрического поля, коронный разряд.

**OCCURRENCE OF ELECTROMAGNETIC OSCILLATIONS AT
THE TUNNEL TRANSITION OF ELECTRONS BETWEEN
INTERACTING PARTICLES**

Malinovskaya Elena Alexandrovna¹, Abdelaal Mohamad Essam Sayed²

¹ *A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia*

² *Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russia*

² *Space Research Institute RAS, Moscow, Russia*

Annotation. The collision of sand particles in a controlled environment with reproduction of atmospheric conditions revealed the emergence of electromagnetic signals. The burst change of electric field strength is caused by the interaction of charged sand particles. The primary and secondary amplitudes of which depend on the size ratio of the particles involved in the interactions, as well as the threshold value of the intensity.

Keywords: particle charge, burst change in electric field strength, corona discharge.

Введение. Пылевой аэрозоль, поднимающийся с поверхности аридных и субаридных территорий [1], оказывает влияние на конденсацию влаги и облакообразование, массопереноса веществ твердой и жидкой фазы, изменение радиационного баланса Земли [2]. Из анализа полевых измерений, выполненных на опустыненной территории в Калмыкии, выявлен эффект роста и уменьшения концентрации аридного аэрозоля размерами 0,2-0,4 мкм в зависимости от напряженности электрического поля при изменении направления ветра по отношению к дюнным грядам [3].

Генерация аэрозоля происходит при откалывании в момент падения на поверхность частиц размерами порядка 80–150 мкм [4], участвующих в сальтациях. При этом частицы электризуются в результате туннельной передачи заряда [2].

Фиксируемые заряды на сальтирующих частицах столь высоки, что возможны условия возникновения коронных разрядов [5]. Это связано с неоднородностью распределения заряда на заостренных частях поверхности.

Разряд происходит при превышении порогового значения напряжения. Так, к примеру, коронные разряды вблизи металлизированных кварцевых игл диаметром 25-75 мкм, наблюдаемые в микроскопе, возникают при напряжении 2-5 кВ [6].

1. Эксперимент с соударением частиц. Возникновение электромагнитных сигналов при столкновении частиц песка выявлено в контролируемой среде с воспроизведением атмосферных условий различных планет. В специально сконструированной камере с возможностью регулировки давления (максимальные значения до 1400 мбар) компрессором создавался поток воздуха, который приводил в движение взвешенные частицы песка. В результате их частых столкновений наблюдались явления электромагнитного разряда.

Использовались частицы разного размера (частицы несортированные и сортированные: 20-40 мкм и 40-100 мкм) и видов песка, чтобы имитировать разнообразный состав марсианского реголита. Для фиксации электромагнитных сигналов использовалась антенна, подключенная к пылевому комплексу. Полученные сигналы обрабатывались с помощью электромагнитного анализатора (ЭМА), откалиброванного специально для выявления и описания

электромагнитных сигнатур, возникающих при столкновениях заряженных частиц.

Быстрое преобразование Фурье позволяет определить, что зарегистрированный сигнал имеет амплитуду 18,63 мВ и частоту 422,6 кГц. Последующие субсигналы демонстрировали заметное снижение амплитуды, достигая значений 11,54 мВ, 4,88 мВ и 2 мВ, соответственно рисунок 1.

Изменение амплитуды во вторичных всплесках подчиняется степенному закону с показателями: для сортированного песка ~ -0.1 для размеров 20-40 мкм и ~ -0.05 для 40-100 мкм, -0.01 для несортированного песка.

2. Механизм генерации электромагнитного сигнала. В момент соударения заряженных частиц пыли могут регистрироваться электромагнитные сигналы [7], имеющие импульсный тип изменения напряженности при разряде. Это объясняется эффектом экранирования при лавинном перемещении ионов в момент приближения к электроду противоположного знака. Ионизация прекращается, когда потенциал облака ионов становится сравним с потенциалом иглы. Время экранирования зависит от замедления облака и скорости рекомбинации ионов [6].

Всплесковый электромагнитный сигнал, получаемый в момент разряда, складывается из следующих последовательных процессов:

- 1) возникновение электрического поля, превышающего пороговую напряженность, необходимую для возникновения разряда;
- 2) перемещение облака электронов в поле с несколько меньшей напряженностью, так как уменьшен заряд частицы, сгенерировавшей облако;
- 3) рекомбинация с изменением заряда второй частицы и возникновение электрического поля для перемещения электронов на первую частицу;

повторение процесса п.3 для первой частицы, и так несколько раз с уменьшением величины напряженности электрического поля.

Пороговая величина заряда определяется минимально необходимой кинетической энергией для преодоления расстояния между частицами, при наличии создаваемого ими суммарного электрического поля с напряженностями: $E_1 = \rho_1 \frac{\varphi_0}{r^2}$ и $E_2 = \rho_2 \frac{\varphi_0}{(r-d)^2}$, где ρ_1

и ρ_2 - поверхностные плотности распределения заряда на отрицательно и положительно заряженных частицах, r и d - расстояние до

отрицательно заряженной частицы и расстояние между частицами, φ_0 - константа.

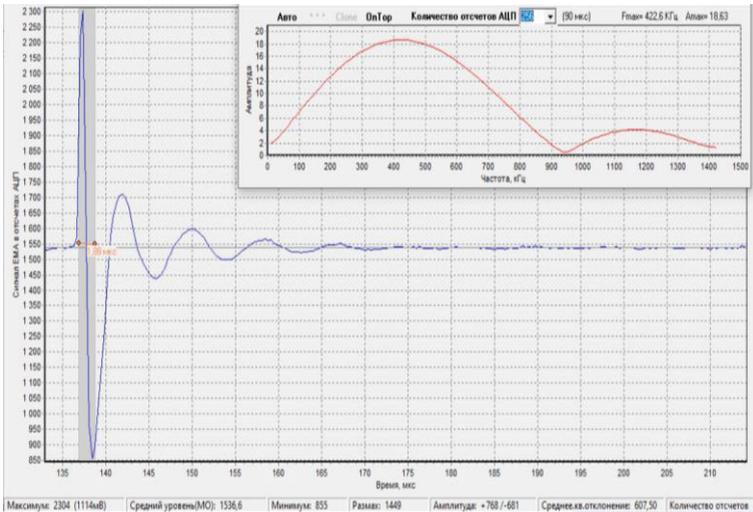


Рисунок 1 – Электромагнитные сигналы, зарегистрированные при столкновении несортированных частиц песка. Амплитуды первичного и вторичных всплесков: 18.63 мВ, 11.54 мВ, 4.88 мВ, 2 мВ. Время каждого из всплесков соответственно: 1.88, 7.74, 8.67, 8.76 мкс

Вылет электронов от отрицательно заряженной частицы возможен при условии преодоления потенциального барьера Π :

$$\frac{v_-^2}{2} = \frac{d\rho_- s_-}{m_e} (E_1 + E_2) - \Pi,$$

где v_- - средняя скорость перемещения электронов, ρ_- - поверхностная плотность распределения зарядов, s_- - площадь поверхности, m_e - масса электрона. После вылета n электронов заряд на частице и вклад в создаваемое поле уменьшается, поэтому для того, чтобы облако электронов достигло частицы с положительным зарядом, требуется энергия:

$$\frac{v'^2}{2} = \frac{d\rho_- s_-}{nm_e} (E_1 - \Delta E_1 + E_2),$$

где $\Delta E_1 = \rho_- \frac{\varphi_0}{r^2}$. В случае, когда $\Pi > \frac{d\rho_- s}{nm_e}(E_1 - \Delta E_1 + E_2)$, может происходить перемещение облака электронов от одной частицы к другой.

При условии, что облако электронов достигло положительно заряженной частицы, идет процесс рекомбинации зарядов со скоростью $\frac{\Delta\rho_-}{\Delta t}$. Тогда для перемещения облака электронов к частице

1, где был первоначально отрицательный заряд необходима энергия:

$$\frac{v_-''^2}{2} = \frac{d\rho_-}{n'm_e}(E_1 - \Delta E_1 + E_2 - \Delta E_2)$$

где $\Delta E_2 = \frac{\Delta\rho_- t}{\Delta t} \frac{\varphi_0}{(r-d)^2}$, а $n' = \frac{n\rho_-}{\left(\rho_- - \frac{\Delta\rho_- t}{\Delta t}\right)}$. Так может происходить несколько

раз. Считаем, что движение облака электронов возможно при одной и той же пороговой величине энергии:

$$v_-'^2 = v_-''^2 = v_-'''^2 = v_-''''^2 = \dots$$

Напряженность электрического поля зависит от кривизны поверхности [6]. Предполагая, что заряд для исследуемых частиц распределен равномерно на их поверхности, и существует эффективная область частицы в точке контакта, для которой возможен туннельный переход электронов от одной частицы к другой. Если заряд распределен в среднем равномерно для частиц с одинаковой плотностью распределения заряда, что у каждой частицы будет свой суммарный заряд, зависящий от размера:

$\frac{q_1}{r_1^2} = \frac{q_2}{r_2^2} = \frac{q_3}{r_3^2} \dots$. В случае, если площадь этой

эффективной приближенно круглой плоской области не зависит от размера частиц, тогда заряд, который может быть передан при туннельной передаче для частиц сферической формы:

$$q_0 = r_0^2 \frac{q_1}{4r_1^2} = r_0^2 \frac{q_2}{4r_2^2} = r_0^2 \frac{q_3}{4r_3^2} \dots = r_0^2 \frac{q_i}{4r_i^2}$$

Доля изменения общего заряда частицы в момент его потери при туннельной передаче:

$$\frac{q_0}{q_i} = \frac{r_0^2}{4r_i^2}$$

Величина электрической напряженности, создаваемая парой частиц:

$$E_i = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_{i+}}{(x_{i+} - x_0)^2 + (y_{i+} - y_0)^2} \pm \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_{i-}}{(x_{i-} - x_0)^2 + (y_{i-} - y_0)^2},$$

где q_{i+} и q_{i-} - заряды положительно и отрицательно заряженных частиц, x_{i+} и x_{i-} - расстояния по оси x и x_{i+} и y_{i-} y_{i-} - расстояния по оси y от точки (x_0, y_0) до них соответственно. Если расстояния между частицами мало меняется в момент контакта и туннельной передачи заряда, то основной вклад в изменение величины напряженности в равноудаленной от них точки будет определяться зарядом на частицах:

$$E_i = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_{i+} \pm q_{i-}}{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}, \text{ откуда } E_i = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{\frac{q_0}{r_0^2} (4r_+^2 \pm 4r_-^2)}{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}.$$

Минимумы и максимумы напряженности электрического поля зависят от относительной величины $\frac{r_{i-}^2}{r_{i+}^2}$.

Для частиц близких размеров близки энергетические и электростатические характеристики. Поэтому энергетический потенциал, для возникновения облака электронов в туннельном переходе требуется более значительный. Соответственно всплеск (амплитуда) величины напряженности электрического поля значительнее. Скорость падения амплитудных всплесков окажется меньше для более мелких микрочастиц, за счет соизмеримости размера облака электронов и частицы (более полное перекрывание, экранирование). Возможно, для мелких частиц при условии усиления электрического поля за счет эффекта кривизны поверхности процесс рекомбинации электронов более быстрый.

Такое импульсное изменение напряженности электрического поля определяется величиной относительного изменения $\Delta E \sim \frac{\Delta\rho}{\Delta t} \frac{t}{(r-d)^2}$, которое зависит от размера частиц.

Заключение. Относительное уменьшение по модулю значений максимумов и минимумов для колебаний в эксперименте с соударением частиц дают степенной закон. Наибольшие первичные амплитуды и степени спада вторичных всплесков близки к -0.1 для сортированных частиц мелкой фракции 20-40 мкм, которые близки по размерам. Это объясняется наличием меньшей энергии по отношению

к пороговой, то есть, когда ΔE соизмеримо с E . Поэтому несколько меньшие амплитуды и показатели степени получены для сортированных частиц размерами 40-100 мкм. В случае несортированных частиц амплитуда всплесков меньше за счет дополнительного эффекта усиления напряженности электрического поля на поверхностях с различной кривизной.

Изменение напряженности электрического поля пропорционально количеству электронов в облаке: $\Delta E \sim n$. Время между всплесками напряженности электрического поля определяются скоростью и временем процесса рекомбинации электронов, амплитуда всплесков – величиной энергии электрического поля, требуемой для перемещения n электронов между поверхностями контактирующих частиц.

Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда – проект №23-27-00480 «Исследование генерации и выноса пылевого аэрозоля над аридными территориями в условиях неоднородностей рельефа и температуры».

Список использованной литературы

1. Schmidt D.S., Schmidt R.A., Dent J.D. Electrostatic force on saltating sand // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 1998. V. 103. D8. P. 8997-9001.
2. Kok J.F., Lacks D.J. Electrification of granular systems of identical insulators // Physical Review E. 2009. V. 79. №5. P. 051304.
3. Малиновская Е. А. и др. О связи приземного электрического поля и аридного аэрозоля при различных ветровых условиях // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2022. – Т. 502. – №. 2. – С. 115-124.
4. Malinovskaya E.A. et al. On the conditions of the emergence of a periodic mode of saltating flow // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. – 2023. – Т. 59. – №. 6. – С. 749-759.
5. Горчаков Г.И. и др. Электризация ветропесчаного потока на опустыненных территориях // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле, 2022, Т. 505, № 1, С. 89-94.
6. Смирнов В.В. Ионизация в тропосфере. – С.-Пб.: Гидрометиздат, 1992.
7. Abdelaal M. E. et al. Experimental Modeling of Atmospheric Discharge Phenomena and Charged Dust Particle Interactions [in print], 2024.

**О ПЕРЕНОСЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПЫЛИ
КОНВЕКТИВНЫМИ СТРУКТУРАМИ**

*Малиновская Елена Александровна, Чхетиани Отто Гурамович,
Максименков Леонид Олегович, Лебедев Владимир Александрович,
Азизян Генрих Вачаганович*

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН,
г. Москва, Россия*

Аннотация. Данные пульсационных измерений полей температуры, скорости, концентрации пылевого аэрозоля и напряженности электрического поля в приповерхностном слое воздуха в аридных условиях в летнее время демонстрируют наличие субмезомасштабных структур конвективного характера, проявляющих общеуниверсальные статистические свойства.

Ключевые слова: пылевой аэрозоль, заряженные частицы в атмосфере, конвективный и турбулентный перенос.

**ON THE TRANSPORT OF CHARGED DUST PARTICLES BY
CONVECTIVE STRUCTURES**

*Malinovskaya Elena Alexandrovna, Chkhetiani Otto Guramovich,
Maksimenkov Leonid Olegovich, Lebedev Vladimir Alexandrovich,
Azizyan Genrikh Vachaganovich*

*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS,
Moscow, Russia*

Annotation. The data of high-frequency pulsation measurements of temperature, velocity, dust aerosol concentration, and electric field strength in the near-surface air layer in arid conditions in summer time demonstrate the presence of submesoscale convective structures that exhibit general universal statistical properties.

Keywords: dust aerosol, charged particles in the atmosphere, convective and turbulent transport.

Основным элементом, участвующим в выносе и переносе тепла и субмикронного аэрозоля в условиях сильного прогрева поверхности и слабых и умеренных ветров в аридных условиях, являются

конвективные вихревые образования разных масштабов. Подобные структурные элементы давно отмечаются в изменениях пульсаций температуры и скорости в форме треугольных пилообразных всплесков - «рампов» [1]. Значительная часть этих наблюдений была получена в приземном слое на высотах более 1.5 м при естественной конвекции над различными территориями в условиях не слишком жаркой погоды [1]. Однако, как выяснилось, ramпы имеют более четкую структуру и в приповерхностном слое воздуха на малых высотах (менее 1 метра). Впервые ramпы отмечались нами для измерений 2010-2011 гг. и было четко выявлены уже в специализированном эксперименте летом 2022 года [3]. Следует отметить, что для спектральных распределений пульсационных величин наблюдаются универсальные для конвективных процессов в целом свойства и наклоны, позволяющие также определить и характерные частоты (масштабы) структур. Так, классический наклон « $-5/3$ » отмечается на высотах до 50 м в атмосферном пограничном слое [8].

Для логарифмического, динамико-конвективного подслоев и подслоя свободной конвекции наклоны меняются от « $-2/3$ » до « $-5/3$ » [2], [4]. Наблюдения и соответствующие теоретические оценки дают также следующие возможные степенные показатели для спектральных наклонов: $-5/3$, -1 , $-(2-5)$ ([5]) и -1 , $-4/3$ ([6]), -5 [7], $-4/3$, -1 и $-7/3$ [3]. В представляемой работе по результатам полевых измерений за 2023 год проведено комплексное исследование возникновения структур в конвективных условиях над нагретой до $35-50^{\circ}\text{C}$ для различных полей физических величин: температуры и скорости воздушного потока (термоанемометрия горячей проволоочки, проволоочный термометр (толщина проволоочки 10 мкм, частота регистрации (ЧР) 1000 Гц [3], высота 10 см), концентрации пылевого аэрозоля на высоте 20 см (нефелометр «Феникс-М», ЧР 100 Гц) и напряженность электрического поля (ПН-2014М производства НПО «Тайфун», ЧР 100 Гц, на высоте 30 см). Для всех видов данных определены соответствующие спектральные функции.

Сами ramпы непосредственно могут быть выделены из общего набора данных по таким внешним особенностям, как более медленное увеличение наблюдаемой величины и последующее резкое падение (или противоположная ситуация). Это связано с тем, что конвективная структура поднимается от поверхности, при этом она переносится ветром. В первую очередь датчик фиксирует размытый ветром край структуры, а затем более четкую ее границу, формируемую под воздействием потока.

Подобные структуры по данным полевых измерений 2023 года выявлены не только для температуры и вертикальной скорости в приповерхностном слое, но и для концентраций пылевого аэрозоля, и величины напряженности электрического поля (с временными масштабами от 5 до 15 с, рисунок 1.

Спектры температуры, скорости, концентрации аэрозоля и величины напряженности электрического поля носят степенной характер с несколькими наклонами для разных интервалов частот, рисунок 2. Выделено от двух до трех участков. По своей структуре спектральные функции для рассматриваемых величин несколько отличаются. Для спектров пульсационных составляющих воздушного потока можно выделить на участке до 100 Гц три вида наклонов: $-0.3 \div -0.6$ низкие частоты до 0.1-0.3 Гц, $-1 \div -1.3$ для следующего интервала до 1-10 Гц, и на более высоких частотах инерционный интервал с наклоном $-5/3$ ($-1.6 \div -1.7$). Для пульсационных составляющих температуры могут быть выделены для близких частотных интервалов наклоны соответственно $-0.1 \div -1.0$, -1.7 и $-2 \div -4$. Похожую на структуру для температуры имеют спектры пульсационных составляющих концентрации пылевого аэрозоля, но уже в других более высоких частотах (меньших масштабах). Спектры для напряженности электрического поля дают в средних частотах 0.2-10 Гц инерционный интервал с наклоном $-5/3$. На более низких частотах наклон составляет $-2 \div -4$, на более высоких соответствует $-1 \div -1.3$.

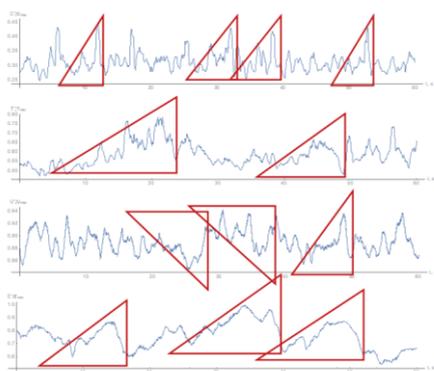


Рисунок 1 – Примеры «рампов» во временном ходе изменения средних за 0.6 с относительных значений пульсационных составляющих (текущее и максимальное значение пульсаций температуры: T' и T_{max} , скорости: U' и U_{max} , концентрации частиц: C' и C_{max} и напряженности электрического поля: E' и E_{max}

Степени для первой точки близки к -1 для размеров структур порядка метра характерны для жаркого времени дня после прогрева поверхности в условиях световой тени. Степени от -1.1 до -1.3 характерны для менее прогретого воздуха в условиях облачности для малых масштабов от 0.1 до 0.6 м [3]. Степень «-1» связывается с наличием тепловых неоднородностей и значительного температурного градиента. «-4/3» обусловлено условием сохранения тепловых неоднородностей, порождающих турбулентные пульсации [3].

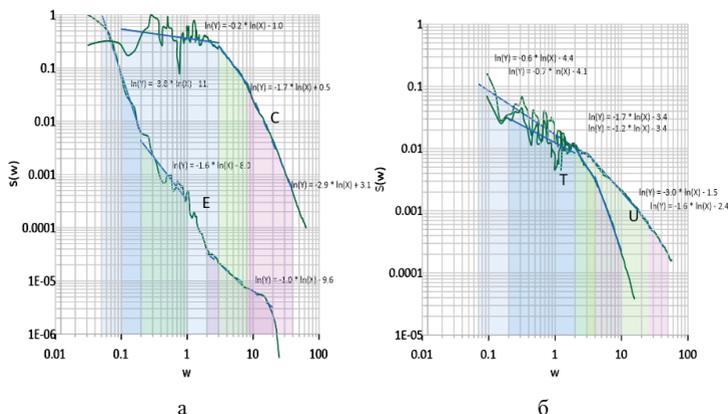


Рисунок 2 – Спектральные функции: а – для напряженности электрического поля (E) и концентрации пылевого аэрозоля (C), б – для температуры (T) и для скорости (U)

Исходя из представлений о вмороженности турбулентности, справедливых при слабо меняющихся и умеренных ветровых условиях, для характерных масштабов структур получены значения, варьирующиеся от 0.2 до 2 м и от 0.02 до 0.1 м для первой и второй точек перегиба спектра.

Сопоставим характерные масштабы для нижней частоты на инерционном интервале с наклоном «-5/3» для спектров, рисунок 3, при скорости ветра на высоте 30 см 5.9 м/с (температура воздуха 34 °С). Малые масштабы для скорости говорят об их соответствии потокам, обтекающим структуры. Для соотношения масштабов температуры и концентрации заключаем, что конвективная структура может поднимать от поверхности в своем ядре пылевой аэрозоль. В тоже время наличие электрических структур можно связывать с влиянием на однородность электрического поля заряженных частиц пыли в ядре конвективной структуры.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда - проект №20-17-00214.

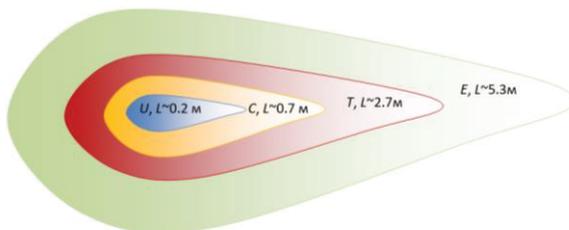


Рисунок 3 – Пример соотношения масштабов для нижней частоты на инерционном интервале с наклоном «-5/3» для всех измеряемых величин: L – пространственный масштаб, U –вертикальная скорость, T – температура, C – концентрация аэрозоля, E –напряженность вертикальной компоненты электрического поля.

Список использованной литературы

1. Taylor R. J. Thermal structures in the lowest layers of the atmosphere. *Australian Journal of Physics*. 1958. Vol. 11(2). P. 168-176.
2. Кадер Б.А. Трехслойная структура неустойчиво стратифицированного приземного слоя атмосферы. *Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана*. 1988, Т. 28. № 12. С 1235–1250.
3. Malinovskaya, E.A., Chkhetiani, O.G. & Azizyan, G.V. On the Structure of Temperature Pulsations near the Surface under Convective Conditions. *Dokl. Earth Sc.* (2024). <https://doi.org/10.1134/S1028334X24601159>.
4. Gorchakov, G.I., Chkhetiani, O.G., Karpov, A.V. et al. Aerosol and Heat Turbulent Fluxes on a Desertified Area upon the Intermittent Emission of Dust Aerosol. *Dokl. Earth Sc.* (2024). <https://doi.org/10.1134/S1028334X23603024>.
5. Martens C.P. Spectrum of turbulence with temperature gradient (in the atmosphere). *Journal of Physics A*. 1976. Vol. 9(10). p. 1751-1770.
6. Гисина Ф. А. Расчет основных спектральных характеристик турбулентности в термически стратифицированной атмосфере. *Труды Ленинградского гидрометеорологического института*. 1968, Вып. 34. С. 49-58.
7. Сазонтов А.Г. Соотношение подобия и спектры турбулентности в стратифицированной среде. *Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана*. 1979. Т. 15. № 8, С. 820-828.

ЛАМИНАРНОЕ И ТУРБУЛЕНТНОЕ ТЕЧЕНИЕ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

Петрова Вера Валерьевна, Зайцева Ирина Владимировна
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»,

г. Санкт-Петербург, Россия, *tutor.tiger@yandex.ru, i.zaitseva@rshu.ru*

Аннотация. В статье рассмотрен переход от ламинарного течения жидкости к турбулентному в зависимости от наклона течения жидкости и глубины потока.

Ключевые слова: ламинарность, турбулентность, вязкая жидкость.

LAMINAR AND TURBULENT FLOW VISCOUS LIQUID

Petrova Vera Valeryevna, Zaitseva Irina Vladimirovna
Russian State Hydrometeorological University,
St. Petersburg, Russia, tutor.tiger@yandex.ru, i.zaitseva@rshu.ru

Annotation. The article considers the transition from laminar to turbulent fluid flow depending on the slope of the fluid flow and the depth of the flow.

Keywords: laminarity, turbulence, viscous liquid.

Гидродинамика вязкой жидкости, как известно, основана на уравнениях Навье – Стокса, описывающих её движение [2]. Несмотря на свою сложность, в некоторых частных случаях система уравнений Навье – Стокса допускает аналитическое решение. Например, задача о течении вязкой жидкости в поле силы тяжести под небольшим углом α к горизонту [2, 3]. Введём декартову систему координат $Oxyz$ таким образом, чтобы ось Oz была направлена вверх, ось Ox по течению жидкости, а ось Oy перпендикулярна осям Ox , Oz и, соответственно, перпендикулярна течению жидкости. Считаем, что жидкость ограничена сверху свободной поверхностью, а снизу неподвижной плоскостью Oxy , рисунок 1). Тогда, согласно [1], можем проинтегрировать систему уравнений Навье – Стокса и определить зависимость скорости течения от глубины.

$$v = \frac{g}{2\nu} \sin \alpha \cdot (2hz - z^2),$$

где g – ускорение свободного падения, ν – кинематическая вязкость жидкости, h – наибольшая глубина.

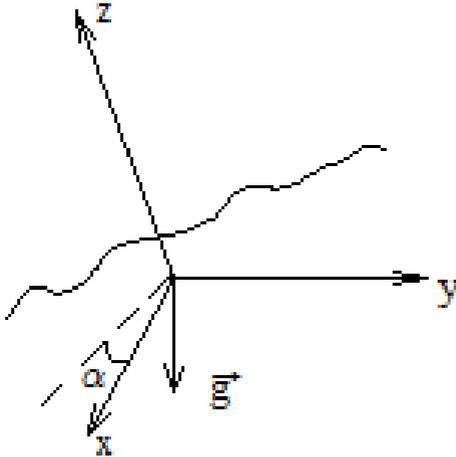


Рисунок 1 – Система координат, в которой рассматривается течение вязкой жидкости под углом к горизонту

Вычислим максимальную и среднюю скорость потока жидкости в этом случае. Максимальную скорость определить легко. Из условия задачи очевидно, что

$$v_{max} = v(h) = \frac{g}{2\nu} \sin \alpha \cdot h^2. \quad (1)$$

Для вычисления средней скорости требуется вычислить расход жидкости, т.к.

$$v_{cp} \cdot S = Q,$$

где Q – расход жидкости, S – площадь поперечного сечения потока. Пусть ширина потока y_* , тогда $S = y_* \cdot h$. Расход жидкости через это сечение вычисляется с помощью двойного интеграла

$$\begin{aligned} Q &= \int_0^{y_*} dy \int_0^h v(z) dz = y_* \cdot \int_0^h \frac{g}{2\nu} \sin \alpha \cdot (2hz - z^2) dz \\ &= \frac{gy_*}{2\nu} \sin \alpha \cdot \left(2h \frac{z^2}{2} - \frac{z^3}{3} \right) \Big|_0^h = \frac{gy_*}{2\nu} \sin \alpha \cdot \frac{2}{3} h^3. \end{aligned}$$

Таким образом,

$$v_{cp} \cdot y_* \cdot h = \frac{gy_*}{2\nu} \sin \alpha \cdot \frac{2}{3} h^3,$$

$$v_{cp} = \frac{g}{2\nu} \sin \alpha \cdot \frac{2}{3} h^2 = \frac{2}{3} v_{max}. \quad (2)$$

Средняя скорость потока необходима для разделения потоков на ламинарные и турбулентные. С её помощью вычисляют так называемое число Рейнольдса [2-5]

$$R = \frac{v_{cp} \cdot h}{\nu}. \quad (3)$$

Экспериментально Рейнольдс установил, что течение ламинарно при $R < 2320$ и турбулентно при $R > 12900$. При $2320 < R < 12900$ течение может быть и ламинарным, и турбулентным, т.е. переходит из одного состояния в другое.

Рассмотрим максимальную и среднюю скорости потока воды ($\nu = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$), а также число Рейнольдса при различной глубине потока h . Пусть угол наклона течения очень мал, $\sin \alpha \approx 10^{-6}$. Результаты вычислений по формулам (1) – (3) сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Скорость течения и число Рейнольдса при угле наклона $\sin \alpha \approx 10^{-6}$

h , м	v_{max} , м/с	v_{cp} , м/с	R
0.1	0.05	0.03	3333.33
0.5	1.25	0.83	416 667
1	5	3.33	$3.33 \cdot 10^6$
1.5	11.25	7.5	$1.125 \cdot 10^7$
2	20	13.33	$2.667 \cdot 10^7$
2.5	31.25	20.83	$5.208 \cdot 10^7$
3	45	30	$9 \cdot 10^7$
3.5	61.25	40.83	$1.429 \cdot 10^8$
4	80	53.33	$2.13 \cdot 10^8$

Видно, что течение в этом случае нельзя считать в строгом смысле ламинарным даже при глубине $h = 10$ см. Кроме того, начиная с $h = 1$ м скорость течения становится абсурдно большой.

Это связано с тем, что при решении задачи о течении жидкости под действием силы тяжести течение априори полагалось ламинарным, что при такой глубине невозможно.

Уменьшим угол наклона течения. Пусть $\sin \alpha \approx 10^{-8}$.

Результаты вычислений по формулам (1) – (3) приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Скорость течения и число Рейнольдса при угле наклона $\sin \alpha \approx 10^{-8}$

h , м	v_{max} , м/с	v_{cp} , м/с	R
0.1	0.0005	0.00033	33.33
0.5	0.0125	0.0083	4166.67
1	0.05	0.033	33 333
1.5	0.112	0.075	112 500
2	0.2	0.133	266 667
2.5	0.312	0.208	520 833
3	0.45	0.3	900 000
3.5	0.612	0.408	$1.43 \cdot 10^6$
4	0.8	0.53	$2.13 \cdot 10^6$

Проанализировав результаты вычислений, заключаем, что переход от устойчивого ламинарного потока к неустойчивому состоянию происходит при изменении глубины от 0.5 м к 1 м, а полностью турбулентный поток возникает на глубине от 1 м до 1.5 м. Уточним вычисления и проведем расчеты с более мелким шагом на этих глубинах.

Результаты приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Скорость течения и число Рейнольдса при угле наклона $\sin \alpha \approx 10^{-6}$ с более мелким шагом

h , м	v_{max} , м/с	v_{cp} , м/с	R
0.1	0.0005	0.0003	33.33
0.2	0.002	0.0013	266.667
0.3	0.0045	0.003	900
0.4	0.008	0.0053	2133.33
0.5	0.0125	0.0083	4166.67

Таблица 4 – Скорость течения и число Рейнольдса при угле наклона $\sin \alpha \approx 10^{-8}$ с более мелким шагом

h , м	v_{max} , м/с	v_{cp} , м/с	R
0.6	0.018	0.012	7200
0.7	0.0245	0.016	11 433.3
0.8	0.032	0.021	17 066.7
0.9	0.04	0.027	24 300
1.0	0.05	0.033	33 333.3

Таким образом можем еще более уточнить результаты: переход от устойчивого ламинарного потока к неустойчивому состоянию ламинарности – турбулентности при малом угле течения потока происходит при изменении глубины от 0.4 м до 0.5 м, а полностью турбулентный поток возникает при глубине от 0.6 м до 0.7 м. Слой неустойчивого состояния воды оказывается весьма узким.

Полученные результаты могут быть применены при расчете нагрузок, испытываемых твердыми телами, находящимися в потоке жидкости, т.к. ламинарный и турбулентный поток оказывают разное механическое воздействие при обтекании.

Список использованной литературы

1. Петрова В.В. Изменение течения вязкой жидкости при различных температурных условиях. ИнфоГео-2019. Информационные технологии и системы: управление, транспорт, право. 2019, №3(35), с.191 – 195.
2. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Т. 1, 2.
3. Калекин А.А. Основы гидравлики и теоретической гидромеханики. Изд. «Мир», 2008.
4. Петрова В.В. Исследование свободной поверхности тяжелой однородной жидкости во вращающемся сосуде // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2022. № S2. С. 85-89.
5. Петрова В.В. Теоретическая механика в метеорологии. Санкт-Петербург, 2022. – 72 с.

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АТМОСФЕРЫ НА ПРИНИМАЕМЫЙ СИГНАЛ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЗРАЧНОСТИ

*Потапова Ирина Александровна¹, Волкова Надежда
Александровна¹, Михеева Елена Юрьевна¹, Потапова Вероника
Ростиславовна², Хлябич Петр Петрович¹*

¹ *Российский государственный гидрометеорологический
университет, г. Санкт-Петербург, Россия, potapovaira@yandex.ru*

² *Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. В статье рассматривается влияние естественного рассеянного излучения атмосферы на отраженный сигнал, полученный из атмосферы, и возможность измерения мощности с помощью ЛИДАРа при изучении атмосферы с низкой мутностью. Также описывается принцип работы ЛИДАРа и методы обработки данных. В работе предлагается способ определения коэффициента ослабления на всем пути зондирования без необходимости повторного процесса. Особое внимание уделяется улучшению методов обработки данных ЛИДАРа для быстрого и точного анализа результатов зондирования. Это исследование имеет практическое значение для изучения загрязнений атмосферы и климатических условий на планете.

Ключевые слова: отраженный сигнал, атмосфера, лидар, зондирование, коэффициент ослабления, коэффициент обратного рассеяния.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF NATURAL ATMOSPHERIC RADIATION ON THE RECEIVED SIGNAL IN THE STUDY OF TRANSPARENCY

*Potapova Irina Alexandrovna¹, Volkova Nadezhda Alexandrovna¹,
Mikheeva Elena Yurievna¹, Potapova Veronika Rostislavovna²,
Khlyabich Peter Petrovich¹*

¹ *Russian State Hydrometeorological University,
St. Petersburg, Russia, potapovaira@yandex.ru*

² *Baltic State Technical University "VOENMEKH",
St. Petersburg, Russia*

Annotation. The article examines the effect of natural ambient radiation of the atmosphere on the reflected signal received from the atmosphere and the possibility of measuring power using LIDAR when studying the atmosphere with low turbidity. The principle of LIDAR operation and data processing methods are also described. The paper proposes a method for determining the attenuation coefficient along the entire sensing path without the need for a repeat process. Special attention is paid to improving LIDAR data processing methods for fast and accurate analysis of sensing results. This research is of practical importance for studying atmospheric pollution and climatic conditions on the planet.

Keywords: reflected signal, atmosphere, lidar, sensing, attenuation coefficient, backscattering coefficient.

Атмосфера, это слой газов вокруг Земли, который поддерживает жизнь, включая растения и животных. Состоит она преимущественно из воздуха (78%) и азота (21%), но также содержит аэрозольные частицы, которые влияют на освещение планеты и климатические условия. Аэрозоли, такие как облака, вулканическая пыль и туман, оказывают значительное воздействие на состояние атмосферы.

Для изучения загрязнений атмосферы можно применять технологию ЛИДАР (от англ. Light Detection and Ranging), которая позволяет измерять концентрацию аэрозольных частиц и газов. ЛИДАР использует активные оптические системы, основанные на явлениях отражения и рассеивания света в прозрачных и полупрозрачных средах для получения информации об объектах на расстоянии [1-5]. Для анализа данных ЛИДАРа применяется эхолокационное уравнение [6-11], которое связывает сигнал обратного рассеяния с коэффициентами обратного и рассеяния ослабления.

$$P_r(R) = P_0 * \left(\frac{c\tau}{2}\right) * \beta(R) * A_r * R - \exp(-2 \int \alpha(r)dr), \quad (1)$$

где:

$P_r(R)$ – мгновенное значение принимаемой мощности в момент времени t ,

P_0 – посылаемая мощность в момент времени t_0 ,

c – скорость света,

τ длительность импульса,

β – объемный коэффициент рассеяния,

R – расстояние до объекта,

A_r – эффективная площадь приемника,

α – объемный коэффициент ослабления.

Для анализа информации, полученной с помощью ЛИДАРа, часто применяется метод последовательного приближения, который требует много времени [12, 13]. Для повышения эффективности этого процесса можно использовать метод с итерационными процессами [14-18, 25, 26], но из-за нелинейности задачи результаты могут быть неточными [19-21]. Для решения такой проблемы можно использовать метод без итераций [14, 15].

В случае, когда атмосфера достаточно однородна и коэффициенты ослабления и обратного рассеяния не меняются на всем пути зондирования, мы получаем лидарное уравнение, которое можно записать следующим образом:

$$P_i = P_* + \frac{B}{R_i^2} \exp(-2\sigma R_i), \quad (2)$$

где

$$B = A\beta. \quad (3)$$

A – постоянная лидара,

β – коэффициент обратного рассеяния,

σ – коэффициент ослабления,

P – мощность сигнала обратного рассеяния,

P_* – мощность солнечного излучения, рассеянного атмосферой в направлении на приемное устройство ЛИДАРа,

R – расстояние между лидаром и i – М рассеивающим элементом.

Проблема решения задачи связана с необходимостью найти неизвестные константы, а именно P_* , B , σ . Для этого рассмотрим уравнения, записанные для соседних точек трассы исследования, вместе с уравнением (2).

$$P_{i+1} = P_* + \frac{B}{R_{i+1}^2} \exp(-2\sigma R_{i+1}), \quad (4)$$

$$P_{i+2} = P_* + \frac{B}{R_{i+2}^2} \exp(-2\sigma R_{i+2}). \quad (5)$$

Из данных выражений (2), (4), (5) было получено:

$$\frac{(P_i - P_*)R_i^2}{(P_{i+1} - P_*)R_{i+1}^2} = \frac{(P_{i+1} - P_*)R_{i+1}^2}{(P_{i+2} - P_*)R_{i+2}^2} = \exp(2\sigma h), \quad (6)$$

где h - постоянная величина, шаг,

$$h = R_{i+1} - R_i. \quad (7)$$

Из уравнения (7) можно получить сумму

$$\delta_*^2 = \sum_1^n a_i P_*^2 + b_i P_* + c_i, \quad (8)$$

где

$$a_i = R_{i+1}^4 - R_i^2 R_{i+2}^2, \quad (9)$$

$$b_i = (P_i + P_{i+2})R_i^2 R_{i+2}^2 - 2P_{i+1} R_{i+1}^4, \quad (10)$$

$$c_i = P_{i+1}^2 R_{i+1}^4 - P_i P_{i+2} R_i^2 R_{i+2}^2. \quad (11)$$

На основании полученных формул можно составить уравнение для расчета фоновой засветки:

$$P_*^3 + aP_*^2 + bP_* + c = 0, \quad (12)$$

где

$$a = \frac{3 \sum_1^n a_i b_i}{2 \sum_1^n a_i^2}, \quad b = \frac{\sum_1^n (2c_i + a_i) a_i}{2 \sum_1^n a_i^2}, \quad c = \frac{\sum_1^n b_i c_i}{2 \sum_1^n a_i^2}. \quad (13)$$

Решение уравнения Кардано (12):

$$P_* = a_* + b_* - \frac{a}{3}, \quad (14)$$

где

$$a_* = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{Q}}, \quad b_* = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{Q}}, \quad (15)$$

$$Q = \left(\frac{P}{3}\right)^3 + \left(\frac{q}{2}\right)^2, \quad p = -\frac{a^2}{3} + b,$$

$$q = 2\left(\frac{a}{3}\right)^3 - \frac{ab}{3} + c. \quad (16)$$

Для определения концентрации загрязняющих веществ необходимо найти минимум погрешности коэффициента ослабления σ . Для этого следует минимизировать сумму:

$$\delta^2 = \sum_1^n (C - S_i - 2\sigma \int_{R_0}^{R_i} S dR)^2, \quad (17)$$

где $S = (P - P_*)R^2$.

Для вычисления σ (коэффициент ослабления) образуется равенство

$$\sigma = \frac{\frac{1}{2} \sum_1^n S_i \sum_1^n \int_{R_0}^{R_i} S dR - n \sum_1^n (S_i \int_{R_0}^{R_i} S dR)}{n \sum_1^n \left(\int_{R_0}^{R_i} S dR\right)^2 - \left(\sum_1^n \int_{R_0}^{R_i} S dR\right)^2}. \quad (18)$$

В уравнениях (17, 18) существует погрешность численного интегрирования, что является недостатком метода [22].

Исследование выявило, что обработка данных с ЛИДАРa может быть трудоемкой и занимать много времени при использовании метода последовательного приближения. Для ускорения процесса можно использовать метод итераций, но это может привести к существенным погрешностям из-за нелинейности задачи. Для преодоления этой проблемы можно применить метод без итераций. Несмотря на сложности, методы обработки данных с ЛИДАРa все же обеспечивают достаточно точные и быстрые результаты. Однако для обеспечения быстрой обработки данных не только для аэрозольной фракции и концентрации газовых компонентов при лидарном зондировании,

необходимо дальнейшее совершенствование и разработка новых методов.

Список использованной литературы

1. Бобровский А.П., Дьяченко Н.В., Косцов В.В., Михтеева Е.Ю., Потапова И.А., Скобликова А.Л., Хлябич П.П., Яковлева Т.Ю. Автоматизация спектрометрии грубодисперсной аэрозольной фракции // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2022. № S1. С. 57-60.

2. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б., Драбенко В.А. Лидарное зондирование атмосферного аэрозоля // Метеорологический вестник. 2013. Т. 5. № 2. С. 42-51.

3. Егоров А.Д., Потапова И.А. Лидарные исследования прозрачности атмосферы // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2004. № 553. С. 131-142.

4. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б., Ошуркова А.А. Методы лидарного зондирования аэрозольных загрязнений атмосферы импульсами конечной длительности // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 18. С. 48-56.

5. Потапова И.А., Бобровский А.П., Дьяченко Н.В., Ржонсницкая Ю.Б., Саноцкая Н.А., Скобликова А.Л., Яковлева Т.Ю. Модель процесса экстремального рассеяния света частицей атмосферного аэрозоля // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2021. Т. 64. № 5. С. 376-383.

6. Бобровский А.П., Дьяченко Н.В., Косцов В.В., Михтеева Е.Ю., Потапова И.А., Скобликова А.Л., Хлябич П.П., Яковлева Т.Ю. Лидарная прозрачнметрия слабо замутненной атмосферы с учетом фоновой засветки // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2022. № S1. С. 47-50.

7. Бобровский А.П., Дьяченко Н.В., Михтеева Е.Ю., Потапова И.А., Скобликова А.Л., Хлябич П.П., Яковлева Т.Ю. Определение фоновой засветки слабо замутненной атмосферы и ее влияние на точность определения прозрачности // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции «Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России». 2022. С. 372-376.

8. Потапова И.А., Тиханов А.В. Влияние солнечного излучения на определение коэффициента ослабления для слабо замутнённой атмосферы при лидарных измерениях // В сборнике:

Инновационное развитие информационных систем и технологий в гидрометеорологии. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2022. С. 216-221.

9. Потапова И.А., Бобровский А.П., Дьяченко Н.В., Ржонсницкая Ю.Б., Саноцкая Н.А., Скобликова А.Л., Яковлева Т.Ю. Модель процесса экстремального рассеяния света частицей атмосферного аэрозоля // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2021. Т. 64. № 5. С. 376-383.

10. А.П. Бобровский, Н.В. Дьяченко, Е.Ю. Михтеева, И.А. Потапова, А.Л.Скобликова, П.П. Хлябич, Т.Ю. Яковлева. Определение фоновой засветки слабо замутненной атмосферы и ее влияние на точность определения прозрачности атмосферы // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России: материалы V Всероссийской научно-практической конференции. Иркутск, 23–25 ноября 2022 г. / ФГБОУ ВО «ИГУ»; отв. ред. Е. Н. Сутырина. – Иркутск: Издательство ИГУ, 2023. С. 372-376.

11. Бобровский А.П., Дьяченко Н.В., Косцов В.В., Михтеева Е.Ю., Потапова И.А., Скобликова А.Л., Хлябич П.П., Яковлева Т.Ю. Лидарная прозрачметрия слабо замутненной атмосферы // В сборнике: Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к Году науки и технологий. Иркутск, 2021. С. 495-500.

12. Драбенко В.А., Егоров А.Д., Галкин И.А., Потапова И.А., Драбенко Д.В., Игнатенко В.М., Потапова В.Р. Способ аспирационной оптической спектрометрии аэрозольных частиц // Патент на изобретение RU 2681256 С2, 05.03.2019. Заявка № 2016120373 от 25.05.2016.

13. Потапова И.А., Егоров А.Д., Дьяченко Н.В., Саноцкая Н.А., Скобликова А.Л., Яковлева Т.Ю. Интерпретация слабого радиационного излучения при лидарном зондировании атмосферы // В книге: АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ и ДИНАМИКА (МСАРД – 2019). Международный симпозиум. Тезисы. 2019. С. 189-190.

14. Бобровский А.П., Дьяченко Н.В., Егоров А.Д., Косцов В.В., Калинин Д.В., Куклин О.А., Михтеева Е.Ю., Потапова И.А., Скобликова А.Л., Хлябич П.П., Яковлева Т.Ю. Алгоритм лидарного определения фоновой засветки и коэффициента ослабления слабо замутненной атмосферы без итерационного процесса // В книге: Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития

Российской Федерации. Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 58-60.

15. Дьяченко Н.В., Потапова И.А., Саватнеев А.Н., Хлябич П.П., Яковлева Т.Ю. Интерпретация Лидарной Информации При Зондировании Грубодисперсной Аэрозольной Фракции // В сборнике: Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. Под редакцией И.В. Зайцевой. Санкт-Петербург. 2023. С. 105-110.

16. Бобровский А.П., Дьяченко Н.В., Егоров А.Д., Косцов В.В., Калинин Д.В., Михтеева Е.Ю., Потапова И.А., Скобликова А.Л., Хлябич П.П., Яковлева Т.Ю. Влияние фоновой засветки на точность определения прозрачности слабо замутненной атмосферы // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2019. № 4 (36). С. 49-52.

17. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б. Обращение слабых сигналов обратного рассеяния // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 22. С. 144-148.

18. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б., Саноцкая Н.А. Способ дистанционного оптического зондирования слабо рассеивающей атмосферы // Патент на изобретение RU 2495452 С2, 10.10.2013. Заявка № 2011143951/28 от 31.10.2011.

19. Егоров А.Д., Потапова И.А. Способ определения прозрачности атмосферы / Патент на изобретение RU 2439626 С2, 10.01.2012. Заявка № 2009144060 / 28 от 27.11.2009.

20. Егоров А.Д., Блакитная П.А., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б., Саноцкая Н.А. Способ оптического зондирования атмосферы // Патент на изобретение RU 2441261 С1, 27.01.2012. Заявка № 2010143286/28 от 22.10.2010.

21. Потапова И.А. Оценка инструментальных погрешностей лидарных измерений атмосферных характеристик // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2009. № 9. С. 86-91.

22. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б., Саноцкая Н.А. Оценка погрешностей результатов лидарного зондирования слабо замутненной атмосферы // Оптический журнал. 2013. Т. 80. № 3. С. 58-60.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЯННОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫМИ В ВОЗДУХЕ
КРУПНОДИСПЕРСНЫМИ АЭРОЗОЛЯМИ**

*Потапова Ирина Александровна¹, Дьяченко Наталия
Владимировна¹, Потапова Вероника Ростиславовна²,
Ржонсницкая Юлия Борисовна³, Скобликова Анна Львовна¹*

¹ *Российский государственный гидрометеорологический
университет, г. Санкт-Петербург, Россия, potapovaira@yandex.ru*

² *Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия*

³ *Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Национальный исследовательский
университет ИТМО, Россия, г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. В статье проведен анализ работы, посвященной созданию моделей для определения параметров рассеяния излучения, вызванного аэрозольными частицами в атмосфере. В ходе исследования было выполнено моделирование свойств рассеивания аэрозольных частиц, что позволило получить более точное описание процесса рассеяния с использованием модели неоднородной частицы. Однако при использовании данной модели могут возникать существенные ошибки в оптическом определении размеров частиц. Для наиболее точного определения размеров и снижения вероятности ошибок необходимо провести дополнительную работу по улучшению моделирования и анализу данных.

Ключевые слова: атмосферный аэрозоль, черный углерод, рассеяние света, оптико-локационное уравнение, структура, моделирование, бесконтактные оптические методы зондирования, адекватное описание.

**MODELING OF THE CHARACTERISTICS OF SCATTERED
RADIATION BY LARGE-DISPERSED AEROSOLS SUSPENDED
IN THE AIR**

*Potapova Irina Alexandrovna¹, Dyachenko Natalia Vladimirovna¹,
Potapova Veronika Rostislavovna², Rzhonsnitskaya Yulia Borisovna³,
Skoblikova Anna Lvovna¹*

¹ Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
potapovaira@yandex.ru

² Baltic State Technical University "VOENMEKH", St. Petersburg

³ ITMO University, St. Petersburg, Russia

Annotation. The article analyzes the work devoted to the creation of models for determining the parameters of radiation scattering caused by aerosol particles in the atmosphere. In the course of the study, modeling of the dispersion properties of aerosol particles was performed, which made it possible to obtain a more accurate description of the scattering process using the inhomogeneous particle model. However, when using this model, significant errors may occur in the optical determination of particle sizes. For the most accurate sizing and reduction of the probability of errors, additional work needs to be done to improve modeling and data analysis.

Keywords: atmospheric aerosol, black carbon, light scattering, optical-location equation, structure modeling, non-contact optical sensing methods, adequate description.

Разработка методов лидарного зондирования атмосферы, важная для экологического мониторинга не только в арктической зоне, но и на более низких широтах, требует решения научных проблем, включая задачу интерпретации данных лидара. Оптические методы зондирования позволяют определить концентрацию и структуру загрязняющих веществ в атмосфере. В настоящее время в арктическом регионе наблюдается увеличение концентрации загрязнителей из-за различных источников, таких как лесные пожары, извержения вулканов, антропогенное воздействие крупных населенных пунктов и т. д.

Для определения влияния на климат загрязнения атмосферы необходимо выявлять виды загрязняющих веществ, такие как парниковые газы и черный углерод. Для этого удобно использовать оптические методы зондирования [1-6]. В связи с этим необходимо разработать методы определения вида веществ по их оптическим характеристикам с помощью оптико-локационного уравнения. Однако неопределенность этого уравнения и математическая сложность обратной задачи усложняют интерпретацию результатов и могут привести к неточным выводам.

Для повышения достоверности определения оптических характеристик атмосферного аэрозоля используются интегральные методы многопозиционного зондирования атмосферы [7-10]. В

условиях лидарного зондирования слабо рассеивающей атмосферы на больших расстояниях от приемопередатчика возрастает вероятность случайных и систематических ошибок измерений, включая неточности из-за фоновой засветки [11-15].

1. Результаты анализа данных натуральных экспериментов.

Необходимость определения характеристик микроструктуры аэрозоля, включая коэффициент ослабления частиц, требует параметризации их оптико-микроструктурных свойств. Это усложняется из-за разнообразия оптических особенностей аэрозольных фракций [16-20].

Среди других факторов, которые усложняют задачу, можно выделить значительное изменение рассеивающих характеристик частиц, которые не соответствуют теории рассеяния света однородной частицей. Моделирование рассеивающих свойств атмосферного аэрозоля с учетом данных эксперимента помогает установить корреляцию между коэффициентом ослабления и концентрацией частиц. В связи с этим проводится моделирование оптических свойств атмосферного аэрозоля с учетом данных эксперимента. При совместных лидарных, фотоэлектрических и трансмиссометрических измерениях было установлено, что есть связь между концентрацией частиц и коэффициентом ослабления. Особенно важно, что связь между коэффициентом ослабления и общей концентрацией частиц оказалась стабильной в серии экспериментов. Эта связь может быть использована для определения содержания аэрозоля в атмосфере.

Для объяснения результатов экспериментов рассматривается модель оптических свойств частиц, которая основана на данных из проведенных экспериментов и распределении размеров частиц, определяющих коэффициент ослабления аэрозоля. При этом учитываются результаты фильтровых измерений, полученных ФУ, проведенных одновременно с фотоэлектрическими измерениями. В атмосфере наблюдаются частицы, состоящие из ядра и оболочки с различными оптическими свойствами, например, обводненные частицы аэрозоля. Рассматривается зависимость отношений размеров частиц, найденных оптическим счетчиком $D(OC)$ и фильтровым устройством $D(ФУ)$, от коэффициента ослабления (рисунок 1).

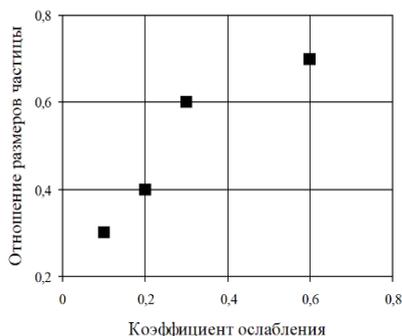


Рисунок 1 – Результаты сравнительного анализа размеров частиц, измеренных ОС, ФУ

Представленные данные показывают, что размеры частиц, измеренные оптическим счетчиком, оказываются меньше, чем размеры, измеренные фильтровым устройством. Это говорит о том, что индикатриса рассеяния под прямым углом, пропорциональная квадрату размера частицы, для естественных частиц меньше, чем для градуировочных частиц. Разница в размерах может быть значительной и особенно заметна для крупных частиц, размеры которых превышают 1 мкм.

2. Результаты моделирования характеристик рассеяния излучения частицей. Для более глубокого изучения данных натуральных измерений рассматривается модель неоднородной частицы, у которой показатель преломления в оболочке изменяется радиально, а ядро остается однородным. Ниже представлены результаты вычислений для частицы с ядром из сажи, у которой показатель преломления составляет $1.82-0.64i$ (рисунок 2).

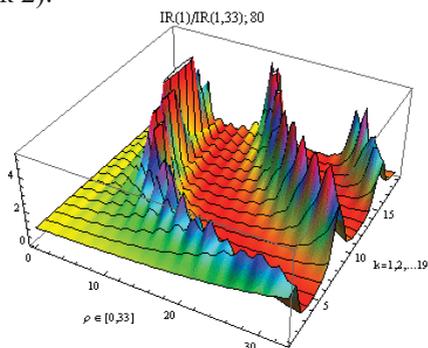


Рисунок 2 – Зависимость относительной индикатрисы рассеяния от структуры и размера частицы

Здесь $IR(1)/I(1,33)$ – относительная индикатриса рассеяния. Угол рассеяния 90 градусов выбран для моделирования процесса рассеяния в фотоэлектрическом счетчике частиц, $IR=I(L)/I(0)$, $L=\rho_1 - \rho_0$ – безразмерная толщина покрытия,

$$IR(1.33): \quad m=(0.98-1.28i)/(1+d)+0.84+0.64i, \quad (1)$$

$$IR(1): \quad m=(1.64-1.28i)/(1+d)+0.18+0.64i, \quad (2)$$

где

$$d = (\rho - \rho_0) / (\rho_1 - \rho_0), \quad \rho = \rho_0 (1 + 0,01k).$$

Величина $(1+0,01k)$ представляет собой отношение размера частицы, включая покрытие, к размеру ее ядра. Формула (1) моделирует неоднородное покрытие из сажи с водой. Формула (2) моделирует неоднородное покрытие из сажи без воды. На рисунке 2 приведены связи между величинами $IR(1)/IR(1,33)$ и ρ_0, k на котором видна область минимумов отношений $IR(1)/I(1,33)$. На рисунке 3 представлено значение G величины k , являющийся минимумом относительной индикатрисы рассеяния при наличии увлажненной оболочки ядра.

На рисунке 4 показано, что минимальное значение относительной индикатрисы рассеяния различается для частиц разного размера. Это негативно влияет на точность результатов оптических измерений характеристик аэрозоля.

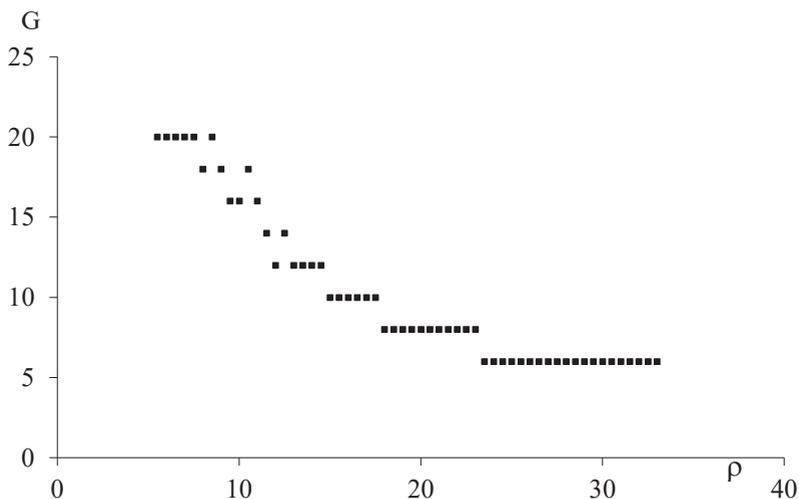


Рисунок 3 – Значение величины k , соответствующее минимуму индикатрисы



Рисунок 4 – Минимум относительной индикатрисы рассеяния при наличии увлажненного покрытия. Результаты измерений (1) и расчетов (2)

Полученные данные подтверждают результаты экспериментов, которые показывают значительное уменьшение индикатрисы рассеяния из-за структурированности частицы. Расчеты показывают, что эффект уменьшения индикатрисы рассеяния за счет структурированности частицы менее выражен при углах рассеяния менее 30 градусов.

Таким образом, была разработана модель неоднородной рассеивающей частицы, состоящей из однородного ядра и оболочки с переменным показателем преломления, что позволило адекватно описать экспериментальные данные.

Заключение. Для выявления микроструктурных особенностей с использованием оптических измерений была разработана модель неоднородной рассеивающей частицы, состоящей из однородного центра и оболочки с изменяющимся показателем преломления по радиусу. Эта модель имеет различные соотношения между оболочкой и центром и хорошо соответствует данным эксперимента. Было выявлено, что структурированность малых частиц слабо влияет на их свойства рассеяния, что повышает точность оптических измерений микроструктурных характеристик.

Список использованной литературы

1. Егоров А.Д., Блакитная П.А., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б., Саноцкая Н.А. Способ оптического зондирования атмосферы // Патент на изобретение RU 2441261 С1, 27.01.2012. Заявка №

2010143286/28 от 22.10.2010.

2. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б., Драбенко В.А. Лидарное зондирование атмосферного аэрозоля // Метеорологический вестник. 2013. Т. 5. № 2. С. 42-51.

3. Potapova I.A., Bobrovsky A.P., Dyachenko N.V., Rzhonsnitskaya Yu.B., Sanotskaya N.A., Mikhteeva E.Yu., Khlyabich P.P., Kostsov V.V. Method for solving the inverse problem of lidar sounding of a weakly turbid atmosphere // Journal of Instrument Engineering. 2021. Т. 64. № 5. С. 384-391.

4. Yegorov A.D., Potapova I.A., Rzhonsnitskaya Yu.B. Atmospheric aerosols measurements and reliability problem // International Journal of Remote Sensing, 2008. 29. Pp. 2449 – 2468.

5. Егоров А.Д., Потапова И.А. Лидарные исследования прозрачности атмосферы // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2004. № 553. С. 131-142.

6. Егоров А.Д., Потапова И.А. Способ определения прозрачности атмосферы // Патент на изобретение RU 2439626 С2, 10.01.2012. Заявка № 2009144060/28 от 27.11.2009.

7. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б., Ошуркова А.А. Методы лидарного зондирования аэрозольных загрязнений атмосферы импульсами конечной длительности // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 18. С. 48-56.

8. Потапова И.А., Бобровский А.П., Дьяченко Н.В., Ржонсницкая Ю.Б., Саноцкая Н.А., Скобликова А.Л., Яковлева Т.Ю. Модель процесса экстремального рассеяния света частицей атмосферного аэрозоля // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2021. Т. 64. № 5. С. 376-383.

9. Бобровский А.П., Дьяченко Н.В., Егоров А.Д., Косцов В.В., Калинин Д.В., Куклин О.А., Михтеева Е.Ю., Потапова И.А., Скобликова А.Л., Хлябич П.П., Яковлева Т.Ю. Алгоритм лидарного определения фоновой засветки и коэффициента ослабления слабо замутненной атмосферы без итерационного процесса // В книге: Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации. Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 58-60.

10. Egorov A.D., Potapova I.A., Rzhonsnitskaya Yu.B. "The treatment of low-power lidar signals" // J. Opt. Technol., 2007. 74. Pp. 665-668.

11. Потапова И.А. Оценка инструментальных погрешностей

лидарных измерений атмосферных характеристик // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2009. № 9. С. 86-91.

12. Егоров А.Д., Потапова И.А., Привалов Д.В., Ржоненицкая Ю.Б. Систематические и случайные погрешности обращения лидарных сигналов малой мощности / Депонированная рукопись № 1230-гм2005 16.12.2005

13. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржоненицкая Ю.Б. Оценка случайных погрешностей лидарных измерений атмосферных характеристик // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 17. С. 51-55.

14. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржоненицкая Ю.Б., Саноцкая Н.А. Оценка погрешностей результатов лидарного зондирования слабо замутненной атмосферы // Оптический журнал. 2013. Т. 80. № 3. С. 58-60.

15. Егоров А.Д., Потапова И.А., Привалов Д.В. Систематические погрешности обращения лидарных сигналов малой мощности // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2006. № 555. С. 30-34.

16. Whitby K.T. (1978). The Physical Characteristics of Sulfur Aerosols. // Atmos. Environ. Vol. 12, p. 135-159.

17. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржоненицкая Ю.Б., Саноцкая Н.А. Определение оптических и микроструктурных характеристик атмосферного аэрозоля // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2009. № 11. С. 71-78.

18. Егоров А.Д., Потапова И.А. Определение характеристик аэрозоля лидарными системами // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2003. № 552. С. 14-18.

19. Егоров А.Д., Ржоненицкая Ю.Б., Потапова И.А., Саноцкая Н.А. Определение характеристик атмосферного аэрозоля по данным оптических измерений // Естественные и технические науки. 2010. № 1 (45). С. 215-222.

20. Yegorov A.D., Potapova I.A., Rzhonsnitskaya Yu.B., Sanotskaya N.A., Shchadin A.V. Atmospheric aerosol measurements and reliability problem: new results // International Journal of Remote Sensing, 2014, 35, 5750-5765.

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ БИОФИЗИКИ

**Пьянкова Мария Сергеевна¹, Бармасова Анна Михайловна¹,
Бармасов Александр Викторович^{1,2}, Яковлева Татьяна Юрьевна³**

¹ ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный педиатрический
медицинский университет Министерства здравоохранения РФ,

² ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет,

³ ФГБОУ ВО Российский государственный гидрометеорологический
университет, г. Санкт-Петербург, Россия, abarmasova@yandex.ru,
yakovtat@yandex.ru

Аннотация. Определены тенденции развития биофизики как междисциплинарной науки, обусловленной, в том числе, исследованиями в области биологии, физики, химии, математики. Приведены примеры актуальных для современного состояния биофизики инструментов и методов для изучения управления биосистемами на микро- и наноуровне.

Ключевые слова: тенденции развития биофизики, перспективные технологии.

THE MAIN TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF BIOPHYSICS

***Pyankova Maria Sergeevna¹, Barmasova Anna Mikhailovna¹,
Barmasov Alexander Viktorovich^{1,2}, Yakovleva Tatiana Yuryevna³***

¹ St. Petersburg State Pediatric Medical University
of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation,

² St. Petersburg State University,

³ Russian State Hydrometeorological University,
St. Petersburg, Russia, abarmasova@yandex.ru, yakovtat@yandex.ru

Annotation. The trends in the development of biophysics as an interdisciplinary science are determined, due to research in the field of biology, physics, chemistry, and mathematics among other things. Examples of tools and methods relevant to the current state of biophysics for studying the manipulation of biosystems at the micro- and nanoscale are given.

Keywords: trends in the development of biophysics, emergent technologies.

Являясь конвергентной наукой, объединяющей основы биологии, физики, химии и математики, биофизика в своём становлении прошла ряд последовательных этапов, которые отличала попытка учёных интерпретировать биологические явления при помощи простых и фундаментальных принципов и законов движения вещества и поля. Среди этих этапов можно выделить:

1. Изучение различных физиологических процессов (динамики дыхания, зрения и др.) с помощью методов физической химии с привлечением математического аппарата для обработки результатов в трудах русского физиолога И.М. Сеченова дало старт молекулярной физиологии.

2. При разработке проблем термодинамики немецкий физик Герман фон Гельмгольц руководствовался физическими законами для объяснения энергообмена живых систем. Исследуя работу зрительного аппарата, он смог измерить скорость проведения возбуждения по нерву.

3. Труды К.А. Тимирязева в области фотосинтеза привели к зарождению фотобиофизики.

Таким образом, биофизика как наука о наиболее простых и фундаментальных взаимодействиях, лежащих в основе функционирования биологических систем, развивалась на стыке физики, химии, биологии, т. е. наук, близких к ней, но всё же имеющих своё предметное поле и свои методы исследования.

Значительный вклад в биофизику внесла школа Ж. Лёба, сосредоточившаяся на выявлении физико-химической основы явлений партеногенеза и оплодотворения. Предметную физико-химическую интерпретацию получило явление антагонизма ионов. С открытием в 1922 г. в СССР Института биофизики, который возглавил П.П. Лазарев, была доказана решающая роль ионов в явлениях возбуждения. С.И. Вавилов своими работами о предельной чувствительности глаза, В.Ю. Чаговец ионной теорией возникновения биопотенциалов, а в дальнейшем и школа Н.К. Кольцова о влиянии физико-химических факторов внешней среды на клетки и их структуры, предметно обогатили биофизику. С.Р. Родионов и Г.М. Франк открыли явление фотореактивации, Е.К. Завойский – применение в биологии метода электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Важными вехами в описании действия биосистем стал рентгеноструктурный анализ и криоэлектронная микроскопия.

Окончательно современная биофизика выделилась в отдельную науку благодаря применению таких физических понятий, как

«энергия», «сила», «типы взаимодействий», «физическая и формальная кинетика», «термодинамика», «теория информации», фокусирующихся на природе основных взаимодействий и законов движения материи и их применении для обоснования биологических процессов и явлений.

В биофизике можно выделить несколько основных тенденций развития.

1. Современные технологии и методы измерений позволяют изучать биологические системы на молекулярном уровне с высокой точностью. Такой подход включает в себя различные методы спектроскопии, микроскопии, а также методы анализа данных, моделирования и компьютерного моделирования. Известно, что модели, полученные при помощи лазерного сканирования, облают большей релевантностью, чем те, что были получены по результатам фотографирования. Однако временные затраты в первом случае больше, чем во втором [1].

2. Биофизика всё больше становится междисциплинарной наукой, включающей в себя элементы физики, биологии, химии и математики. Это позволяет ей исследовать применяемые концепции и методы из разных областей для понимания сложных биологических систем.

Возникновение физической химии значимо повлияло на развитие биофизики. Доказательная база данного тезиса может быть представлена следующими аргументами:

– применение методов физической химии, таких как спектроскопия, кинетика реакций и термодинамика, к биологическим системам, позволяет понять и объяснить множество биологических явлений. Например, ИК-спектроскопия, УФ и видимая спектроскопия, ядерный магнитный резонанс (ЯМР), позволяют исследовать структуру и взаимодействия таких биологических молекул, как белки, нуклеиновые кислоты и липиды. Так как рентгеноструктурный анализ предоставляет лишь неподвижный снимок структуры белка, это обуславливает актуальность альтернативных спектральных методов исследования их функционирования: рамановской, ИК, электронной и других видов оптической спектроскопии, ЭПР, ЯМР. Эти методики позволяют изучать трёхмерную структуру, динамику, взаимодействия, термодинамическое равновесие активного и неактивного состояний и роль различных функциональных групп в механизме активации [2]. Твердотельная ЯМР спектроскопия на дейтерии и углероде ^{13}C позволяет исследовать как локальную структуру, так и динамику протеина и их изменения в результате фотоактивации. Метод ЭПР с

использованием сайт-специфических электронных спиновых меток позволяет наблюдать структурные изменения на больших расстояниях и соответственно более длительной временной шкале [3];

– измерение скорости ферментативных реакций помогает определить кинетические параметры ферментов и понять, как они катализируют биологические реакции;

– измерение тепловых эффектов при реакциях и изучение изменения энтропии позволяют объяснить, как энергия переносится и преобразуется в биологических системах.

Биофизика использует методы и принципы физической химии для изучения биологических систем на молекулярном уровне. Так, законы сохранения энергии и массы позволяют глубже проникнуть и объяснить физические и химические процессы, происходящие в биологических системах.

Физическая химия также использует математические модели и компьютерные методы для исследования и прогнозирования биологических систем. Моделирование объясняет сложные биологические процессы, например, сворачивание белков или взаимодействие лекарственных препаратов с рецепторами.

Конвергенция как основной методологический принцип, выступающий ответом на сложность современного промышленно-технологического уклада с присущими ему новыми способами производства в условиях информационного общества, послужила предпосылкой для появления биофизики. Одно из основных направлений современной биофизики – разработка природоподобных технологий [4].

3. Биофизика связана с развитием новых технологий, включая нанотехнологии, биоинженерию. Они оказывают влияние на создание новых инструментов и методов для изучения и манипулирования биологическими системами на микро- и наноуровне. Всё это открывает новые возможности для исследования биологических процессов и разработки инновационных подходов к лечению заболеваний.

Среди новых инструментов и методов для изучения манипулирования биосистемами на микро- и наноуровне отдельно рассмотрим перспективные технологии, включающие нанотехнологии, биоинженерию и нейротехнологии, широко проникающие в медицинскую практику.

Приведём несколько примеров новых инструментов и методов.

Наночастицы и наносенсоры. Наночастицы могут быть использованы для доставки лекарственных препаратов в конкретные

клетки или органы, а наносенсоры помогают в определении концентрации определённых молекул в реальном времени.

Геномный редактор CRISPR-Cas9. Данный инструмент позволяет исследователям изменять генетический код биологических систем. Его возможности заключаются в точном удалении, вставке или изменении определённых участков ДНК, что позволяет более предметно изучать и лечить генетические заболевания (например, псориазическую артропатию).

Оптическая микроскопия с наноразрешением. Указанная технология позволяет исследователям визуализировать и изучать структуру и функции биосистем на наноуровне. Для этого применяются следующие методы: стимулированное испускание света (STED), структурированное освещение (SIM) и суперразрешение флуоресцентной микроскопии (PALM/STORM).

Биологические компьютеры. Подобные технологии используют живые организмы или биологические материалы для решения вычислительных задач (например, исследователи разрабатывают компьютеры, использующие генетические сети для решения задач оптимизации или обнаружения заболеваний).

Мозг-компьютерные интерфейсы (BCI – Brain-Computer Interfaces) создают прямую связь между мозгом и компьютером, что открывает возможности для изучения мозговой активности и манипулирования нейронными сетями. Такие технологии могут применяться для лечения неврологических заболеваний (например, болезни Паркинсона), либо для управления устройствами с помощью мыслей.

Ожидаемая перспектива в использовании подобных методов – эффект роста и качественного изменения возможностей инновационных подходов.

4. Биофизическая наука связана с углубленным пониманием физических принципов, лежащих в основе биологических процессов. Такая функция предусматривает изучение физических свойств биомолекул, механизмов передачи сигналов, физики клеток и тканей, а также физических основ различных биологических процессов.

Перечисленные нами ранее законы физики позволяют лучше понять происходящие биологические процессы. В частности, в следующих ситуациях мы можем проследить работу фундаментальных физических законов и явлений, и должны их учитывать при рассмотрении медико-биологической информации.

1. При рассмотрении биологических процессов, связанных с

теплообменом, мы учитываем законы механики и термодинамики, такие как закон сохранения энергии и второе начало термодинамики, утверждающее, что в термодинамическом процессе, протекающем самопроизвольно, сумма энтропий взаимодействующих термодинамических систем никогда не уменьшается [5]. Такое рассмотрение приводит к известному факту, что теплота не переходит самопроизвольно от более холодного тела к более нагретому.

2. Диффузия играет важнейшую роль при перемещении питательных веществ и продуктов обмена в тканевых жидкостях. Во многих случаях скорость физико-химических процессов определяется скоростью диффузии реагентов, которая протекает значительно медленнее по сравнению с биохимическими реакциями с участием ферментов. Также явление диффузии определяет пассивный транспорт веществ через клеточные мембраны.

3. Другое важное физическое явление, связанное с работой мембран, – осмос. Перераспределение жидкости между внутри- и внеклеточной средами определяется осмотическими силами взаимодействия мелких молекул растворённых веществ, действующих по разные стороны мембраны. Например, недавние исследования с применением осмотического давления позволили получить уникальные данные о роли воды в активации родопсина. Полученные результаты позволяют предложить новую модель активации рецепторов, сопряженных с G-белком, в которой протеин набухает и частично разворачивается при переходе в активное состояние. Таким образом, вода действует как мощный модулятор функционирования родопсина-подобных белков [6,7].

4. Электрохимический потенциал – физическая величина, с которой связаны такие биологические процессы, как нервная проводимость, секреция гормонов и сенсорные реакции.

5. Кинетика реакций – важная область, изучающая скорость и механизмы протекания биологических процессов. Она позволяет определить, насколько быстро или медленно протекают химические реакции в живых организмах, какие факторы влияют на скорость их протекания и как можно их регулировать. Законы, описывающие скорость реакций в биологии, – законы химической кинетики с учётом наличия ферментов, регуляторных механизмов и сложных молекулярных взаимодействий, которые делают их кинетику более сложной и интересной [8].

Перечисленные и иные физические принципы определяют и регулируют различные биологические процессы, начиная от циклов

обмена веществ и до функционирования органов и систем.

В целом тенденции развития биофизики направлены на более глубокое понимание биологических систем на физическом уровне, развитие новых технологий и методов исследования, а также на поиск применения результатов исследования в медицине, биотехнологии и других областях. Непреложным остаётся факт перспективности науки биофизики.

Список использованной литературы

1. Камнев И.С., Середович В.А. Исследование точности современных методов измерения // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. – № 2. – С. 135-140.

2. Струц А.В., Бармасов А.В., Brown M.F. Применение спектральных методов для исследования родопсина – рецептора, сопряжённого с G-белком. I Оптические методы // Оптика и спектроскопия. – 2015. – Т. 118, № 5. – С. 743-749.

3. Струц А.В., Бармасов А.В., Brown M.F. Применение спектральных методов для исследования родопсина – рецептора, сопряжённого с G-белком. II Магниторезонансные методы // Оптика и спектроскопия. – 2016. – Т. 120, № 2. – С. 298-306.

4. Ковальчук М.В. Конвергенция наук и технологий – новый этап научно-технического развития / М.В. Ковальчук, О.С. Нарайкин, Е.Б. Яцишина // Вопросы философии. 2013. – № 3. – С. 3-11.

5. Кинан Д. Термодинамика. // Перевод с англ. А.Ф. Котина; Под ред. М.П. Вукаловича. Москва; Ленинград: Госэннергоиздат, 1963. – 280 с.

6. Струц А.В., Бармасов А.В., Brown M.F. Применение спектральных методов для исследования родопсина – рецептора, сопряжённого с G-белком. III Эффект осмотического давления // Оптика и спектроскопия. – 2023. – Т. 131, № 1. – С. 123-132.

7. Struts A.V., Barmasov A.V., Frieda S.D.E., Hewagea K.S.K., Pereraa S.M.D.C., Brown M.F. Osmotic Stress Studies Of the G-Protein-Coupled Receptor Rhodopsin Activation. Hydration Effects On G-Protein-Coupled Receptor Rhodopsin Activation // Biophysical Chemistry. – 2024. – Vol. 304. – No. 1. – P. 107-112.

8. Краснов К.С., Воробьев Н.К., Годнев И.Н. и др. Физическая химия // В 2 кн. Кн. 2. Электрохимия. Химическая кинетика и катализ: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп., М.: Высш. шк., 1995. – 319 с.

РОЛЬ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В РАЗВИТИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

*Семенов Данила Евгеньевич, Яковлева Татьяна Юрьевна,
Дьяченко Наталия Владимировна, Потапова Ирина Александровна
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия, yakovtat@yandex.ru*

Аннотация. Сельское хозяйство является одним из секторов, наиболее пострадавших от изменения климата. Поэтому для обеспечения продовольственной безопасности необходимы новые стратегии и технологии. Нанотехнологии – перспективная область, которая может помочь решить некоторые из этих проблем. В данном исследовании мы изучим потенциальные возможности применения нанотехнологий в сельском хозяйстве и их влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур, экологическую устойчивость.

Ключевые слова: нанотехнологии, природные системы, биоразнообразие, загрязнение, практика устойчивого землепользования, сохранение, восстановление

THE ROLE OF NANOTECHNOLOGY IN AGRICULTURAL DEVELOPMENT

*Semenov Danila Evgenievich, Yakovleva Tatiana Yuryevna,
Dyachenko Natalia Vladimirovna, Potapova Irina Alexandrovna
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
yakovtat@yandex.ru*

Annotation. Agriculture is one of the sectors most affected by climate change. Therefore, new strategies and technologies are needed to ensure food security. Nanotechnology is a promising field that can help solve some of these problems. In this study, we will explore the potential applications of nanotechnology in agriculture and their impact on crop productivity and environmental sustainability.

Keywords: nanotechnology, natural systems, biodiversity, pollution, sustainable land use practices, conservation, restoration.

Нанотехнологии в сельском хозяйстве. Нанотехнологии относятся к манипулированию материалами на наноразмерном уровне, составляющем одну миллиардную часть метра. Уникальные физические и химические свойства наноматериалов делают их пригодными для различных применений, включая сельское хозяйство. Нанотехнологии способны произвести революцию в сельском хозяйстве по нескольким направлениям, включая:

1. **Повышение урожайности сельскохозяйственных культур:** Нанотехнологии могут повысить урожайность сельскохозяйственных культур за счет повышения эффективности поглощения питательных веществ, управления водными ресурсами и борьбы с вредителями. Например, наноудобрения могут более эффективно доставлять питательные вещества к растениям, в результате чего урожай становится более здоровым и продуктивным. К таким наноудобрениям можно отнести NanoFert, запатентованный продукт, разработанный компанией NanoAgriTech. NanoFert – это жидкое наноудобрение, которое содержит смесь основных питательных веществ, включая азот, фосфор и калий, а также микроэлементы, такие как железо, цинк и марганец. Наноразмерные частицы в удобрении разработаны для повышения эффективности поглощения питательных веществ растениями, уменьшения количества необходимых удобрений и снижения загрязнения окружающей среды, вызванного стоком питательных веществ. Было доказано, что NanoFert повышает урожайность и качество различных культур, включая пшеницу, кукурузу и овощи, при одновременном снижении количества необходимых удобрений [1-3].

2. **Снижение воздействия на окружающую среду:** Нанотехнологии могут снизить воздействие сельского хозяйства на окружающую среду за счет уменьшения количества необходимых удобрений и пестицидов, улучшения управления водными ресурсами и уменьшения эрозии почвы. Это может привести к более устойчивым методам ведения сельского хозяйства и более здоровым экосистемам.

3. **Повышение качества продуктов питания:** Нанотехнологии могут улучшить качество продуктов питания за счет снижения их порчи, увеличения срока хранения и повышения питательной ценности. Наносенсоры могут обнаруживать загрязнения и порчу, а нанопокрывтия могут защитить продукты от повреждений и уменьшить количество пищевых отходов. Также хочется назвать примеры нанопокрывтий и наносенсоров, используемых в пищевой промышленности, и компании, которые преуспели в их разработке:

AgriCoat NatureSeal: Компания, разработавшая съедобные покрытия для фруктов и овощей из натуральных материалов, таких как кальций, витамины и растительные экстракты. Эти покрытия помогают уменьшить порчу и продлить срок хранения, их используют многие крупные продовольственные компании и розничные торговцы [4-6].

NatureSeal – это запатентованная смесь витаминов и минералов GRAS (Generally Recognized as Safe), которые увеличивают срок годности свежих нарезанных овощей и фруктов до 14 дней. Благодаря подавлению дыхания и процесса окисления свежие нарезанные овощи и фрукты могут сохраняться на полках дольше, сохраняет естественную текстуру и цвет свежих нарезанных овощей и фруктов в течение до 14 дней, не изменяя вкус.

NanoPack: Проект, финансируемый Европейским союзом, в рамках которого были разработаны нанопокрывтия для упаковки продуктов питания с использованием натуральных материалов, таких как глина и хитозан. Покрытия могут быть использованы для создания барьера против кислорода и влаги, уменьшая количество пищевых отходов и повышая безопасность продуктов питания [7-9]. Проект будет использовать природные нанотрубки галлойдита (HNTs) в качестве носителей биоактивных соединений. На начальном этапе проекта будет проведена оценка пищевого регулирующего статуса HNTs, возможных модифицирующих веществ и активных соединений. Активные компоненты системы NanoPack – это эфирные масла, действующие антимикробно. В Европе кандидаты в эфирные масла перечислены и одобрены как ароматизаторы, но не для их антимикробного применения, и им необходимы специальные одобрения как добавки в пищу для этого использования. В США кандидаты в эфирные масла либо классифицируются как общепризнанные как безопасные (GRAS), либо одобрены как синтетические ароматизаторы. Если используются в концентрациях, не превышающих концентрации в приложениях как ароматизаторы, одобрения как компоненты ароматизатора рассматриваются как хорошая основа для одобрения как активные компоненты.

Нанотрубки галлойдита (HNTs) относятся к пассивной части активной системы и должны соответствовать Полимерному регламенту (ЕС) № 10/2011 в Европе. Галлойдитовый минерал является компонентом минерала каолина, который одобрен как добавка в Полимерном регламенте ЕС, но не как наноматериал. Наноструктура HNTs считается не препятствием для одобрения, потому что HNTs иммобилизованы в полимере и не мигрируют в пищу. Это будет

экспериментально проверено в рамках проекта NanoPack. Только часть кандидатов в модификацию веществ уже одобрена как модификаторы для наполнителей. В любом случае, модифицированные HNTs должны быть одобрены как пищевые пластмассовые добавки.

Перед объявлением о вызове на предложения ЕС рассмотрел необходимость пищевого регулирующего одобрения использования антимикробных систем в упаковке продуктов питания, а также любую потенциальную необходимость в корректировке существующих регулирующих режимов. NanoPack уже рассмотрел и учел эти вопросы при проектировании проекта. Необходимые данные для досье будут получены в рамках Рабочего пакета WP6 проекта NanoPack. Анализы разработанных материалов будут разработаны таким образом, чтобы они были подходящими для включения в досье для ЕФСА или FDA. Составление досье, которые должны быть поданы в ЕФСА, является неотъемлемой частью проекта. Для полного использования его инновационного потенциала процесс одобрения должен быть завершен, чтобы представить упаковку NanoPack на рынке. Предварительная оценка пищевого регулирующего статуса в начале проекта не выявила основных препятствий. Консорциум намерен периодически делиться информацией и результатами проекта в течение его срока действия с Европейской комиссией (ГД Sante), ЕФСА и FDA, чтобы эти органы лучше понимали основные технологии и принцип действия. Кроме того, Консорциум планирует инициировать неформальное обсуждение с органами по вопросам особенностей пищевого регулирования.

Галлоизит – это глинистый минерал ($Al_2[(OH)_4/Si_2O_5] \cdot 2 H_2O$), который относится к группе каолинита. Это слоистые силикаты, состоящие из тетраэдрического $[SiO_4]$ и октаэдрического $[Al_2(OH)_4 O_2]$ слоя. В случае HNTs слоистый силикат не является плоским, а образует рулоны. HNTs являются природными материалами и добываются. HNTs пока не разрешены в качестве компонентов материалов пищевой упаковки из пластика. Они не включены в «Список союза» Полимерного регулирования (ЕС) 10/2011. Другие нанотрубки, например, углеродные нанотрубки, также не включены. Минерал каолин (CAS 1332-58-7) в основном состоит из галлоизита или каолинита. Каолин указан в «Списке союза» Полимерного регулирования (ЕС) 10/2011 как добавка без конкретных ограничений (FCM по. 410). Однако разрешение относится только к массовому материалу и не к спецификации как наноматериалу.

Для улучшения свойств HNTs может потребоваться их химическая модификация. Возможные реакции модификации включают добавление производных фосфоновой кислоты и/или силанов, но есть определенные рамки по сумме миграции таких веществ в пищу.

Nix Sensor: Компания, разработавшая портативное устройство под названием "Nix Pro Color Sensor", которое использует нанотехнологии для измерения цвета продуктов питания и других материалов. Устройство может использоваться производителями продуктов питания и розничными торговцами для контроля качества и консистенции пищевых продуктов [10-12].

Bio-Fence: Компания, которая разработала нанопокртия для оборудования и поверхностей пищевой промышленности, используя такие материалы, как диоксид титана и наночастицы серебра для подавления роста бактерий и других микроорганизмов.

Hugiena: Компания, разработавшая ряд наносенсоров для обеспечения безопасности и качества пищевых продуктов, включая устройство "EnSURE Touch", которое может определять уровень АТФ (аденозинтрифосфата) в образцах пищевых продуктов и окружающей среды, обеспечивая быстрый и точный способ обнаружения загрязнения и порчи [13-15].

4. Повышение эффективности: Нанотехнологии могут повысить эффективность сельскохозяйственных процессов, таких как орошение, сбор и переработка урожая. Наносенсоры могут контролировать влажность почвы и уровень питательных веществ, оптимизируя орошение, а нанороботы могут быть разработаны для более эффективного сбора урожая.

По типу анализируемых объектов (воспринимаемых и преобразуемых параметров) наносенсоры подразделяются на три основных класса: физические детектируют физические параметры анализируемых объектов; химические – детектируют химический состав анализируемых объектов, наличие химических веществ в окружающей среде; биологические (бионаносенсоры) – детектируют физиологическое состояние анализируемых объектов, наличие биологических веществ в окружающей среде.

С помощью наносенсоров контролируются физиологическое состояние растений, в частности, потребности растений во влаге; температура, влажность и кислотность почвы, а также содержание некоторых видов гербицидов в воде и почве. Наносенсоры применяются для обнаружения заболеваний животных, а также для

идентификации животных, определения их местонахождения. Наносенсоры, встроенные упаковочные материалы, способны информировать потребителя или изготовителя о качестве упакованных пищевых продуктов. Ниже в качестве примера рассмотрены некоторые типы наносенсоров, их конструктивные и функциональные особенности, рисунок 1.

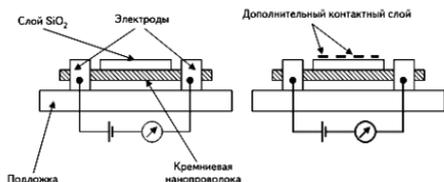


Рисунок 1 – Конструкция на основе кремниевой нанопроволоки

Среди различных типов наносистем в агропромышленном производстве наибольшее распространение получили наносенсоры, которые представляют собой аналитические устройства, содержащие чувствительные наноэлементы, воспринимающие и преобразующие параметры анализируемого объекта в пригодный для практического использования сигнал, обычно электрический, хотя возможно и иной по природе, например, оптический сигнал, рисунок 2.

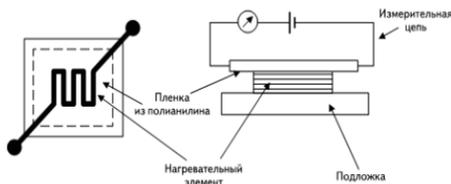


Рисунок 2 – Схема сенсора на основе полианилина

С помощью наносенсоров можно с высокой точностью регистрировать параметры объектов, локализованных в очень малых объемах. Например, наносенсоры могут свободно циркулировать в потоке крови, скапливаясь вблизи клеток-мишеней или возле определенных молекул, обнаруживая генетические дефекты в ДНК, молекулы токсических веществ или поврежденные клетки. Для контроля температуры применяются сенсоры в виде пленок на основе многостенных углеродных нанотрубок, характеризующихся температурной зависимостью проводимости. Для контроля влажности применяются керамические сенсоры, действие которых основано на зависимости электропроводности керамики от влажности. Наиболее

эффективно можно использовать сенсоры на основе нанопористой керамики, так как характеризуются высокой чувствительностью благодаря большой площади поверхности, доступной для адсорбции воды. В этом отношении особенно перспективны нанопористые пленки оксида алюминия. Наносенсоры подобного типа также могут использоваться для контроля содержания аммиака в потребляемой растениями воде.

5. Борьба с болезнями и вредителями: Нанотехнологии могут улучшить борьбу с болезнями и вредителями, повысив эффективность пестицидов и сократив их количество. Нанопестициды могут быть направлены на конкретных вредителей и болезни, снижая воздействие на нецелевые организмы и окружающую среду.

Минеральные удобрения содержат необходимые для растений элементы питания в форме неорганических веществ, главным образом солей. Пестициды объединяют большой класс органических и неорганических веществ, служащих для борьбы с сорняками (гербициды), вредителями (инсектициды, акарициды, зооциды и др.), болезнями растений (фунгициды, бактерициды и др.). В группу пестицидов также входят регуляторы роста растений, стимулирующие или тормозящие процессы развития растений. Минеральные удобрения и пестициды используются для обработки как вегетирующих растений, так и семян перед посевом. При их употреблении требуется строго соблюдать нормы расхода, определяемые биологической потребностью растений и состоянием почвы. При превышении этих норм возникают реальные опасности для окружающей среды, в частности, повышается химическая нагрузка на почву, что приводит к ее деградации. Минеральные удобрения способны оказывать негативное действие на почвенную экосистему в силу несовершенства их свойств и химического состава. К недостаткам большинства минеральных удобрений относятся: наличие остаточной кислоты вследствие технологии их производства; физиологическая кислотность и щелочность, образующаяся в результате преимущественного использования растениями катионов или анионов; высокая растворимость. При чрезмерном употреблении минеральных удобрений их компоненты могут накапливаться в почве в таком количестве, которое способно тормозить процессы ее самоочищения. Кроме того, компоненты минеральных удобрений могут попадать в поверхностные и подземные водоемы, загрязняя их. Избыточное использование минеральных удобрений приводит к загрязнению сельскохозяйственной продукции вредными для здоровья людей

компонентами. Серьезным недостатком многих удобрений является наличие в них тяжелых металлов. Особенно сильно загрязнены ими фосфорные удобрения, так как тяжелые металлы содержатся в фосфатных рудах.

Отметим некоторые из современных компаний и продуктов, связанных с нанопестицидами. Для решения задач снижения химической нагрузки на почву применяются различные нанотехнологические подходы, в том числе:

- обработка растений и семян минеральными удобрениями и пестицидами, находящимися в нанодисперсном состоянии, благодаря чему повышается их биоактивность;
- обработка растений и семян вместо пестицидов безъядными наночастицами металлов, проявляющими пестицидные эффекты;
- доставка минеральных удобрений и пестицидов к корням растений с помощью наночастиц, благодаря чему обеспечивается более рациональное их использование.

Одним из перспективных путей повышения урожайности и качества сельскохозяйственных культур за счет обеспечения оптимальных условий их возделывания, а также плодородия почвы за счет снижения химической нагрузки на нее является применение методов точного земледелия. С их помощью становится возможным вносить поставлять воду, удобрения, средства защиты растений на различные участки сельхозугодий строго нормированными дозами с учетом реальной биологической потребности растений на разных стадиях их вегетации. Для реализации методов точного земледелия важно своевременно получать необходимую информацию о характере развития растений, что обычно осуществляется в результате спутникового мониторинга сельхозугодий.

AgroSpheres: Эта компания разработала платформу нанопестицидов, которая может обеспечить целевое и контролируемое высвобождение активных ингредиентов в растениях. Исследование, опубликованное в журнале «Journal of Agricultural and Food Chemistry» в 2021 году, показало, что нанопестицид AgroSpheres эффективно контролирует рост паутинных клещей на растениях томатов и имеет эффективность, сравнимую с обычными химическими пестицидами [16]. Green Earth Nano Science: Эта компания разработала ряд нанопестицидов и нанопокровов для защиты растений. Исследование, опубликованное в журнале «Journal of Nanoscience and Nanotechnology» в 2016 году, показало, что нанопестицид компании Green Earth Nano

Science эффективно контролирует рост *Fusarium oxysporum*, грибкового патогена, вызывающего увядание растений [17].

Нанопестициды из экстрактов растений (NAPEX): Этот проект, финансируемый Европейским союзом, направлен на разработку нанопестицидов из экстрактов растений, которые являются экологически безопасными и эффективными в борьбе с вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур. Исследование, опубликованное в журнале «Journal of Cleaner Production» в 2020 году, показало, что нанопестицид NAPEX, полученный из экстракта растения ним, эффективно контролирует рост *Fusarium oxysporum* и других патогенов растений [18].

Потенциальные риски и проблемы. Нанотехнологии способны сыграть значительную роль в решении проблем, связанных с сельским хозяйством, но существуют также потенциальные риски и проблемы, связанные с их использованием:

1. Воздействие на окружающую среду: Попадание наночастиц в окружающую среду может иметь непредвиденные последствия, включая потенциальный вред для экосистем и организмов [19].

2. Риски для здоровья: Воздействие наночастиц может представлять опасность для здоровья фермеров, работников ферм и потребителей [20].

3. Отсутствие нормативного надзора: Регулирование нанотехнологий в сельском хозяйстве все еще находится в зачаточном состоянии, что может привести к недостаточному надзору и потенциальным проблемам безопасности.

4. Стоимость: Разработка и внедрение нанотехнологий в сельском хозяйстве могут быть дорогостоящими, что ограничит их доступность для мелких фермеров.

5. Общественное восприятие: Общественность может скептически относиться к безопасности и долгосрочным последствиям применения нанотехнологий в сельском хозяйстве, что может повлиять на принятие и внедрение нанотехнологий.

6. Сопротивление: Чрезмерное использование нанотехнологий в сельском хозяйстве может привести к развитию устойчивых вредителей и патогенов, что со временем снизит эффективность применения нанотехнологий.

Решение этих потенциальных рисков и проблем будет иметь решающее значение для обеспечения безопасного и эффективного использования нанотехнологий в сельском хозяйстве. Это потребует постоянных исследований, нормативного надзора и сотрудничества

между учеными, политиками и заинтересованными сторонами в сельскохозяйственном секторе.

Заключение. В заключение следует отметить, что нанотехнологии способны произвести революцию в сельском хозяйстве. Решения на основе нанотехнологий могут повысить продуктивность сельскохозяйственных культур, сократить выбросы парниковых газов и повысить устойчивость сельского хозяйства. Однако необходимо рассмотреть потенциальные риски и проблемы, связанные с использованием наноматериалов в сельском хозяйстве. Всесторонняя оценка воздействия нанотехнологий на окружающую среду и здоровье человека необходима для обеспечения их безопасного и устойчивого применения в сельском хозяйстве.

Список использованной литературы

1. Abdollahi M.R., Salehi F., Kalantari M.R. The effects of nanofertilizers on growth and yield of cucumber//Journal of Plant Nutrition.– 2018.–41,№5.–С.634-645.

2. Dursun O.F., Dursun M., Turkmen M., Sakar F. Effect of foliar application of nanofertilizer on the growth, yield and nutrient uptake of maize // Journal of Plant Nutrition. 2018. 41, №4. – С. 430-438.

3. Hassan A.H.M., Abd El-Rahman A.F., El-Rokiek M.A., El-Kholy A.M. Effects of nanofertilizers on growth, yield and nutrients uptake of wheat plants // Journal of Plant Nutrition. - 2018. – 41, №13. – С. 1738-1749.

4. Ahmed M. et al Antimicrobial nanocomposite films for potential food packaging applications // Journal of Food Science and Technology. – 2018. – №55. – С. 3767-3781.

5. Alves R. et al Nanostructured materials for food packaging applications: An overview of recent developments // Journal of Food Science and Technology. – 2019. – №12. – С. 823-849.

6. Padil R. et al Development of an antimicrobial nanocomposite film for packaging applications // International Journal of Food Science and Technology. – 2016. – №51. – С. 2331-2339.

7. Liu H. et al Development of a low-cost colorimetric sensor for the detection of nitrite in drinking water // Journal of Environmental Management. – 2020. – №272. – С. 111060.

8. Liu Y. et al Development and validation of a smartphone-based colorimetric assay for point-of-care testing of urine albumin-to-creatinine ratio // Biosensors and Bioelectronics. – 2020. – №167. – С. 112470.

9. Yavuz A. et al Assessment of color stability of composite resin materials using the CIE Lab* color system // Journal of Esthetic and Restorative Dentistry. – 2020. – №32. – С. 415-423.

10. Alves R. et al Nanocoatings for food-packaging applications: A review of recent developments // *Food and Bioprocess Technology*. – 2019. – №12. – P. 505-523.
11. Devi G. et al Nanocoatings: Advances and prospects in crop protection // *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2020. №166. – P. 104570.
12. Fina A. et al "Nanocoatings for automotive applications: Recent advances and future outlook" // *Progress in Organic Coatings*. – 2021. – №156. – P. 106189.
13. Doherty D. et al Comparison of the EnSURE Touch luminometer and the 3M Petrifilm plate reader for rapid enumeration of total viable counts in raw milk // *Journal of Dairy Science*. – 2021. – №104. – P. 554-560.
14. Donnelly R.F., Glass P.L., Macinga D.J., Goodwin J.V., Nordmann D.J. Comparison of three commercial ATP hygiene monitoring systems to plate counts for surface hygiene monitoring // *Food Protection Trends*. – 2016. – №36. – C. 152-162.
15. Mitchell C. et al Evaluation of ATP bioluminescence swabbing and microbial testing to assess cleanliness of healthcare environmental surfaces // *Journal of Hospital Infection*. – 2018. – №98. – C. 352-357.
16. Otoni N., da Silva T.P., Martinez C.A., Chagas M.L., Graziani M.P., Grossi-de-Sá M.R.F., Camargo R.D. Efficient and Sustained Delivery of Insecticides Using Biodegradable Nanospheres: A Proof-of-Concept Study against Spider Mites on Tomato Plants // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2021. – №69. – C. 7483-7493.
17. Sharifian A. et al Effect of Biosynthesis Nanoparticle and Commercial Formulation of Fungicides against *Fusarium oxysporum* on Cucumber // *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. – 2016. – №16. – C. 8579-8585.
18. Thakur R. et al Eco-friendly bioactive nanopesticides: A promising solution for the management of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – №270. – C. 122363.
19. Sharma R.K. Environmental implications of nanotechnology: Challenges and prospects // *Journal of Environmental Management*. – 2017. – №196. – C. 626-634.
20. Liu J. et al Potential Health and Environmental Risks of Nanoparticle Use in Agriculture and Food Production: Perspectives of Scientists and Stakeholders // *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*. – 2019. – №32. – C. 605-628.

УДК 550.383

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ: ЖИЗНЕННО ВАЖНЫЙ ЩИТ

Юнев Пётр Андреевич, Михтеева Елена Юрьевна

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия, Mikhteeva.elena@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается значение электромагнитного поля земли, его важность для общества в целом.

Ключевые слова: ЭМП, солнечная радиация, геомагнитная буря, климат, уравнение Максвелла, сила Лоренца, биологическое воздействие.

EARTH'S ELECTROMAGNETIC FIELD: A VITAL SHIELD

Yunev Peter Andreevich, Mikhteeva Elena Yurievna

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
Mikhteeva.elena@mail.ru*

Annotation. The article discusses the significance of the earth's electromagnetic field and its importance for society.

Keywords: EMF, solar radiation, geomagnetic storm, climate, Maxwell's equation, Lorentz force, biological impact.

Электромагнитное поле (ЭМП) – фундаментальное физическое поле, взаимодействующее с электрически заряженными телами, а также с телами, имеющими собственные дипольные и мультипольные электрические и магнитные моменты. ЭМП (и его изменение со временем) описывается в электродинамике в классическом приближении посредством системы уравнений Максвелла. Уравнения Максвелла – система уравнений в дифференциальной или интегральной форме, описывающих ЭМП и его связь с электрическими зарядами и токами в вакууме и сплошных средах. Вместе с выражением для силы Лоренца (сила, с которой ЭМП, согласно классической (неквантовой) электродинамике, действует на точечную заряженную частицу), задающим меру воздействия ЭМП на заряженные частицы, эти уравнения образуют полную систему уравнений классической электродинамики, называемую иногда уравнениями Максвелла-

Лоренца. Электромагнитное поле Земли – это невидимая сфера, окружающая нашу планету, защищающая нас от вредного излучения и заряженных частиц. Оно генерируется движением расплавленного железа во внешнем ядре Земли и играет решающую роль в поддержании жизни на Земле. Рассмотрим ЭМП Земли, исследуя ее защитные функции, регулирующие эффекты и биологические последствия.

Защита от солнечной радиации. ЭМП действует как щит от вредного солнечного излучения. Заряженные частицы, испускаемые Солнцем, известные как солнечный ветер, могут повредить ДНК и вызвать рак кожи. Существует также корпускулярная часть солнечной радиации, состоящая преимущественно из протонов, движущихся от Солнца со скоростями 300-1200 км/с. Во время солнечных вспышек образуются также частицы больших энергий (в основном протоны и электроны), образующие солнечную компоненту космических лучей (космические лучи – элементарные частицы, фотоны и ядра атомов, движущиеся с высокими энергиями в космическом пространстве). Сумма радиации, полученной небесным телом, зависит от расстояния между планетой и звездой – при увеличении расстояния вдвое количество радиации, поступающее от звезды на планету, уменьшается вчетверо (пропорционально квадрату расстояния между планетой и звездой). Таким образом, даже небольшие изменения расстояния между планетой и звездой (вызваны наличием эксцентриситета орбиты) приводят к значительному изменению количества поступающей на планету радиации звезды. Эксцентриситет земной орбиты не является постоянным – с течением тысячелетий орбита меняется, периодически образуя практически идеальный круг, иногда же эксцентриситет достигает 5 % (в настоящее время он равен 1,67 %), то есть в перигелии Земля получает в настоящее время в 1,033 больше солнечной радиации, чем в афелии (апогелий), а при наибольшем эксцентриситете – более чем в 1,1 раза. ЭМП отклоняет эти частицы от поверхности Земли, защищая нас от их вредного воздействия [1].

Сила ЭМП варьируется в зависимости от региона и высоты. Она наиболее сильна на полюсах и наиболее слаба на экваторе. Это изменение связано с линиями магнитного поля Земли, которые сконцентрированы на полюсах и распространяются к экватору.

ЭМП – это не физический барьер, а скорее магнитное поле, которое взаимодействует с заряженными частицами солнечного ветра. Когда солнечный ветер сталкивается с ЭМП, он отклоняется от

поверхности Земли. Этот процесс известен как магнитное экранирование.

Регулирование климата. ЭМП влияет на климат Земли, взаимодействуя с атмосферой. Он создает электрические токи в ионосфере, которые, в свою очередь, влияют на движение воздушных масс. Это взаимодействие помогает регулировать глобальную температуру и характер осадков.

Ионосфера – это слой атмосферы Земли, ионизированный солнечным излучением. Электрические токи в ионосфере генерируются в результате взаимодействия ЭМП и заряженных частиц солнечного ветра.

Эти электрические токи могут влиять на движение воздушных масс, что, в свою очередь, может влиять на климатические условия. Например, ЭМП может влиять на образование облаков и осадков, а также на движение океанских течений [1,2].

Навигация и связь. ЭМП имеет важное значение для навигации и связи. Животные используют магнитное поле Земли для навигации на большие расстояния, а люди полагаются на него в качестве компасов и систем GPS. ЭМП также облегчает радиосвязь, позволяя нам передавать и принимать сигналы на огромные расстояния.

У животных есть специализированные сенсорные клетки, способные обнаруживать магнитное поле Земли. Эти клетки позволяют животным ориентироваться и ориентироваться даже на незнакомой территории. С другой стороны, люди разработали компасы и системы GPS, которые полагаются на ЭМП для определения направления и местоположения.

ЭМП также играет решающую роль в радиосвязи. Радиоволны – это электромагнитные волны, которые могут распространяться через атмосферу. ЭМП направляет эти волны, позволяя нам передавать и принимать радиосигналы на большие расстояния [1,3,4].

Защита от геомагнитных бурь. Иногда ЭМП Земли может нарушаться геомагнитными бурями, вызванными солнечными вспышками или выбросами корональной массы. Эти штормы могут вызвать перебои в подаче электроэнергии, повредить спутники и нарушить работу систем связи. Однако ЭМП действует как буфер, поглощая воздействие этих штормов и сводя к минимуму их воздействие на Землю.

Геомагнитные бури возникают в результате взаимодействия солнечного ветра и ЭМП Земли. Когда солнечный ветер особенно силен, он может подавить ЭМП и вызвать ее искажение. Эти искажения

могут привести к перебоям в подаче электроэнергии, сбоям в работе спутников и сбоям в связи.

ЭМП действует как буфер против геомагнитных бурь, поглощая воздействие солнечного ветра. ЭМП отклоняет заряженные частицы от поверхности Земли, не позволяя им причинить обширный ущерб [2,5,6].

Биологические эффекты. ЭМП оказывает тонкое биологическое воздействие на живые организмы. Он влияет на ориентацию животных, влияет на рост растений и может играть роль в здоровье человека. Некоторые исследования показывают, что воздействие ЭМП может иметь как положительное, так и отрицательное воздействие на организм человека в зависимости от его интенсивности и продолжительности. Животные используют магнитное поле Земли, чтобы ориентироваться. Например, у птиц в глазах есть специальные сенсорные клетки, которые позволяют им обнаруживать ЭМП. Эти клетки помогают птицам ориентироваться во время длительных миграций.

ЭМП также влияет на рост растений. Исследования показали, что растения, подвергающиеся воздействию ЭМП, вырастают выше и имеют более крупные листья, чем растения, не подвергающиеся воздействию ЭМП. Считается, что ЭМП влияет на выработку растительных гормонов, которые регулируют рост и развитие. ЭМП также может играть роль в здоровье человека. Некоторые исследования показали, что воздействие ЭМП может иметь как положительное, так и отрицательное воздействие на организм человека. Например, некоторые исследования показали, что воздействие ЭМП может улучшить качество сна и снизить стресс, в то время как другие исследования показали, что воздействие ЭМП может увеличить риск развития некоторых видов рака. Однако необходимы дополнительные исследования, чтобы полностью понять биологическое воздействие ЭМП на человека [7-9].

Заключение. Электромагнитное поле Земли является жизненно важным и часто упускаемым из виду аспектом нашей планеты. Это свидетельство сложного баланса природных сил, поддерживающих жизнь на Земле. Понимание и защита ЭМП имеет решающее значение для обеспечения благополучия нашей планеты и будущего человеческой цивилизации.

ЭМП защищает нас от вредного излучения, регулирует климат, помогает в навигации и связи, а также смягчает последствия геомагнитных бурь. Он также оказывает тонкое биологическое

воздействие на живые организмы, влияя на ориентацию животных, влияя на рост растений и потенциально играя роль в здоровье человека.

Продолжая исследовать и понимать ЭМП Земли, мы должны предпринять шаги для защиты этого жизненно важного щита. Это включает в себя сокращение нашей зависимости от ископаемого топлива, которое способствует изменению климата и может нарушить ЭМП, а также инвестиции в исследования, чтобы лучше понять биологическое воздействие ЭМП на людей и другие живые организмы [8,10]. Сохраняя ЭМП Земли, мы защищаем будущее жизни на нашей планете.

Список использованной литературы

1. Петровский Э., Страхова Н. Магнитное поле Земли: его генерация и роль в космосе и жизни // 2019. – 20 с.

2. Гардуно Д.А., Меррилл Р.Т., МакЭлхинни М.В. Магнитное поле Земли: его история, происхождение и планетарная перспектива // 2015. – 19 с.

3. Скафетт Н., Палумбо Ф. Магнитное поле Земли: Руководство для студентов и исследователей // 2014. – 12 с.

4. Буллард Э. Магнитное поле Земли: его история и причины // 1983.–14 с.

5. Тилгнера А. Магнитное поле Земли: его генерация и роль в геодинамике // 2008. – 3 с.

6. Кэмпбелл У. Магнитное поле Земли: глобальная перспектива//2003– 23с.

7. Гил М., Цонис А. Магнитное поле Земли: учебник для ученых и студентов // 2016. – 10 с.

8. Лангель Р.А., Хинце У.Дж. Магнитное поле Земли: прошлое, настоящее и будущее // 2015. – 4 с.

9. Джейкобс Д.А. Магнитное поле Земли: его источники и последствия, // 1994. – 9 с.

10. Габбинса Д., Эрреро-Бервер Э. Магнитное поле Земли: историческая перспектива. // 2007. – 2 с.

СЕКЦИЯ 3. СОВРЕМЕННЫЕ ПРИКЛАДНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.056.55

ПРИНЦИПЫ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ В КРИПТОГРАФИИ

*Болдырев Кирилл Андреевич, Недбайло Олег Владимирович,
Михеева Елена Юрьевна*

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия, 04kiranbo@gmail.com,
olegaz1642@gmail.com*

Аннотация. Статья посвящена квантовой криптографии, инновационной области информационной безопасности, основанной на принципах квантовой механики. В работе рассматриваются основные принципы работы квантовых криптосистем, показаны преимущества и недостатки квантовой криптографии по сравнению с классическими методами шифрования и ее потенциальное влияние на будущее информационной безопасности. Современные исследования в области квантовой криптографии направлены на улучшение эффективности квантовых систем, разработку новых методов шифрования и расширение области применения данной технологии, следовательно, квантовая криптография представляет собой перспективное направление в области информационной безопасности, которая имеет потенциал изменить подходы к защите данных в цифровой среде. Перспективность внедрения квантовой криптографии очевидна для безопасности информации от современных угроз в сети.

Ключевые слова: квантовые компьютеры, квантовая криптография, шифрование, квантовые ключи, кубиты.

PRINCIPLES OF QUANTUM PHYSICS IN CRYPTOGRAPHY

*Boldyrev Kirill Andreevich, Nedbaylo Oleg Vladimirovich,
Mikheeva Elena Yuryevna*

*Russian State Hydrometeorological University,
St. Petersburg, Russia, 04kiranbo@gmail.com, olegaz1642@gmail.com*

Annotation. The article is devoted to quantum cryptography, an innovative field of information security based on the principles of quantum

mechanics. The paper discusses the basic principles of quantum cryptosystems, shows the advantages and disadvantages of quantum cryptography compared to classical encryption methods and its potential impact on the future of information security. Modern research in the field of quantum cryptography is aimed at improving the efficiency of quantum systems, developing new encryption methods and expanding the scope of this technology, therefore, quantum cryptography is a promising area in the field of information security, which has the potential to change approaches to data protection in the digital environment. The prospects for the introduction of quantum cryptography are obvious for the security of information from modern threats on the network.

Keywords: quantum computers, quantum cryptography, encryption, quantum keys, qubits.

Современное информационное общество требует высокого уровня безопасности передаваемой информации. Квантовая криптография, основанная на принципах квантовой механики, становится все более неотъемлемой в защите от несанкционированного доступа и перехвата конфиденциальной информации. Классические криптографические ключи, основанные на сложности математических задач и используемые для шифрования и расшифрования, становятся уязвимыми к атакам и взлому в связи с развитием компьютерных технологий. В отличие от них, квантовые ключи, генерируемые с помощью фотонов, обеспечивают более высокий уровень безопасности и передаются по нерушимым квантовым каналам. Квантовая криптография предоставляет уникальные инструменты для безопасной передачи данных [1]. Она основана на использовании кубитов для обмена ключами шифрования между отправителем и получателем информации.

Одно из главных преимуществ квантовой криптографии заключается в невозможности создания копий кубитов без нарушения принципа неопределенности. Системы квантовой криптографии обеспечивают конфиденциальность и целостность информации, благодаря принципу квантового физического взаимодействия, который невозможно преодолеть без заметного нарушения принципа неопределенности. Они также обеспечивают идентификацию и аутентификацию пользователей, защищая от возможного манипулирования передаваемыми данными и полностью соответствуя политике безопасности. Квантовая криптография позволяет создавать надежные ключи шифрования и предотвращает возможность перехвата

и взлома данных. Таким образом, она является важным инструментом в борьбе с киберугрозами и обеспечивает безопасность информации в цифровой среде.

Развитие технологий стремительно продвигается вперед, меняя наше представление о возможностях. Разработчики компьютерных технологий все больше интересуются квантовыми компьютерами и хотят внедрить их в разные сферы нашей жизни. Классические компьютеры используют биты, которые могут быть либо 0, либо 1. Это ограничивает их производительность при сложных задачах. Наоборот, квантовые компьютеры оперируют кубитами – квантовыми аналогами битов, которые могут существовать в состояниях 0 и 1 одновременно благодаря квантовой суперпозиции [2]. Это позволяет квантовым компьютерам выполнять параллельные вычисления, обрабатывать сложные алгоритмы и решать проблемные задачи. Хотя квантовые компьютеры не могут решить все задачи эффективнее, чем классические компьютеры, они вносят новые возможности и перспективы в сферу вычислительной техники. Введение полноценных квантовых компьютеров на рынок откроет новую эру развития и инноваций.

В квантовой физике одними из фундаментальных научных направлений, выступают несколько ключевых принципов, которые являются основой для развития квантовой криптографии: принцип неопределенности и запрет клонирования, эти принципы являются основополагающими в данной области. Принцип неопределенности, сформулированный Вернером Гейзенбергом в 1927 году, утверждает, что невозможно одновременно точно измерить две взаимосвязанные физические величины, такие как положение и импульс частицы [3]. Иными словами, наличие неопределенности в квантовом мире означает, что измерение одного параметра влечет неизбежную неопределенность в другом. Этот принцип является уникальным для квантовой физики, и его использование в квантовой криптографии позволяет обеспечить высокий уровень безопасности передаваемых данных. Принцип неопределенности гарантирует, что любая попытка перехватить или измерить состояние кубита будет менять его и станет заметной для обеих сторон. Запрет клонирования – это важный принцип, согласно которому невозможно создать точную копию квантового состояния. В классической физике мы можем создать копию информации без потери непосредственно измеряемых параметров, но в квантовом мире это невозможно. Когда мы пытаемся скопировать квантовое состояние, происходит явление, называемое

декогеренцией, при котором квантовая информация разрушается и становится недоступной для клонирования. Таким образом, запрет клонирования обеспечивает дополнительный уровень безопасности квантовой криптографии, поскольку любая попытка перехвата информации неизбежно становится заметной и повреждает передаваемые данные. Эти принципы квантовой физики, применяемые в квантовой криптографии, предоставляют безопасность, которая на сегодняшний день считается непревзойденной в области передачи данных. Они играют решающую роль в создании систем, способных устранить уязвимости классической криптографии. Благодаря принципу неопределенности и запрету клонирования, квантовая криптография открывает новые горизонты для безопасной коммуникации в цифровой среде.

Протоколы квантовой криптографии, такие как bb84 и e91, являются ключевыми инструментами в области защиты информации. Эти протоколы основаны на принципах квантовой механики и предоставляют надежность и безопасность при передаче секретных данных. Протокол bb84 был разработан в 1984 году известными учеными Чарльзом Беннеттом и Гиллесом Brassаром. Он использует квантовые состояния, такие как поляризация фотонов, для генерации и обмена криптографическими ключами. Протокол bb84 гарантирует обнаружение любых попыток перехвата данных, так как любое вмешательство третьей стороны приводит к изменению квантового состояния и автоматическому обнаружению. Протокол e91, который разработан Экертом Беннеттом и Гильемом Brassаром в 1991 году, является еще более продвинутым методом квантовой криптографии. Он основан на феномене спутанности, который позволяет связанным квантовым состояниям взаимодействовать мгновенно, независимо от расстояния между ними. Протокол e91 обеспечивает абсолютную безусловную безопасность, так как его безопасность зависит только от основных принципов квантовой механики.

Рассмотрим принцип работы протокол, на примере BB84. Он представляет собой схему, в которой Алиса отправляет сообщение Бобу, в то время как Ева пытается перехватить сообщение, оставаясь незамеченной [4]. В этом протоколе Алиса отправляет Бобу единичные фотоны с определенной поляризацией. Фотоны могут находиться в одном из четырех квантовых состояний: 0, 45, 90 и 135 градусов в двух базисах – каноническом (0 и 90 градусов) и диагональном (45 и 135 градусов). Поляризации 0 и 45 градусов принимают значение 0, а поляризации 90 и 135 градусов – 1. Алиса и Боб, при передаче каждого

бита сообщения, случайным образом выбирают базис, в котором будут передавать и принимать этот бит. В половине случаев Боб будет ошибаться в выборе базиса, что сделает результат измерения случайным. После передачи сообщения, Алиса и Боб обмениваются по открытому каналу информацией о выбранных базисах. Используя эту информацию, они могут исключить из сообщения биты, передача которых происходила в разных базисах, и таким образом получить одинаковый ключ. Однако, в схему также вмешивается Ева. Она может измерять состояние фотонов, уничтожать и создавать их в том состоянии, в котором она их измерила. Также, Ева должна выбирать базис для измерений, и в половине случаев она не будет угадывать правильный базис. Ева будет вносить около 25% ошибок в передаваемое сообщение. Алиса и Боб, раскрывая некоторые биты, могут обнаружить наличие ошибок и таким образом обнаружить присутствие Евы. Ошибки также могут возникать по пути передачи данных. Поэтому допустимо, что канал с ошибкой менее 11% считается безопасным для этого протокола. Квантовая криптография и протоколы, такие как bb84 и e91, играют ключевую роль в обеспечении безопасности при передаче информации. Они существенно повышают уровень защиты данных и предоставляют надежную систему для обмена секретными ключами. Все это делает протоколы квантовой криптографии неотъемлемой частью современной информационной безопасности.

Квантовая криптография также применяется для защиты цифровых подписей и аутентификации. Использование квантовых ключей гарантирует неподделываемость информации, поскольку любая попытка изменить данные приведет к нарушению свойств ключа и его немедленной деактивации. Это значительно повышает надежность систем аутентификации и обеспечивает защиту от подделки и фальсификации. Кроме того, квантовая криптография активно применяется для защиты хранилищ информации. Создание квантово-защищенных хранилищ позволяет хранить данные с использованием квантовых свойств и защищать их от несанкционированного доступа. Это особенно важно в областях, где требуется высокий уровень конфиденциальности, например, в финансовом секторе или государственных структурах. С развитием квантовых технологий роль квантовой криптографии в обеспечении безопасности станет еще более значимой и неотъемлемой частью современной информационной инфраструктуры.

Современные криптографические алгоритмы – это сложные математические методы, которые обеспечивают безопасность передаваемой информации. Они способны эффективно защищать данные от несанкционированного доступа и взлома. Ключевым элементом таких алгоритмов являются уникальные коды – ключи шифрования, которые используются для обеспечения безопасности передаваемых сообщений. Современные методы шифрования гарантируют генерацию и хранение надежных ключей, которые невозможно легко подобрать или взломать. Кроме того, новейшие методы шифрования включают в себя механизмы защиты от различных видов атак, таких как переборный атаки, атаки посредника и другие. Такие механизмы помогают надежно обезопасить данные от злоумышленников и предотвратить несанкционированный доступ к ним.

Современные криптографические алгоритмы и методы шифрования, с применением защитных ключей и надежных механизмов - являются неотъемлемой составляющей области информационной безопасности, обеспечивая надежность и сохранение целостности данных. Эффективность квантовых ключей заключается в том, что они обладают свойствами нерушимого шифрования и защиты от подслушивания. Квантовые ключи гарантируют, что любая попытка перехвата или слежки будет обнаружена, поскольку изменение состояния фотонов в квантовом канале неизбежно приведет к потере информации.

Таким образом, получателю квантового ключа будет известно о любой попытке несанкционированного доступа. Квантовые ключи также обладают свойством одноразового использования, что дополнительно повышает уровень безопасности. В отличие от классических ключей, которые могут быть использованы множество раз, квантовый ключ может быть использован только один раз. Это связано с особенностями передачи фотонов и обнаружением любых попыток перехвата.

Однако, несмотря на свою безопасность и эффективность, квантовым ключам присущи некоторые ограничения. Их использование требует специализированного оборудования и инфраструктуры, что может быть достаточно затратным. Более того, квантовые каналы имеют ограниченную дальность передачи, что ограничивает их применимость в глобальных сетях связи, таблица 1.

Квантовая криптография - перспективное направление в области информационной безопасности, основанное на принципах квантовой механики. Она обеспечивает высокий уровень защиты данных от криптоанализа и позволяет создавать надежные квантовые каналы связи. Использование квантовых ключей является значительным прорывом в криптографии и информационной безопасности, поскольку позволяет обеспечить конфиденциальность информации.

Таблица 1 –Сравнение классической и квантовой криптографии

Критерии	Классическая криптография	Квантовая криптография
Цифровая подпись	Есть	Нет
Защита от перехвата	Есть возможность перехвата с дальнейшей расшифровкой	Повреждение данных при попытке перехвата
Защита от перебора	Может быть расшифровано простым перебором (при достаточной скорости и параллельных вычислениях)	Физические свойства кубита не позволяют использовать перебор
Количество алгоритмов шифрования	За много лет использования накопилось множество разнообразных методов	Новая сфера с небольшим разнообразием алгоритмов
Удобство передачи	Нет никаких проблем	Трудность передачи на большие расстояния, а также низкая скорость
Доступность	Доступна	Малая доступность связана с недостатком технологий в данной области и высокой ценой
Дополнение	Хороша при последовательных вычислениях	Хороша при параллельных вычислениях

В будущем с развитием данной технологии стоимость оборудования снизится, что сделает квантовые ключи более доступными и широко распространенными. Последствием этого будет более высокий уровень безопасности в цифровом мире. Однако данная технология все еще находится на ранней стадии развития и имеет ограничения, поэтому важно продолжать исследования в этом направлении для успешного внедрения квантовой криптографии в информационную среду.

Список использованной литературы

1. International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 4, no. 4, 2016 40 «Безопасность информации: применение квантовых технологий» А.У. Актаева, О.А. Баймуратов, Н.Г. Галиева, А.С. Байкенов <https://cyberleninka.ru/article/n/bezopasnost-informatsii-primenenie-kvantovyh-tehnologiy/viewer>.

2. «Квантовый компьютер: его превосходство, несходство и недосходство в сравнении с классическим» <https://habr.com/ru/articles/761440/>

3. Макухин П. Г. «Объективность научного знания в свете «принципа неопределенности» В. Гейзенберга как частного случая «принципа дополнительности» Н. Бора» // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2016. – № 7 (июль). – 0,8 п. л. – URL: <http://e-koncept.ru/2016/16156.htm>.

4. «Принципы работы некоторых квантовых протоколов шифрования». <https://habr.com/ru/sandbox/163613/>.

ИНТЕГРАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В СУДОХОДСТВЕ: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

*Ержакова Софья Олеговна, Наркевич Кирилл Андреевич,
Коринец Екатерина Михайловна, Абрамов Валерий Михайлович
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. В статье рассматривается внедрение цифровых инструментов и нейронных сетей для совершенствования информационно-измерительных и управляющих систем, обеспечивающих дистанционное управление автономными судами коммерческого назначения в условиях изменения климата в Арктике. Приводятся примеры использования предлагаемых инструментов различными компаниями, такими как Rolls-Royce, Wärtsilä и Nippon Yusen Kabushiki Kaisha (NYK).

Описывается перспективная типовая структура системы дистанционного управления автономным судном коммерческого назначения, интегрирующая нейронные сети. Их применение направлено на повышение точности, ускорение обработки данных, предотвращение кибератак, оптимизацию оборудования и программного обеспечения.

Отмечаются преимущества использования нейронных сетей, такие как возможность обработки больших объемов данных, гибкость, точность прогнозирования и принятия решений. Ключевые области применения включают оптимизацию маршрутов, управление рисками, прогнозирование спроса, мониторинг состояния судов.

Исследования выполнены в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Ключевые слова: цифровые инструменты, информационно-измерительные и управляющие системы, автономное судно, изменения климата, нейронные сети.

INTEGRATION OF NEURAL NETWORKS TO OPTIMIZE INFORMATION SYSTEMS IN SHIPPING: NEW OPPORTUNITIES AND PROSPECTS

Erzhakova Sofya Olegovna, Narkevich Kirill, Korinets Ekaterina Mikhailovna, Abramov Valery Mikhailovich

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Annotation. The article discusses the introduction of digital tools and neural networks to improve information, measurement and control systems that provide remote control of autonomous commercial vessels in the conditions of climate change in the Arctic. Examples of the use of the proposed tools by various companies such as Rolls-Royce, Wärtsilä and Nippon Yusen Kabushiki Kaisha (NYK) are given.

A promising standard structure of a remote-control system for an autonomous commercial vessel integrating neural networks is described. Their application is aimed at improving accuracy, speeding up data processing, preventing cyber-attacks, optimizing hardware and software.

The advantages of using neural networks are noted, such as the ability to process large amounts of data, flexibility, accuracy of forecasting and decision-making. Key applications include route optimization, risk management, demand forecasting, and vessel condition monitoring.

The research was carried out at the Russian State Hydrometeorological University within the framework of the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Keywords: digital tools, information measuring and control systems, autonomous vessel, climate change, neural networks.

Роль информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) в судоходстве на сегодня очень важна. Данные технологии занимают важное место в управлении судами, движением и обеспечения безопасности на море.

Система автоматической идентификации (АИС) судов служит одним из примером их использования. Система, позволяет кораблям мгновенно передавать важные данные об их текущем местоположении, скорости и различных других факторах. Таким образом, другие суда и береговые службы могут отслеживать перемещения судна и

предпринимать любые необходимые действия для повышения безопасности на море [1-2].

Также благодаря ей, судовладельцам доступны специализированные системы управления выбросами для мониторинга и контроля выбросов с судов в режиме реального времени, включая мониторинг выбросов с судов.

Интеграция нейронных сетей, далее именуемых НС, в корабельные системы служит целям повышения эффективности, улучшения мер безопасности и оптимизации рабочих процедур. Исследование включает в себя изучение следующих тем:

- 1) повышение точности и надежности системы;
 - 2) ускорение обработки данных;
 - 3) обнаружение кибератак и предотвращение их последствий;
 - 4) оптимизация работы аппаратного и программного обеспечения.
- 5) прогнозирование поведения системы и принятие решений на основе этих прогнозов.

Уделение внимания данным темам позволит значительно улучшить функционирование и безопасность морских операций.

Информационные системы в морском секторе сталкиваются с рядом важных проблем, которые необходимо учитывать при разработке и внедрении новых технологий. Некоторые из них включают сложные обработки и анализ больших объемов данных [3].

Так, одной из основных задач в морской отрасли, где информация поступает из множества источников является - Анализ данных, но он требует высокой вычислительной мощности и эффективных алгоритмов.

Учитывая тот факт, что в море счет идет на секунды, системы должны уметь мгновенно принимать автономные решения, особенно в чрезвычайных ситуациях. Это требует быстрой обработки данных и высокой скорости реагирования системы. А для этого необходимость принимать решения в режиме реального времени. Однако это трудно реализуемо, так как возникает проблема: Высокая стоимость содержания и обновления систем. Морские компании испытывают проблемы с затратами на обслуживание и модернизацию.

Необходимость постоянно совершенствовать технологии не выгодна компаниям, в экономическом плане. Также, не стоит забывать и о другой, не менее важной проблеме – интеграции различных систем: Судоходные компании часто имеют дело с непохожими друг на друга системами, которые необходимо, а разные форматы данных и протоколы связи между системами усложняют процессы. Помимо прочего, самым важным на сегодняшний день, является безопасность. Кибер угрозы и потенциальные утечки данных делают защиту информационных систем все более важной. Принимать меры по защите данных очень необходимо. Преодоление всех этих проблем требует инновационных подходов и использования передовых технологий, в том числе интеграции нейронных сетей, что позволит обеспечить эффективность и безопасную работу информационных систем в данной отрасли [4].

Благодаря умению обрабатывать и анализировать большие данные, НС могут оперативно обнаруживать ошибки и закономерности, что позволит принимать более эффективные решения и делать точные прогнозы. А их гибкость и адаптивность позволит им обучаться и приспосабливаться к изменяющимся условиям что идеально подходит для работы с различными ситуациями на судах. Ниже перечислены важные области применения нейронных сетей в морской отрасли:

1. Оптимизация маршрутов и расписаний

НС используются для анализа данных о движении судов, погоде и других факторах с целью оптимизации маршрутов и расписаний.

2. Управление рисками и безопасностью: НС анализируют данные о безопасности море плавания, такие как информация о погоде и состоянии судна, чтобы управлять рисками и обеспечивать безопасность мореплавания.

3. Прогнозирование спроса и планирование ресурсов: НС используют данные о спросе на морские перевозки, ценах на товары и т.д. для прогнозирования спроса на морские перевозки и планирования ресурсов.

При мониторинге состояния судов и оборудования НС своевременно обнаруживают проблемы и неисправности, повышая тем

самым эффективностью технического обслуживания и управления судами, тем самым повышая безопасность морских операций, что делает эту технологию очень важным инструментом в современном быстро меняющемся мире. В настоящее время многие компании исследуют и внедряют технологии искусственного интеллекта для обеспечения безопасности мореплавания.

1. Rolls-Royce. Rolls-Royce – один из производителей, уделяющих большое внимание развитию автономного судоходства и использованию искусственного интеллекта для повышения безопасности навигации и морских операций. В последние годы компания запустила несколько инновационных решений для снижения рисков безопасности, включая Intelligent Awareness (IA) на рисунке 1 и полностью автономные коммерческие суда. В рамках этих инициатив Rolls-Royce сотрудничает с Intel и Google.

2. Wärtsilä. Технологическая компания Wärtsilä – еще один лидер в разработке интеллектуальных решений для судоходства, включая использование искусственного интеллекта для навигации и безопасности. Компания работает над решениями для "умных портов", которые обеспечивают безопасную передачу данных с судна на берег и взаимодействие в электронной навигации.

3. Nippon Yusen Kabushiki Kaisha (NYK). NYK – одна из ведущих японских судоходных компаний, в 2021 году представила систему предотвращения столкновений. Основанная на алгоритмах искусственного интеллекта, система Orca AI, рисунок 2, использует датчики зрения и тепловизионные камеры для улучшения видимости судов и предотвращения человеческих ошибок в особо суровых условиях.

Эти Данные компании продемонстрировали успешную интеграцию ИС в морскую индустрию, и их послужной список является тому подтверждением. Например, финансовый отчет NYK за 2022 год демонстрирует высокий уровень ликвидности: денежные средства и депозиты составляют около 1,9 миллиарда долларов США.

Заключение. Подводя итоги всего выше сказанного, преимущества использования ИС включают повышение точности прогнозов, повышение безопасности на море, оптимизацию маршрутов

и расписаний, управление рисками и прогнозирование спроса. Успешные примеры интеграции ИС, такие как проекты Rolls-Royce, Wartsila и Nippon Yusen Line, демонстрируют потенциал этой технологии для преобразования морской отрасли.

Список использованной литературы

1. Бородин, Е. Л., Бенгерт, А. А., Мучкаева, И. С., Кириленко, А. Д., Храмов, И. С., & Биденко, С. И. Использование аппарата искусственных нейронных сетей для обеспечения навигационной и экологической безопасности судоходства в условиях сложной динамической обстановки // Эксплуатация морского транспорта. – 2022. – № 3. – С. 105-114. – URL: <https://aumsu.editorum.ru/ru/nauka/article/57205/view>

2. Бородин Е.Л., Биденко С.И., Храмов И.С. и др. Геоинформационная поддержка управления морской транспортной активностью: методический аспект // Эксплуатация морского транспорта. – 2018. – № 2 – С. 80 – 85. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36415920>

3. Бородин Е.Л., Биденко С.И., Храмов И.С. Оценка обстановки в ближней морской зоне с использованием искусственных нейронных сетей // Эксплуатация морского транспорта. – 2018 – № 4 – С. 82 – 90. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36865916>

4. Епихин, А. П., Игнатенко, А. В., Студеникин, Д. Е., & Хекерт, Е. В. Основные тренды внедрения технологий искусственного интеллекта в управлении морскими автономными надводными судами // Эксплуатация морского транспорта. – 2021. – № 2. – С. 88–96. – URL: <https://aumsu.editorum.ru/ru/nauka/article/53794/view>

УДК 528.94

ЭЛЕКТРОННЫЕ КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ И ИХ МОДЕРНИЗАЦИЯ

***Зотов Владислав Денисович, Степанов Лев Алексеевич,
Рычихин Даниил Андреевич***

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

*Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор, профессор
кафедры ИТиСБ РГГМУ Сикарев И. А.*

Аннотация. В статье рассматриваются общие сведения об электронных картографических системах в судовождении, перспективы внедрения, новейшие системы, а также модернизация картографических систем для судовождения в будущем.

Ключевые слова: картографические системы, перспективы, модернизация, судовождение.

ELECTRONIC CARTOGRAPHIC SYSTEMS, IMPLEMENTATION PROSPECTS AND THEIR MODERNIZATION

***Zotov Vladislav Denisovich, Stepanov Lev Alekseevich, Rychikhin Daniil
Andreevich***

*Russian State Hydrometeorological University,
St. Petersburg, Russia*

*Scientific supervisor: Dr. Tech. Sciences, Professor, Professor of the
IT&SB Department of the Russian State Humanitarian University
Sikarev I. A.*

Annotation. The article discusses general information about electronic charting systems in ship navigation, implementation prospects, the latest systems, and modernization of charting systems for ship navigation in the future.

Keywords: mapping systems, perspectives, modernization, ship navigation.

Электронные картографические системы в судовождении представляют собой специализированные программно-аппаратные комплексы, предназначенные для навигации судов с использованием

электронных карт и других данных о морской обстановке. Вот несколько общих сведений об электронных картографических системах в судовождении: Электронные карты: Основой электронных картографических систем являются цифровые электронные карты, содержащие информацию о глубинах, приливах, течениях, портах, маяках, опасностях и других объектах на морском пути. Графическое отображение: Электронные карты отображаются на экране монитора навигационной системы, обеспечивая морякам наглядное представление о окружающей местности и объектах. Обновление данных: Одним из преимуществ электронных карт является возможность быстрого и удобного обновления данных [1]. Это позволяет оперативно получать актуальную информацию о изменениях на морском пути. Интерактивность: Электронные картографические системы обычно обладают функцией интерактивности, позволяя морякам масштабировать карту, выбирать объекты для отображения, строить маршруты и выполнять другие действия для более удобной навигации. Интеграция с другими системами: Электронные картографические системы часто интегрируются с другими навигационными системами, такими как GPS, радары, AIS (Automatic Identification System) и другими, обеспечивая максимально полное представление о ситуации на море. Автоматические функции: Некоторые электронные картографические системы обладают автоматизированными функциями, такими как автоматическое определение оптимального маршрута, предупреждения о близости к опасным объектам и т.д.

Электронные картографические системы значительно упрощают процесс навигации и повышают безопасность судоходства, предоставляя морякам доступ к точной и актуальной информации о морской обстановке. Внедрение картографических систем в судовождение имеет значительные перспективы и потенциал для улучшения безопасности, эффективности и комфорта при навигации. Вот несколько ключевых перспектив внедрения картографических систем в судовождении: Увеличение точности и актуальности данных: Современные картографические системы предоставляют доступ к высокоточным и актуальным данным о гидрографии, метеоусловиях, приливах и других параметрах, что способствует более точной навигации. Улучшение обзорности и информативности: Использование картографических систем позволяет визуализировать информацию о маршруте, объектах на маршруте, опасностях и других параметрах, что обеспечивает более полное представление о среде

плавания. Автоматизация процессов: Картографические системы могут интегрироваться с другими системами на борту судна (например, системы автоматического управления судном), что способствует автоматизации процессов навигации и управления судном. Интеграция с новыми технологиями: Развитие технологий, таких как искусственный интеллект, машинное обучение, дистанционное зондирование, спутниковые системы навигации, позволяет создавать более продвинутые и интеллектуальные картографические системы. Повышение безопасности плавания: Использование картографических систем с функциями предупреждения об опасностях, аварийных ситуациях, резервированием маршрутов помогает повысить безопасность плавания [2]. Экологическая эффективность: Оптимальное планирование маршрутов с использованием картографических систем способствует экономии топлива, снижению выбросов и уменьшению воздействия на окружающую среду. Улучшение процесса принятия решений: Картографические системы предоставляют большой объем информации для анализа и обеспечивают мореплавателям более информированные и обоснованные решения во время плавания.

На данный момент существует несколько передовых картографических систем, которые революционизируют процессы навигации и судовождения. Вот несколько из них: S-Mode представляет инновационный подход к картографии, обеспечивая более точные и актуальные данные для безопасной навигации. Эта система объединяет данные о течениях, приливах, погоде и других параметрах для предоставления полной картины окружающей обстановки. AR Navigation (Augmented Reality Navigation): использует технологию дополненной реальности для отображения информации о маршруте прямо на экране судового управления. Это позволяет морякам получить более наглядное представление о среде и объектах на пути движения. Система Dynamic Underkeel Clearance предназначена для определения свободного пространства под килем судна в реальном времени. Это помогает избежать опасных ситуаций на поверхности воды, особенно в неглубоких районах. ECDIS является электронной системой отображения карт, заменяющей традиционные бумажные карты. Она предоставляет возможность автоматического обновления данных, расчета оптимальных маршрутов и интеграции с другими системами на борту судна. IBS объединяет различные системы управления и мониторинга на мостике судна, включая картографические системы, радары, системы контроля двигателя и

другие. Это обеспечивает централизованное управление всеми аспектами навигации.

В будущем модернизация картографических систем для судовождения будет направлена на использование передовых технологий и инноваций, чтобы улучшить процессы навигации и обеспечить еще большую безопасность мореплавания [3]. Вот несколько направлений, в которых ожидается развитие картографических систем: Использование искусственного интеллекта (AI): Искусственный интеллект будет широко применяться для анализа и обработки данных гидрографии, погоды, движения судов и других параметров. Это позволит создавать более точные и прогностические карты для оптимальной навигации.

Развитие систем дополненной и виртуальной реальности: Применение технологий AR и VR позволит морякам получать более наглядное представление о маршруте и окружающей обстановке, что поможет им принимать быстрые и осознанные решения в сложных условиях.

Интеграция с дронами и беспилотными судами: Картографические системы будут интегрироваться с дронами и беспилотными судами для проведения детального мониторинга морской среды, обнаружения препятствий и предупреждения о потенциальных опасностях на маршруте. Усовершенствование систем предупреждения столкновений (Collision Avoidance Systems): Будущие картографические системы будут активно использовать данные о движении других судов и автоматически предсказывать возможные ситуации столкновения, предоставляя морякам рекомендации по безопасным маневрам [4].

Разработка систем принятия решений на основе больших данных (Big Data): Использование аналитики больших данных позволит предусмотреть дополнительные факторы при планировании маршрутов, учете погодных условий и определении оптимальных решений для совершения безопасного плавания.

Интеграция с экологическими системами мониторинга: Будущие картографические системы также будут сосредоточены на взаимодействии с экологическими системами мониторинга для минимизации воздействия на окружающую среду и обеспечения устойчивости морской экосистемы. Модернизация картографических систем для судовождения в будущем будет направлена на повышение эффективности, безопасности и экологической устойчивости морских

перевозок, обеспечивая морякам новые инструменты и технологии для успешного выполнения задач на море [5].

Таким образом внедрение электронных картографических систем в судовождение обеспечивает повышение безопасности и эффективности морских перевозок, а благодаря использованию искусственного интеллекта, технологий дополненной и виртуальной реальности, интеграции с дронами и беспилотными судами, усовершенствованных систем предупреждения столкновений и аналитики больших данных, судоводители получают более точные и актуальные данные для принятия обоснованных решений во время навигации.

В целом, модернизация картографических систем для судовождения в будущем обещает революцию в морской навигации, обеспечивая улучшенную безопасность, эффективность и устойчивость морских перевозок. Однако необходимо продолжать развивать и совершенствовать эти системы, чтобы соответствовать постоянно меняющимся требованиям и вызовам морского сектора.

Список использованной литературы

1. Лобастов, В. М. Электронные картографические системы в судовождении [Текст]: учеб. пособие / В. М. Лобастов. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2009. – 167 с.
2. Карманов А.Г., Кнышев А.И., Елисеева В.В. Геоинформационные системы территориального управления: Учебное пособие – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 121 с.
3. Морские навигационно-картографические системы. Сизов В.В. –Ростов н/Д: ИРИДИС, 2000. -128 с.: ил.
4. Шихов А.Н., Черепанова Е.С., Пьянков С.В. Геоинформационные системы: методы пространственного анализа: учеб. пособие / А.Н. Шихов, Е.С. Черепанова, С.В. Пьянков. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2017. – 88 с.: ил
5. Дубровский, А. В. Д797 Геоинформационные системы: автоматизированное картографирование [Текст]: учеб.-метод. пособие / А. В. Дубровский, О. И. Малыгина. – Но восибирск: СГУГиТ, 2016. – 94 с.

УДК 621.397.001

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Зубакин Игорь Александрович

*ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет
гражданской авиации,
г. Санкт-Петербург, Россия, zubakin_@mail.ru*

Аннотация. В статье рассмотрены методология создания космических телевизионных (ТВ) систем и особенности ТВ аппаратуры для первых метеорологических космических ТВ систем. Отмечено, что создание таких систем должно опираться на уравнение связи и принцип доминантной информации. Доклад посвящается 120-летию со дня рождения С. И. Катаева.

Ключевые слова: космические телевизионные системы, априорная информация, критерий качества, ограничения, космический аппарат, доминантная информация, фоновая информация, шумовая информация.

FEATURES OF CONSTRUCTION OF SPACE TELEVISION SYSTEMS FOR METEOROLOGICAL PURPOSES

Zubakin Igor Aleksandrovich

*Federal state-funded educational institution of higher education
«Saint-Petersburg State University of Civil Aviation named in honor of Air
Chief Marshal A.A. Novikov»,
St. Petersburg, Russia, zubakin_@mail.ru*

Annotation. The article considers the methodology for creating space television (TV) systems and the features of TV equipment for the first meteorological space TV systems. It is noted that the creation of such systems should be based on the equation of communication and the principle of dominant information. The report is dedicated to the 120th anniversary of the birth of S. I. Kataev.

Keywords: space television systems, a priori information, quality criterion, restrictions, spacecraft, dominant information, background information, noise information.

Космические ТВ системы вот уже много десятилетий решают различные народно-хозяйственные задачи, стоящие перед государством, и по своему назначению делятся на следующие виды [1, 2]: исследовательские, оборонные, землепользовательские, метеорологические и другие. В этом году мы отмечаем 65 лет с момента получения первого снимка из Космоса. 7 октября 1959 г. автоматическая межпланетная станция «Луна-3» с установленной на ней аппаратура «Енисей» впервые передала снимок обратной стороны Луны, невидимой с Земли. Первая космическая телевизионная система – это малокадровая система. Термин «малокадровая» был введён Л.И. Хромовым в статье [3] вместо многословного термина «передача изображений в узкой полосе частот», предложенного автором этой идеи С.И. Катаевым [4]. Суть идеи состоит в передаче только тех кадров, которые существенно отличаются друг от друга.

Как отмечали теоретики и практики космического телевидения [1, 2], главное в нём – это цель. Её очень трудно формализовать, но, исходя из цели создания системы, на интуитивно-изобретательском уровне (эвристически) выбирается метод решения проблемы. В рамках выбранного метода осуществляется математический синтез системы на основе априорной информации, ограничений и критерия качества. Синтез подразумевает нахождение структуры и параметров системы, а также оценку качества системы и проверку устойчивости системы к отклонению воздействий от принятой модели. Цель также определяет облик и особенности построения и функционирования всей системы.

Создание системы осуществляется в ходе внешнего и внутреннего проектирования, при этом необходимо опираться на необходимую и достаточную для оптимизации системы триаду, состоящую из априорной информации о сигналах и шумах (I_a), критерия качества (Q) выделения сигнала из шума и ограничений (L), всегда присутствующих в ходе разработки системы. Эти три показателя необходимо связать в единый функционал

$$f(I_a, Q, L),$$

чтобы формализовать задачу синтеза информационной системы.

В ходе внешнего проектирования выбираются: тип орбиты, углы зрения, разрешающая способность и циклограмма работы системы, а также осуществляется планирование самого эксперимента и разработка обобщённой математической модели системы. На этом этапе необходимо как можно полнее учесть априорную информацию о сигналах и шумах и критерий качества.

В ходе внутреннего проектирования необходимо выбрать тип фотоприёмника, спектральный диапазон, способ реализации накопления и развёртки изображения, тип канала связи и определить параметры системы для двух вариантов её использования: при неизменных и изменяющихся условиях наблюдения. Так, метеорологические системы наблюдения, работающие на средних орбитах, на каждом витке переходят от дневного к ночному наблюдения и обратно. На этом этапе, наряду с априорной информацией о сигналах и шумах и критерием качества, необходимо учесть также ограничения.

Цель создания ТВ системы метеорологического назначения – это оперативное получение достоверной информации о распределении облачности на «дневной» и «ночной» сторонах Земли для осуществления прогнозов. В связи с этим такие системы должны быть спроектированы для видимого и инфракрасного (ИК) диапазонов, т.е. быть двухканальными.

Для текущего прогноза погоды необходимы задержки, не превышающие нескольких часов. С позиции исследования климата кратковременными считаются процессы, которые длятся от месяцев до нескольких лет. Известно, что климат – это сумма погодных явлений и чем длиннее ряды наблюдений за погодой, тем точнее будет прогноз на будущее. Космический аппарат (КА) для таких систем располагаются на средних орбитах (800–1200 км) и на геостационарной орбите (36000 км). Высота орбиты около 1000 км позволяет получить высокую разрешающую способность ТВ системы, а с геостационарной орбиты – глобальность наблюдения (при использовании нескольких КА) за исключением приполярных районов. Разрешение около 1 км вполне достаточно для систем метеорологического назначения, так как размер облаков, влияющих на погоду больше, чем 1 км. Широкий угол обзора позволяет видеть всю метеообстановку в выделенной области на Земле.

Сравнительный анализ космических ТВ систем метеорологического назначения для КА «Метеор» и «Электрон» представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры космических ТВ систем для КА метеорологического назначения

Параметры	КА «Метеор»	КА «Электро», ТВ аппаратура «Метеорит-Планета»
Тип орбиты	средневысотная	геостационарная
Разрешение - видимый диапазон - ИК диапазон	40 км 200 км	1 км / 6" 5 км / 32"
Чувствительность	S	1500S
Тип фотоприёмника: - видимого диапазона - ИК диапазона	одноэлементный сканер видиконы (четыре канала)	фотоэлектронные умножители приёмники на основе CdHgTe
Тип развёртки	механическая	сканирующее зеркало
Циклограмма	1 кадр/мин.	1 кадр/час

При создании космических ТВ систем важно учитывать все этапы рождения ТВ сигнала (фотоэлектрическое преобразование, накопление, дискретизация, развёртка), а также радиосвязь, усиление и обработку видеoinформации, так как ТВ система – это информационная машина. Так, в ходе обработки информации в наземном пункте, полученной с геостационарного спутника, изображение облачности подвергается оконтуриванию – в него вводятся границы моря и суши, а также реперные точки для привязки к местности, затем это изображение передаётся обратно на КА, а уже с него транслируется всем получателям.

Сегодня информация об облачности доступна пользователям при обращении к соответствующим ресурсам в Интернете, где наряду с числовой информацией (температура, давление, влажность и т.д.) можно получить и визуальную, и не только в виде статических изображений, но и в виде последовательности кадров (видео) [5]. В Санкт-Петербурге аппаратуру для космических метеорологических систем производит АО «НИИ телевидения», богатый опыт которого в создании космических ТВ систем не только метеорологического назначения отражён в книгах [1, 2]. Среди перспективных проектов [6] – комплекс гидрометеорологического обеспечения (КГМО) «Сюжет-КМ», назначение которого – оперативное представление

гидрометеорологической обстановки на кораблях и судах для обеспечения безопасности кораблевождения и обеспечения потребителей и постов основной метеорологической информацией.

Заключение. Главное в космических ТВ системах – это передача информации с требуемым качеством в реальном масштабе времени [1, 2]. Формализация этого требования обеспечивается информационным уравнением, предписывающим такое преобразование (кодирование) информации на передающей стороне и декодирование на приёмной, чтобы её скорость была равна пропускной способности канала связи, совместно с принципом доминантной информации, согласно которому вся доступная информация разделяется на доминантную, шумовую и фоновую, а задача кодирования – повысить качество информации в канале связи, составляет единую методологию синтеза космических ТВ систем. При этом задача проектировщика устройства обработки сигнала заключается в том, чтобы в ходе кодирования удалить или уменьшить шумовую информацию и подавить (затормозить) полностью или частично фоновую, заботясь о качестве информации в канале связи.

Список использованной литературы

1. Цыцулин А.К. Телевидение и космос: учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003 (1-ое издание, 228 с.), 2014 (2 издание, 238 с.).
2. Практика и теория космического телевидения. Под ред. А.А. Умбиталиева, А.К. Цыцулина. СПб.: НИИ телевидения, 2017. 368 с., ил.
3. Хромов Л.И. О некоторых способах передачи изображений с помощью узкой полосы частот. Техника телевидения. Научно-технический сборник. Выпуск 29.
4. С.И. Катаев. Возможность передачи телевизионной картины с помощью узкой полосы частот. «Радиотехника», 1937, № 2, стр. 71–80.
5. <https://meteoinfo.ru/images/media/satel/rs20ir.gif>
6. <https://niitv.ru/product-categories/product/8>

УДК 347.799.13

**ТОПОЛОГИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОПОЛНЕНИЙ ГНСС ГЛОНАСС/GPS,
ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ ДЛЯ НУЖД ВНУТРЕННЕГО
ВОДНОГО ТРАНСПОРТА**

Козловская Василиса Алексеевна, Кутикова Виктория Сергеевна
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет» г. Санкт-Петербург, Россия,
darkmaterials.3.pp@gmail.com, vika.kutikova.03@mail.ru
Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор, профессор
кафедры ИТиСБ РГГМУ Сикарев И. А.

Аннотация: Обзор логико-информационной модели для определения требований к точности и дискретности позиционирования судов на внутренних водных путях. Возможные пути решения задач, связанных с безопасностью судоходства, экологической защитой и управлением движением судов, и внедрение новых современных радиотехнических средств на базе высокоточных спутниковых навигационных технологий. Описывается техническая реализация и оборудование ККС ГНСС ГЛОНАСС/GPS, предназначенное для обеспечения непрерывного высокоточного определения координат в пределах объявленной рабочей зоны.

Ключевые слова: ГЛОНАСС, ГНСС, GPS, дискретность, топология, навигация.

**TOPOLOGICAL DISTRIBUTION OF LOCAL FUNCTIONAL ADD-
ONS OF GNSS GLONASS/GPS FUNCTIONING FOR THE NEEDS
OF INLAND WATER TRANSPORT**

Kozlovskaya Vasilisa Alekseevna, Kutikova Victoria Sergeevna
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
darkmaterials.3.pp@gmail.com, vika.kutikova.03@mail.ru
Scientific supervisor: Dr. Tech. Sciences, Professor, Professor of the
IT&SB Department of the Russian State Humanitarian University
Sikarev I.A.

Annotation. Review of the logical information model for determining the requirements for the accuracy and discreteness of vessel positioning on

inland waterways. Possible ways to solve problems related to navigation safety, environmental protection and vessel traffic control, and the introduction of new modern radio equipment based on high-precision satellite navigation technologies. The technical implementation and equipment of the KKS GNSS GLONASS/GPS, designed to ensure continuous high-precision determination of coordinates within the declared working area, are described.

Keywords: GLONASS, GNSS, GPS, discreteness, topology, navigation.

Топологическое распределение локальных функциональных дополнений ГНСС ГЛОНАСС/GPS, функционирующих для нужд внутреннего водного транспорта РФ, включает в себя анализ текущего состояния и перспектив развития топологического распределения локальных функциональных дополнений ГНСС, а также разработку логико-информационной модели для определения требований к точности и дискретности позиционирования судов на внутренних водных путях РФ.

Развертывание в морских акваториях и на внутренних водных путях Российской Федерации сетей функциональных дополнений ГНСС ГЛОНАСС/GPS, в комплексе с автоматизированными идентификационными системами и системой управления судов на практике позволило обеспечить высокую степень эффективности управления движением судов и оказало положительное влияние на уровень безопасности судоходства. В настоящее время зоной действия системы АИС покрыты практически все внутренние водные пути, входящие в единую глубоководную систему европейской части Российской Федерации, которая включает в себя девять ВВП администраций бассейнов.

В настоящее время функциональные дополнения ГНСС ГЛОНАСС/GPS работают и управляются в основном изолированно друг от друга. Такой метод управления не позволяет в режиме реального времени осуществлять контроль и управление формируемым ими дифференциальным полем.

Решение задач, связанных с безопасностью судоходства и своевременной доставкой грузов, экологической защитой прибрежной зоны, требует четкого мониторинга движения судов и управления скоростями потоков судов или отдельных судов. Для этой цели

необходимо внедрение новых современных радиотехнических средств на базе высокоточных спутниковых навигационных технологий и применение систем, обеспечивающих безопасность плавания судов.

Данные обстоятельства требуют создания в регионах систем управления судоходством с таким навигационным обеспечением, которое бы в максимальной степени снижало риск аварий судов при плавании в прибрежных водах, на подходах к портам, в портовых водах, в узкостях, на внутренних водных путях, где свобода маневрирования ограничена.

Технически это реализуется путем строительства цепи контрольно–корректирующих станций ГНСС, обеспечивающих высокоточное навигационное перекрытие судоходных путей, цепей СУДС, позволяющих контролировать движение судов во всех проблемных, с точки зрения навигации, акваториях, и цепей базовых станций АИС, обеспечивающих мониторинг морского района (с точки зрения ГМССБ - А1) вдоль всего побережья, что гарантирует своевременное поступление сигналов бедствия в МСКЦ.

ККС ГНСС ГЛОНАСС/GPS предназначена для обеспечения непрерывного высокоточного определения координат в пределах объявленной рабочей зоны.

Опорная станция (ОС), входящая в состав ККС, осуществляет прием, обработку сигналов ГЛОНАСС, GPS и формирование дифференциальных поправок по всем спутникам, которые находятся в зоне радиовидимости ОС.

Последующая передача корректирующей информации (КИ) во внешние устройства осуществляется в соответствии с ТЭТ № МФ-02-22/848-59 и стандартом RTCM SC 104 версия 2.3 (сообщения 1, 31).

В состав оборудования ККС входят:

- опорная станция (ОС) ДГЛОНАСС/DGPS (основной и резервный комплекты), включая антенные блоки с устройствами крепления и комплектами соединительных кабелей;

- станция интегрального контроля СИК (основной комплект), включая антенны ГНСС ГЛОНАСС/GPS с устройствами крепления и комплектами соединительных кабелей;

- контрольная станция (КС) ГЛОНАСС/GPS на базе вычислителя с программным обеспечением;
- источник бесперебойного электропитания ККС;
- комплект эксплуатационной документации.
- станция интегрального контроля СИК (основной комплект), включая антенны ГНСС ГЛОНАСС/GPS с устройствами крепления и комплектами соединительных кабелей;
- контрольная станция (КС) ГЛОНАСС/GPS на базе вычислителя с программным обеспечением;
- источник бесперебойного электропитания ККС;
- комплект эксплуатационной документации.

Модуль процессора в ОС обеспечивает обработку данных от приемника ГНСС с целью вычисления диффпоправок.

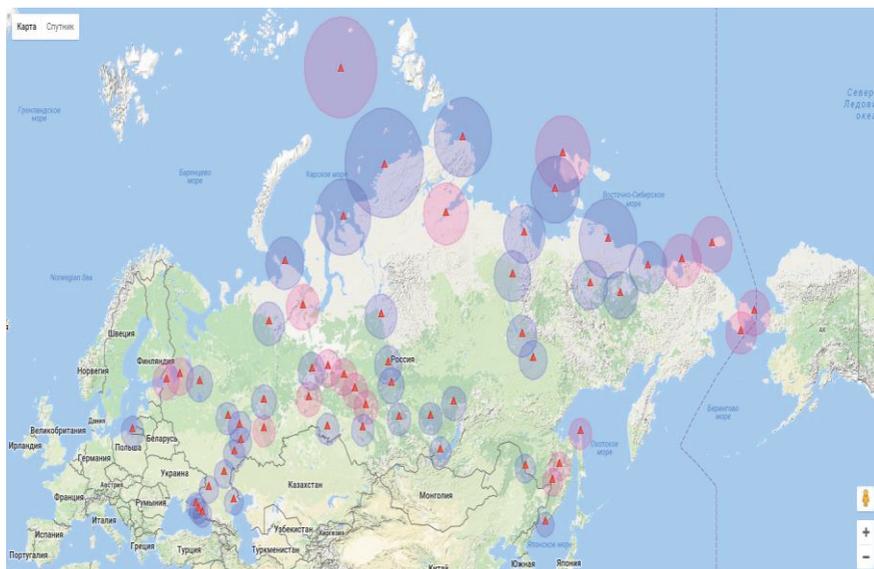


Рисунок 1 – Схема размещения оборудования гражданских контрольно-корректирующих станций на водных путях Российской Федерации

Существующее оборудование, применяемое на внутренних водных путях Российской Федерации, работает в СВ-диапазоне, ККС БС АИС на ВВП не применяются, так как имеют ограниченный радиус действия и их использование не конструктивно.

Схема размещения оборудования гражданских контрольно-корректирующих станций на водных путях Российской Федерации приведена на рисунке 1.

Таким образом, в настоящее время на водных путях Российской Федерации произведена установка современного высокоточного оборудования.

Список использованной литературы

1. Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова; учредитель ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова» ; редакционная коллегия С.О. Барышников (главный редактор) [и др.]. – Санкт-Петербург, 2008. Выходит 6 раз в год. ISSN 2309-5180. – Текст : непосредственный.. – 2016 - №4(38) – С. 184-192.

2. Научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов dissercat.com: электронная библиотека : сайт. – Москва, 2009. – URL: <https://www.dissercat.com/content/informatsionnoe-obespechenie-dlya-monitoringa-i-upravleniya-dvizheniem-sudov-na-osnove-funkt> (дата обращения 27.02.2024) - Текст: электронный.

3. Аналитический отчет по итогам исследования состояния и перспектив развития рынка навигационных, связанных и навигационно-связных модулей, а также оценки влияния на развитие российского и международного рынка «Автонет». – Москва, 2019. – Текст: электронный.

4. ResearchGate: цифровой ресурс : сайт – Берлин, 2008. URL:https://www.researchgate.net/publication/344368127_SISTEMY_SP_UTNIKOVOJ_RADIONAVIGACII (дата обращения 27.02.2024) - Текст: электронный.

ТЕОРЕТИКО-ИГРОВАЯ МОДЕЛЬ ПОИСКА И ПЕРЕХВАТА

*Малафеев Олег Алексеевич¹, Зайцева Ирина Владимировна²,
Тюрина Оксана Дмитриевна², Чжан Кунь¹,
Чуркин Ярослав Дмитриевич²*

¹ Санкт-Петербургский государственный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия, o.malafeev@spbu.ru

² ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия, i.zaitseva@rshu.ru,
oksana.vselennaia.2002@yandex.ru, bezlikiy59@gmail.com

Аннотация. В данной статье определены элементы теоретико-игровой модели поиска и перехвата. Представлена теоретико-игровая модель поиска и перехвата, которая используется для анализа стратегий поведения прячущегося и ищущего.

Ключевые слова: теоретико-игровая модель, поиск, перехват, стратегия.

GAME-THEORETIC MODEL OF SEARCH AND INTERCEPTION

*Malafeev Oleg Alekseevich¹, Zaitseva Irina Vladimirovna²,
Tyurina Oksana Dmitrievna², Zhang Kun¹, Churkin Yaroslav
Dmitrievich²*

¹ St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia,
o.malafeev@spbu.ru

² Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
i.zaitseva@rshu.ru, oksana.vselennaia.2002@yandex.ru,
bezlikiy59@gmail.com

Annotation. This article defines the elements of a game-theoretic model of search and interception. A game-theoretic model of search and interception is presented, which is used to analyze the strategies of hiding and searching behavior.

Keywords: game-theoretic model, search, interception, strategy.

Теоретико-игровая модель поиска и перехвата — математическая модель, которая используется для изучения стратегий поиска и перехвата объекта с участием двух или более игроков [1]. Эта модель

находит применение в различных областях, таких как военное дело, криминалистика, техническое наблюдение и другие. В модели поиска и перехвата два игрока взаимодействуют друг с другом. Один игрок представляет объект, который нужно найти и перехватить, в то время как другой игрок представляет собой поисковую группу, которая должна найти и захватить этот объект. Цель каждого игрока - выбрать оптимальную стратегию, чтобы достичь своей цели.

Для создания теоретико-игровой модели поиска и перехвата определяем следующие элементы:

1. пространство состояний – множество всех возможных местоположений объекта, которые могут быть известны или неизвестны игрокам;
2. функция выигрыша – функция, которая определяет выигрыш каждого игрока в зависимости от выбранных ими стратегий [5];
3. стратегии игроков – набор действий, которые каждый игрок может предпринять в каждом возможном состоянии [2];
4. функции перехода – функции, которые определяют вероятность перемещения объекта из одного состояния в другое [4].

С помощью этих элементов создаем математическую модель, которая позволяет анализировать различные стратегии поиска и перехвата в зависимости от различных факторов, таких как вероятность обнаружения объекта, скорость перемещения объекта и другие.

Для иллюстрации этой модели рассмотрим пример поиска и перехвата в виде игры "прятки". Допустим, есть два игрока - Игрок 1 (Прячущийся) и Игрок 2 (Ищущий). Игрок 1 выбирает место, где он залегает, а Игрок 2 пытается найти его. Для упрощения модели предположим, что игровое поле — это одномерный массив случайных чисел от 1 до 10, где каждое число представляет позицию Игрока 1 (1-10).

Программа на языке Java для реализации этой игры:

```
import java.util.Random;
public class Game {
    public static void main(String[] args) {
        Random rand = new Random();
        int[] positions = new int[10];
        for (int i = 0; i < 10; i++) {
            positions[i] = rand.nextInt(10) + 1;
        }
    }
}
```

```

    }
    int target = rand.nextInt(10) + 1;
    System.out.println("Target position: " + target);
    int steps = 0;
    for (int i = 0; i < 10; i++) {
        if (positions[i] == target) {
            System.out.println("Player 1 found at position: " + (i +
1));
            steps = i + 1;
            break;
        }
    }
    System.out.println("Steps taken to find Player 1: " +
steps);
    }
}

```

Результат работы программы будет выводить позицию, в которой "Игрок 1" был найден, и количество шагов, необходимых для этого. Это простой пример теоретико-игровой модели поиска и перехвата в виде игры "прятки", который помогает наглядно продемонстрировать основные принципы и концепции этой модели.

Таким образом, теоретико-игровая модель поиска и перехвата имеет широкий спектр применений и может быть использована для улучшения эффективности операций поиска и перехвата объектов в различных областях [3]. Данная модель позволяет оптимизировать стратегии игроков и повысить вероятность успешного выполнения задачи поиска и перехвата.

Список использованной литературы

1. Иванов В.Т. Математическое моделирование. Модели оптимизации (Методические указания для самостоятельной работы по курсу ЦИПС) – Уфа, 1988.
2. Самарский А.А. Гулин А.В. Численные методы - М.: Наука, 1989.
3. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: Высшая школа, 1998.
4. Теория вероятностей. — М.: Изд-во физико-математической литературы, 1958. — 464 с.
5. Целых, А.Н. Оценка эффективности информационного поиска / А.Н. Целых, Э.М. Котов // Изв. Таганрог. гос. радиотехн. ун-та. – 2006. – № 10. – С. 43–45.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕРМОКОНВЕКТИВНЫХ СТРУКТУР В ПОТОКЕ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Малиновская Елена Александровна¹, Калинин Савелий Дмитриевич²

*¹ ФГБУН Институт физики атмосферы
им. А.М.Обухова Российской академии наук,
г. Москва, Россия*

*² ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия, fixinit8@yandex.ru,
elen_am@inbox.ru*

Аннотация. Рассмотрена задача идентификации термоконвективных структур по данным пульсационных измерений температуры воздуха, полученных с использованием высокочастотных проволочных датчиков в приповерхностном слое на опустыненной территории. На основе результатов визуального анализа данных создана обучающая выборка образов термоконвективных структур («рэмпов»). Обученная по полученной выборке нейронная сеть может быть использована для поиска т.н. «рэмп» структур по данным высокочастотных измерений. Выполнены тестовые поиски. Данные о распределении подобных структур по размерам и интенсивности позволяет связать термоконвективные характеристики со скоростью и интенсивностью выноса пылевого аэрозоля с аридных и субаридных территорий.

Ключевые слова: конвекция, база образов, «рэмп» структуры, нейронная сеть.

IDENTIFICATION OF THERMOCONVECTIVE STRUCTURES IN A DATA STREAM USING NEURAL NETWORKS

Malinovskaya Elena Aleksandrovna¹, Kalinin Saveliy Dmitrievich²

¹Obukhov Institute of Atmospheric Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia, fixinit8@yandex.ru, elen_am@inbox.ru

Annotation. The problem of identification of thermoconvective structures from the data of pulsation measurements of air temperature obtained using high-frequency cold wire sensors in the near-surface layer in a desertified area is considered. Based on the results of visual data analysis, a training sample of images of thermoconvective structures "ramp" was created. The neural network trained on the obtained sample can be used to search for the so-called "ramp" structures according to high-frequency measurements. Test searches have been performed. The data on the distribution of such structures by size and intensity allows us to link thermoconvective characteristics with the rate and intensity of dust aerosol transport from arid and subarid areas.

Keywords: convection, image database, "ramp" structures, neural network.

Конвекция над нагретой поверхностью возникает в результате подъема теплых масс воздуха [1]. Постоянно возникающие конвективные вихри обеспечивают перенос тепла и выброс субмикронного аэрозоля в условиях сильного нагрева опустыненных участков поверхности. Плотность распределения тепловых структур, как и пылевого аэрозоля, зависит от колебаний температуры [2]. С высотой увеличиваются пульсации вертикальной компоненты скорости [3], замечается усиление связи для пульсаций скорости и температуры [4]. В данных измерений скорости и температуры, явно выделяются треугольные выпадения и впадины, которые называются «рэмпы» (ramp) [5]. Визуально они заметно отделены друг от друга. Распределение и размеры рэмпов говорят о том, какие структуры преобладают или, наоборот, являются второстепенными в конвективном тепловом потоке.

Визуально «рэмп» структуры видны для пульсационных составляющих температуры при осреднении от 1 до 10 минут. При этом размеры при изменении интервала осреднения оказываются разными, так как здесь проявляется свойство самоподобия [6].

Размеры «рэмп» структур определяют свойства вертикального теплового потока, возникающего от нагретой поверхности. Автоматизация идентификации «рэмп» структур на больших объемах данных позволит получить сведения о пространственных характеристиках теплового потока. Возможность эффективного выявления таких структур разного размера позволит, вероятно, оценить характеристики вертикального выноса пылевого аэрозоля с аридных и субаридных территорий. Одним из способов такой автоматизации

является обучение нейронной сети, способной обрабатывать исходные данные и выделять такие двумерные объекты, которые характеризуют термоконвективную структуры. Для понимания исследуемых процессов и структур используем аналог пламени свечи на ветру. Со стороны ветра имеется четкая граница между пламенем и воздухом, а противоположная сторона представляет собой более размытую форму и границы. Подобный процесс происходит и с тепловой структурой, которая перемещается ветром. При движении она имеет несимметричную форму, как и пламя. Поэтому, проходя через нить датчика, наблюдается соответствующее распределение температуры в структуре.

На рисунке 1 показана визуализация процесса переноса тепловой структуры через датчик с приблизительным распределением температуры (например, в центре более теплая и в последующих слоях вовне охлаждается). Если структура движется слева направо, то датчик фиксирует сначала постепенный рост температуры, а на правой границе тепловой структуры, где активно воздействие ветра, рост прекращается, и температура резко падает.

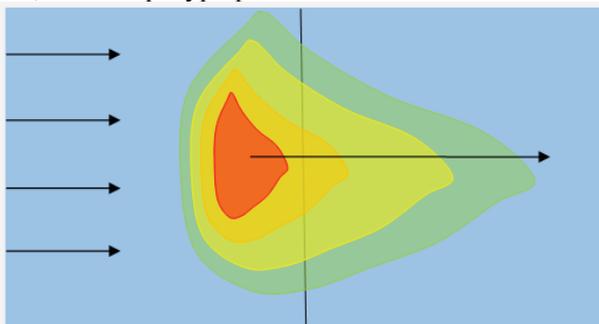


Рисунок 2 – Визуальное представление переноса термоконвективной структуры ветром относительно вертикальной нити

Далее описан ход решения задачи идентификации двумерных образов на основе данных двадцатиминутной записи фиксации температурных колебаний T с частотой 1000 Гц.

1. Проведено двухминутное осреднение \bar{T} для вычета трендов. Определены пульсационные составляющие температуры $T' = T - \bar{T}$. Получены относительные значения пульсационных составляющих

$$\tilde{T}' = \frac{T - \bar{T}}{T'_{\max}}.$$

2. В результате визуального анализа обработанных данных (рис.2) выявляются два вида «рэмпы» структур: с вершинами вверх и с вершинами вниз.

3. Из файла с количеством значений ряда $1.2 \cdot 10^6$ выбраны для формирования интервалы с похожими двумерными образами на структуру типа «рэмпа».

4. Так как таких «рэмпа» структур два типа, также есть области с прямыми участками и неструктурированными на данном масштабе колебаниями, база образов собиралась в три группы:

- «рэмпа» вверх (постепенное повышение температуры и резкий спад),

- «рэмпа» вниз (длительное понижение температуры, после которого идет резкий скачок вверх),

- «НЕРэмпа» (другие участки).

5. На основе визуального просмотра разверток по 1000 точек (10 с) определены X координата начале структуры значение not и значение size для захвата правого падения (спада) значений, рисунок 2. Каждый выбранный двумерный образ сохраняется в текстовом формате в виде двумерного массива, в котором первый столбец – это исходные данные относительных значений пульсационных составляющих \tilde{T}' . Каждый последующий представляет собой разностную характеристику типа $\tilde{T}'(t) - \tilde{T}'(t + dt)$, рисунок 3, что используется с учетом роли структурных функций при анализе конвективных процессов [6].

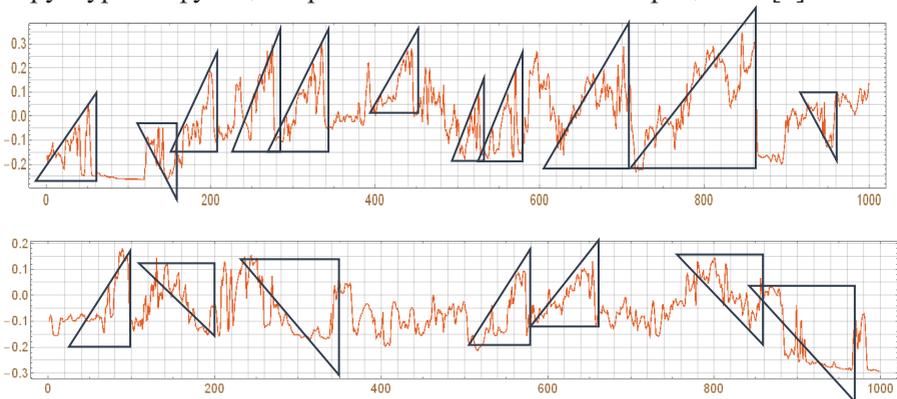


Рисунок 2 – Два типа «рэмпа» структур во временном ряде: вершинами вверх и вершинами вниз

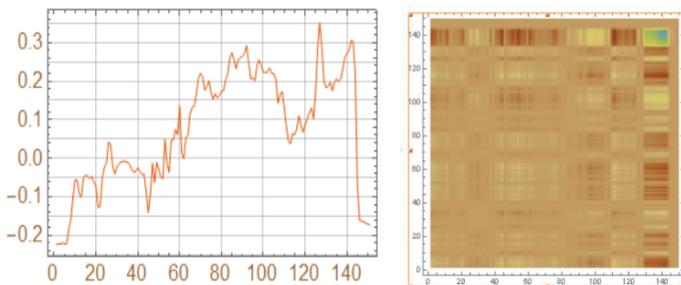


Рисунок 3 – Участок исходных данных «рэмп» структуры и диаграмма «рэмп» структуры, составленная из столбцов базы образов

6. Сформированы три списка сохраненных файлов: «рэмп» вверх (579 файлов), «рэмп» вниз (167 файлов) и «НЕРэмп» (14 файлов).

7. Данные загружались для обучения нейронной сети. Так как размеры «рэмп» структур различные по длительности (варьируются от 200 до 3000 мс) введены коэффициенты пропорциональности. В результате все структуры сведены к одному масштабу.

8. Использовалась двухслойная нейронная сеть, каждый ее слой выполняет соответствующие функции:

- входной слой (40 нейронов): содержит исходные данные – параметры файлов \tilde{T}' и $\tilde{T}'(t) - \tilde{T}'(t + dt)$;
- первый слой (40 нейронов): содержит скрытые нейроны, которые соединены со всеми нейронами вокруг;
- второй слой (3 нейрона): конечный слой, который содержит в себе только выход всей сети [6]; три выхода соответствуют указанной ранее классификации образов.

9. Тестирование проводилось первоначально на первых двух столбцах базы образов. В результате обучения сети процент ошибки нейронной сети составил 10%.

Во входной слой передаются данные, показывая, какому выходу этот набор соответствует, какой результат должен появиться на втором слое. Далее нейронная сеть, производя некоторые вычисления с входными данными, проводит их через себя до тех пор, пока не получит сходство с результатом.

Обученная нейронная сеть протестирована для поиска «рэмп» структур в данных температурных измерений. Сопоставление исходных данных с результатами идентификации двумерных образов нейронной сетью дают удовлетворительные результаты, рисунок 4. На

рисунке 4а показан участок графика исходных данных, который анализировала нейронная сеть. На рисунке 4б показан результат оценки нейронной сети этого участка, с вероятностями структур типа: «рэмп» вниз, «рэмп» вверх и «Нерэмп».

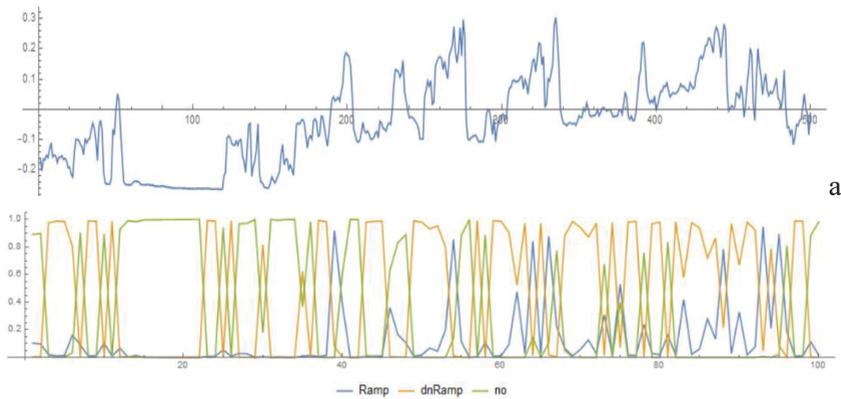


Рисунок 4 – Отрезок исходных данных в сравнении с результатами анализа нейронной сети

В заключение отметим, что данная нейронная сеть является начальным этапом разработки методики анализа данных. Визуальное определение структур типа «рэмп» - процесс относительно субъективный. Проволочка датчика не всегда проходит через ядро структуры. Поэтому возникает вопрос отбора данных для обучения нейронной сети. Также, планируется расширить базу образов для типов «рэмп» вниз и «Нерэмп», использовать другие комбинации входных данных \tilde{T}' и $\tilde{T}'(t) - \tilde{T}'(t + dt)$ с различными dt и другие вариации коэффициентов пропорциональности.

Таким образом, на основе анализа 20-минутного файла исходных данных измерения температуры с частотой 1000 Гц определены интервалы времени, где возникают конвективные структуры типа «рэмпов». Из этих двумерных структур построена база образов, в которой помимо исходных данных имеются разностные значения, взятые исходя из теории структурных функций. Проведено обучение двухслойной нейронной сети с ошибкой 10%. Нейронная сеть применена для поиска «рэмп» структур трех типов.

Использование подобной методики анализа больших данных необходимо для изучения пространственной структуры теплового потока. Определение таким образом «рэмп» структур позволит

ускорить процесс обработки больших объемов высокочастотных измерений и получения данных об их статистических распределениях по размерам и интенсивности, необходимых для оценок интенсивности и скорости вертикального выноса пылевого аэрозоля с аридных и субаридных территорий.

Список использованной литературы

1. Krishnamurti R., Howard L. N. Large-scale flow generation in turbulent convection // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1981. Vol. 78(4). P. 1981-1985.
2. Малиновская Е. А., Чхетиани О. Г., Голицын Г. С., Лебедев В. А. О вертикальном распределении пылевого аэрозоля в условиях слабых и умеренных ветров // *ДАН. Наука о Земле*. 2023. Т. 509. Вып. 2. С. 250-258.
3. Frisch A. S., Businger J. A. A study of convective elements in the atmospheric surface layer // *Boundary-Layer Meteorology*. 1973, V. 3(3). P. 301–328.
4. Koprov B. M. et al. Statistics of air temperature spatial variability in the atmospheric surface layer // *Boundary-layer meteorology*. 1998, V. 88(3). P. 399–423.
5. Chkhetiani, O. G., Gledzer, E. B., Artamonova, M. S., Iordanskii, M. A. Dust Resuspension under Weak Wind Conditions: Direct Observations and Model // *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, V. 12(11). P. 5147–5162.
6. Malinovskaya E. A., Chkhetiani O. G., Azizyan G. V. On the Structure of Temperature Pulsations near the Surface under Convective Conditions // *Doklady Earth Sciences*. 2024. V. 516(1). P. 888-895.
7. Ростовцев В.С. Искусственные нейронные сети. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2014. – 208 с. Э4743, 2014. С. 40-55.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГЕОЛОГИИ И ГЕОДЕЗИИ

Медведицына Анастасия Владимировна,

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия, im.nst@yandex.ru
Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент
кафедры ВМиФ РГГМУ Яковлева Т. Ю.*

Аннотация. Данная статья исследует применение геоинформационных систем в области геологии и геодезии. Описывается эффективное использование геоинформационных систем для обработки и анализа пространственных данных, их визуализации и моделирования в контексте геологических и геодезических исследований. Рассматриваются примеры практического применения геоинформационных систем для решения различных задач в данных областях.

Ключевые слова: геоинформационные системы, геология, геодезия, пространственные данные, анализ данных, моделирование.

THE USE OF GEOINFORMATION SYSTEMS FOR SOLVING PROBLEMS OF GEOLOGY AND GEODESY

Medveditsyna Anastasia Vladimirovna,

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
im.nst@yandex.ru*

Scientific supervisor: Ph.D. physics and mathematics Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Military Mathematics and Physics of the Russian State Humanitarian University Yakovleva T. Yu.

Annotation. This article explores the application of geoinformation systems in the field of geology and geodesy. The effective use of geoinformation systems for processing and analyzing spatial data, their visualization and modeling in the context of geological and geodetic research is described. Examples of the practical application of geoinformation systems to solve various problems in these areas are considered.

Keywords: geoinformation systems, geology, geodesy, spatial data, data analysis, modeling.

Обоснование актуальности использования геоинформационных систем (ГИС) в геолого-геодезических исследованиях заключается в том, что геоинформационные системы предоставляют уникальные возможности для сбора, анализа и визуализации геопространственных данных, которые являются основой геолого-геодезических исследований. Использование геоинформационных систем в геолого-геодезических изысканиях позволяет повысить качество и точность сбора и обработки данных, анализировать геологические структуры и явления, создавать цифровые модели местности, оптимизировать планирование и выполнение геодезических работ. Благодаря использованию ГИС исследователи могут лучше понимать геологические процессы, выявлять тенденции изменений территорий, а также прогнозировать возможные геологические и геодезические явления. Таким образом, геоинформационные системы играют ключевую роль в современных геолого-геодезических исследованиях, предоставляя специалистам современные инструменты для получения подробной и полной информации о земной поверхности и протекающих на ней процессах. В связи со стремительным развитием технологий и увеличением объема данных использование ГИС становится все более актуальным и эффективным методом исследований в области геологии и геодезии.

Основные принципы и методы использования в геологии.

Принципы и методы использования географических информационных систем (ГИС) в геологии являются ключевыми для сбора, хранения, анализа и визуализации геологической информации.

Ниже приведены основные аспекты использования ГИС в геологии:

1. Основные компоненты геоинформационной системы: Основными компонентами ГИС в геологии являются географические данные (слои), содержащие информацию о геологических объектах, топографии, почвах, водных объектах и другие атрибутивные данные. Другие компоненты включают базу данных географической информации, систему координат, а также процессы анализа и визуализации данных.

2. Примеры использования геоинформационных систем для моделирования геологических процессов: ГИС используются для моделирования различных геологических процессов, таких как распределение рудных месторождений, геологические структуры, сейсмическая активность, гидрогеологические условия и другие. Их можно использовать для анализа взаимосвязей между различными

геологическими явлениями и прогнозирования возможных результатов.

3. Возможности анализа геологических данных с помощью ГИС: Различные геологические данные, такие как гравитационные и магнитные аномалии, геологические карты, данные о месторождениях полезных ископаемых и т. д., можно анализировать с помощью ГИС. Их можно использовать для выявления геологических объектов, пространственного анализа данных, создания трехмерных моделей геологических объектов и многого другого.

Таким образом, использование геоинформационных систем в геологии позволяет повысить качество и эффективность геологических исследований, предоставив специалистам современные инструменты для работы с геопространственными данными [1].

Применение ГИС в геодезии. Применение геоинформационных систем в геодезии играет важную роль в сборе, обработке и анализе геодезических данных. Ниже приведены основные аспекты использования ГИС в геодезии:

1. Использование ГИС для создания цифровых карт и моделей местности: Географические информационные системы позволяют создавать цифровые карты и модели местности, которые не только предоставляют информацию о географическом положении объектов, но также содержат дополнительные атрибутивные данные. Это позволяет геодезистам проводить более точные измерения и анализировать территорию с высоким уровнем детализации.

2. Роль геоинформационных систем при планировании и проведении геодезических измерений: ГИС используются для оптимизации планирования геодезических работ и определения наиболее эффективных маршрутов и методов проведения измерений. Их можно использовать для прогнозирования трудностей и препятствий при проведении измерений, а также для управления информацией о точках наблюдения.

3. Примеры реализации геодезических проектов с использованием ГИС: существует множество успешных примеров реализации геодезических проектов с использованием геоинформационных систем. Например, ГИС активно используется при создании цифровых почвенных карт для землеустройства, при планировании строительства инфраструктуры, при мониторинге деформаций и сейсмической активности, а также при геодезических съемках в реальном времени с использованием GPS и других навигационных технологий.

Использование геоинформационных систем в геодезии улучшает эффективность и точность проведения геодезических работ, обеспечивая специалистов современными средствами для работы с геопространственными данными.

Преимущества использования ГИС в геологии и геодезии.

Преимущества использования ГИС для анализа и визуализации геопространственных данных:

- Повышение точности и эффективности анализа геоданных: ГИС позволяет объединить пространственные данные с атрибутивными данными для более полного понимания геологических и геодезических процессов.
- Создание трехмерных моделей геологических объектов: ГИС позволяет строить трехмерные модели почв, геологических структур и других объектов, облегчая визуализацию и интерпретацию данных.
- Удобство планирования и мониторинга геологических и геодезических работ: ГИС позволяет оптимизировать планирование геологических изысканий, геодезических измерений и мониторинга геологических процессов [2].

Ограничения и трудности при использовании геоинформационных систем в геологии и геодезии:

- Трудности обработки больших объемов данных: обработка и анализ больших объемов геопространственных данных, таких как изображения высокого разрешения или сложные модели рельефа, может потребовать значительных вычислительных ресурсов.
- Необходимость в квалифицированных специалистах: работа с ГИС требует определенных навыков и знаний, поэтому для эффективного использования системы необходимо обучение.
- Ограничения ГИС по точности измерений: в некоторых случаях точность измерений, выполненных с помощью ГИС, может быть недостаточной, особенно для высокоточных изысканий.

Несмотря на то, что геоинформационные системы предлагают множество преимуществ специалистам в области геологии и геодезии, существуют некоторые ограничения, которые необходимо рассмотреть и устранить для эффективного применения систем в этих областях.

Геоинформационная система в инженерной геологии представляет собой инструмент для сбора, хранения, анализа и визуализации инженерно-геологических данных в пространстве. Она объединяет в себе функции систем управления базами данных, редактирования графики и аналитики. ГИС является эффективным

средством обработки больших объемов данных, позволяя хранить, обрабатывать и анализировать информацию о геологической среде, делать масштабное и типологическое районирование. Применение ГИС в инженерной геологии сокращает время и объемы работы на местности, автоматизируя процессы обработки данных и повышая качество документации. Это инструмент необходим при региональных исследованиях и мониторинге геологических объектов. ГИС играет ключевую роль в оперативном анализе информации и позволяет вносить изменения в задачу в реальном времени.

На рисунке 1 представлена ГИС, в которой функциональная часть состоит из: справочно-информационного блока (СИБ), блока обработки данных (БОД), прогнозно-диагностического блока (ПДБ); обеспечивающая часть включает: информационное обеспечение (ИО), программное обеспечение (ПО), комплекс технических средств (КТС).

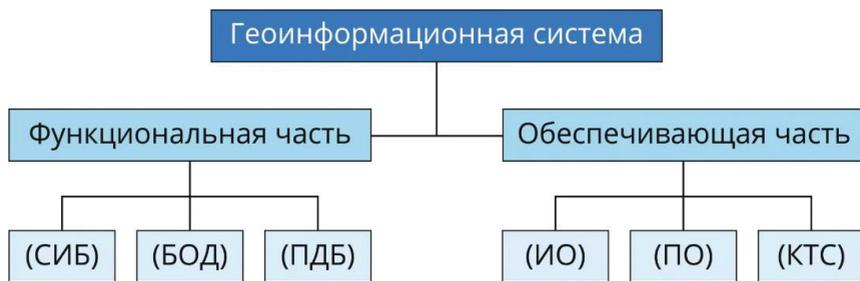


Рисунок 1 – Геоинформационная система в инженерной геологии

Разработка геоинформационной системы в инженерной геологии включает в себя следующие этапы:

1. Изучение информации о геологической среде на основе проведенных инженерно-геологических и гидрогеологических исследований на участке.

2. Анализ данных, создание модели и построение природно-технической системы на участке.

3. Формулирование технического задания для разработки геоинформационной системы.

4. Подготовка рабочего проекта по созданию геоинформационной системы.

Перспективы развития применения геоинформационных систем в геологии и геодезии. Тенденции развития ГИС-технологий и их влияние на исследования в геологии и геодезии:

- Интеграция с другими технологиями: ГИС-технологии будут все больше интегрироваться с другими современными технологиями, такими как дистанционное зондирование, искусственный интеллект и Интернет вещей, что позволит более полно использовать данные и повысит эффективность и точность исследований.

- Использование облачных технологий: использование облачных технологий позволит специалистам в области геологии и геодезии легче обмениваться данными, работать над общими проектами и получать доступ к большим массивам данных.

- Разработка систем для выявления и обработки больших данных: по мере увеличения объема геопространственных данных растет и потребность в разработке специализированных систем и алгоритмов для их обработки и анализа.

Потенциал дальнейшего развития применения геоинформационных систем для улучшения результатов геолого-геодезических исследований:

- Повышение точности и достоверности данных. Развитие ГИС и технологий обработки данных повысит точность и достоверность результатов геолого-геодезических исследований.

- Расширение приложений: ГИС будет все шире использоваться в геологии и геодезии, от исследования месторождений полезных ископаемых до геодинамического мониторинга и планирования городского развития.

- Улучшение взаимодействия и обмена данными. Развитие ГИС улучшит взаимодействие между специалистами в области геологии и геодезии и обеспечит более удобный и эффективный обмен данными между учеными и организациями.

Поэтому развитие ГИС-технологий и их применение в геологии и геодезии имеют большой потенциал для улучшения результатов исследований, оптимизации рабочих процессов и сотрудничества между специалистами в этих областях [3-6].

Заключение. Основные выводы и результаты исследования:

Применение геоинформационных систем в геологии и геодезии позволяет значительно повысить эффективность анализа, визуализации и планирования геопространственных данных. ГИС обеспечивают более полное и точное представление о геологических и геодезических объектах, что способствует принятию обоснованных решений в этих областях. Развитие технологий ГИС, таких как облачные вычисления,

трехмерное моделирование и анализ больших данных, открывает новые возможности для исследователей в геологии и геодезии.

Перспективы дальнейших исследований в данной области:

Исследование применения новейших технологий искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения в геоинформационных системах для автоматизации анализа данных и прогнозирования геологических и геодезических процессов.

Исследование возможностей интеграции дистанционного зондирования и ГИС для более точного мониторинга и моделирования геологических объектов.

Исследование развития специализированных ГИС для оптимизации технологических процессов в геологических и геодезических исследованиях.

Таким образом, дальнейшие исследования в области применения геоинформационных систем в геологии и геодезии будут направлены на интеграцию современных технологий, улучшение точности анализа данных и оптимизацию процессов исследований для достижения лучших результатов, и повышения эффективности работы.

Список использованной литературы

1. Савин А.В., Илюшина О.Н. Геоинформационные системы в инженерной геологии и геотехнике // Горный информационно-аналитический бюллетень, № 4, 2018. - С. 68-73.

2. Demetriou D. Geographic Information Systems in Geotechnical Engineering // CRC Press, 2014.

3. Kwan E., Yuan M. Applications of Geographic Information Systems (GIS) in Geotechnical Engineering // A Review, Soils and Foundations, 2016. - Vol. 56, No. 5. - pp. 700-712.

4. Шнитко С.Г. ГИС в геодезии: конспект лекций для студентов специальностей Ш 1-56 02 01 «Геодезия» и 1-56 02 01 02 «Инженерная геодезия» / С.Г. Шнитко. – Новополюцк: ПГУ, 2014 – 68 с.

5. Геоинформационные системы в геологии: учеб.-метод. пособие для студентов спец. 011100 «Геология» и 011500 «Гидрогеология и инженерная геология» / сост.: А.В. Коноплев, И.В.Кустов, П.А.Красильников; науч. ред. В.В. Середин; Перм. ун-т. – Пермь, 2007 – 100 с.

6. Кащенко Н.А. Геоинформационные системы: учебн. пос. для вузов / Н.А. Кащенко, Е.В. Попов, А.В. Чечин; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т – Н.Новгород: ННГАСУ, 2012. – 130 с.

ЦИФРОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЕВЕРНЫХ ПОРТОВ

*Наркевич Кирилл Андреевич¹, Абрамова Елизавета
Николаевна²,
Ержакова Софья Олеговна¹, Пнюшков Александр Дмитриевич³,
Абрамов Валерий Михайлович¹*

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»,

г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»,

г. Санкт-Петербург, Россия

³ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Разработаны цифровые инструменты геоинформационного обеспечения деятельности северных портов в условиях изменения климата. Приведены примеры использования предлагаемых инструментов. Для обмена данными и научной коммуникации во время исследования была использована следующая платформа:

https://www.researchgate.net/profile/Valery_Abramov2/.

Исследования проведены в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект FSZU-2023-0002.

Ключевые слова: цифровые инструменты, геоинформационные системы, изменения климата.

DIGITAL GEOINFORMATION SUPPORT TOOLS FOR NORTHERN PORTS ACTIVITIES

*Narkevich Kirill Andreevich¹, Abramova Elizaveta Nikolaevna²,
Erzhakova Sofia Olegovna¹, Pnyushkov Aleksandr Dmitrievich³,
Abramov Valery Mikhailovich¹*

¹ Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia

² St. Petersburg State University of Veterinary Medicine,
Saint Petersburg, Russia

³ St. Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

Annotation. Digital tools for geoinformation support for northern ports activities under climate change have been developed. Examples of proposed tools usage are given. While research, platform https://www.researchgate.net/profile/Valery_Abramov2/ was used for data exchange and scientific communications. Research was made at Russian State Hydrometeorological University within State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, FSZU-2023-0002 project.

Keywords: digital tools, geographical information systems, climate change.

Управление деятельностью северных портов – сложная многофакторная задача [1]. Актуальной оказывается задача цифровизации такой деятельности в рамках концепции геоинформационного менеджмента [2], с учетом необходимости управления природными рисками [3-6], в том числе и климатическими [7].

Целью исследования является разработка цифровых инструментов для геоинформационного обеспечения деятельности северных портов с учетом прилегающих акваторий. Результаты разработки представлены в настоящей статье.

В процессе исследований применялись онлайн технологии и методы разработки информационных систем на основе конструктора Google Sights. В качестве источников данных использовались различные геоинформационные открытые платформы (ГИОП): Marinetraffic, LandViewer, Myshiptracking, Earth, NOAA NOMADS и другие.

По результатам исследования предлагается агрегированная модульная система для управления деятельностью ледовых портов. Приведены результаты разработок для портов в Финском заливе. Система разработана с учетом требований по расширяемости и предполагает возможность перехода на новые источники данных при необходимости.

Важным сценарием применения является мониторинг ледовой ситуации. На рисунке 1 представлено расположение судов в Финском заливе на 20.04.2024, полученное по данным ГИОП Marinetraffic.



Рисунок 1 – Положиции судов у порта Санкт-Петербург на 20.02.2024, ГИОП Marinetrassic

На рисунке 2 представлен спутниковый снимок ледового поля в этом же районе на ту же дату. На рисунке 3 представлен тот же снимок в масштабе, позволяющем увидеть отдельные суда. Рисунок 4 демонстрирует погодные условия в Финском заливе (температуру воздуха и скорость ветра) на тот же день.

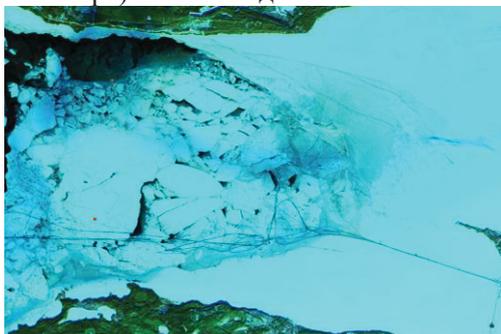


Рисунок 2 – Снимок ледового поля у порта Санкт-Петербург на 20.02.2024, ГИОП LandViewer, спутник Landsat 9, приложение agriculture, характерный масштаб 3km

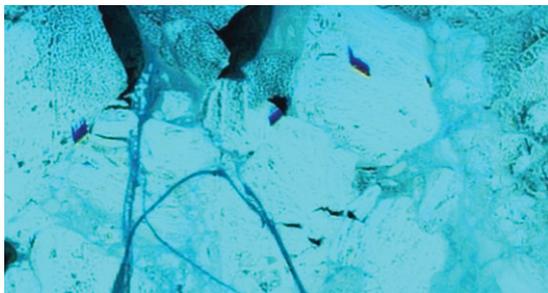


Рисунок 3 – Суда в ледовом поле у порта Санкт-Петербург на 20.02.2024, ГИОП LandViewer, Landsat 9, приложение agriculture, характерный масштаб 300m

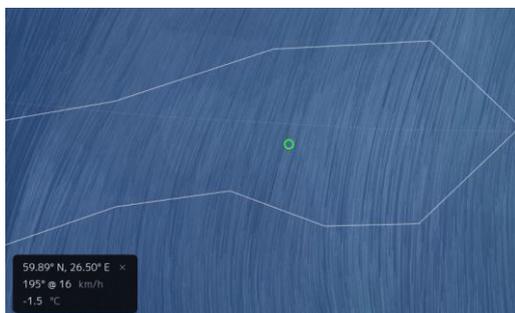


Рисунок 4 – Ветер и температура у порта Санкт-Петербург на 20.02.2024, ГИОП Earth

Результаты исследований обладают существенной научной новизной, могут быть использованы в тренировочных и образовательных контекстах, в особенности в рамках различных магистерских программ [7].

https://www.researchgate.net/profile/Valery_Abramov2 / была использована для обмена данными и научной коммуникации во время исследования.

Исследования выполнены в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект FSZU-2023-0002.

Список использованной литературы

1. Information Technologies Development for Natural Risks Management within Environmental Economics / V. A. Drabenko, V. M. Abramov [et al.] // Vision 2025: Education Excellence and Management of Innovations through Sustainable Economic Competitive Advantage: Proceedings of the 34rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019, Madrid, 13–14 ноября 2019 года. – Madrid: International Business Information Management Association, 2019. – P. 9878-9885. – EDN LJYNAW.

2. Clusters within geospatial information management for development of the territory / V. M. Abramov [et al.] // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016: Conference Proceedings, Vol. 1. 2016. – P. 601-608. – DOI 10.5593/SGEM2016/B21/S08.075. – EDN ESYLIK.

3. К вопросу о стратегии создания национальной системы

контроля черного углерода в российской Арктике / Л. Н. Карлин, В. М. Абрамов, Г. Г. Гогоберидзе [и др.] // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2014. – № 36. – С. 67-73. – EDN TQUBAN.

4. Анализ социально-экономической ситуации в арктических приморских субъектах Российской Федерации на основе индикаторной оценки морского потенциала / Л. Н. Карлин, В. М. Абрамов, Г. Г. Гогоберидзе, Ю. А. Леднова // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2013. – № 30. – С. 181-188. – EDN REQQUB.

5. Innovative technologies for geo-ecological support while artificial coastal territories development / M. Shilin, V. Abramov, E. S. Andreeva [et al.] // 19th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2019: Conference proceedings. ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION, Albena, 30 июня – 06 июля 2019 года. Vol. 19. – Sophia: Общество с ограниченной ответственностью СТЕФ92 Технолоджи, 2019. – P. 399-406. – DOI 10.5593/sgem2019/5.1/S20.050. – EDN WRFQDI.

6. Geoinformation technologies for assessing arctic and subarctic riverbeds throughput while climate change / T. V. Vekshina, V. M. Abramov, V. A. Bolshakov [et al.] // 19th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2019: Conference proceedings, Albena, 30 июня – 06 июля 2019 года. Vol. 19. – Albena: Общество с ограниченной ответственностью СТЕФ92 Технолоджи, 2019. – P. 903-910. – DOI 10.5593/sgem2019/2.1/S08.117. – EDN SATCDX.

7. Digital transformation of risk management for natural-industrial systems while climate change / A. G. Sokolov, V. M. Abramov, E. P. Istomin [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, St. Petersburg, 21–22 ноября 2019 года. – St. Petersburg, 2020. – P. 012003. – DOI 10.1088/1757-899X/940/1/012003. – EDN DTHAKI.

8. Абрамов, В. М. Гармонизация российских и европейских магистерских программ в области экологического туризма в рамках Болонского процесса / В. М. Абрамов, Л. Н. Карлин, А. Л. Скобликова // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2006. – № 3. – С. 172-183. – EDN NDSGWR.

РАЗНОВИДНОСТИ И ОСОБЕННОСТИ КОНКУРЕНТНЫХ СТРАТЕГИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Николаева Юлия Олеговна

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия, julia0902nik@mail.ru

Научный руководитель: профессор Байков Е. А.

Аннотация. В статье рассматриваются разновидности и особенности конкурентных стратегий предприятий в условиях цифровой экономики. Особое внимание уделяется различным типам стратегий, применяемым предприятиями в условиях быстрого развития технологий и изменений в потребительском поведении, а также современным методам и инструментам, используемым предприятиями для укрепления своих конкурентных позиций.

Ключевые слова: digital стратегии, digital технологии, диджитализация, конкурентная стратегия, конкурентоспособность, цифровая экономика.

VARIETIES AND FEATURES OF COMPETITIVE STRATEGIES OF ENTERPRISES IN THE DIGITAL ECONOMY

Nikolaeva Yulia Olegovna

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
julia0902nik@mail.ru*

Scientific supervisor: Professor Baykov E. A.

Annotation. The article discusses the types and features of competitive strategies of enterprises in the digital economy. Particular attention is paid to the different types of strategies adopted by enterprises in the face of rapid developments in technology and changes in consumer behavior, as well as modern methods and tools used by enterprises to strengthen their competitive position.

Keywords: digital strategies, digital technologies, digitalization, competitive strategy, competitiveness, digital economy.

Технологические изменения сегодня представляют собой большой вызов для бизнес-среды, но также и возможность, позволяющую проще и быстрее взаимодействовать с потребителями. Будет ли компания конкурентоспособной и соответствовать ожиданиям потребителей, во многом зависит от адаптации к цифровой экономике. То есть в современных условиях развития мирового хозяйства одним из самых актуальных и важнейших факторов обеспечения экономического роста является цифровая экономика.

Одной из ключевых причин недостаточно быстрой или неудачной цифровой трансформации российских предприятий является низкая эффективность систем управления, которая связана как с отсутствием опыта в сфере управления при цифровой трансформации, так и с несовершенством механизмов такого управления.

Быстрый рост предприятий в условиях цифровой экономики возможен только при наличии эффективного стратегического управления, при котором современная деятельность направлена на активную подготовку будущего роста. Поэтому эффективное стратегическое управление даст возможность руководителям предприятий:

- делать стратегический выбор и реализовывать стратегию, достигая своих главных целей;
- отслеживать и понимать влияние внешнего окружения и собственных возможностей;
- предвидеть тенденции развития бизнеса [1].

Сегодняшние реалии в мировом масштабе характеризуются усилением конкуренции и нестабильностью экономического состояния, что подталкивает предприятия искать новые пути и подходы, направленные на усиление позиций в рыночной среде, уменьшение и преодоление имеющихся угроз. Конкретно от конкурентоспособности зависит способность компании выстоять в условиях определенного отраслевого рынка.

Конкурентная стратегия предприятий в условиях цифровой экономики – это способ получения устойчивых конкурентных преимуществ в каждой стратегической единице бизнеса.

Исходя из вышесказанного, в условиях динамично развивающейся внешней среды, предприятия вынуждены строить свою конкурентную стратегию на основе использования инновационных digital технологий. Диджитализация предприятий уже неотвратима, и

игнорирование этого факта является признаком отсталости и несоответствия современности.

Диджитализация предприятий означает перенос бизнес-процессов в электронный вид, в ходе которых информационно-коммуникационные технологии оцифровывают сначала отдельные бизнес-процессы в бизнес-организациях, и постепенно формируют виртуальную бизнес-модель, осуществляя, таким образом, цифровую трансформацию бизнеса. К тому же любые меры по повышению конкурентоспособности должны реализовываться в плоскости цифрового измерения, а именно:

1) на макроуровне – детализируются в стратегии цифровых трансформаций;

2) на микроуровне – систематизируются в digital стратегии предприятия с помощью анализа:

- рынка клиента в digital среде по размеру и доле;
- финансовых показателей;
- возможных технологий и продуктов;
- клиентского поведения;
- необходимых ресурсов [2].

Цифровизация как непрерывный процесс сближения реального и виртуального миров становится основным драйвером инноваций и перемен в бизнес-среде, а именно:

– расширяет предложение товаров и услуг – как на внутреннем, так и на внешнем рынках;

– формирует положительный имидж предприятия и продвигает его в интернет-пространстве;

– улучшает обмен информацией между поставщиками и клиентами, что впоследствии позволяет собирать, обрабатывать и анализировать данные о клиентах, что облегчает управление отношениями с ними, улучшает соответствие предлагаемых товаров конкретным группам потребителей, а также позволяет создавать индивидуальные стратегии продаж [3].

Цифровая экономика оказывает существенное влияние на ожидания и поведение потребителей, фундаментально меняет правила рыночной конкуренции и приводит к созданию новых бизнес-моделей.

Применение конкурентных стратегий в условиях цифровой экономики позволяет:

- удовлетворять потребности предприятий в осуществлении электронной коммерции с точки зрения новых возможностей по снижению стоимости товаров/услуг при одновременном улучшении их качества и сроков доставки;

- выходить за рамки традиционных бизнес-функций и процессов, – включает в себя оцифровку продуктов и услуг и всей связанной с ними информации;

- расширить сферу деятельности организации и свои существующие функции;

- выходить за пределы своих границ и превращать цепочку поставок в динамичную экосистему.

Можно сделать вывод, что реализация предприятием задачи по укреплению своих конкурентных позиций невозможна без внедрения современных конкурентных стратегий в условиях цифровой экономики, так как это позволяет укреплять отношения с клиентами и охватить большее их количество, работать не только на местном уровне или в данной стране, но и в глобальном масштабе, совершенствовать каналы сбыта, а также использовать возможности онлайн-маркетинга.

Список использованной литературы

1. Байков Е. А. Стратегический менеджмент: учеб. пособие / Е. А. Байков, А. Д. Евменов, Н. А. Морщагина. – СПб.: СПбГИКиТ, 2015. – 271 с.

2. Интернет-маркетинг и digital-стратегии. Принципы эффективного использования: учеб. пособие / О. А. Кожушко, И. Чуркин, А. Агеев и др.; Новосиб. гос. ун-т, Компания «Интелсиб». – Новосибирск: РИЦ НГУ, 2015. – 327 с.

3. Рындина С. В. Интернет-маркетинг в электронном бизнесе: основные инструменты digital-маркетинга: учеб.-метод. пособие / С. В. Рындина. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2021. – 52 с.

УДК 65.011.56

**ИНСТРУМЕНТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И
УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО
УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМИ СУДАМИ**

*Простакевич Константин Сергеевич, Абрамова Александра
Леонидовна, Сикарев Игорь Александрович, Юрин Игорь
Валентинович, Абрамов Валерий Михайлович*

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Предложены цифровые инструменты совершенствования информационно-измерительных и управляющих систем для дистанционного управления автономными судами коммерческого назначения в условиях изменения климата в Арктике. Приведены примеры использования предлагаемых инструментов. Приведена перспективная типовая структура системы дистанционного управления автономным судном коммерческого назначения. Исследования выполнены в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект FSZU-2023-0002.

Ключевые слова: цифровые инструменты, информационно-измерительные и управляющие системы, автономное судно, Арктика, изменения климата.

**TOOLS FOR IMPROVING INFORMATION-MEASURING
AND CONTROL SYSTEMS USAGE IN AUTONOMOUS
VESSELS REMOTE CONTROL**

*Prostakevich Konstantin Sergeevich, Abramova Alexandra
Leonidovna, Sikarev Igor Alexandrovich, Yurin Igor Valentinovich,
Abramov Valery Mikhailovich*

*Russian State Hydrometeorological University,
St. Petersburg, Russia*

Annotation. There are proposed digital tools for improving information-measuring and control systems for remote control of autonomous commercial vessels in the conditions of climate change in the Arctic. Examples of the use of the proposed tools are given. A promising structure of a remote-control system for an autonomous commercial vessel is presented. Researches was carried out at Russian State Hydrometeorological University under State Task of Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation, project FSZU-2023-0002.

Keywords: digital tools, information measuring and control systems, autonomous vessel, Arctic, climate change.

Информационно-измерительные и управляющие системы (ИИУС) широко применяются в процессах управления удаленными объектами на водном транспорте (ВТ). Наиболее современным направлением развития ИИУС на ВТ является применение таких систем в составе судов без экипажа (СБЭ) или автономных судов (АС) [1]. Следует отметить, что в настоящее время научно-методологическое обоснование решения проблем применения ИИУС в составе СБЭ или АС, находится во фрагментарном состоянии и далеко от завершающей стадии.

Целью исследования является определение современного состояния ИИУС на ВТ в части СБЭ и АС и научно-методологическое обоснование перспектив их совершенствования путем создания соответствующих инструментов. При выполнении исследований использовались Форсайт-технологии [2-8], онлайн технологии управления проектами [9-12].

Перейдем к рассмотрению полученных результатов исследований. Отмечено, что в последнее время разработке АС уделено значительное внимание в рамках глобальной экономики во всех ведущих индустриальных странах мирах. На рисунке 1 приведена фотография коммерческого судна нового поколения Yara Birkeland, которое может работать как АС. Естественно, что Yara Birkeland обладает ИИУС нового поколения, обеспечивающее возможность ее эксплуатации как АС.

Заметим, что в России на воду спущено научно-исследовательское судно Пионер-М, рисунок 2, которое также предназначено для отработки автономного режима эксплуатации. Однако для него ИИУС, позволяющее реализовывать режим АС еще только предстоит разработать и апробировать.



Рисунок 1 – Судно нового поколения Yara Birkeland с функцией АС

В ходе исследований установлено, что на начальном этапе разработки ИИУС составе АС оказывается необходимым определить оптимальный состав первичных преобразователей (ПП) для измерения координат и характеристик движения корпуса АС. Для решения подобных задач на ВТ принято использовать комбинации некоего спутникового компаса (СК), функционирующего в рамках так называемой глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) в совокупности с ее так называемыми функциональными дополнениями (ФД), и некоего гирокомпаса (ГК), работающего в рамках так называемой инерциальной навигационной системы (ИНС), в структуре которой принято выделять:

- акселерометры,
- гироскопы,
- устройства для нахождения плоскости истинного горизонта (ПИГ).

По результатам анализа современного состояния области исследования выявлено, что в настоящее время на ВТ обычно применяются так называемые бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС), используют вычисляемую ПИГ.



Рисунок 2 – Российское судно Пионер-М для обработки функций АС

Для разработки предложений по усовершенствованию ИИУС в составе АС авторами рассмотрена задача синтеза такой системы. В ходе решения задачи синтеза ИИУС в составе АС требуется отыскать оптимальный концептуальный вариант ИИУС в разрезе ресурсной эффективности (РЭ). Для этого необходимо рассмотреть различные внешние факторы, влияющие на РЭ. При проектировании ИИУС в составе АС к таким факторам относятся:

- безопасность в области судоходства (БОС);
- электромагнитная совместимость (ЭМС);
- ограничения по частотному ресурсу (ОЧР);
- пропускная способность каналов управления (ПСКУ);
- внешние гидрометеорологические факторы;
- общая устойчивость СДУ АС.

В ходе решения задачи синтеза ИИУС в составе АС в качестве основного инструмента разработки предложений по усовершенствованию авторами предложено использовать так называемые концептуальные исследования (КИ), целью которых является установление тенденций развития (ТР) в рамках изучаемого процесса (ИП). В целом, КИ содержат обычно различные этапы, включающие:

- описание метасистемы;
- вычленение ИП;
- выявление ограничений;
- формализация результата, включая критерии эффективности;
- моделирование.

В итоге, с помощью КИ устанавливаются рациональные требования к проектируемой системе. На рисунке 3 изображена перспективная структура СДУ АС, разработанная по результатам выполненных авторами КИ.



Рисунок 3 – Перспективная структура СДУ АС

Результаты исследований обладают высокой научной новизной и могут быть использованы при разработке новых АС, а также в области университетского образования [12-15].

Исследования выполнены в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект FSZU-2023-0002.

Список использованной литературы

1. Сикарев, И. А. Классификация и структуры основных элементов оборудования системы управления безэкипажных судов / И. А. Сикарев, Е. В. Солодовников, Д. А. Рычихин // Информационные технологии в образовании: Сборник статей научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 31 марта 2021 года / Российский государственный гидрометеорологический университет, Институт информационных систем и геотехнологий. – Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2021. – С. 226-231. – EDN YTGTZV.
2. Digital transformation of risk management for natural-industrial systems while climate change / A. G. Sokolov, V. M. Abramov, [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, St. Petersburg, 21–22 ноября 2019 года. – St. Petersburg, 2020. – P. 012003. – DOI 10.1088/1757-899X/940/1/012003. – EDN DTHAKI.
3. К вопросу о стратегии создания национальной системы контроля черного углерода в российской Арктике / Л. Н. Карлин, В. М. Абрамов, Г. Г. Гогоберидзе [и др.] // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2014. – № 36. – С. 67-73. – EDN TQUBAN.
4. Анализ социально-экономической ситуации в арктических приморских субъектах Российской Федерации на основе индикаторной оценки морского потенциала / Л. Н. Карлин, В. М. Абрамов, Г. Г. Гогоберидзе, Ю. А. Леднова // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2013. – № 30. – С. 181-188. – EDN REQUB.
5. Information Technologies Development for Natural Risks Management within Environmental Economics / V. A. Drabenko, V. M. Abramov [et al.] // Vision 2025: Education Excellence and Management of Innovations through Sustainable Economic Competitive Advantage:

Proceedings of the 34rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019, Madrid, 13–14 ноября 2019 года. – Madrid: International Business Information Management Association, 2019. – P. 9878-9885. – EDN LJYNAW.

6. Clusters within geospatial information management for development of the territory / V. M. Abramov [et al.] // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016: Conference Proceedings, Albena, Bulgaria, 30 июня – 2016 года. Vol. 1. – Albena, Bulgaria: Общество с ограниченной ответственностью СТЕФ92 Технолоджи, 2016. – P. 601-608. – DOI 10.5593/SGEM2016/B21/S08.075. – EDN ESYLIK.

7. Innovative technologies for geo-ecological support while artificial coastal territories development / M. Shilin, V. Abramov, E. S. Andreeva [et al.] // 19th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2019: Conference proceedings. ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION, Albena, 30 июня – 06 июля 2019 года. Vol. 19. – Sophia: Общество с ограниченной ответственностью СТЕФ92 Технолоджи, 2019. – P. 399-406. – DOI 10.5593/sgem2019/5.1/S20.050. – EDN WRFQDI.

8. Geoinformation technologies for assessing arctic and subarctic riverbeds throughput while climate change / T. V. Vekshina, V. M. Abramov, V. A. Bolshakov [et al.] // 19th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2019: Conference proceedings, Albena, 30 июня – 06 июля 2019 года. Vol. 19. – Albena: Общество с ограниченной ответственностью СТЕФ92 Технолоджи, 2019. – P. 903-910. – DOI 10.5593/sgem2019/2.1/S08.117. – EDN SATCDX.

9. Blockchain and big data technologies within geoinformation support for arctic projects / V. Abramov, N. Popov, [et al.] // Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020: 33, Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020, Granada, 10–11 апреля 2019 года. – Granada, 2019. – P. 8575-8579. – EDN YIIVUR.

10. Innovative Digital Technologies Development for Projects Management within Northern Sea Route Area / V. M. Abramov, N. N. Popov [et al.] // Vision 2025: Education Excellence and Management of Innovations through Sustainable Economic Competitive Advantage: Proceedings of the 34rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019, Madrid, 13–14 ноября 2019 года. – Madrid:

International Business Information Management Association, 2019. – P. 10132-10141. – EDN ARNAIR.

11. Environment survey of northwest Russia population health / M. Shilin, V. Abramov, O. Mandryka [et al.] // 19th international scientific geoconference SGEM 2019, Albena, 30 июня – 30 июня – 06 июля 2019 года. Vol. 19 ISSUE 5.2. – Albena: Общество с ограниченной ответственностью СТЕФ92 Технолоджи, 2019. – P. 347-354. – DOI 10.5593/sgem2019/5.2/S20.043. – EDN ZPNNPR.

12. Urban population health survey in north-west federal district of Russian Federation / O. N. Mandryka, V. M. Abramov, M. B. Shilin [et al.] // Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020: 33, Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020, Granada, 10–11 апреля 2019 года. – Granada, 2019. – P. 7173-7183. – EDN WTTLTS.

13. Абрамов, В. М. Гармонизация российских и европейских магистерских программ в области экологического туризма в рамках Болонского процесса / В. М. Абрамов, Л. Н. Карлин, А. Л. Скобликова // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2006. – № 3. – С. 172-183. – EDN NDSGWR.

14. Digital learning technologies development for university education in environmental economics / N. N. Popov, V. M. Abramov, E. M. Korinets [et al.] // Vision 2025: Education Excellence and Management of Innovations through Sustainable Economic Competitive Advantage: Proceedings of the 34rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019, Madrid, 13–14 ноября 2019 года. – Madrid: International Business Information Management Association, 2019. – P. 9409-9417. – EDN YGOFIF.

15. Development of digital transformation technologies for university practical learning in industrial area / N. N. Popov, V. M. Abramov, [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, St. Petersburg, 21–22 ноября 2019 года. – St. Petersburg, 2020. – P. 012013. – DOI 10.1088/1757-899X/940/1/012013. – EDN LRDCNX.

**ИНФОРМАЦИОННОЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ И
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ
АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ СКВАЖИН В
УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ**

Сычёв Сергей Анатольевич¹, Руссков Дмитрий Андреевич²

¹ *ФГБОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра «Промышленно-
гражданского строительства и экспертизы недвижимости», г.
Екатеринбург, Россия*

² *Санкт-Петербургский государственный горный университет
императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Россия,
russkovdmitriy123@gmail.com*

Аннотация. В статье рассматривается перспективный отечественный и зарубежный опыт автоматизации процесса бурения. Приведены причины сложностей и выгод автоматизации. Рассматриваются экономические аспекты дистанционного бурения в шахтах и риски при дистанционном бурении. Автоматизация на буровых установках позволит сделать работу по бурению значительно безопаснее по сравнению с нынешними реалиями, а также значительно продуктивнее, так как робот не устает, и качественнее, так как пропадает человеческий фактор. «Реализация концепции «буровая без людей» требует глубокого понимания процессов, происходящих при строительстве скважины. В совокупности с этим необходимо использовать комплексные решения для автоматизации процессов на буровой».

Ключевые слова: бурение, автоматизация, дистанционное бурение, уменьшение рисков, моделирование затрат, экономический эффект, экспериментальные установки.

**INFORMATION, ENERGY AND TECHNOLOGICAL MODELING
IN THE AUTOMATION OF THE DRILLING PROCESS IN THE
ARCTIC ZONE**

Sychev Sergey Anatolyevich¹, Russkov Dmitry Andreevich²

¹ Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Department of Industrial and Civil Engineering and Real Estate Expertise, Yekaterinburg, Russia

² St. Petersburg Mining University» St. Petersburg, Russia, russkovdmitriy123@gmail.com

Annotation. The article discusses promising domestic and foreign experience in automating the drilling process. The reasons for the difficulties and benefits of automation are given. At the same time, the economic aspects of remote drilling in mines are considered. It is considered how much the risks are reduced during remote drilling. Automation on drilling rigs will make drilling work much safer compared to current realities, as well as much more productive, since the robot does not get tired, and better, since the human factor disappears. "The implementation of the concept of "drilling without people" requires a deep understanding of the processes occurring during the construction of a well. In combination with this, it is necessary to use integrated solutions to automate drilling processes".

Keywords: drilling, automation, remote drilling, risk reduction, cost modeling, economic effect, experimental installations.

Бурение скважин – это сложный и опасный процесс. На данный момент, в реальных условиях автоматизация процесса бурения в горных породах на нефтегазовые скважины проявляется только в мониторинге режимных параметров бурения: осевая нагрузка, частота вращения, скорость потока бурового раствора, а также давления, температуры, зенитного и азимутного углов, угла наклона, расходе топлива и так далее. Поэтому для увеличения энергоэффективности нефтегазовых скважин подбираются подходящие буровые растворы с высокими триботехническими свойствами, а также подбирают оптимальные значения режимных параметров бурения.

Снижение трения бурильной колонны о стенки скважины/обсадных труб с помощью современных эффективных растворов является одним из наиболее простых для внедрения способов на производство. Исследования показали, [4], что добавление смазывающей добавки в стандартный глинистый буровой раствор позволяет значительно снизить коэффициент трения, рисунок 1.

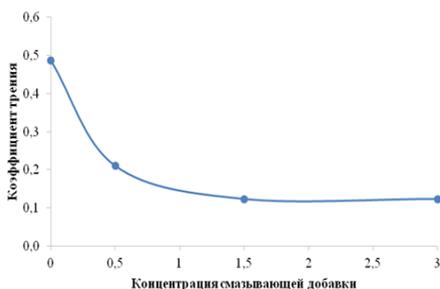


Рисунок 1 – Коэффициент трения пары «металл-металл» в глинистом растворе с различной концентрацией FRW

Регулировка режимных параметров бурения также влияет на энергоэффективность процесса бурения. В приведенном исследовании [1], описывается влияние частоты вращения совместно с вибрацией бурового станка на энергозатраты, таблица 1.

Таблица 4 – Удельные энергозатраты при различных режимах бурения

№ п/п	Режим бурения / п, мин ⁻¹	Ток, потребляемый вращающим элементом, I, А	Напряжение на вращающемся элементе, U, В	Мощность, потребляемая вращающим элементом, W, кВт	Скорость бурения, v_b , м/ч	Удельные энергозатраты, кВт*час/пог.м скважины
1	Дорезонансный/100	101	380	38,4	16,2	2,4
2	Резонансный/115	113	410	46,3	15,6	3,0
3	Зарезонансный/130	102	425	43,4	18	2,4

Для **технических скважин** есть специальные передвижные установки, рассчитанные на бурение до 1000 м [9]. С помощью подобных установок инженерное бурение, на данный момент, можно назвать самым автоматизированным способом бурения, так как для него, если исключить все предварительные расчеты, нужно просто «нажать пару кнопок». Техническое бурение используется при

строительстве (бурение под сваи) и при разработке шахт, где добываются многие полезные ископаемые.

Одним из ярких примеров использования подобных установок в России являются АО «Апатит», расположенная в Мурманской области. В шахтах Хибин применяются: Буровые станки Simba M6, Boomer M, Simba E7, рисунок 2.



Рисунок 2 – Буровой станок Simba M6. Буровой станок Boomer M.
Буровой станок Simba E7

«На Кировском и Расвумчоррском рудниках был проведен комплекс мероприятий по установке и введению в эксплуатацию телеметрического оборудования, монтируемого на буровые станки, пульта управления оператора, а также необходимого программного обеспечения» [5].

Принцип дистанционного мониторинга позволяет уменьшить риски на горной выработке. По исследованиям Полетаева С.Н. [5], можно составить таблицу показателя ранга (ПР) для всех опасных факторов при традиционном способе – таблица 2, и при дистанционном – таблица 3.

Таблица 5 – Показателя ранга при традиционном способе бурения

Опасный фактор	Числовое значение ПР	Лингвистическая переменная, характеризующая показатели с точки зрения:	
		влияния на безопасность работника	риска возникновения негативных последствий
Движущиеся машины и механизмы	1,9	Удовлетворительное влияние	Вероятен
Подвижные части производственного оборудования	2,2	Удовлетворительное влияние	Вероятен
Обрушивающиеся горные породы 2	2,5	Сильное влияние	Высокая вероятность
Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны	1,6	Небольшое влияние	Вероятен
Недостаточная освещенность рабочей зоны	1,5	Небольшое влияние	Вероятен
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1,7	Небольшое влияние	Вероятен
Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях инструмента и оборудования	1,5	Небольшое влияние	Вероятен

Таблица 6 – Показатель ранга при дистанционном способе бурения

Опасный фактор	Числовое значение ПР	Лингвистическая переменная, характеризующая показатели с точки зрения:	
		влияния на безопасность работника	риска возникновения негативных последствий
Движущиеся машины и механизмы	0,8	Не влияет	Отсутствует
Подвижные части производственного оборудования	0,6	Не влияет	Отсутствует
Обрушивающиеся горные породы 2	1,5	Небольшое влияние	Вероятен
Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны	0,4	Не влияет	Отсутствует
Недостаточная освещенность рабочей зоны	0,4	Не влияет	Отсутствует
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1	Практически не влияет	Маловероятен
Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях инструмента и оборудования	0,6	Не влияет	Отсутствует

Подобную картину также можно наблюдать и с затратами при бурении, традиционное бурение в шахтах сильно дороже нежели дистанционное [5].

Запад. Оператор Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM), 50/50 Shell и ExxonMobil совместное предприятие разработало бриф для новой конструкции буровой установки, который включал возможность внедрения философии “руки прочь” в свою деятельность [8].

Особенностью данной установки, рисунок 3, можно выделить процесс транспортировки труб. T-700 разделяет процесс на два этапа: отделение/ комплектация труб и транспортировка труб, которые были объединены, при этом манипулирование трубами выделено в отдельный процесс. Разделение последовательности работ на два этапа помогает оператору сэкономить время, поскольку теперь эти два этапа работают одновременно.



Рисунок 3 – Манипулятор и Iron roughneck на T-700

Трубоотделитель является первым этапом технологического процесса; он был разработан как дополнение к горизонтально расположенным бункерам для хранения бурильных труб и обсадных колонн, который извлекает одну трубу из бункера для хранения и перемещает ее по вертикальному конвейеру для транспортировки труб. Трубный конвейер поднимает трубу на пол буровой установки, где ее поднимает манипулятор, рисунок 3. Этот метод обеспечивает дополнительный уровень функциональной безопасности, поскольку им дистанционно управляют из кабины оператора с помощью сенсорного экрана и джойстиков.

Для T-700 компания Ventec руководила разработкой программного обеспечения, которое было интегрировано в процесс нарезания резьбы, чтобы им можно было управлять прямо из конуры. Пока манипулятор перемещает трубу в нужное положение, трубный конвейер уже готовит следующую трубу, чтобы ускорить процесс. В

предыдущих системах рука-манипулятор должна была подавать трубу, прежде чем можно было подготовить следующую трубу. В новой установке конечности работают одновременно, но независимо друг от друга. На новой буровой установке восемь камер непрерывно контролируют этаж буровой установки и ход работы. Видеопотоки транслируются на мониторе, за которым наблюдают бурильщик и оператор по транспортировке труб.

Россия. Предложение о проектировке сервиса для дистанционного бурения в России было принято во внимание еще в 2013 г. В 2014 г. на базе завода по производству нефтепогружного кабеля в Тюменской области был создан RO-центр. В процессе развития технологий удаленного сопровождения бурения, можно выделить несколько моделей (стадий) работы персонала на месторождениях, рисунок 4, при наклонно-направленном бурении [6].



Рисунок 4 – Моделей (стадий) работы персонала на месторождениях

В 2020 году была достигнута целевая модель работы, в которую входит всего один инженер-технолог на буровой, остальной же объем работ выполнялся дистанционно. За пять лет работы было пробурено множество скважин на удаленном сопровождении, при этом часть из них была пробурена полностью без присутствия полевого персонала на буровой.

Во время дистанционного сопровождения прокладывания скважины выделяется несколько этапов. На первичном, подготовительном, этапе осуществляется привоз оборудования и бригады для монтажа оборудования (два человека), программирование и сборка телеметрической забойной системой, настройка спутникового комплекта VSAT/3G с последующей проверкой работоспособности средств связи с бурильщиком. После успешного тестирования спутникового комплекта координатор проекта отправляет заявку в RO-центр, она обрабатывается и принимается, о чем все заинтересованные в данном проекте получают уведомления со всеми необходимыми

контактными данными. Начинается работа дистанционного центра, рисунок 5, оперативная группа уезжает или остается на время процесса наклонно-направленного бурения в зависимости от выбранного плана работы.

На втором этапе инженер дистанционного управления бурением выполняет всю необходимую от него работу. Выполняется проводка скважины по проекту, построение каротажных планшетов. Осуществляется круглосуточный контроль разными службами РО-центра.

«Реализация концепции «буровая без людей» требует глубокого понимания процессов, происходящих при строительстве скважины. В совокупности с этим необходимо использовать комплексные решения для автоматизации процессов на буровой» [6].



Рисунок 5 – Цифровая цепочка бурения

Необходимо отметить, что подход к энергетической оптимизации процессов бурения зависит от производительности разрушения, оцениваемой только объёмом породы, отделяемой от массива, когда потенциальный объём разрушения предопределён условиями пробы. Аналитическая оценка энергозатрат и производительности разрушения, когда потенциальный объём разрушения определяется условиями пробы, затруднён. В этом случае оптимальные условия определяются экспериментально.

Трудоёмкость оптимизационных исследований экспериментальным путём вынуждает исследователей ограничиваться определением энергозатрат и производительности разрушения при одном фиксированном промежутке.

Оценка показателя комплексной технологичности строительной системы как совокупности комплексных показателей подсистем организационно-технологических решений автоматизации бурения скважин, характеризующих современные требования к производству, изготовлению, логистике и бурению. Показатель

определяется по формуле: $M = \sqrt[7]{\prod_{i=1}^7 m_i}$, где m_i – комплексные показатели технологичности подсистем m_{ij} строительных систем с учетом комплексного корректирующего коэффициента влияния ПКФ. Верхние индексы 0 и 1 соответствуют сравниваемым технологическим решениям.

Функции семейства $\{f_n(m)\}$ при $i = 2, 3, \dots, j - 1$ удовлетворяют соотношениям $f_n(m_1, \dots, m_i, t_{i+1}, \dots, t_i) = f_n(m^{(i)}, \dots, m^{(i)}, m_{i+1}, \dots, m_n)$, где $m^{(i)} = f_i(m_1, \dots, m_i)$ (аксиома агрегирования, т. е. замены m индивидуальных индексов технологичности автоматизированных систем бурения скважин, определяемым с помощью функции $f_i(m_1, \dots, m_i)$, групповым индексом технологичности $m^{(i)}$):

$$f_n(m_1, \dots, m_i) = \sqrt[n]{\prod_i m_i \equiv M(m_i)}, \quad (2)$$

т. е. семейство средних (невзвешенных) геометрических индивидуальных индексов комплексного показателя технологичности. Для учета условий Арктической зоны методикой предлагается корректировать расчетные показатели комплексным корректирующим коэффициентом влияния ПКФ, который показывает подверженность влиянию комбинаций ПКФ на элементы автоматизированных систем бурения скважин:

$$K_{\text{ПКФ}} = K_T \cdot K_B \cdot K_{\text{КН}} \cdot K_{\text{ЭТ}} \cdot K_C \cdot K_O, \quad (3)$$

$K_{\text{ПКФ}} = K_T \cdot K_B \cdot K_{\text{КН}} \cdot K_{\text{ЭТ}}$ где K_T ; K_B ; $K_{\text{КН}}$; $K_{\text{ЭТ}}$; K_C ; K_O – коэффициенты увеличения (снижения) из-за влияния: низкой температуры; скорости ветра; кровососущих насекомых; этажности здания; расчисток снега; пониженной естественной освещенности соответственно и т.д.

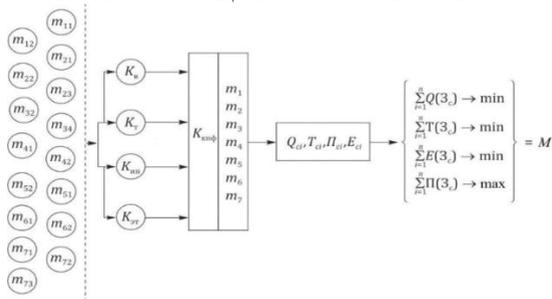


Рисунок 6 – Структура модели показателя комплексной технологичности автоматизированных систем бурения скважин

На рисунке 6 показаны составляющие процесса расчета единичных комплексных показателей технологичности m_i при $0 \leq m_i \leq 1$, оказывающие влияние на общий показатель комплексной технологичности системы M при $0 \leq M \leq 1$, с учетом влияния $K_{\text{пкф}}$, при $K_{\text{пкф}} \leq 1$ на единичные показатели технологичности m_{ij} , при $0 \leq m_{ij} \leq 1$.

Новое понятие *показатель комплексной технологичности M* , который характеризуется снижением сроков T_c при использовании автоматизированной системы бурения скважин, снижением трудо- Q_c и энергозатрат E_c строительной системы, а также повышением производительности труда или технологической линии Π_c .

Заключение. Автоматизация на буровых установках позволит сделать работу по бурению значительно безопаснее по сравнению с нынешними реалиями, а также значительно продуктивнее, так как робот не устает, и качественнее, так как пропадает человеческий фактор. Поэтому, автоматизация бурения на данный момент считается перспективным вложением научно-исследовательских сил, хотя стоит заметить, что смежная отрасль, а именно добыча полезных ископаемых на данный момент активно автоматизируется. Но пока что на большинстве современных буровых преобладает тяжелая физическая занятость человека, персонал, облитый буровым раствором, иногда нефтью и мазутом, должен работать по 10-12 часов на ногах, за исключением разве что шахт. Конечно, человек с высшим образованием и достаточным опытом работы может избежать таких условий труда, но это не отменяет все той же 12-ти часовой смены и достаточно опасный род деятельности [3]. Особенно стоит упомянуть множества опасных для жизни человека аварий, которые могут случаться на буровых станциях, такие как ГНВП, газонефтеводопроявления, которые могут перерасти в фонтанирующий флюид, газовые факела, при которых вся электроника сгорает на первых минутах, грифоны, которые наносят сильнейший вред окружающей среде.

Список использованной литературы

1. Громадский В.А. «исследование влияния режимов работы на скорость бурения и энергозатраты станков шарошечного бурения типа СБШ-250» - 2014 // (Дата обращения 11.02.2024) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-rezhimov-raboty-na-skorost-bureniya-i-energוזatraty-stankov-sharoshechnogo-bureniya-tipa-sbsh-250/viewer>

2. Сычев С. А., Абасс А. А., Аль-Хабиб А. А., Курасова Д. Т. «Исследование механизма установки полносборных элементов из монтажного положения в проектное с минимизацией энергозатрат» // Жилищное строительство. – 2022. – № 8. – С. 38-43. – DOI 10.31659/0044-4472-2022-5-38-43.

3. Неплохой доход и тяжелый труд: каково работать помбуром. Самая первая ступень в нефтянке. // (Дата обращения 20.01.2023) URL: <https://neft.media/vse-regiony/materials/neplohooy-dohod-i-tyazhelyy-trud-kakovo-rabotat-pomburom-profession>

4. Нуцкова М.В., Блинов П.А., Сидоров Д.А., Будовская М.Е., Пантюхин А.А. «Снижение энергоемкости строительства скважины путем применения растворов с улучшенными триботехническими характеристиками» // Neftegaz.RU – 02.02.2020

5. Полетаев С.Н. «Дистанционное бурение как инновационный проект для повышения уровня безопасности работников и сокращения экономических издержек.» // (Дата обращения 04.02.2024) URL: <https://eee-science.ru/wp-content/uploads/2021/01/Дистанционное-бурение.pdf>

6. Рамозанов А.Г., Васильев В.В., Анциферова А., Поляков П. «Буровая без людей: от Центра удаленного сопровождения до автоматизации процесса наклонно-направленного бурения.» // (Дата обращения 03.02.2024) URL: <https://magazine.neftgaz.ru/articles/tsifrovizatsiya/676949-burovaya-bez-lyudey-ot-tsentra-udalennogo-soprovozhdeniya-do-avtomatizatsii-protssessa-naklonno-napra/>

7. Сычев С. А. Научные и технологические основы высокоскоростных энергоэффективных строительных систем в условиях Крайнего Севера : специальность 05.23.08 "Технология и организация строительства" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Сычев Сергей Анатольевич, 2021. – 479 с.

8. Carsten Freyer. KCA DEUTAG «Automated rig built to enable operator's 'hands off' philosophy. » // (Дата обращения 03.02.2024) <https://drillingcontractor.org/> URL: <https://drillingcontractor.org/automated-rig-built-to-enable-operators-hands-off-philosophy-18366>

9. Eurasia group. «Малогабаритные буровые установки – разновидности и сферы применения.» // (Дата обращения 18.01.24), URL: <https://eurasia-group.ru/blog/articles/malogabaritnye-burovye-ustanovki-raznovidnosti-i-sfery-primeneniya/>

УДК 519.6:004.43

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОИСКА ОБЪЕКТОВ

**Тюрина Оксана Дмитриевна¹, Тюрина Алина Дмитриевна²,
Скворцова Ольга Ивановна³, Филимонов Александр Алексеевич⁴,
Шлаев Дмитрий Валерьевич⁵**

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»,

г. Санкт-Петербург, Россия, oksana.vselennaia.2002@yandex.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича, г. Санкт-Петербург, Россия, at.aliana@yandex.ru

³ ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь, Россия, olga-skvorcova2015@yandex.ru

⁴ Ставропольский филиал ФГКОУ ВО «Краснодарский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации», г. Ставрополь, Россия, afilimon12010@mail.ru

⁵ ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», г. Ставрополь, Россия, shl-dmitrij@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены методы поиска объектов, представлены наиболее популярные математические модели поиска объектов и приведены примеры их реализации на языке программирования Java.

Ключевые слова: математическая модель, поиск объектов, алгоритмы, методы, оптимизация.

MATHEMATICAL MODELS OF OBJECT SEARCH

**Tyurina Oksana Dmitrievna¹, Tyurina Alina Dmitrievna²,
Skvortsova Olga Ivanovna³, Filimonov Alexander Alekseevich⁴,
Shlaev Dmitry Valeryevich⁵**

¹ Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia, oksana.vselennaia.2002@yandex.ru

² St. Petersburg State University of Telecommunications named after Professor M. A. Bonch-Bruevich, St. Petersburg, Russia, at.aliana@yandex.ru

³ North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia, olga-skvorcova2015@yandex.rumailto:olga-skvorcova2015@yandex.ru

⁴ Stavropol branch of the Federal State Budgetary Educational Institution "Krasnodar University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation", Stavropol, Russia,

⁵ Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia, afilemon12010@mail.ru

Annotation. The article discusses object search methods, presents the most popular mathematical models of object search and provides examples of their implementation in the Java programming language.

Keywords: mathematical model, object search, algorithms, methods, optimization.

Математические модели поиска объектов играют важную роль во многих областях науки и техники, таких как информационный поиск в Интернете, обработка изображений, медицинская диагностика, финансовый анализ и другие. Эти модели позволяют эффективно находить нужные объекты среди большого объема данных. Одной из основных задач поиска объектов является определение сходства между объектами. Для этого используются различные математические методы, такие как метрические и неметрические алгоритмы, классификация, кластеризация и т.д. [1]. Одним из самых популярных методов поиска объектов является поиск по близости. В этом случае объекты сравниваются с помощью определенной метрики, например, евклидоваго расстояния или косинусного сходства. На основе результатов сравнения объекты ранжируются в соответствии с их сходством с заданным запросом. Другим распространенным методом поиска объектов является классификация. Здесь объекты делятся на заранее определенные категории или классы на основе их характеристик. Кластеризация - еще один важный метод поиска объектов, который заключается в группировке объектов на основе их сходства [2]. При этом объекты внутри одного кластера более похожи друг на друга, чем на объекты из других кластеров. Важно отметить, что выбор математической модели зависит от конкретной задачи поиска объектов и характеристик данных. Некоторые модели могут быть более подходящими для текстовых данных, другие - для изображений или числовых данных.

Использование математических моделей поиска объектов позволяет повысить эффективность работы во многих областях и

улучшить качество получаемых результатов [3]. Они помогают быстро и точно находить нужные объекты, оптимизировать процессы принятия решений и улучшить качество анализа данных.

В данной статье рассмотрены наиболее популярные математические модели поиска объектов и приведены примеры их реализации на языке программирования Java.

Модель "мешок слов" — это одна из самых простых моделей поиска объектов. Суть модели заключается в том, что каждый объект представляется в виде набора слов или терминов [5]. При поиске объектов сравниваются наборы слов объектов с запросом пользователя и определяется степень их сходства.

Пример реализации модели "мешок слов" на Java:

```
public class BagOfWords {
    public static double calculateSimilarity(String[] obj1, String[] obj2) {
        int commonWords = 0;
        for (String word : obj1) {
            if (Arrays.asList(obj2).contains(word)) {
                commonWords++;
            }
        }
        double similarity = (double) commonWords / Math.max(obj1.length,
            obj2.length);
        return similarity;
    }
    public static void main(String[] args) {
        String[] obj1 = {"apple", "banana", "orange"};
        String[] obj2 = {"apple", "grapes", "mango"};
        double similarity = calculateSimilarity(obj1, obj2);
        System.out.println("Similarity between obj1 and obj2: " +
            similarity);
    }
}
```

Модель "TF-IDF" (Term Frequency-Inverse Document Frequency) — более сложная модель, которая учитывает не только наличие слов в объектах, но и их важность. Эта модель используется в поисковых системах для оценки релевантности объектов запросу пользователя.

Пример реализации модели "TF-IDF" на Java (используется библиотека Apache Lucene):

```
public class TfIdfModel {
    public static void main(String[] args) {
```

```

Directory index = new RAMDirectory();
StandardAnalyzer analyzer = new StandardAnalyzer();
IndexWriterConfig config = new IndexWriterConfig(analyzer);
try {
    IndexWriter writer = new IndexWriter(index, config);
    Document doc1 = new Document();
    doc1.add(new TextField("content", "apple banana orange",
Field.Store.YES));
    writer.addDocument(doc1);
    Document doc2 = new Document();
    doc2.add(new TextField("content", "apple grapes mango",
Field.Store.YES));
    writer.addDocument(doc2);
    writer.close();
    IndexReader reader = DirectoryReader.open(index);
    IndexSearcher searcher = new IndexSearcher(reader);
    Query query = new QueryParser("content", analyzer).parse("apple");
    TopDocs docs = searcher.search(query, 10);
    for (ScoreDoc scoreDoc : docs.scoreDocs) {
        System.out.println("Doc id: " + scoreDoc.doc);
    }
} catch (Exception e) {
    e.printStackTrace();
}
}
}

```

Модель k-nearest neighbors (k-ближайших соседей) – модель, в которой объекты представлены в виде точек в пространстве признаков, и для каждого объекта находятся k ближайших соседей с помощью определенной метрики [4].

Пример реализации модели k-nearest neighbors на языке программирования Java:

```

import java.util.*;
public class KNN {
    private List<Point> points;
    public KNN(List<Point> points) {
        this.points = points;
    }
    public List<Point> findNearestNeighbors(Point target, int k) {
        TreeMap<Double, Point> distances = new TreeMap<>();
        for (Point p : points) {
            double distance = calculateDistance(target, p);

```

```

distances.put(distance, p);
}
List<Point> neighbors = new ArrayList<>();
for (Map.Entry<Double, Point> entry : distances.entrySet()) {
if (neighbors.size() == k) {
break;
}
neighbors.add(entry.getValue());
}
return neighbors;
}
private double calculateDistance(Point a, Point b) {
// Расчет Евклидового расстояния между двумя точками
return Math.sqrt(Math.pow(a.getX() - b.getX(), 2) +
Math.pow(a.getY() -
b.getY(), 2));
}
public static void main(String[] args) {
List<Point> points = new ArrayList<>();
points.add(new Point(1, 2));
points.add(new Point(3, 4));
points.add(new Point(5, 6));
KNN knn = new KNN(points);
Point target = new Point(2, 3);
List<Point> nearestNeighbors = knn.findNearestNeighbors(target,
2);
System.out.println("К ближайших соседей для точки (" +
target.getX() + ", "
+ target.getY() + "):");
for (Point p : nearestNeighbors) {
System.out.println("(" + p.getX() + ", " + p.getY() + "));
}}}
class Point {
private double x;
private double y;
public Point(double x, double y) {
this.x = x;
this.y = y;
}
public double getX() {

```

```
return x;
}
public double getY() {
return y;
}}
```

Данные примеры демонстрирует, как можно реализовать математические модели поиска объектов на языке программирования Java.

Математические модели поиска объектов являются эффективным инструментом для улучшения процесса поиска и ускорения его выполнения. Применение различных методов и алгоритмов, таких как методы оптимизации, машинное обучение и искусственный интеллект, позволяет создавать автоматизированные системы поиска объектов, которые могут самостоятельно улучшаться и адаптироваться к изменяющимся условиям.

Список использованной литературы

1. Колокольцов В. Н., Малафеев О. А. Динамические конкурентные системы многоагентного взаимодействия и их асимптотическое поведение (часть I) // Вестник гражданских инженеров. 2010. № 4. С. 144–153.

2. Иванов В.Т. Математическое моделирование. Модели оптимизации (Методические указания для самостоятельной работы по курсу ЦИПС) – Уфа, 1988.

3. Самарский А.А. Гулин А.В. Численные методы - М.: Наука, 1989.

4. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: Высшая школа, 1998.

5. Целых, А.Н. Оценка эффективности информационного поиска / А.Н. Целых, Э.М. Котов // Изв. Таганрог. гос. радиотехн. ун-та. – 2006. – № 10. – С. 43–45.

6. Гусева Л.Л., Зайцева И.В. Методы резервирования механизмов защиты для повышения отказоустойчивости системы защиты информации // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2010. № 14. С. 102-106.

7. Зайцева И.В., Курочкина А.И., Таранушенко Ю.В. Развитие моделирования с ориентацией на новые информационные технологии. В сборнике: Модели управления производством и совершенствование информационных технологий. 2010. - С. 146-147.

УДК 330.341.1

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БРЕНДИРОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ, ВЫПУСКАЮЩИМИ МОРСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ МЕДИАСРЕДЫ

Хромов Кирилл Романович

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия, flisker1@gmail.com

Научный руководитель: профессор Байков Е. А.

Аннотация. Данная статья анализирует особенности и эффективность использования брендированной продукции предприятиями, специализирующимися на выпуске морских информационных систем, в условиях цифровой медиасреды. В ней рассматриваются стратегии брендинга и их влияние на восприятие потребителей, а также особенности позиционирования бренда в цифровых каналах коммуникации.

Ключевые слова: промышленный бренд, событийный маркетинг, цифровая медиасреда, цифровой маркетинг.

FEATURES OF THE USE OF BRANDED PRODUCTS BY ENTERPRISES PRODUCING MARINE INFORMATION SYSTEMS IN THE DIGITAL MEDIA ENVIRONMENT

Khromov Kirill Romanovich

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
flisker1@gmail.com*

Scientific supervisor: Professor Baykov E. A.

Annotation. This article analyzes the features and effectiveness of the use of branded products by enterprises specializing in the production of marine information systems in the digital media environment. It examines branding strategies and their impact on consumer perception, and the specifics of brand positioning in digital communication channels.

Keywords: industrial brand, event marketing, digital media environment, digital marketing.

В условиях быстрого развития цифровых технологий и

постоянно изменяющейся медиасреды использование брендируемой продукции становится ключевым элементом стратегии предприятий, занимающихся выпуском морских информационных систем. Данная отрасль требует особого подхода к формированию брендового имиджа и его продвижению в цифровом пространстве. Прежде, чем говорить об особенностях использования брендируемой продукции предприятиями, выпускающими морские информационные системы, рассмотрим ситуацию на рынке оборонной промышленности.

Брендинг для промышленного оборонного предприятия предоставляет ряд преимуществ и возможностей:

1) Дифференциация от конкурентов: бренд позволяет выделиться среди конкурентов, создавая уникальный облик и стиль для продукции или услуг предприятия.

2) Установление качественного стандарта: сильный бренд может ассоциироваться с высоким качеством оборонной продукции. Это помогает убедить клиентов в надежности, долговечности, простоте обслуживания, а также эффективности данного продукта.

3) Формирование положительного восприятия: бренд может создавать положительное восприятие у заказчиков и партнеров, что важно для установления долгосрочных отношений.

4) Повышение лояльности клиентов: сильный бренд способствует формированию лояльности со стороны клиентов, которые могут предпочесть продукцию и услуги предприятия другим альтернативам.

5) Привлечение талантливых сотрудников: имидж успешного и известного промышленного бренда может быть привлекательным для квалифицированных специалистов, что важно для развития оборонного предприятия.

6) Эффективная маркетинговая стратегия: бренд обеспечивает эффективный маркетинг, так как он может быть использован для создания узнаваемости и привлечения внимания целевой аудитории.

7) Расширение ассортимента продукции: успешный бренд может быть использован для расширения линейки оборонной продукции предприятия. Новые продукты, выпущенные под узнаваемым брендом, могут легче приниматься рынком.

8) Повышение стоимости предприятия: сильный бренд увеличивает стоимость предприятия в глазах инвесторов и партнеров, что может способствовать привлечению инвестиций и развитию оборонной промышленности.

9) Снижение чувствительности к цене: при наличии

сильного бренда клиенты могут быть менее чувствительны к цене, так как ассоциируют оборонную продукцию с определенными качественными и статусными характеристиками.

10) Успешное внедрение новых технологий: бренд может служить платформой для успешного внедрения новых технологий и инноваций в оборонной промышленности.

В целом, брендинг предприятия в промышленном секторе может существенно повысить конкурентоспособность и создать основу для долгосрочного успеха [1].

Механизм создания промышленного бренда аналогичен общим этапам формирования бренда, но может включать в себя специфические аспекты, учитывающие особенности промышленной деятельности. Вот основные шаги и этапы создания промышленного бренда:

1) Анализ рынка и конкурентов: изучение промышленного рынка, определение ключевых игроков и их стратегий.

2) Анализ потребностей клиентов и требований отрасли. Исследование целевой аудитории: определение целевой аудитории промышленного бренда, включая предприятия, инженеров, закупщиков и других профессионалов в сфере промышленности.

3) Уникальное предложение ценности: определение того, что делает предприятие уникальным и какие конкурентные преимущества оно может предоставить своим клиентам в промышленной среде.

4) Разработка брендовых ценностей и обещаний: формулирование ясных брендовых ценностей, которые будут основой для формирования образа бренда. Создание обещаний бренда, которые могут включать в себя качество продукции, надежность, инновации и другие аспекты.

5) Создание уникального брендового имиджа: разработка уникального логотипа, цветовой гаммы, шрифтов и других элементов дизайна, которые будут использоваться для идентификации бренда.

6) Создание брендового материала: разработка промышленных брошюр, каталогов, веб-сайта и других материалов, которые будут использоваться для представления бренда на рынке.

7) Маркетинг и продвижение: разработка маркетинговой стратегии для продвижения бренда в промышленной среде. Использование традиционных и цифровых каналов для привлечения внимания к бренду.

8) Участие в промышленных мероприятиях и выставках: активное участие в промышленных мероприятиях, выставках,

конференциях и ярмарках для установления контактов и демонстрации продукции.

9) Обратная связь и управление репутацией: организация системы сбора обратной связи от клиентов и партнеров. Управление репутацией бренда в промышленном сообществе.

10) Контроль качества: обеспечение высокого уровня качества продукции и услуг, соответствующему уникальному предложению.

11) Эволюция бренда: постоянное обновление и развитие бренда в соответствии с изменениями в отрасли, требованиями рынка и потребностями клиентов.

Создание бренда требует систематического и комплексного подхода, учитывая особенности отраслевого сегмента и потребностей целевой аудитории [2].

Предприятиям, выпускающим морские информационные системы, целесообразно использовать два основных способа продвижения брендированной продукции: событийный маркетинг (eventmarketing) и цифровой маркетинг (digitalmarketing).

1) Событийный маркетинг (eventmarketing):

– Определение: событийный маркетинг основан на организации и участии в значимых мероприятиях, таких как конференции, выставки, семинары и ярмарки.

– Преимущества: возможность личного взаимодействия с целевой аудиторией. Создание прямого контакта с потенциальными клиентами и партнерами. А также поддержка бренда через активное участие в отраслевых мероприятиях.

– Примеры: участие в морских выставках или конференциях, организация собственных семинаров или вебинаров.

2) Цифровой маркетинг (digitalmarketing):

– Определение: цифровой маркетинг включает в себя использование цифровых каналов для продвижения продукции, таких как интернет-сайты, социальные сети, электронная почта, поисковая оптимизация и т.п.

– Преимущества: глобальное охватывание аудитории через онлайн-платформы. Таргетированная реклама для конкретных сегментов рынка. А также возможность измерения эффективности через аналитику и метрики.

– Примеры: совершенствование и оптимизация веб-сайта, привлечение клиентов через социальные медиа, электронные рассылки и контент-маркетинг.

Использование обоих способов позволяет комплексно подходить к продвижению продукции, обеспечивая как личное взаимодействие с клиентами на отраслевых мероприятиях, так и эффективное присутствие в онлайн-пространстве через разнообразные цифровые каналы [3]. Эти стратегии могут быть интегрированы для максимизации результатов и достижения широкого охвата аудитории. Однако создание брендированной продукции предприятиями, выпускающими морские информационные системы, требует использования новейших инновационных маркетинговых, технических и технологических инструментов, а также пересмотра бизнес-стратегий. Сервисная экосистема брендов с доминирующим сервисом основана на потребительских ценностях и объединяет четыре категории сервисов: явные, скрытые, функциональные и кросс-серверные, которые помогают повысить ценность бренда и развить клиентоориентированность. Маркетинговые модели управления процессом построения сервис-ориентированных брендов влияют на регулирование бизнес-процессов, сводящихся к инновациям, потребителям, инфраструктуре и доставке. В итоге можно сделать следующий вывод: предприятия, которые занимаются созданием морских информационных систем, выбирают различные способы для продвижения брендированной продукции. Целью является формирование доверия между потенциальными заказчиками и их потенциальными партнерами посредством участия в различных конференциях, выставках, форумах и пр.

Список использованной литературы

1. Домнин В. Н. Бренддинг: учебник и практикум для вузов / В. Н. Домнин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 493 с.
2. Трубникова Н. В. Цифровой бренддинг: глобальные императивы среды / Н. В. Трубникова // Бренддинг как коммуникативная технология XXI века: Материалы V Международной научно-практической конференции, Париж, 18-21 марта 2019 года / под ред. А.Д. Кривоносова. – Париж: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2019. – С. 102-106.
3. Котляров И. Д. Экономический эффект бренда – проблемы оценки / И.Д. Котляров // Экономика и математические методы. – 2019. – Т. 55. – № 3. – С. 100-108.

**ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОЛУЧЕВОГО ЭХОЛОТА ДЛЯ
ПРОВЕДЕНИЯ ПУТЕВЫХ РАБОТ НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ
ПУТЯХ РФ**

*Ярошенко Анатолий Вячеславович, Гаврилов Даниил Игоревич,
Семиделова Алина Олеговна, Рычихин Даниил Андреевич,
Сикарев Игорь Александрович*

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. В статье рассматривается принцип работы многолучевого эхолота и перспективы его использования на внутренних водных путях РФ на примере организации ГБУ «Волго-Балт».

Ключевые слова: многолучевой, эхолот, Волго-Балт, безопасность, луч.

**THE USE OF A MULTIPATH ECHO SOUNDER FOR
CONDUCTING TRACK WORK ON THE INLAND WATERWAYS
OF THE RUSSIAN FEDERATION**

*Yaroshenko Anatoly Vyacheslavovich, Gavrilov Daniil Igorevich,
Semidelova Alina Olegovna, Rychikhin Daniil Andreevich, Sikarev Igor
Alexandrovich*

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Annotation. The article discusses the principle of operation of a multipath echo sounder and the prospects for its use on inland waterways of the Russian Federation on the example of the organization of the Volga-Balt GBU.

Keywords: multipath, sounder, Volga-Balt, safety, beam.

1.1 Многолучевой эхолот (МЛЭ). Многолучевой эхолот — это устройство, используемое для исследования структуры и свойств морского дна путем измерения времени прохождения и интенсивности акустических сигналов, отражающихся от различных слоев воды.

Многолучевые эхолоты (МЛЭ) работают на следующих основных принципах: передающий модуль эхолота посылает широкоугольные акустические сигналы (диапазон углов 120° - 150°) перпендикулярно направлению движения судна, а сигналы по ходу движения более узконаправленные (около 1° для высокочастотных моделей). Приемная акустическая антенна формирует множество узких приемных лучей перпендикулярных направлению движения судна. Специальные алгоритмы управления диаграммой направленности приемных лучей позволяют им регулировать направление относительно плоскости движения судна. Это позволяет системе осуществлять пространственную фильтрацию акустических сигналов от различных участков морского дна в полосе обзора. Эти участки называются областями облучения или засветкой лучей, и они обеспечивают возможность измерения батиметрии, а также значений интенсивности рассеивания для каждого отдельного местоположения.

Принцип работы МЛЭ можно пояснить с помощью иллюстрации, рисунок 1. Заштрихованные области представляют проекции переданного и полученного лучей (здесь показана проекция единичного получаемого луча). Основные лепестки диаграмм направленности передаваемого и получаемого лучей показаны в виде заштрихованных областей. Область освещения МЛЭ формируется зоной пересечения этих областей. Две пунктирные линии обозначают границы дна, освещенного (или озвученного) прямоугольным единичным акустическим импульсом эхолота в течение определенного периода времени.

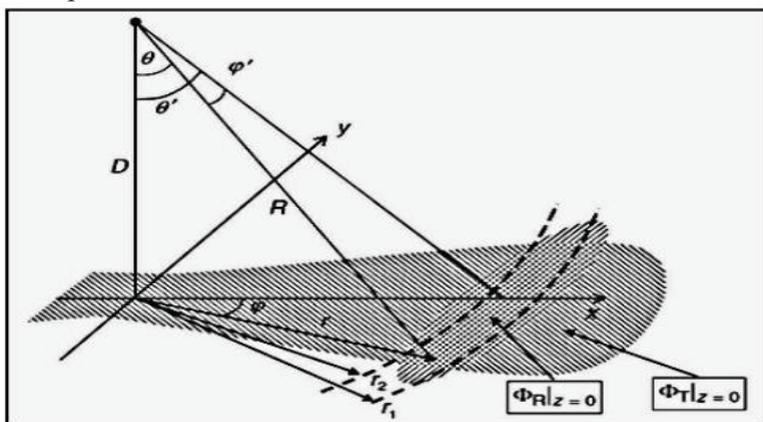


Рисунок 3 – Принцип работы многолучевого эхолота и геометрии измерения обратного рассеивания

Рассмотрим использование и перспективы развития многолучевого эхолота на примере ФБУ «Администрация «Волго-Балт»:

2.2 Использование и перспективы МЛЭ. ФБУ «Администрация «Волго-Балт» — это государственное бюджетное учреждение, которое занимается обеспечением безопасности судоходства на внутренних водных путях России.

Основные цели организации включают в себя: эксплуатацию и развитие внутренних водных путей и гидротехнических сооружений, обеспечение беспрепятственного судоходства на внутренних водных путях и безопасности судоходных гидротехнических сооружений.

Волго-Балтийский водный путь (ВБВП) представляет собой систему различных водных путей и гидротехнических сооружений на маршруте Санкт-Петербург – Череповец, обеспечивающую проход крупнотоннажным судам с грузоподъёмностью до 5 тыс. тонн.

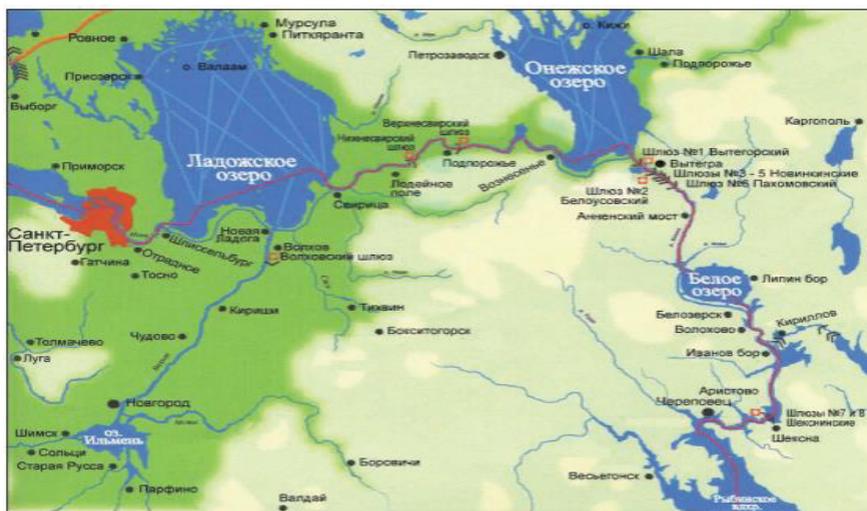


Рисунок 4 – Схема водных путей ГБУ «Волго-Балт»

ГБУ «Волго-Балт» обслуживает сложные инженерные комплексы, включающие водные пути, протяжённостью 4900 км, в которые входят: 11 судоходных шлюзов, 3 гидростанции, 25 земляных плотин и дамб, 8 маяков Ладожского озера и более 4800 знаков судоходной навигации, рисунок 2.

Внедрение беспилотных многолучевых эхолотов может принести ряд преимуществ для Волго-Балтийского водного пути

России. Во-первых, это позволит более точно и оперативно получать информацию о состоянии дна и глубинах, что важно для обеспечения безопасности судоходства. Во-вторых, использование таких эхолотов снижает затраты на обслуживание водных путей, так как они могут работать автономно и не требуют постоянного присутствия человека. И соответственно, мероприятия по обслуживанию водных путей будут проводиться чаще. В-третьих, применение беспилотных технологий может повысить уровень безопасности на водных путях, что позволяет контролировать ситуацию в режиме реального времени и быстро реагировать на возникающие угрозы. Угроза может представлять собой появление повреждений и дефектов на трубопроводе и выявление помех на дне водных путей.

Еще одним преимуществом многолучевых эхолотов является их простота в конструкции антенн, что делает их менее тяжелыми и более компактными. Благодаря этим характеристикам они могут быть установлены на беспилотных подводных аппаратах и даже на надувных лодках. Более того, ширина их полосы обзора достигает более 5 глубин, что является большим преимуществом при съемке русел.

Для выполнения этой задачи был установлен комплекс многолучевого эхолота на борту специально разработанного малого промыслового судна “Селенга 620”

Гидроакустическая антенна многолучевого эхолота устанавливается в технологическую шахту, расположенную в центре корпуса.

Использование многолучевого эхолота позволило выявить как крупные неисправности по типу обнажений и провисаний трубопроводов, так и небольшие участки с незначительными повреждениями.

В качестве примера, на рисунке 3 представлен неисправный участок трубопровода на подводном переходе. Длина данного участка составляет 5 метров, располагается он на дне траншеи, глубиной 7 метров. Выявление данного участка с помощью иных систем эхолокации представляли бы более значительные трудности.

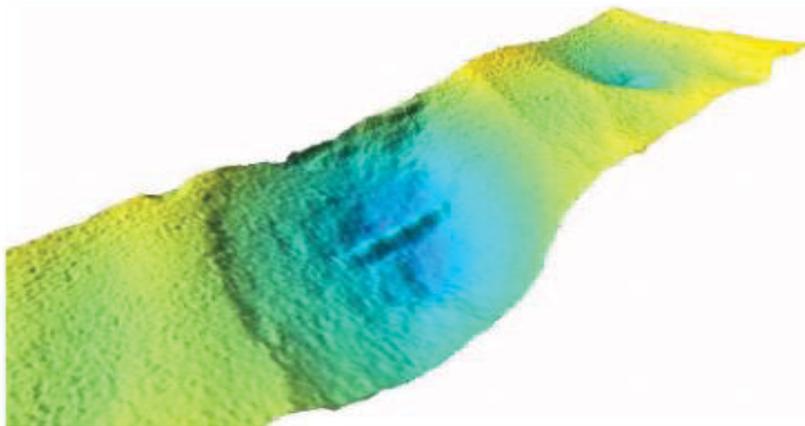


Рисунок 3 – Неисправный участок подводного перехода трубопровода

В заключении необходимо отметить, что в настоящее время, остро стоит вопрос о разработке и развитии отечественных методик, отражающих инновационные решения в морской геодезии, способствующие геодезическому контролю различных систем водных путей, гидротехнических сооружений для обеспечения безопасности, сохранности здоровья человека и окружающей среды. А также для увеличения эффективности выполнения мероприятий по обслуживанию внутренних водных путей.

Список использованной литературы

1. Фирсов Ю. Г. Способы сбора данных обратного рассеивания морского дна, реализованные в современных многолучевых эхолотах / Ю. Г. Фирсов, Е. Н. Колосков, Б. А. Корнипаев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2016. – № 6 (40). – С. 95–105.

2. Рудых. С.В. Современное состояние и уровень оснащённости судов технического и вспомогательного флота на внутренних водных путях России / С. В. Рудых // Журнал университета водных коммуникаций – СПб: СПГУВК, 2011. – Вып. 3 (11). – С. 42 -49.

3. Гришанин К. В. Водные пути / К. В. Гришанин, В. В. Дегтярев, В. М. Селезнев. – М.: Транспорт, 1986. – 400 с.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЕТРА

Ятченко Андрей Сергеевич

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия, yipmen5555@gmail.com

Научный руководитель: доцент кафедры МКОА РГГМУ

Абанников В. Н.

Аннотация. Данная научная работа представляет собой исследование по анализу и моделированию параметров ветра с помощью программной реализации. В ней представлен алгоритм расчета основных характеристик ветра, таких как среднесуточная скорость ветра, среднемесячная скорость ветра, среднегодовая скорость ветра и максимальная суточная скорость ветра. Программное обеспечение предназначено для надежного и эффективного анализа данных, полученных с метеорологических станций и из других источников. Основное внимание уделяется анализу среднемесячных скоростей ветра, для которых предусмотрены графические визуализации, наглядно показывающие динамику ветровых условий в течение года. Разработанная программа и методы анализа будут полезны метеорологам, климатологам и специалистам в области возобновляемой энергетики при планировании и оптимизации проектов по установке и эксплуатации ветроэнергетических устройств. Результаты исследования могут быть использованы для прогнозирования погодных условий, оценки изменения климата и разработки эффективных стратегий управления ветровыми ресурсами.

Ключевые слова: показатели ветра, программная реализация, анализ данных, среднесуточная скорость, среднемесячная скорость, среднегодовая скорость, максимальные суточные скорости, графическая визуализация, метеорологические данные, динамика ветрового режима.

SOFTWARE IMPLEMENTATION FOR ANALYSIS AND MODELING OF WIND INDICATORS

Yatchenko Andrew Sergeevich

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
vipmen5555@gmail.com
Scientific supervisor: Associate Professor, Department of MCOA, RGGMU
Abannikov V. N.*

Annotation. This scientific work is a study on the analysis and modeling of wind parameters using software implementation. It presents an algorithm for calculating the main characteristics of wind, such as average daily wind speed, average monthly wind speed, average annual wind speed and maximum daily wind speed. The software is designed for reliable and efficient analysis of data received from weather stations and other sources. The main attention is paid to the analysis of average monthly wind speeds, for which graphical visualizations are provided that clearly show the dynamics of wind conditions throughout the year. The developed program and analysis methods will be useful to meteorologists, climatologists and renewable energy specialists when planning and optimizing wind energy projects. The results of the study can be used to predict weather patterns, assess climate change, and develop effective wind resource management strategies.

Keywords: wind indicators, software implementation, data analysis, average daily speed, average monthly speed, average annual speed, maximum daily speeds, graphic visualization, meteorological data, wind regime dynamics.

Изучение характеристик ветра важно в различных областях, включая метеорологию, климатологию, производство энергии, строительство и т.д. В данной работе представлена программная реализация для анализа и моделирования ветра, которая обеспечивает эффективный инструмент для получения основных метеорологических данных и анализа ветровых условий. Программа разработана на основе алгоритмов, позволяющих рассчитывать ключевые характеристики ветра, такие как среднесуточные, среднемесячные и среднегодовые скорости ветра, а также ежедневные максимальные скорости ветра. Для этого программа использует данные, собранные с метеорологических станций и из других источников, чтобы произвести соответствующие расчеты.

Пример блока расчета приведена на рисунке 1. Программа позволяет легко анализировать данные о ветре с помощью графической визуализации. Особое внимание уделяется анализу среднемесячных скоростей ветра, разработана графическая функция для наглядного

отображения динамики ветровых условий в течение года. Это позволяет быстро просмотреть и сравнить изменения скорости ветра за разные периоды.

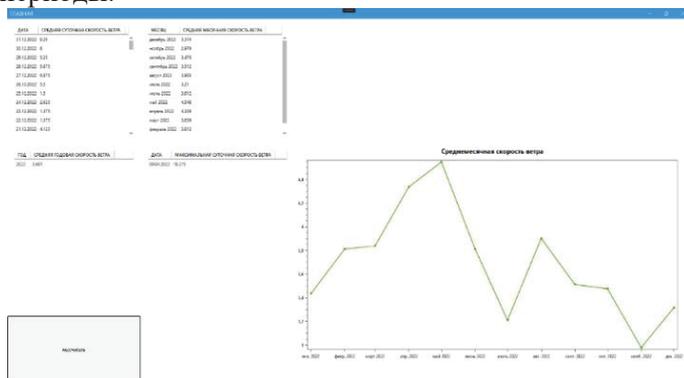


Рисунок 1 – Пример программной реализации расчета характеристик ветра

Разработанная программа полезна для метеорологов, исследователей климата и специалистов по возобновляемым источникам энергии. Она может быть использована для прогнозирования погоды, оценки изменения климата и разработки эффективных стратегий управления ветровыми ресурсами.

Программная реализация, представленная в данной работе, является мощным инструментом для анализа и моделирования характеристик ветра. Благодаря своей гибкости и простоте использования, она является не только ценным ресурсом для метеорологических и энергетических исследований, но и для принятия обоснованных решений в практических приложениях.

Список использованной литературы

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники Энергии. Учебно-методическое пособие по выполнению расчётно-графических и контрольных работ. «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» 2015 г.
2. <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/desktop/wpf/?view=netdesktop-8.0> “Электронный источник”.
3. <https://mahapps.com/docs/> “Электронный источник”.
4. <https://metanit.com/sharp/tutorial/> “Электронный источник”.
5. <https://www.epplussoftware.com/> “Электронный источник”.

MODERN METHODS OF PROSPECTING, EXPLORATION AND DEVELOPMENT OF BITUMINOUS OIL

Elman Ksenia Alexandrovna

*Institute of Petroleum and Technology (branch) Ugra State University,
Surgut, Russia, elmanka@bk.ru*

Annotation. Current exploration methods are currently very conservative and are based only on the implementation of research wells, which is very expensive, and also provides relatively low data acquisition efficiency. To solve the above tasks, the help of geophysical methods is relevant, since, due to the predominantly superficial nature of the deposits, electromagnetic methods can be effectively applied in practice.

Keywords: petroleum, geology, geoecology, exploration, bitumen.

To date, it is known that an unconventional source of hydrocarbon raw materials is the oil of bituminous sands, figure 1, which are a natural conglomerate consisting of sand, water, clay, as well as related minerals and bitumen. It is worth noting that bituminous sands are a combustible mineral, part of which is natural bitumen.

The relevance of the issue of bituminous sands is also due to the fact that the world's geological resources exceed 1,000 billion tons.

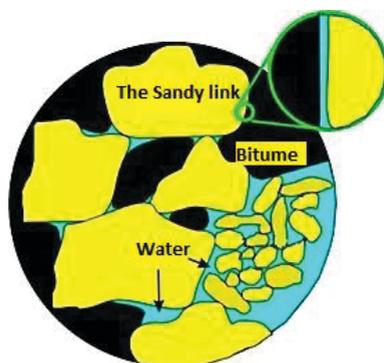


Figure 1 – Traditional model of liquid distribution within oil sands

There are also known technologies from "cold" extraction to the "drainage method" using hot steam, which are designed to extract heavy oil

and bitumen. The methods of oil extraction from bituminous sands themselves are represented by the open method, that is, quarry or mine, as well as underground, that is, mine, mine-borehole [1]. The depth of occurrence of solid bituminous shales varies between 200-750 meters.

Bituminous sands are common not only abroad (especially Canada, Saudi Arabia), but also in Russia and Siberia. Significant areas of bituminous sands in Russia are located in the basins of the Volga-Ural, Timan-Pechora, North Caucasus – Mangishlak and Tunguska. The bituminous sands of Russia have initial reserves of: Timan-Pechora – 808 million tons; Volga-Ural – 4095 million tons; East Siberian - 20,770 million tons; and the total count is 25,673 million tons.

Returning to the issue of modern methods of prospecting, exploration and development of bituminous sands, let's consider the method of cold extraction of heavy oil, figure 2, which is low-cost without the use of expensive additives, as well as recovery methods. The disadvantage of this method is the percentage of extraction, which is 15 of the reserves of the deposit [3]. This method involves drilling vertical wells into which a destructive injection pump is lowered, consisting of a drill and a propeller, which serves as the only movable part and is made of durable material to effectively resist wear. This method also allows you to extract large amounts of sand, water, oil and gas.

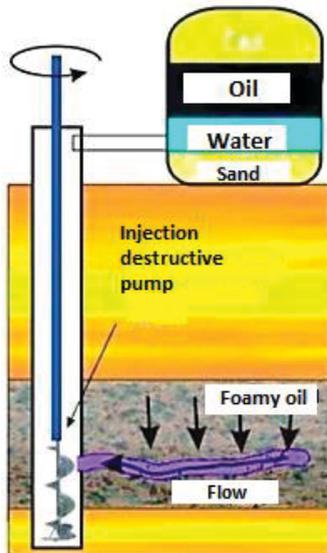


Figure 2 – Cold production of heavy oil

The next method of gravitational drainage using steam, figure 3, is the drilling of two horizontal wells, one of which is built above the second at a distance of about two meters. The beginning of this process consists in pumping hot steam into the pillars of two wells until the oil between them reaches a state of sufficient mobility to ensure sufficient heat exchange. Further, after reaching this peak, steam "injections" continue only into the trunk of the upper well [2]. The developed engineering models make it possible to assume that the steam chamber will grow both sideways from the borehole and vertically upwards inside the tar sands formation. This increase is accompanied by a decrease in the viscosity of the oil, which, as a rule, flows to the lower part of the field, where the oil enters the trunk of the lower well and is extracted directly to the surface. There are also several variants of this method when methane can be introduced into the formation, which is necessary to ensure low thermal conductivity in the upper part of the formation, which can reduce heat loss.

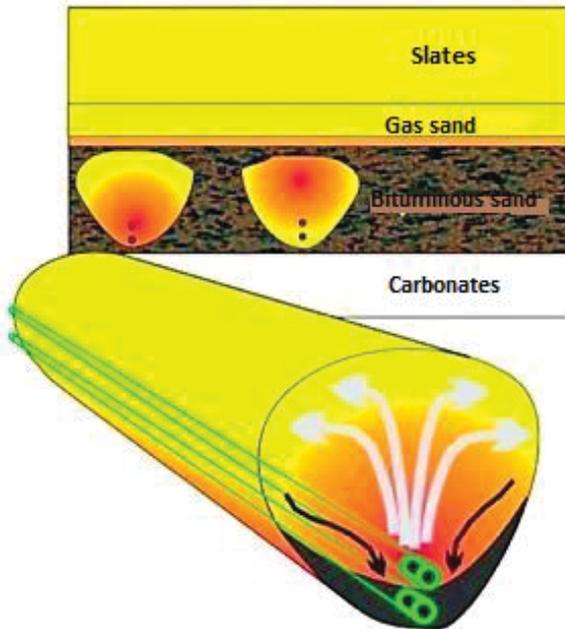


Figure 3 – Conceptual model of gravity drainage of viscous oils using steam

Another distinctive technique involves a preliminary field-testing process, the function of steam in this method is performed by light hydrocarbon gases, namely ethane and propane. These solvents reduce the viscosity of the oil, which allows it to drain into the lower part of the reservoir in a similar way to steam. It is worth noting that, unlike the use of hot steam, heat loss is excluded, which can be effective for deposits with too little capacity [3].

Special attention should be paid to the issue of exploration of bituminous deposits. Current exploration methods are currently very conservative and are based only on the implementation of research wells, which is very expensive, and also provides relatively low data acquisition efficiency. To solve the above tasks, the help of geophysical methods is relevant, since, due to the predominantly superficial nature of the deposits, electromagnetic methods can be effectively applied in practice.

It is worth noting that in the future there is a possibility of providing more detailed information about the field, which can also be used in seismic exploration. To date, the above methods are not used in Russia, but their prospects for many deposits leave no doubt.

Reference

1. El'man K. A. Geograficheskaya informacionnaya sistema kak me- tod preduprezhdeniya avarij razliva nefli / K. A. El'man, M. A. Sryb- nik, A. A. Kokareva // V sbornike: Neft' i gaz Zapadnoj Sibiri materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii. 2017.– S. 307–309.
2. El'man K. A. Sovremennye metody geofiziki dlya resheniya geoekologicheskikh zadach // V sbornike: Dostizheniya, problemy i perspektivy razvitiya neftegazovoj otrasli Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – 2018. – S. 153–156.
3. El'man K. A. Geofizicheskij metod razvedki mineralov // V knige: Sbornik tezisov VII regional'noj molodyozhnoj konferencii im. V. I. SHpil'mana «Problemy racional'nogo prirodopol'zovaniya i istoriya geologicheskogo poiska v Zapadnoj Sibiri». – 2019. – S. 37–39.

СЕКЦИЯ 4. РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ

УДК 551.5:[574.42:631]

РОЛЬ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ АГРОСИСТЕМ

Батраченко Екатерина Александровна

*ФГБОУ ВО «Курский государственный университет», г. Курск,
Россия, ostkat@yandex.ru*

Аннотация. Формирование устойчивых агроландшафтных комплексов является важнейшей практической задачей. Общеизвестно влияние климатических факторов на формирование и функционирование сельскохозяйственных систем, развитие земледелия находится в прямой зависимости от климата.

В настоящее время существует проблема неустойчивости агроландшафтов, особенно земледельческого типа, это определяется их зависимостью от антропогенного управления. Для природных экосистем устойчивость определяется энергетическими и продукционными процессами, сложившимися в ходе длительного эволюционного развития. Для агросистем, конструируемых человеком, характерными для структуры являются интродуцированные растения, животные, преобразованный почвенный покров. В соответствие с вышеуказанным, оценка и прогнозирование устойчивости агроландшафтов приобретают не только научное, но и практическое значение.

Особая роль в формировании устойчивости принадлежит климатическим факторам. При оценке интенсивности сочетания воздействия природных и антропогенных воздействий на компоненты агросистем необходимым условием является выявление инварианта, т.е. диапазона безопасного изменения параметров. Проблемным вопросом является методология количественного определения устойчивости к внешнему воздействию. Особое практическое значение приобретает определение механизмов формирования устойчивости агроландшафтов в условиях изменения климата. Существующие авторские концепции основаны на факторных подходах, перспективным является оценка устойчивости с точки зрения анализа взаимовлияния условий формирования агросистемы. В статье

рассмотрены вопросы оценки и прогнозирования устойчивости природных и аграрных экосистем при учете влияния метеорологических данных.

Ключевые слова: агросистемы, устойчивость, метеорологические условия, прогнозирование.

THE ROLE OF METEOROLOGICAL DATA FOR ASSESSING THE SUSTAINABILITY OF AGRICULTURAL SYSTEMS

Batrachenko Ekaterina Alexandrovna

Kursk State University, Kursk, Russia, ostkat@yandex.ru

Annotation. The formation of sustainable agro-landscape complexes is the most important practical task. The influence of climatic factors on the formation and functioning of agricultural systems is well known, and the development of agriculture is directly dependent on the climate.

Currently, there is a problem of instability of agricultural landscapes, especially of the agricultural type, this is determined by their dependence on anthropogenic management. For natural ecosystems, sustainability is determined by energy and production processes that have developed during a long evolutionary development. For human-designed agricultural systems, introduced plants, animals, and transformed soil cover are characteristic of the structure. In accordance with the above, the assessment and forecasting of the sustainability of agricultural landscapes acquire not only scientific, but also practical importance.

A special role in the formation of sustainability belongs to climatic factors. When assessing the intensity of the combination of natural and anthropogenic impacts on the components of agricultural systems, it is necessary to identify an invariant, i.e. the range of safe parameter changes. A problematic issue is the methodology for quantifying resistance to external influences. Of particular practical importance is the definition of mechanisms for the formation of sustainability of agricultural landscapes in the context of climate change. The existing author's concepts are based on factorial approaches, and the assessment of sustainability from the point of view of analyzing the mutual influence of conditions for the formation of an agricultural system is promising. The article considers the issues of assessing and forecasting the sustainability of natural and agricultural ecosystems, taking into account the influence of meteorological data.

Keywords: agricultural systems, sustainability, meteorological conditions, forecasting.

Формирование устойчиво функционирующих сельскохозяйственных систем является важнейшей задачей современного сельскохозяйственного производства. Одной из проблем, которую ежегодно приходится решать в растениеводстве – это влияние неблагоприятных метеорологических явлений и динамики температурного режима и увлажнения. Для территории Курской области, являющейся одной из основных сельскохозяйственных житниц РФ, проблема оценки влияния метеорологических условий достаточно актуальна, так как на территории характерны такие неблагоприятные явления как засухи, поздние заморозки и др. Также, важным в оценке продуктивности и соответственно, устойчивости агросистем является прогнозирование влияния количества озадков, температурного режима на устойчивость функционирования сельскохозяйственной системы.

Агроландшафты представляют собой природно-антропогенные экосистемы, зависящие от антропогенной энергетической субсидии в виде механической, физической, биологической энергии. Устойчивость функционирования может определяться рядом факторов [5]. Оценка и прогнозирование устойчивости как природных, так и природно-антропогенных систем может состоять из этапов исследования географических особенностей территории, в том числе и климатических, так и изучения специфики антропогенного освоения, рисунок 1.

26



Рисунок 1 – Этапы прогнозирования устойчивости экосистем [5]

Как отмечает ряд авторов, «...в условиях прямой корреляционной зависимости климатических особенностей территории, условий почвообразования и сельскохозяйственной деятельности, на наш взгляд, актуальным является анализ влияния колебаний микроклиматических факторов, показателей почвенного плодородия и устойчивости ландшафтов» [1].

Таким образом, одним из основных показателей, определяющих продуктивность и, соответственно, устойчивость агросистем является температурный режим. По результатам анализа статистических данных «Центрально-Черноземного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» для территории Курской области последние десятилетия характеризовалась повышением среднегодовых температур и среднемесячных температур отдельных месяцев. Анализ динамики изменения общегодового и сезонного количества осадков выявил черты сходства и различия с направленностью изменения температурных показателей [1,4]. Тренд изменения количества осадков имеет положительную тенденцию. Возрастает число дней с ливневыми осадками, да и интенсивность самих ливней также возрастает. В тоже время это сочетается с увеличением продолжительности периода без осадков. Это приводит к резким контрастам влагообеспечения растительности и усилению эрозионной деятельности. Таким образом, климат оказывает доминирующее влияние на продуктивность как природных, так и сельскохозяйственных ландшафтов. Важным аспектом является мониторинг корреляции динамики изменения климатических показателей и состояния плодородия почвы естественных и сельскохозяйственных системах.

Моделирование устойчивости агросистем имеет важное практическое значение: предполагая изменение условий, определяющих устойчивость, можно планировать оптимизационные мероприятия. Например, в отдельных исследованиях прогнозирование устойчивости как природно-антропогенных, так и природных экосистем связано с оценкой многолетних трендов в изменении климатических показателей. Кроме того, определение устойчивости при разных ландшафтно-географических условиях позволит более качественно производить ранжирование сельскохозяйственных угодий и планировать тип и интенсивность агрогенной нагрузки, что в условиях деградации земельных ресурсов достаточно актуально, рисунок 2.



Рисунок 2 – Моделирование устойчивости функционирования агроландшафтов

В нашем исследовании осуществлялось изучение показателей, определяющих устойчивость как природных, так и природно-антропогенных ландшафтов. Территорией исследования выступили условно коренные и сельскохозяйственные ландшафты Курской области. Для территории характерен высокий уровень сельскохозяйственного освоения, что определяет актуальность изучения функционирования агросистем как самостоятельного объекта, так и в качестве факторы, влияющего на природные системы. Одной из задач нашего исследования являлась ранжирование условий, определяющих устойчивое функционирование агросистем. Как указывалось ранее, сельскохозяйственные системы чрезвычайно уязвимы от ряда внешних факторов, включающих как антропогенное управление, так и географические условия их формирования, в первую очередь метеорологических и геоморфологических условий. Несомненно, геоморфологическая характеристика как материальная основа формирования агросистемы важна, но специфику функционирования в большей степени определяют на наш взгляд климатические и педологические условия. Учитывая относительную стабильность почвенных характеристик в течение вегетационного периода, считаем, что наиболее вариативным фактором являются метеоусловия. Так как согласно большинству концепций в географии и экологии продуктивность экосистемы определяет ее устойчивость и учитывая влияние климата на формирование биомассы, анализ роли метеорологических условий для формирования устойчивости необходим.

Важным этапом в прогнозировании продуктивности и устойчивости агросистем может являться математическое моделирование. В нашей работе мы использовали модель факторного анализа для выявления наиболее оптимальных условий функционирования агроландшафтов. В качестве объектов исследования выступили участки природных и сельскохозяйственных ландшафтов Суджанского района Курской области. Суджанский район на протяжении нескольких веков является районом интенсивного развития сельского хозяйства и производства. Уровень распаханности составляет порядка 75%. На территории района преобладающим типом агроландшафта выступает земледельческий тип, присутствуют также пастбищный, лугово-пастбищный и фермерский типы. В качестве модельного участка выбран лугово-пастбищный агроландшафт с локальными участками распашки небольших по площади участков и регулярного сенокосения. Выбор обусловлен сочетанием условно природного режима функционирования и умеренным сельскохозяйственным воздействием. Основной акцент исследования - анализ взаимовлияния колебаний микроклиматических показателей, показателей почвенного плодородия и устойчивости ландшафтов.

Для моделирования в качестве переменных были выбраны несколько типов показателей: геоморфологические, педологические и метеорологические (запасы надземной фитомассы, ц/га, (X1), общее содержание гумуса, % (X2), среднемесячное количество осадков, мм (X3); уклоны поверхности, 0 (X4), рисунок 3.

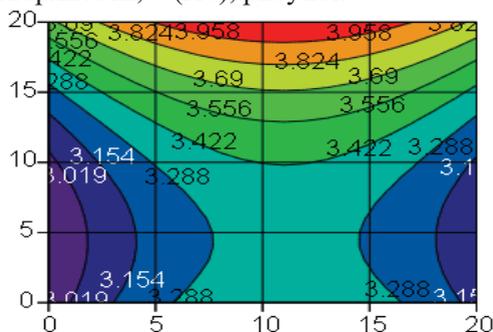


Рисунок 3 – Линии равного уровня функции отклика в пространстве параметров X1 и X2 при X3=X3opt и X4=X4opt

Интервалы изменения варьируемых параметров X1, X2, X3 и X4 определены на основе полевых исследований. Полученных результаты распределены в три уровня по величине значений: максимальный, минимальный, средний. В результате построения и анализа

математической модели было выявлено, что зона оптимума, и соответственно, устойчивости для функционирования агросистем определяется условиями при показателях увлажнения, не превышающих среднемесячные показатели нормы и отсутствием ливневого характера их выпадения. Температурный режим в меньшей степени влияет на формирование устойчивости, за исключением аномально жарких периодов. Интенсивное влияние режима увлажнения в определенной степени объясняется зависимостью роста наземной фитомассы и соответственно продуктивности, ливневые осадки в свою очередь определяют активизацию эрозионных процессов.

Таким образом, использование данных метеорологических наблюдений в прогностических моделях достаточно перспективно и в определенной степени может сориентировать в разработке оптимизационных мероприятий для нивелирования погодных условий.

Список использованной литературы

1. The impact of the climate change on the formation of mechanisms for the sustainability of natural and agricultural landscapes / E. A. Batrachenko, I. A. Goneev, O. P. Lukashova [et al.] // AIP Conference Proceedings: Krasnoyarsk, 2022. – P. 080008. – DOI 10.1063/5.0093640.

2. Долгополова, Н. В. Влияние эрозионных процессов на устойчивость агроландшафтов / Н. В. Долгополова, Е. А. Батраченко, Е. В. Малышева // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 2. – С. 11-16.

3. Информационно-аналитические материалы. Бюллетени о состоянии сельского хозяйства. Информация 2020. [электронный ресурс] Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (Дата обращения: 2.03.2024)

4. Лукашова О.П., Гонеев И.А. К вопросу о влиянии опасных метеорологических явлений на потенциальные возможности опустынивания в Курской области. // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием: МГУ. – Москва, 2020. – С. 84 – 88.

5. Остапенко Е. А. Оценка устойчивости луговых экосистем сопредельных территорий Центрально-Черноземного заповедника им. проф. В.В. Алехина к сельскохозяйственному воздействию (на примере Стрелецкого участка): автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Остапенко Екатерина Александровна. – Курск, 2005. – 19 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ТЕКУЩЕГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

*Восканян Карина Левановна, Кузнецов Анатолий Дмитриевич,
Сероухова Ольга Станиславовна, Симакина Татьяна Евгеньевна
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург,
г. Санкт-Петербург, Россия tatiana.simakina@gmail.com*

Аннотация. В статье рассмотрены математическая модель временного ряда метеорологической величины в виде дифференциального уравнения и методика настройки параметров этой модели на основе использования данных измерений температуры воздуха, полученных с помощью автоматических метеорологических станций.

Ключевые слова: временные ряды метеорологических величин, математическая модель, настройка модели по данным инструментальных измерений, текущее прогнозирование.

SIMULATION OF METEOROLOGICAL TIME SERIES BASED ON THE CONSTRUCTION OF DIFFERENTIAL EQUATIONS FOR CURRENT FORECASTING PURPOSES

*Voskanyan Karina Levanovna, Kuznetsov Anatoliy Dmitrievich,
Seroukhova Olga Stanislavovna, SimakinaTatiana Evgenевна
Russian State Hydrometeorological University,
St. Petersburg, Russia, tatiana.simakina@gmail.com*

Annotation. The article discusses a mathematical model of a time series of a meteorological quantity in the form of a differential equation and a technique for adjusting the parameters of this model based on the use of air temperature measurement data obtained using automatic weather stations.

Key words: time series of meteorological quantities, mathematical model, model tuning based on instrumental measurement data, nowcasting.

Введение. Временные ряды метеорологических величин можно рассматривать как результат функционирования нелинейной

динамической системы (атмосферы), которая эволюционирует во времени [1-3]. Состояние такой динамической системы может быть описано точками в фазовом пространстве. Важнейшая характеристика этого пространства – его размерность, или, попросту говоря, число метеорологических величин, которые необходимо задать для определения состояния системы.

Изучением свойств динамических систем занимается нелинейная динамика, которая использует для описания таких нелинейных систем дифференциальные уравнения. Правомочность использования дифференциальных уравнений для составления модели, определяющей прогноз погоды, обусловлена тем, что состояние атмосферы на каждом следующем шаге зависит от истории ее поведения в прошлом. Создание моделей по экспериментальным временным рядам в нелинейной динамике называется реконструкцией динамических систем.

Наиболее простым дифференциальным уравнением в случае рассмотрения только одной метеорологической величины может быть уравнение динамики

$$\frac{dt(\tau)}{d\tau} = F(\tau), \quad (1)$$

где t – метеорологическая величина (например, значения приземной температуры воздуха, измеренные автоматической метеостанцией (АМС) в разные моменты времени), τ – время, $F(\tau)$ – функция, определяющая «скорость» изменения метеорологической величины в разные моменты времени.

Такая математическая модель позволяет предсказать эволюцию системы по заданному начальному состоянию. В случае рассмотрения временных рядов таким начальным состоянием будет некоторая совокупность значений временного ряда (отрезка временного ряда), предшествующих прогностическому значению.

Построение математической модели. Процедура получения уравнений, моделирующих временные ряды, сводится к выполнению следующих этапов.

1. Выбирается временной ряд, содержащий N значений метеорологической величины.

2. Внутри этого ряда определяется отрезок временного ряда (заданием порядковых номеров начала и конца такого отрезка: n_1 и n_2). По этому отрезку будет производиться реконструкция дифференциального уравнения, т.е. определяться функция $F(\tau)$.

3. По выбранному отрезку временного ряда

$$\{t_i\}, \quad \text{где } i = n_1, \dots, n_2$$

с использованием одного из методов численного дифференцирования (в данной работе используется метод разностей) рассчитывается новый временной ряд, содержащий численные значения $dt(\tau)/d\tau$:

$$\{g_i\}, \quad \text{где } i = n_1, \dots, n_2 - 1.$$

На этом этапе при расчете значений $dt(\tau)/d\tau$ удобнее в качестве временной координаты использовать не моменты времени τ_i , а порядковый номер измерения i :

$$g_i = (t_{i+1} - t_i) / (i + 1 - i) = (t_{i+1} - t_i), \quad \text{где } i = n_1, \dots, n_2 - 1.$$

4. Подбирается аналитический вид функции F , аппроксимирующей временную изменчивость полученного отрезка $\{g_i\}$.

Например, если предположить, что функция F может быть представлена полиномом заданной степени

$$F_i = a_0 + a_1 \cdot i + a_2 \cdot i^2 + \dots + a_m \cdot i^m,$$

то тогда методом наименьших квадратов могут быть рассчитаны коэффициенты такого аппроксимационного полинома.

5. С помощью полученной функции F решается аналитически или численно дифференциальное уравнение (1).

Рассмотрим аналитический вид такого решения для случая, когда используется линейная аппроксимация временного ряда $\{g_i\}$ для определения аналитического вида зависимости функции F от порядкового номера i :

$$F_i = a_0 + a_1 \cdot i.$$

В этом случае дифференциальное уравнение будет иметь следующий вид

$$\frac{dt_i}{di} = a_0 + a_1 i$$

Граничное условие для данного дифференциального уравнения первого порядка будет иметь следующий вид:

$$t_i = t_{n_2} \quad \text{при } i = n_2,$$

т.е. последнее значение временного отрезка $[n_1, n_2]$.

Решение данного дифференциального уравнения можно найти, разделив переменные и проинтегрировав левую и правую части в следующих пределах: от t_{n_2} до прогностического значения $n_2 + k$ (здесь

k - заблаговременность текущего прогноза в единицах дискретности временного ряда)

$$\int_{n_2}^{n_2+k} dt_i = \int_{n_2}^{n_2+k} (a_0 + a_1 i) di$$

После взятия интегралов, получаем

$$t_{n_2+k}^{np} = t_{n_2} + \frac{a_1 [(n_2+k)^2 - n_2^2]}{2} + a_0 (n_2+k - n_2).$$

6. Методом численных экспериментов проводится комплексное исследование эффективности построенной модели.

Результаты апробации предложенного метода текущего прогноза. Для проведения апробации предложенного метода необходимо исследовать влияние на точность текущего прогноза следующих параметров математической модели:

- длины временного отрезка, по которому проводится реконструкция дифференциального уравнения: $(n_2 - n_1 + 1)$;
- положения временного отрезка, задаваемого значениями n_1 и n_2 внутри используемого временного ряда длиной N ;
- величины заблаговременности текущего прогноза k ;
- вида метеорологической величины (температура, влажность, давление и т.д.);
- вида аналитической функции, с помощью которой производится аппроксимация функции F и т.д.

На рисунке 1 приведен пример выбора отрезков временного ряда, для которых могут быть проведены численные эксперименты по апробации рассматриваемой методики текущего прогноза.



Рисунок 1 – Временной ряд приземной температуры воздуха с выделением участков для проведения численных экспериментов

Для более подробного анализа работы алгоритма построения дифференциального уравнения рассмотрим представленную на рисунке 2 информацию, полученную после программной реализации этого алгоритма.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	-12.2	0.00	0.00	1	0.043	-13.5	-13.44	0.06	0	0.040526
2	-12.2	0.00	0.00	2	0.045	-13.6	-13.49	0.11	1	0.002331
3	-12.2	0.10	0.10	3	0.048	-13.7	-13.54	0.16		
4	-12.3	0.10	0.10	4	0.050	-13.8	-13.59	0.21	№	Коеф.
5	-12.4	0.10	0.10	5	0.052	-13.9	-13.64	0.26	коэф.	полинома
6	-12.5	0.10	0.10	6	0.055	-14	-13.69	0.31		
7	-12.6	0.10	0.10	7	0.057	-14	-13.75	0.25		
8	-12.7	0.00	0.00	8	0.059	-14.1	-13.81	0.29		
9	-12.7	0.00	0.00	9	0.062	-14.1	-13.87	0.23		
10	-12.7	0.00	0.00	10	0.064	-14.2	-13.93	0.27		
11	-12.7	0.10	0.10	11	0.066	-14.3	-14.00	0.30		
12	-12.8	0.10	0.10	12	0.068	-14.3	-14.07	0.23		
13	-12.9	0.00	0.00	13	0.071	-14.4	-14.14	0.26		
14	-12.9	0.00	0.00	14	0.073	-14.4	-14.21	0.19		
15	-12.9	0.10	0.10	15	0.075	-14.4	-14.29	0.11		
16	-13	0.10	0.10	16	0.078	-14.5	-14.37	0.13		
17	-13.1	0.20	0.20	17	0.080	Фактические	Прогностические	Ошибка		
18	-13.3	0.00	0.00	18	0.082	значения ВР	значения ВР	прогноза		
19	-13.3	0.10	0.10	19	0.085	Средняя	ошибка			
20	-13.4	0.10	0.10	20	0.087	прогноза =>		0.21		
21	-13.5	0.10								
22	-13.6	0.10	Отрезок	№ п/п	Аппроксимация					
23	-13.7	0.10	разностей ВР		отрезка					
24	-13.8	0.10	для расчета		разностей ВР					
25	-13.9	0.10	коэффициентов		полиномом					
26	-14	0.00	полинома		степени 1					
27	-14	0.10								

Рисунок 2 – Информация, полученная в результате программной реализации алгоритма построения и применения для текущего прогноза дифференциального уравнения

Фрагмент временного ряда приземной температуры воздуха, используемый для проведения численных экспериментов, представлен в колонке «А». Фрагмент содержит 200 значений $\{t_i\}$, где $i = 1, \dots, 200$. Полученный ряд разностей $\{g_i\}$, где $i = 1, \dots, 199$, записан в колонке «В».

Для реконструкции дифференциального уравнения было выбрано 20 первых значений из ряда разностей $\{g_i\}$ - колонка «С», - на основе которых методом наименьших квадратов были рассчитаны коэффициенты полинома первой степени (их значения приведены в колонках «I» и «J»). Найденные коэффициенты определяют вид функции F_i :

$$F_i = 0.0405 + 0.00233 \cdot i.$$

По этой формуле выполнена аппроксимация временного ряда разностей - колонка «Е». На рисунке 3 представлен график

сопоставления исходного временного ряда разностей и его аппроксимации.



Рисунок 3 – Отрезок разностей временного ряда и его аппроксимация

Завершение построения дифференциального уравнения позволяет перейти к его использованию для текущего прогнозирования. Рассмотрим пример такого применения для заблаговременности $k = 16$, т.е. для 16-ти шагов по времени. При дискретности временного ряда в 15 мин прогностические значения в этом случае будут рассчитаны с заблаговременностью от 15 мин до 4 час.

Фактические значения временного ряда и их прогностические значения расположены в колонках «F» и «G» соответственно, рисунок 2, а в колонке «H» представлены значения ошибок прогноза. Средняя ошибка прогноза составила 0.21°C . Графическая интерпретация полученных результатов представлена на рисунке 4.

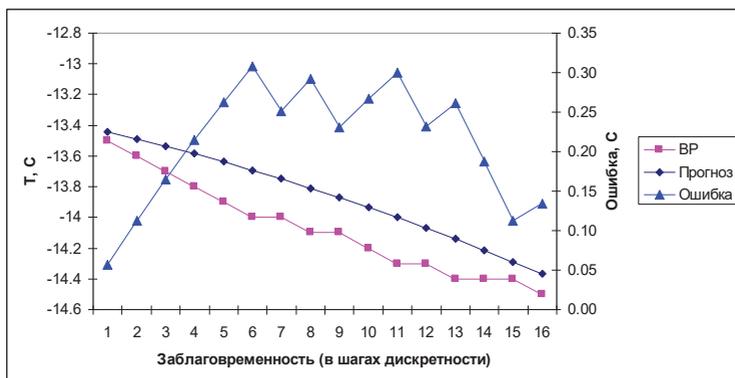


Рисунок 4 – Графики фактических значений временного ряда и его прогностических значений (левая шкала); график ошибки прогноза для различных значений заблаговременности (правая шкала)

Заключение. Предложенная в работе методика построения прогностического уравнения для решения задачи текущего прогноза на примере прогноза приземной температуры воздуха продемонстрировала ее эффективность и может быть рекомендована для практического применения.

Список использованной литературы

1. Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С., Симакина Т.Е. К вопросу о выделении аддитивных составляющих временного ряда приземной температуры воздуха // Ученые записки РГГМУ. — СПб: изд-во РГГМУ, 2013. — №32. — С. 55–65.
2. Шугунов Л.Ж., Шугунов Т.Л. Исследование и анализ среднегодовой температуры на основе методов спектрального анализа и классической декомпозиции // Известия вузов, Естественные науки — 2006. № 1. ISSN 0321-3005
3. Михалалп С.Г., Мингалёв Д.Э., Евдокимов С.И. Использование анализа временных рядов в изучении многолетних температурных изменений // Серия «Естественные и физико-математические науки» — 2014—№ 4— С. 17-24.

УДК 551.501.81

ПОСТРОЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИМПУЛЬСА В НЕОДНОРОДНОЙ АТМОСФЕРЕ

*Восканян Карина Левановна, Кузнецов Анатолий Дмитриевич,
Никитина Виктория Сергеевна, Сероухова Ольга Станиславовна,
Симакина Татьяна Евгеньевна*

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия,
tatiana.simakina@gmail.com*

Аннотация. В статье рассмотрены возможности построения траектории распространения радиоволн СВЧ-диапазона от метеорологических радиолокационных станций с применением математической модели, базирующейся на использовании приведенного коэффициента преломления.

Ключевые слова: радиометеорология, метеорологические радиолокаторы, рефракция.

CONSTRUCTION OF THE RADAR PULSE PROPAGATION TRAJECTORY IN A INHOMOGENOUS ATMOSPHERE

*Voskanyan Karina Levanovna, Kuznetsov Anatoliy Dmitrievich, Nikitina
Viktoriya Sergeevna, Seroukhova Olga Stanislavovna, Simakina Tatiana
Evgenевна*

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
tatiana.simakina@gmail.com*

Annotation. The article discusses the possibilities of using a mathematical model for constructing the propagation trajectory of microwave radio waves from weather radar stations, based on the use of the reduced refractive index.

Key words: radio meteorology, weather radars, refraction.

Введение. Построение математической модели, отражающей траекторию распространения зондирующего импульса от метеорологической радиолокационной станции (МРЛ), имеет важное практическое значение. Только в этом случае интерпретация

полученной в процессе зондирования метеорологической информации будет адекватно «привязана» к вертикальной координате (высоте). Параметры траектории, прежде всего, будут определяться вертикальным распределением градиента коэффициента преломления электромагнитного излучения в неоднородной атмосфере. Следовательно, в математической модели траектории луча для учета рефракции должно учитываться такое вертикальное распределение. Для расчета зависимости между высотой луча над поверхностью Земли и расстоянием от МРЛ могут быть использованы различные подходы, одним из которых является метод приведенного коэффициента преломления. Именно этот метод и будет использован в данной работе.

Построение математической модели – расчет вертикального профиля градиента коэффициента преломления. Траектория распространения радиолуча зависит от фактического распределения с высотой физических характеристик атмосферы. В зависимости от такого распределения в атмосфере могут наблюдаться следующие виды рефракции, рисунок 1.

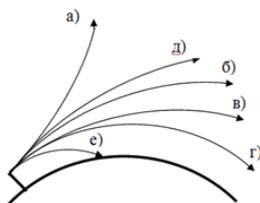


Рисунок 1 – Геометрия распространения электромагнитного излучения при реализации основных видов рефракции в тропосфере (во всех представленных случаях луч первоначально посылается при нулевом угле возвышения антенны) [1,2]

Таблица 1 – Значения буквенного кода на рисунке 1 и характеристика рефракции при различных значениях среднего градиента индекса коэффициента преломления в тропосфере

Код типа рефракции	Градиент индекса коэффициента преломления $[dN/dz] = \text{м}^{-1}$	Название рефракции
а	$dN/dz > 0$	Отрицательная
д	$-4 \cdot 10^{-8} < dN/dz < 0$	Пониженная
б	$dN/dz = -4 \cdot 10^{-8}$	Нормальная
в	$-15.7 \cdot 10^{-8} < dN/dz < -4 \cdot 10^{-8}$	Повышенная
г	$dN/dz = -15.7 \cdot 10^{-8}$	Критическая
е	$dN/dz < -15.7 \cdot 10^{-8}$	Сверхрефракция

Коэффициент преломления n в тропосфере определяется с помощью полуэмпирической формулы [1, 2] :

$$n = 1 + \left[\frac{78.5}{T} \left(p + \frac{4800e}{T} \right) \right] 10^{-6} = 1 + N \cdot 10^{-6} \quad (1)$$

где p - атмосферное давление [гПа]; T - температура [°C]; e - парциальное давление водяного пара [гПа]; N – индекс коэффициента преломления.

Поскольку все входящие в формулу (1) величины зависят от высоты, то и коэффициент преломления n является функцией высоты.

Локальные изменения давления и парциального давления водяного пара, а также температурные инверсии приводят к колебаниям коэффициента преломления n в нижней тропосфере в пределах 1,00026 - 1,00046 (соответственно для индекса коэффициента преломления N соответствующие вариации его значений составят 260 - 460). Выше 10 км полагают, что $n = const = 1,00011$ ($N = 110$) [2].

На рис. 2 приведен пример вертикальных профилей индекса коэффициента преломления N и градиента коэффициента преломления dn/dz , рассчитанных по данным аэрологического зондирования атмосферы.

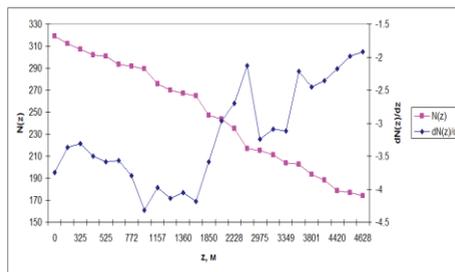


Рисунок 2 – Пример совместного представления вертикальных профилей индекса коэффициента преломления и его градиента

Построение математической модели распространения электромагнитного излучения в неоднородной атмосфере. Рассмотрим сначала методику построения траектории луча в слоистой атмосфере. Известно, что траектория луча в сферически слоистой атмосфере, согласно закону преломления, определяется уравнением [1, 2, 3, 4]:

$$n \cdot r \cdot \sin \gamma = const, \quad (2)$$

где n – коэффициент преломления; r – радиус-вектор, проведенный из центра Земли в точку преломления луча; γ – угол преломления луча на границе двух слоев.

Уравнение (2) позволяет построить аналитическую модель распространения радиолуча в слоях атмосферы, которая сводится к решению простейшей геометрической задачи. За основу была взята геометрия распространения луча, изображенная на рисунке 3 [4]. Атмосфера определялась в виде совокупности последовательных слоев с шагом 100 м по вертикали, в каждом из слоев коэффициент преломления считался постоянным. Моделируемый луч выходил из гипотетического источника (антенны), находящегося под определенным углом места, который впоследствии изменялся. Затем с помощью геометрических преобразований определялись углы падения и преломления радиолуча при переходе через границу двух соседних слоев с различными значениями коэффициентов преломления.

Структура такой модели, подробно рассмотренная в работе [4], позволяет произвести расчет углов падения и преломления радиолуча при изменении коэффициентов преломления в различных слоях атмосферы, рисунок 3. Такой подход позволяет определить траекторию распространения луча в атмосферных слоях при наличии радиорефракции.

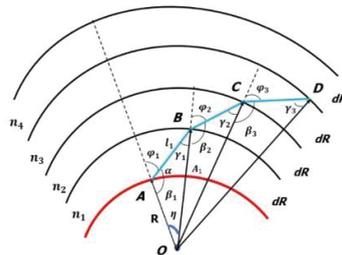


Рисунок 3 – Геометрическая модель распространения радиолуча в сферически слоистой атмосфере: α – угол места антенны; φ – угол преломления радиолуча; γ – угол падения радиолуча; l – длина луча в каждом слое атмосферы; dR – добавка к радиусу Земли R ; n – значение коэффициента преломления в каждом слое; β – угол между радиус-вектором и направлением луча в каждом слое; В, С, D – точки перехода радиолуча между границами двух слоев атмосферы

Другим подходом к построению траектории распространения луча является использование приведенного коэффициента преломления. В этом случае появляется возможность построения

траектории над плоской земной поверхностью, что в целом ряде случаев является более удобным для дальнейшей интерпретации.

Метод приведенного коэффициента преломления заключается в переходе от использования закона преломления для сферической атмосферы (см. формулу (2) и рис. 3) к закону преломления для плоскопараллельной слоистой атмосферы. В этом случае вместо соотношения (2) будет использоваться следующее уравнение

$$n_p \cdot \sin \gamma = const, \quad (3)$$

где n_p – приведенный коэффициент преломления; γ – угол преломления луча на границе двух слоев.

Прохождение лучом различных слоев атмосферы для этого случая будет иллюстрировать рисунок 4.

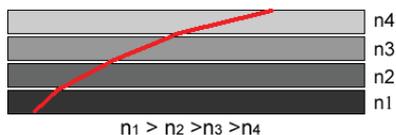


Рисунок 4 – Геометрическая модель распространения радиолуча в слоистой плоскопараллельной атмосфере

Расчет профиля приведенного коэффициента преломления производится по следующей формуле

$$n_p(z) = n(z) + \frac{z}{R_3}, \quad (4)$$

где $n(z)$ – коэффициент преломления атмосферы на высоте z , R_3 – радиус Земли.

Структура такой модели позволяет построить траекторию распространения луча, но уже над плоской поверхностью.

Результаты апробации предложенного метода расчета траектории луча. Для иллюстрации возможностей рассмотренного подхода для построения траектории луча в неоднородной атмосфере была создана программа для ПЭВМ, реализующая рассмотренный ранее алгоритм. На рисунке 5 представлены изменения траектории луча при трех постоянных значениях градиента коэффициента преломления. На горизонтальном удалении от МРЛ в 300 км за счет искривления траектории луча различие в высоте его нахождения составляет более 3.5 км.

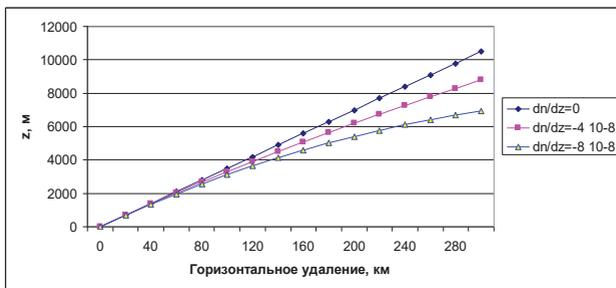


Рисунок 5 – Траектория луча при трех постоянных градиентах коэффициента преломления

На рисунке 6 (а) представлены фактические вертикальные профили индекса коэффициента преломления N и градиента коэффициента преломления dn/dz , вычисленные с использованием данных аэрологического зондирования атмосферы в условиях грозовой деятельности. На рисунке 6 (б) с использованием этих данных рассчитана траектория распространения импульса шириной 1^0 при угле возвышения антенны локатора в 2^0 .

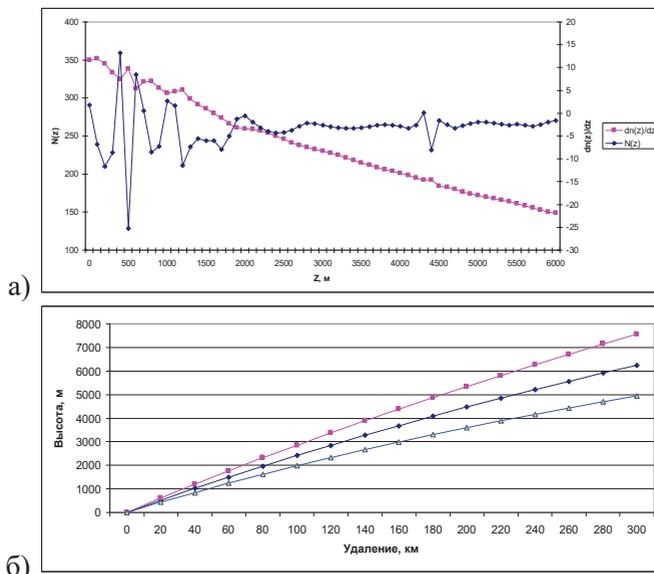


Рисунок 6 – Вертикальные профили индекса коэффициента преломление N и градиента коэффициента преломления dn/dz (а) и траектория распространения импульса, сформированного МРЛ (б)

Заключение. Предложенная в работе методика построения траектории распространения луча в неоднородной атмосфере позволила наглядно продемонстрировать влияние различных видов рефракции, рисунок 1, на изменение высоты луча над земной поверхностью по мере его удаления от МРЛ.

Кроме того, рассмотренный подход к учету рефракции может существенно упростить и решение других прикладных задач радиометеорологии: оценку влияния рефракции на траекторию распространения в атмосфере импульсного объема, оценку влияния погрешностей в задании количественных характеристик рефракции на точность определения радиолокационными средствами высоты метеорологических объектов и др.

Список использованной литературы

1. Степаненко В.Д. Радиолокация в метеорологии - Л.: Гидрометеиздат, 1966. 351с.

2. Киселев В.Н., Кузнецов А.Д. Методы зондирования окружающей среды (атмосферы) - СПб, изд. РГГМУ, 2004. 429 с.

3. A. Kuznetsov, O. Seroukhova, T. Simakina and S. Kryukova (2021) The vertical profile of the refraction coefficient for microwave radiation in the troposphere and its variability. — Journal of Physics: Conference Series 1991 (2021) 012008, IOP Publishing, doi:10.1088/1742-6596/1991/1/012008

4. В.Ю. Жуков, А.Д. Кузнецов, В.С. Никитина Моделирование влияния рефракции на определение координат цели при производстве радиолокационных наблюдений // Труды Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского. Выпуск 688, 2023. С. 55 – 60.

**МЕТОДИКА СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ
СТАТИСТИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ
МОДЕЛЕЙ КЛИМАТА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОВРЕМЕННЫХ И
БУДУЩИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ
(НА ПРИМЕРЕ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ)**

*Дроздов Владимир Владимирович, Лобанов Владимир Алексеевич,
Окуличева Арина Андреевна*

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Предложена методика совместного применения статистических моделей временных рядов и физико-математических моделей климата для оценки современных и будущих изменений климатических характеристик.

В качестве статистических методов оценки качества данных наблюдений рассматриваются статистические критерии оценки однородности экстремумов эмпирических распределений и стационарности средних значений и дисперсий, обобщенные на такие особенности гидрометеорологической информации как асимметрия распределений и естественная внутрирядная связанность. Для повышения эффективности моделирования применяются методы регрессионного анализа с целью увеличения продолжительности рядов и восстановления пропусков наблюдений. Для аппроксимации временных рядов предложены модели нестационарного среднего с оценкой их эффективности и статистической значимости, а также пространственные модели показателей нестационарности. При оценке будущих изменений климата предложена методика, учитывающая как установленные современные изменения, так и сценарные оценки по физико-математическим моделям климата. Причем для каждой территории выбирается наиболее подходящая модель климата и ее сценарные оценки корректируются при сопоставлении как средних значений, так и тенденций изменения для наблюдений и расчетов по модели. Примеры применения методов и моделей даны для климатических характеристик по Ленинградской области.

Ключевые слова: статистические методы и модели, физико-математические модели климата, временные ряды, изменения климата в настоящем и будущем, Ленинградская область.

METHODOLOGY FOR THE JOINT APPLICATION OF STATISTICAL AND PHYSICAL AND MATHEMATICAL CLIMATE MODELS FOR ASSESSING CURRENT AND FUTURE CLIMATE CHANGES (THE EXAMPLE OF THE LENINGRAD REGION)

*Drozdov Vladimir Vladimirovich, Lobanov Vladimir Alekseevich,
Okulicheva Arina Andreevna*

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Annotation. A method of joint application of statistical models of time series and physic-mathematical climate models for assessing current and future changes in climatic characteristics is proposed. A statistical method for assessing the quality of observational data, statistical criteria for assessing the homogeneity of the extrema of empirical distributions and the stationarity of mean values and variances are considered, generalized to such features of hydrometeorological information as asymmetry of distributions and natural intra-series correlation. To increase the efficiency of modeling, regression analysis methods are used to increase the duration of the series and restore gaps in observations. For the approximation of time series, non-stationary average models are proposed with an assessment of their effectiveness and statistical significance, as well as spatial models of non-stationarity indicators. When assessing future climate changes, a methodology is proposed that takes into account both obtained modern changes and scenario estimates based on physico-mathematical climate models. Moreover, for each territory, the most suitable climate model is selected and its scenario estimates are corrected when comparing both average values and trends of change for observations and calculations using the model. Examples of the application of methods and models are given for climatic characteristics in the Leningrad region.

Keywords: statistical methods and models, physical and mathematical models of climate, time series, climate change in the present and future, Leningrad region.

Методика и методы моделирования для современных и будущих условий. Первая часть методики связана с оценкой влияния современного изменения климата на региональные гидрометеорологические характеристики, успешно применена в работах [1–5] и включает в себя:

- оценку качества информации, однородности экстремумов, стационарности параметров, восстановление пропусков наблюдений и приведение непродолжительных рядов к многолетнему периоду [6–8];

- аппроксимацию многолетних временных рядов моделями тренда и ступенчатых изменений и оценку их эффективности и устойчивости показателей нестационарности [1,3,4];

- количественную оценку климатических изменений и построение их пространственных изменений, как в единицах измерений, так и в долях от естественной изменчивости.

Для оценки однородности резко отклоняющихся от эмпирического распределения экстремумов применяются статистические критерии Диксона и Смирнова-Граббса, а для оценки стационарности дисперсий и средних значений – критерии Фишера и Стьюдента соответственно. Особенность этих статистических критериев состоит в том, что они разработаны для условий нормального симметричного закона распределения генеральной совокупности и отсутствия автокорреляции. В тоже время эмпирические распределения гидрометеорологических характеристик в большинстве случаев являются асимметричными и во временных рядах может иметь место статистически значимая автокорреляция между смежными членами ряда. Для учета таких особенностей гидрометеорологической информации были проведены работы по расширению таблиц критических значений этих статистических критериев [9]. Следующей проблемой является разная продолжительность рядов и наличие в них пропусков наблюдений, которая решается методами регрессионного анализа на основе построения статистических зависимостей за многолетний период или на основе связи полей климатических характеристик как показано в работах [5,7]. При использовании метода связи пространственных полей климатических характеристик следует применять не один а, по крайней мере, три методических подхода:

- построение регрессионных зависимостей между полями отдельных лет и выбор восстановленного значения по уравнению с минимальной остаточной дисперсией;

- построение регрессионных зависимостей между полями отдельных лет и расчет восстановленного значения как среднего взвешенного из нескольких с весовыми коэффициентами обратно пропорциональными остаточным дисперсиям;

- построение регрессионных зависимостей между полями отдельных лет и средним многолетним климатическим полем.

Для оценки статистической значимости и вида климатических изменений во временных рядах применяются модели нестационарного среднего типа линейного тренда и ступенчатых переходов от одного стационарного режима к другому. Для оценки статистической значимости моделей нестационарного среднего по отношению к модели стационарной выборки (стационарного среднего) применяется критерий Фишера:

$$F_{TP} = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_\varepsilon^2}, \quad (1)$$

где σ_y – стандартное отклонение исходного ряда (модель стационарного среднего); σ_ε – стандартное отклонение остатков относительно модели нестационарного среднего.

В числителе всегда будет дисперсия исходного ряда наблюдений, так как она является наибольшей или, по крайней мере, равна остаточной дисперсии конкурирующей модели.

В качестве меры отличия нестационарной модели от модели стационарного среднего (показатель нестационарности) можно рассмотреть относительные отклонения в %:

$$\Delta_{mp} = \left(\frac{\sigma_y - \sigma_\varepsilon}{\sigma_y} \right) 100\%, \quad (2)$$

Методика совместного применения результатов статистического и физико-математического моделирования для оценки будущих региональных изменений климата включает следующие этапы.

1. Выбор одной или нескольких наиболее подходящих для рассматриваемого региона физико-математических моделей климата на основе сравнения данных наблюдений и результатов исторического эксперимента по моделям климата. Критерием является минимальная разность средняя по всем метеостанциям в районе $\Delta_{ср}$ между наблюдаемыми и смоделированными средними за выбранные интервалы времени, которые включают не менее 2х интервалов времени продолжительностью 25–30 лет до последнего совместного года моделирования и наблюдений. Оценка осуществляется или для годовых значений, или для каждого сезона или характерного месяца сезона, так как вполне может быть, что для разных сезонов на рассматриваемой территории могут быть эффективны и разные модели климата.

2. Несмотря на то, что для выбранной модели климата $\Delta_{ср}$ является минимальным отклонением, но оно получено в среднем для всех пунктов наблюдений по территории и характеризует средние локальные особенности. Вместе с тем в отдельных пунктах

наблюдений или в отдельных частях района эти отклонения могут быть намного больше и иметь разные знаки. Поэтому необходимо строить пространственное распределение отклонений Δ_i для всех пунктов наблюдений и оценивать их пространственные закономерности.

3. Осуществление корректировки необходимо выполнять не только для данных исторического эксперимента, но и для будущих сценарных оценок климата. Однако, для этого случая существует еще одна важная особенность, связанная со сравнением тенденций изменения климатических характеристик в настоящем и будущем. Именно для этой цели необходимо привлекать результаты статистического моделирования временных рядов. Поэтому следует рассматривать средние многолетние значения за разные периоды времени как в настоящем, так и в будущем. Если принять, что в будущем до конца 21 века имеют место 3 периода по 25 – 30 лет, то и во многолетних рядах наблюдений также следует выбрать 2 – 3 периода такой же продолжительности. В результате по 2 – 3м средним за период инструментальных наблюдений можно установить скорость изменения средних и сравнить ее со скоростью изменения средних значений в будущем также по 3м средним за 25 – 30-летние интервалы времени до 2100 года. Особенно важен переход от современных условий к будущим и для этого перехода скорость или градиент скорости изменения надо назначить как среднее из градиента по наблюдаемым данным и градиента по будущим сценарным оценкам. В этом случае будут учтены, как результаты оценки изменения современного климата, полученные по статистическим моделям временных рядов, так и результаты физико-математического моделирования в виде будущих сценариев и проекций.

4. Последний этап методики включает в себя построение пространственных распределений будущих климатических характеристик за выбранные отрезки времени до конца 21 века и по разным сценариям.

В соответствии с предлагаемой методикой, прежде всего, оценивается градиент или скорость современного изменения рассматриваемой климатической характеристики ($\Delta_{сов}$) за 2 периода времени как разность между двумя средними 30-летними значениями, например, средняя температура за 30-летний период 1981 – 2010 гг. ($T_{ср\ 1981-2011}$) минус средняя температура за предыдущий 30-летний период 1951 – 1980 гг. ($T_{ср\ 1951-1980}$): $\Delta_{сов} = T_{ср\ 1981-2011} - T_{ср\ 1951-1980}$. Последний год наблюдений задан 2010 в связи с тем, что сценарные оценки приводятся с 2011 г., а выбор 30-летнего периода обусловлен

тем, что по определению для получения показателей климата необходимо обобщить информацию не менее, чем за 30 лет.

Затем определяется средний градиент будущих изменений ($\Delta_{\text{ср_буд}}$) как последовательные разности средних за три 30-летних периода времени сценарных оценок: 2011 – 2040 гг., 2041 – 2070 гг. и 2071 – 2100 гг.:

$$\Delta 1_{\text{буд}} = T_{\text{ср}} 2041-2070 - T_{\text{ср}} 2011-2040 \text{ и } \Delta 2_{\text{буд}} = T_{\text{ср}} 2071-2100 - T_{\text{ср}} 2041-2070 \quad (3)$$

и

$$\Delta_{\text{ср_буд}} = (\Delta 1_{\text{буд}} + \Delta 2_{\text{буд}}) / 2 \quad (4)$$

Далее рассчитывается средний градиент из современных и будущих изменений как:

$$\Delta_{\text{ср}} = (\Delta_{\text{сов}} + \Delta_{\text{ср_буд}}) / 2 \quad (5)$$

и принимается, что этот градиент $\Delta_{\text{ср}}$ будет определять первую будущую траекторию изменений от современной 30-летки к первой будущей 30-летке и среднее значение температуры воздуха за период 2011 – 2040 гг. с учетом корректировки на эту среднюю тенденцию рассчитывается как:

$$T'_{\text{ср}} 2011-2040 = T_{\text{ср}} 1981-2011 + \Delta_{\text{ср}}, \quad (6)$$

где: $T'_{\text{ср}} 2011-2040$ – откорректированное значение средней сценарной температуры за период 2011 – 2040 гг.

Для остальных двух 30-летних периодов будущего коррекция средних осуществляется на основе вычисленных ранее сценарных градиентов $\Delta 1_{\text{буд}}$ и $\Delta 2_{\text{буд}}$ по формулам:

$$T'_{\text{ср}} 2041-2070 = T'_{\text{ср}} 2011-2040 + \Delta 1_{\text{буд}}, \quad (7)$$

$$T'_{\text{ср}} 2071-2100 = T'_{\text{ср}} 2041-2070 + \Delta 2_{\text{буд}}, \quad (8)$$

где: $T'_{\text{ср}} 2041-2070$, $T'_{\text{ср}} 2071-2100$ – откорректированные значения средней сценарной температуры за периоды 2041 – 2070 гг. и 2071 – 2100 гг. соответственно.

Постановка задачи и исходная информация. Современный климат изменяется как в глобальном, так и в региональных масштабах. В связи с изменением климата изменяются не только базовые или фоновые климатические характеристики, такие как среднемесячные и среднегодовые температуры воздуха и осадки, но и экстремальные и опасные явления, В последние десятилетия в Ленинградской области участилось проявление опасных гидрометеорологических процессов и явлений, которые по своему значению, интенсивности или продолжительности представляют угрозу безопасности людей, а также могут нанести значительный ущерб объектам экономики и населению [9–11].

К опасным гидрометеорологическим процессам и явлениям принадлежат: высокие уровни воды при половодьях, паводках, ветровых нагонах, при которых возможно затопление населенных пунктов и нарушение нормальной деятельности береговых сооружений и объектов; низкие уровни – ниже проектных отметок водозаборных сооружений и предельных навигационных уровней на судоходных реках и водоемах; раннее ледообразование на судоходных реках и озерах; ветер со скоростью более 20 м/с; засухи провоцирующие возникновение и быстрое распространение лесных пожаров, а также пожаров в располагающихся вблизи от лесных массивов населённых пунктов и промышленных предприятий. Основная проблема состоит не только в установлении современных изменений климатических и опасных природных характеристик, но и в оценке их будущих величин. Поэтому задача делится на две части и включает применение как статистических методов моделей для оценки современных изменений, так и результатов сценарных оценок будущего климата на основе физико-математических моделей климата. Для проведения исследований сформированы региональные базы данных многолетних рядов наблюдений продолжительностью более 40 лет с последним годом наблюдений от 2019 г. до 2022 г. по максимальным в году расходам воды в 17 пунктах наблюдений, по максимальным суточным осадкам августа в 23 пунктах наблюдений и по среднемесячным температурам воздуха апреля в 35 метеостанциях. Расположение пунктов наблюдений за рассматриваемыми характеристиками приведено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема размещения пунктов наблюдений за максимальными в году расходами воды (треугольники), среднемесячными температурами апреля (кружки) и максимальными суточными осадками августа (квадраты) по территории Ленинградской области

Применение статистических моделей для оценки изменений современного климата. Прежде всего, был проведен анализ изменений климатического фона в период подъема весеннего половодья, представленный средней температурой апреля. В связи с тем, рассматривались изменения за последнее время, начало рядов наблюдений было ограничено 1940-1950-ми годами. В работе [9] установлено, что ступенчатый подъем среднемесячных температур, особенно весной, относится к концу 1980х годов и обусловлен резким увеличением интенсивности индекса Северо-Атлантического колебания (САК) и усилением зональной западной атмосферной циркуляции. В связи с этим многолетние ряды средних температур апреля были разделены на две части: с начала ряда по 1987 г. и с 1988 г. по 2022 г. Проведенная статистическая оценка стационарности средних значений за эти два периода по критерию Стьюдента [13,14] показала, что для всех случаев гипотеза статистического равенства средних отклоняется при уровне значимости $\alpha=5\%$, а в 62% случаях даже и при $\alpha=1\%$, и среднее значение второй части ряда всегда больше, чем первой. Примеры многолетних рядов температур апреля, аппроксимированные моделью ступенчатых изменений приведены на рисунке 2.

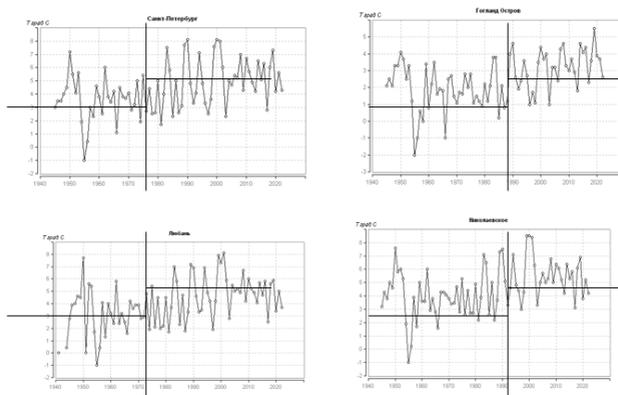


Рисунок 2 – Примеры нестационарных рядов среднемесячных температур апреля, аппроксимированные моделью ступенчатых изменений

Пространственные распределения разностей средних значений ΔT в °C приведены на рисунке 3.

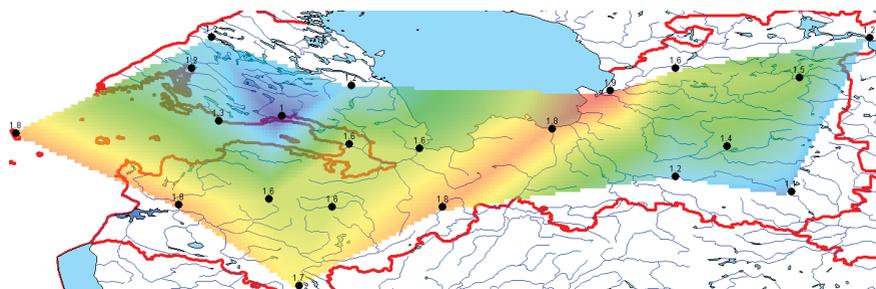


Рисунок 3 – Пространственные распределения разностей средних температур воздуха апреля ΔT

Из анализа рисунка 3 следует, что по территории Ленинградской области средние многолетние значения температур воздуха апреля увеличились от 1,0-1,2 $^{\circ}\text{C}$ на северо-западе (Рошино, Выборг, Сосново) и востоке (Тихвин) до 1,8-1,9 $^{\circ}\text{C}$ на западе (Гогланд, Кингисепп) и в центре (Свирица, Новая Ладога, Любань). Вместе с тем только в одном случае (остров Гогланд) этот прирост среднего превысил естественную изменчивость и приближается к ней при $\Delta T/\text{СКО}=0,8-0,9$ в западных и центральных частях области.

Из 17 пунктов наблюдений за максимальными расходами воды к многолетнему периоду были приведены ряды в 14 пунктах, и средняя их продолжительность увеличена с 60 почти до 80 лет. При этом коэффициенты корреляции уравнений с пунктами-аналогами были достаточно высокими в диапазоне $R=0,86-0,99$. Результаты оценки по статистическим критериям и моделированию временных рядов свидетельствуют, что из 17 рядов эффективные модели нестационарного среднего имеют место только в четырех случаях: р. Мга - г. Горы, р. Охта – д. Девяткино, р. Коваши – д. Лендовщина, р. Сясь -д. Яхново.

Ряды наблюдений за максимальными суточными осадками августа приурочены к тем же пунктам, что и наблюдения за среднемесячными температурами апреля, но их не 36, а 23, причем 7 из них имеют пропуски наблюдений и их продолжительность менее 50 лет. Применение методик восстановления пропусков и приведения рядов к многолетнему периоду на основе более продолжительных рядов в пунктах-аналогах не дало существенного эффекта, т.к. пространственная связанность рядов максимальных осадков не высокая и коэффициенты корреляции уравнений были в среднем 0,85. В результате удалось осуществить восстановление пропусков данных только для 5 рядов и в среднем увеличить их продолжительность всего

на 8 лет. Оценка однородности максимальных экстремумов позволила выявить случаи предельно больших осадков, которые иногда могли быть обусловлены погрешностями наблюдений, а в ряде случаев действительно имели место, т.к. подтверждены проявлением на нескольких станциях, как, например, осадки 1955 г., 1992 г. В любом случае эти неоднородные экстремумы были исключены из многолетних рядов, т.к. они отражают не климатические, а погодные особенности и существенно влияют на оценку стационарности средних значений и дисперсий [6]. В результате получено, что примерно четверть всех рядов содержат нестационарные средние и дисперсии, установленные по критериям Стьюдента и Фишера при уровне значимости $\alpha=5\%$.

Совместное применение статистических и физико-математических моделей для оценки будущего климата. Для выбора эффективной модели климата по территории Ленинградской области были использованы результаты исторического эксперимента 10 физико-математических моделей климата проектов СМIP5 и СМIP6.

Для оценки эффективности результатов моделирования были выбраны 18 метеостанций на территории Ленинградской области с рядами наблюдений за среднемесячной температурой воздуха с 1951 г. по 2005 г. В таблице 1 приведены разности между средними многолетними температурами по результатам исторического эксперимента и по данным наблюдений в среднем по модулю для выбранных 18 метеостанций и для каждого месяца года. Ярким цветом в таблице отмечены разности, практически не превышающие 1°C , что можно принять за допустимую погрешность моделирования.

Как следует из данных таблицы 1, в среднем для всех месяцев и всех пунктов наблюдений наиболее эффективной с погрешностью $\Delta T=0,6^{\circ}$ является климатическая модель MPI и следующая по эффективности — модель CanESM2 с $\Delta T=1,1^{\circ}$. Близка к ним по эффективности также и модель Miroc с $\Delta T=1,2^{\circ}\text{C}$. Вместе с тем следует отметить, что модель CanESM2 эффективно только с сентября по апрель ($\Delta T=0,2^{\circ}$ — $1,2^{\circ}\text{C}$.) при среднем $\Delta T=0,6^{\circ}$, а в остальные месяцы года $\Delta T=1,5^{\circ}$ — $2,4^{\circ}\text{C}$. В то же время модель MPI наиболее эффективна в месяцы теплого полугодия. Поэтому для месяцев теплого полугодия с мая по октябрь в качестве наиболее эффективной для Ленинградской области следует считать климатическую модель MPI со средним $\Delta T=0,3^{\circ}\text{C}$, а для месяцев холодного периода года — климатическую модель CanESM2 с $\Delta T=0,6^{\circ}\text{C}$. Для выбранных эффективных моделей

климата были получены среднемесячные температуры трех сценариев RCP до конца 21 века: 2.6, 4.5 и 8.5 Вт/м², осредненные за три периода 2011–2040 гг., 2041–2070 гг. и 2071–2100 гг. для всех 18 метеостанций на территории Ленинградской области.

Таблица 1 – Разности между средними многолетними температурами по результатам исторического эксперимента и по данным наблюдений по модулю в среднем для 18 метеостанций Ленинградской области (ΔT)

Мес яц	Модель									
	CanES M2	CCS M4	CN RM	CSI RO	Had ley	IN M	IP SL	Mir oc	M PI	BC C
1	1,2	1,1	3,3	12,0	2,3	5,4	3,7	1,0	2, 3	6,2
2	0,2	0,3	2,6	8,9	1,0	5,7	1,6	0,3	0, 2	2,1
3	0,2	1,6	3,0	5,8	0,2	5,5	2,0	1,6	0, 7	3,0
4	0,6	1,5	2,8	2,3	0,3	1,9	2,2	1,5	1, 2	2,9
5	2,4	2,4	1,7	0,3	3,6	0,3	2,0	1,2	0, 7	0,7
6	2,4	2,7	0,6	0,7	2,3	0,1	3,1	1,9	0, 3	0,7
7	2,2	2,3	2,3	1,2	2,1	1,9	2,8	2,3	0, 1	0,9
8	1,5	2,5	3,1	2,2	1,5	2,2	1,6	1,5	0, 01	2,5
9	0,4	1,3	1,6	2,6	1,1	2,2	0,2	0,7	0, 4	2,7
10	1,0	0,1	0,2	3,1	0,2	1,6	2,2	0,2	0, 1	2,4
11	0,4	0,2	1,2	6,2	1,8	2,7	2,1	1,3	0, 5	3,4
12	0,8	1,5	2,5	11,9	2,6	5,0	2,7	1,9	1, 8	5,5
ср	1,1	1,5	2,1	4,8	1,6	2,9	2,2	1,2	0, 6	2,5

В сценарные оценки внесены поправки, учитывающие современную и будущую тенденцию изменения температур. На основе откорректированных сценарных значений были построены пространственные распределения температур воздуха за 3 интервала времени в будущем и сопоставлены с современным пространственным распределением. В качестве примера на рисунке 4 приведены пространственные распределения температур апреля, которые характеризуют интенсивность весеннего половодья на реках Ленинградской области, за 4 разных 30-летних интервала времени: современный (1981–2010 гг.) и 3 будущих 2011–2040 гг., 2041–2070 гг. и 2071–2100 гг. Как следует из рисунка 4, температуры апреля в середине 1990-х годов по Ленинградской области изменялись от 2,4 до 5,0°C, а к 2025 г. средние температуры будут варьировать по области уже от 3,4 до 6,4°C, а в последней трети 21 века станут от 7,3 до 9,4°C, т.е. вырастут почти в 2 раза, что очень существенно для периода снеготаяния.

Для остальных сезонов года среднемесячные температуры воздуха по среднему сценарию RCP 4.5 и по соответствующей выбранной модели климата (CanESM2 и MPI) за оставшийся период 21 века вырастут в среднем на 2,2 – 2,6°C (январь), на 2,9 – 3,4°C (апрель), на 0,4 – 0,7°C (июль) и на 0,2 – 0,5°C (октябрь) по Ленинградской области. Полученные результаты могут найти свое практическое применение для прогнозирования изменений климата и их экологических последствий в Санкт-Петербурге и Ленинградской области [15], для совершенствования адаптационных мероприятий и снижения вероятного экологического и экономического ущербов.

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете при реализации темы государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Бесшовное численное моделирование одновременного изменения климата, погоды, газового и аэрозольного состава атмосферы в глобальном и региональном масштабах и создание цифровой географической информационной системы обработки баз данных о составе и структуре атмосферы», шифр «Климат-2».

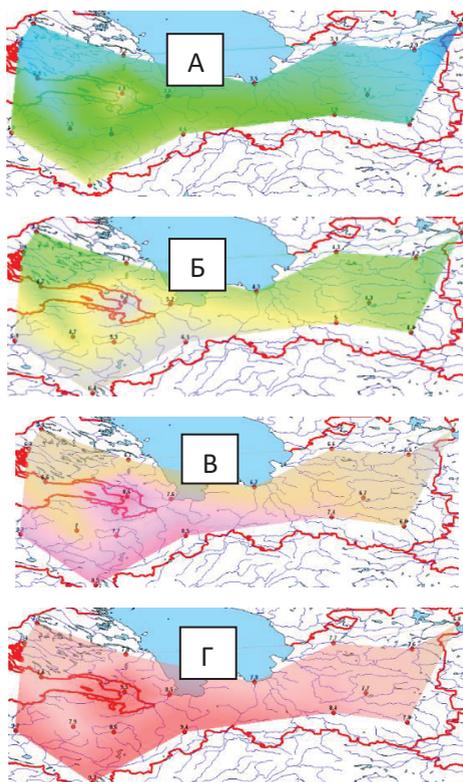


Рисунок 4 – Пространственные распределения температур апреля по Ленинградской области за разные периоды времени в настоящем и будущем: А – 1981–2010 гг., Б – 2011–2040 гг., В – 2041–2070 гг., Г – 2071–2100 гг. (модель CanESM2, сценарий RCP 4.5)

Список использованной литературы

1. Лобанов В.А., Шадурский А.Е. Выделение зон климатического риска на территории России при современном изменении климата. Монография. Санкт-Петербург, издание РГГМУ, 2013. – 123 с.
2. Лобанов В.А., Кириллина К.С. Современные и будущие изменения климата Республики Саха (Якутия). Монография. Санкт-Петербург, Изд-во РГГМУ. 2019. – 157 с.
3. Шукри О.А.А., Лобанов В.А., Хамид М.С. Современный и будущий климат Аравийского полуострова. Монография. Санкт-Петербург, Изд-во РГГМУ. 2018. – 190 с.

4. Лобанов В.А., Ж.К. Наурузбаева Влияние изменения климата на ледовый режим Северного Каспия. Санкт-Петербург, Изд-во РГГМУ, 2021. – 140 с.
5. Лобанов В.А., Тоцакова Г.Г. Проявление современных изменений климата на территории Костромской области. Монография. ФГБУ «Костромской центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», Кострома. 2013. – 171 с.
6. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 78 с.
7. Рекомендации по приведению рядов речного стока и их параметров к многолетнему периоду. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 64 с.
8. Лобанов В.А., Лемешко Н.А., Жильцова Е.Л., Горлова С.А., Ренева С.А. Восстановление многолетних рядов температуры воздуха на Европейской территории России. // Метеорология и гидрология, №2. – 2005. – С.5 –14.
9. Официальный сайт. Погода и климат. [Электронный ресурс]. URL: www.pogodaiklimat.ru Дата обращения 18.04.2022.
10. Official site. National Aeronautics and Space Administration. Goddard Institute for Space Studies (GISS). [Electronic resource]. URL: <http://www.giss.nasa.gov>. (address date: 20.02.2024).
11. Официальный сайт. ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meteo.nw.ru/articles>. Дата обращения 22.02.2024.
12. Лобанов В.А., Тоцакова Г.Г. Особенности и причины современных климатических изменений в России. Географический вестник, Пермский университет, 2016, № 3(38). – С. 79 –89.
13. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика, 1973. – 392 с.
14. Закс Л. Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.
15. Дроздов В.В., Фрумин Г.Т., Косенко А.В. Многолетние изменения климатических характеристик в Санкт-Петербурге и их возможные экологические последствия // Экология и промышленность России. – 2021. – Т. 25 – № 5. – С. 65–71. doi.org/10.18412/1816-0395-2021-5-65-71.

**ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ
ОДНОРОДНОСТИ И ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА
МНОГОЛЕТНЕЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИИ**

*Лобанов Владимир Алексеевич, Акбаров Хасанбек, Нзамбимана
Энок, Спасенков Ярослав Михайлович*

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Для надежного моделирования временных рядов и определения расчетных гидроклиматических характеристик необходима однородная информация за продолжительный период и без пропусков наблюдений. Фактически же ряды наблюдений имеют разную продолжительность и часто недостаточную для надежной оценки параметров распределений и моделирования, включают неоднородные экстремумы, пропуски наблюдений, неоднородные наблюдения из-за смены регистрирующих приборов, сроков наблюдений, переноса пунктов наблюдений и многих других причин. Поэтому необходимо оценивать качество и однородность многолетних рядов, а также повышать качество информации за счет приведения рядов к многолетнему периоду и восстановления пропущенных данных. Для этой цели применяются статистические критерии оценки однородности и стационарности (Диксона, Смирнова-Грabbса, Фишера, Стьюдента), а также методы регрессионного анализа для построения зависимостей за совместный период наблюдений с более продолжительными рядами-аналогами. Однако, эти статистические методы требуют корректировок, связанных с особенностями гидрометеорологической информации: внутрирядной связанностью, асимметрией эмпирических распределений, погрешностями не только в отклике, но и в факторах. Поэтому осуществлено обобщение известных статистических методов на особенности гидрометеорологической информации. Предлагается методика последовательной оценки однородности и стационарности и ее эффективность продемонстрирована на примерах.

Ключевые слова: гидрометеорологическая информация, многолетние ряды, критерии оценки однородности и стационарности,

восстановление пропусков и удлинение рядов, особенности информации, корректировка критериев.

APPLICATION OF STATISTICAL METHODS FOR ASSESSMENT THE HOMOGENEOUSITY AND IMPROVING THE QUALITY OF LONG-TERM HYDROMETEOROLOGICAL INFORMATION

Lobanov Vladimir Alekseevich, Akbarov Hasanbek, Nzambimana Enoch, Spasenkov Jaroslav Mikhailovich

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Annotation. For reliable modeling of time series and determination of designed hydroclimatic characteristics, homogeneous information over a long period and without missing observations is required. In fact, observation time series have different durations and are often insufficient for reliable estimation of distribution and modeling parameters; they include heterogeneous extremes, missing observations, heterogeneous observations due to changes in recording instruments, observation periods, transfer of observation points, and many other reasons. Therefore, it is necessary to assess the quality and homogeneity of long-term time series, as well as improve the quality of information by transfer the series to a multi-year period and restoring missing data. For this purpose, statistical criteria for assessing homogeneity and stationarity (Dixon, Smirnov-Grubbs, Fisher, Student) are used, as well as regression analysis methods to construct dependencies for a joint period of observations with longer analogue time series. However, these statistical methods require adjustments related to the features of hydrometeorological information: intra-annual autocorrelation, asymmetry of empirical distributions, errors not only in the response, but also in the factors. Therefore, a generalization of wellknown statistical methods to the features of hydrometeorological information has been carried out. A method for sequential assessment of homogeneity and stationarity is proposed and its effectiveness is demonstrated through examples.

Keywords: hydrometeorological information, long-term time series, criteria for assessing homogeneity and stationarity, restoration of gaps and lengthening of series, features of information, adjustment of criteria.

Описание проблемы. Одно из направлений приложения гидрометеорологической информации – это обработка многолетних рядов климатических и гидрологических характеристик как для целей прикладной климатологии и инженерной гидрологии, где результатом

является определение параметров распределения и расчетных климатических и гидрологических характеристик, так и для целей моделирования временных рядов с оценкой изменения их параметров во времени в связи с влиянием современного изменения климата и прямого воздействия хозяйственной деятельности. Надежность получаемых при этом результатов и выводов существенно зависит от качества и однородности исходной гидрометеорологической информации. Многолетние гидрометеорологические наблюдения на основе которых формируются многолетние ряды климатических и гидрологических характеристик, могут быть неоднородными и ненадежными для обработки и моделирования по разным причинам, включая изменения сроков, частоты наблюдений и регистрирующих приборов, переноса пункта наблюдений в другое место, изменения однородности локальных условий рядом с пунктом наблюдений, пропусков наблюдений, малой продолжительности рядов наблюдений и т.д.

Для оценки однородности информации применяют различные методы, начиная от наиболее простых или предварительных, таких как визуальный анализ графиков многолетних колебаний, методы соответствующих разностей и отношений [1, 2], так и статистические критерии оценки однородности, стационарности, методы регрессионного анализа для повышения надежности данных за счет восстановления пропусков наблюдений и увеличения продолжительности рядов наблюдений [3–7]. Особенность различных статистических методов состоит в том, что большинство из них разработано для некоторых стандартных особенностей информации, таких как нормальный закон распределения, случайная независимая выборка, отсутствие погрешности в факторах при построении регрессионных зависимостей и других постулируемых условий.

Вместе с тем известно, что эмпирические распределения гидроклиматических характеристик являются в общем случае асимметричными, многолетние ряды имеют внутрирядную связанность и не соответствуют модели случайной независимой выборкой. Также и при построении зависимостей между переменными в гидрометеорологии погрешности содержатся как в зависимой, так и в независимых переменных, что не соответствует условиям применения МНК (метода наименьших квадратов), в котором погрешности должны иметь место только в зависимой переменной. Поэтому существует необходимость корректировать существующие и разрабатывать новые

статистические методы, которые соответствуют особенностям гидроклиматической информации [5, 8-12].

Методика оценки однородности и повышения качества многолетней гидрометеорологической информации. При применении математико-статистических методов для оценки однородности и повышения качества информации важным является не только применение методов адекватных особенностям гидрометеорологической информации, но и последовательность их применения, что и является методикой.

Предлагаемая методика оценки однородности и повышения качества информации включает следующие основные части:

- проверка однородности эмпирического распределения гидроклиматической характеристики на резко отклоняющиеся экстремумы по статистическим критериям Диксона и Смирнова-Граббса;

- оценка стационарности (однородности во времени) дисперсий многолетних рядов за последовательные интервалы времени по критерию Фишера;

- оценка стационарности (однородности во времени) средних значений многолетних рядов за последовательные интервалы времени по критерию Стьюдента;

- восстановление пропусков наблюдений и увеличения продолжительности рядов за счет информации более продолжительных рядов в пунктах-аналогах;

- проверка однородности и стационарности рядов, приведенных к многолетнему периоду и с восстановленными пропусками наблюдений.

Такая последовательность применения статистических методов обусловлено влиянием результатов оценки каждого предыдущего метода на последующий. Так, неоднородные резко отклоняющиеся от общей совокупности наблюдений экстремумы приводят к значительному увеличению дисперсии, при вычислении которой отклонения от среднего значения возводятся в квадрат. Если вначале не оценивать однородность отдельных экстремумов, то в случае их неоднородности можно получить вывод о нестационарности дисперсий и считать, что дисперсия ряда изменяется во времени по каким-то климатическим причинам, например, растет число экстремальных событий. Вместе с тем, нестационарность дисперсий может быть обусловлена только одним резко отклоняющимся экстремумом из-за его индивидуальных особенностей (большие погрешности

наблюдений, не корректно определенной его повторяемости, аномальными погодными условиями и другими). Также и в формулу расчетных значений статистики критерия Стьюдента для оценки стационарности средних значений входят дисперсии двух частей временного ряда и, если они статистически значимо отличаются, то это приведет и к отличию средних значений.

На рисунке 1 приведены многолетние ряды максимальных в году суточных осадков на метеостанциях Диксон и Няксимволь, которые включают в себя соответственно один (Диксон) и два (Няксимволь) неоднородных максимума. Если разделить эти ряды пополам и оценить стационарность дисперсий и средних значений, то в обоих случаях будет иметь место нестационарность дисперсий и в одном случае (Няксимволь) также и нестационарность средних значений.

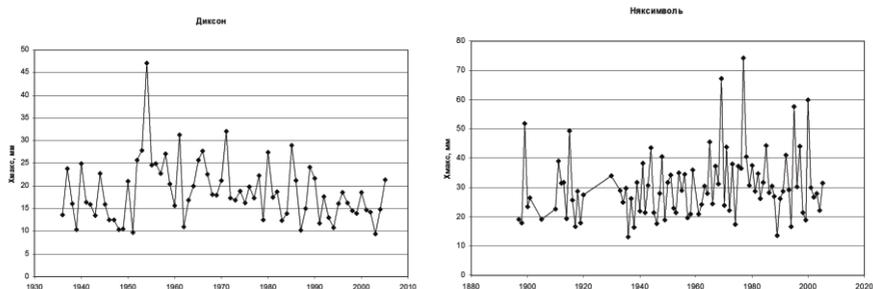


Рисунок 1 – Многолетние ряды максимальных в году суточных осадков, включающие неоднородные максимумы на метеостанциях Диксон (слева) и Няксимволь (справа)

Последний этап методики связан с повторением процедуры оценки однородности и стационарности, но уже для ряда, приведенного к многолетнему периоду и с восстановленными пропусками наблюдений. Эта проверка необходима, т.к. процедура восстановления с одной стороны и увеличивает продолжительность ряда, а с другой вносит дополнительные погрешности в восстановленные данные, что может повлиять на однородность всего ряда.

Статистические методы оценки однородности. Для оценки статистической значимости однородности применяются критерии резко отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом распределении: критерии Смирнова - Граббса и Диксона, обобщенные на такие особенности гидрометеорологической информации как внутрирядная связанность и асимметрия эмпирических распределений

[5,13]. Статистики критериев Диксона рассчитываются на основании эмпирических данных по следующим формулам:

а) для максимального члена ранжированной в возрастающем порядке выборки (Y_n):

$$D1_n = (Y_n - Y_{n-1}) / (Y_n - Y_1), \quad (1)$$

$$D2_n = (Y_n - Y_{n-1}) / (Y_n - Y_2), \quad (2)$$

$$D3_n = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_2), \quad (3)$$

$$D4_n = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_3), \quad (4)$$

$$D5_n = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_1); \quad (5)$$

б) для минимального члена ранжированной в возрастающем порядке выборки (Y_1):

$$D1_1 = (Y_1 - Y_2) / (Y_1 - Y_n), \quad (6)$$

$$D2_1 = (Y_1 - Y_2) / (Y_1 - Y_{n-1}), \quad (7)$$

$$D3_1 = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_{n-1}), \quad (8)$$

$$D4_1 = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_{n-2}), \quad (9)$$

$$D5_1 = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_n), \quad (10)$$

где $Y_1 < Y_2 < \dots < Y_n$; n – объем выборки.

Приведенные формулы пяти критериев Диксона позволяют оценить однородность до 3х экстремумов, т.к. в них рассматривается разность между первым и третьим ранжированными значениями по отношению к остальной части распределения.

Статистика критерия Смирнова - Граббса для максимального члена ранжированной последовательности (Y_n) рассчитывается по формуле:

$$G_n = (Y_n - Y_{cp}) / \sigma_Y, \quad (11)$$

и для минимального (Y_1):

$$G_1 = (Y_{cp} - Y_1) / \sigma_Y, \quad (12)$$

где Y_{cp} , σ_Y - среднее значение и среднее квадратическое отклонение анализируемой выборки.

Расчетные по формулам (1) – (12) значения статистик критериев сравниваются с критическими при заданном уровне значимости α (обычно $\alpha=5\%$) и если они превышают критические значения, то гипотеза однородности отклоняется. Проведенное статистическое моделирование методом статистических испытаний [13] позволило получить таблицы критических значений статистик, учитывающих внутрирядную связанность временных рядов ($r(1)$) и асимметрию эмпирических распределений (C_s), которые приведены, например в [5,11]. Установлено, что асимметрия эмпирического распределения существенно влияет на критические значения, которые увеличиваются

с ростом C_s . Так, при $\alpha=5\%$ и объеме выборки $n=70$ критическое значение статистики $D1^*_{n,0,20}$ при $C_s=0$ и $D1^*_{n,0,55}$ при $C_s=3$.

В качестве сравнения покажем применение «классических» значений критических значений статистик Диксона для нормального распределения и критических значений для асимметричного распределения. Для многолетнего ряда ($n=90$) максимальных в году суточных осадков получены следующие расчетные значения статистик критерия Диксона для максимума: $D1_N=0.308$, $D2_N=0.311$, $D3_N=0.308$, $D4_N=0.384$ и $D5_N=0.404$. Если использовать таблицы «классических» критических значений для нормального распределения ($C_s=0$ и $r(1)=0$) и даже выбрать уровень значимости $\alpha=1\%$, то критические значения статистик равны $D1_N^*=0.26$, $D2_N^*=0.28$, $D3_N^*=0.29$, $D4_N^*=0.31$ и $D5_N^*=0.32$. Они во всех случаях меньше расчетных и поэтому мы должны отклонить гипотезу однородности максимального значения. Фактически же эмпирическое распределение является асимметричным и для него $C_s=1,13$. Если определить критические значения статистик критерия Диксона с учетом асимметрии, то тогда будут иметь место следующие неравенства: $D1_N=0.308 < D1_N^*=0.31$ при $\alpha=10\%$; $D2_N^*=0.28$ при $\alpha=10\% < D2_N=0.311 < D2_N^*=0.32$ при $\alpha=5\%$; $D3_N=0.308 < D3_N^*=0.36$ при $\alpha=10\%$; $D4_N^*=0.36$ при $\alpha=10\% < D4_N=0.384 < D4_N^*=0.40$ при $\alpha=5\%$; $D5_N^*=0.37$ при $\alpha=10\% < D5_N=0.404 < D5_N^*=0.41$ при $\alpha=5\%$. Отсюда следует, что гипотеза однородности не отклоняется не только при $\alpha=5\%$, но даже при $\alpha=10\%$.

Поэтому, если пользоваться таблицами критических значений для нормального распределения без учета C_s , то при фактическом асимметричном распределении можно часто получать вывод о неоднородности экстремумов, в то время как эта выявленная «неоднородность» обусловлена не резко отклоняющимися экстремумами, а естественной кривизной эмпирического распределения в областях малых обеспеченностей. Автокорреляция влияет на критические значения статистик критериев Диксона и Смирнова-Граббса намного меньше и приводит к незначительному уменьшению критических значений. Так, при $n=70$ и $\alpha=5\%$ критическое значение статистики $D1^*_{n,0,20}$ для $r(1)=0$ и $D1^*_{n,0,19}$ для $r(1)=0,5$, что является достаточно высокой автокоррелированностью и практически не наблюдается в рядах гидроклиматических характеристик.

Если по статистическим критериям гипотеза об однородности экстремума все-таки отклоняется, то далее следует решить, как с ним поступить: исключить из ряда наблюдений или нет. В этом случае выполняется «генетический» анализ неоднородности, т.е. выяснение ее

причин. Как правило, неоднородность экстремумов обусловлена следующими основными причинами:

- резко отклоняющиеся экстремумы имеют особые условия формирования, например, катастрофические осадки сформированы тайфунами, ураганами, которые не свойственны данной местности; высокий паводок сформирован наложением дождевого максимума на максимум весеннего половодья, т.е. это произведение вероятностей редких событий из двух различных однородных распределений (композиция вероятностей [14, 15]) и т.д.;

- экстремальное событие имеет более редкую вероятность появления, чем та, которая определяется по эмпирической формуле для короткого ряда наблюдений при включении экстремума в общую последовательность наблюдений;

- резко отклоняющаяся величина обусловлена значительной погрешностью измерений.

В первом случае неоднородный экстремум – это или событие из другого распределения (например, тайфуны и следует оценить вероятность их появления за очень большой интервал времени) или сформировано наложением экстремальных редких событий из разных однородных распределений, что соответствует расчету композиции распределений.

Ситуация, связанная со вторым случаем, является наиболее распространенной, т.к. вероятность неперевышения (или обеспеченность) P при построении эмпирического распределения рассчитывается по формуле: $P = m / (n + 1) * 100\%$, где m – это порядковый номер случайных событий, ранжированных, например, по убыванию от максимального к минимальному. Тогда в зависимости от продолжительности временного ряда будет изменяться и обеспеченность экстремума. При $n=9$ лет, вероятность максимума будет 10%, а при $n=99$ лет, $P=1\%$, т.е. в зависимости от объема выборки вероятность одного и того же максимума варьирует от 1 раза в 10 лет до 1 раза в 100 лет.

На рисунке 2 приведены эмпирические распределения максимальных в году уровней воды на р. Сочи в г. Сочи при разных продолжительностях рядов наблюдений с одним и тем же экстремумом в 1997 г. $H=990$ см. На графике слева эмпирическое распределение построено за короткий период наблюдений $n=16$ лет и максимум является неоднородным при обеспеченности $P=5,8\%$ или при повторяемости примерно 1 раз в 18 лет. На графике справа эмпирическое распределение построено за период $n=57$ лет и максимум

является однородным при обеспеченности $P=1,75\%$ или при повторяемости 1 раз примерно в 60 лет.

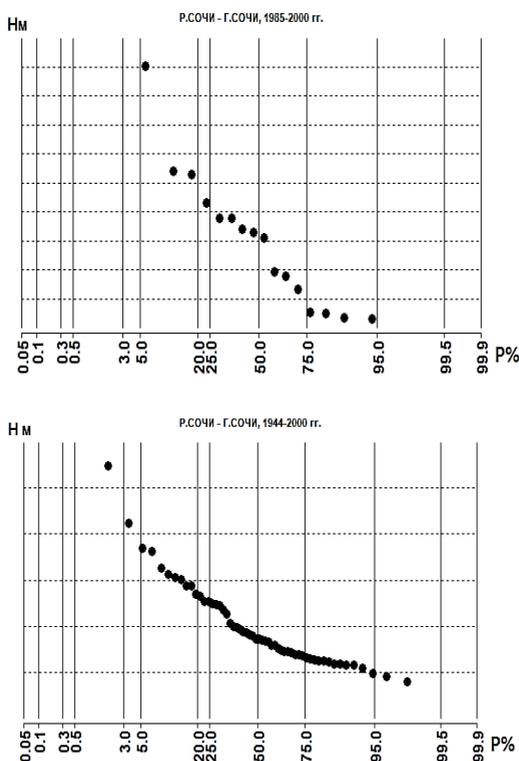


Рисунок 2 – Эмпирические распределения максимальных в году уровней воды на р. Сочи в г. Сочи, построенные за разные интервалы времени: 1985-2000 гг. и 1944-2000 гг.

Таким образом, если ряд наблюдений короткий, а максимум этого ряда большой, то на кривой эмпирического распределения он будет представлен как «выброс», т.к. его фактическая повторяемость много меньше, чем та, которая вычислена по короткому ряду наблюдений. Поэтому в подобной ситуации требуется определить фактическую повторяемость экстремума за счет приведения ряда к многолетнему периоду или с использованием информации об исторических максимумах [9, 16].

В любом случае исключать неоднородный экстремум можно лишь в том случае, если он имеет большую погрешность и является крайне ненадежной величиной. Еще одна причина исключения

неоднородного экстремума – если моделируется многолетняя тенденция изменения климата, когда аномальные погодные условия в отдельный год могут даже исказить общую многолетнюю тенденцию.

Статистические методы оценки стационарности. В гидрометеорологии однородность во времени принято называть стационарностью и оценка стационарности, как правило, осуществляется для основных параметров временного ряда: среднего значения и дисперсии.

Для оценки стационарности дисперсий применяется известный критерий Фишера, статистика которого определяется в виде отношения дисперсий двух частей временного ряда, причем в числителе всегда стоит большая из дисперсий:

$$F = \sigma^2_j / \sigma^2_{j+1} . \quad (13)$$

при $\sigma^2_j > \sigma^2_{j+1}$. где σ^2_j , σ^2_{j+1} – соответственно дисперсии двух следующих друг за другом подвыборок (j и $j+1$) объемом n_1 и n_2 .

Гипотеза о стационарности дисперсий принимается при заданном уровне значимости α (%). если расчетное значение статистики критерия меньше критического ($F < F^*$) при заданных степенях свободы, соответствующих объемам выборок (n_1 и n_2).

Критические значения статистики Фишера (F^*) в зависимости от уровня значимости α (%), коэффициентов внутрирядной ($r(1)$) и межрядной корреляции (R) при равных объемах двух выборок ($n_x = n_y$) были получены методом статистических испытаний и приведены в работах [5,10] .

При объемах выборок n_1 и n_2 больше или равных 25 членам ряда можно использовать классическое F -распределение для нормально распределенных независимых случайных величин с новыми степенями свободы. которые зависят от автокорреляции и асимметрии и определяются по формулам:

$$n_{1F} = \frac{n_1 g}{1 + \frac{2r^2}{1-r^2} \left[1 - \frac{1-r^{2n_1}}{n_1(1-r^2)} \right]} , \quad (14)$$

$$n_{2F} = \frac{n_2 g}{1 + \frac{2r^2}{1-r^2} \left[1 - \frac{1-r^{2n_2}}{n_2(1-r^2)} \right]} , \quad (15)$$

где g – коэффициент, учитывающий влияние асимметрии исходной совокупности и определяемый по обратной зависимости от C_s ; r – коэффициент автокорреляции между смежными членами ряда.

Расчетное значение статистики критерия Стьюдента для оценки стационарности двух средних значений последовательных подвыборок определяется по формуле:

$$t = \frac{Y_{cpI} - Y_{cpII}}{\sqrt{n_1 \sigma_I^2 + n_2 \sigma_{II}^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}, \quad (16)$$

где Y_{cpI} , Y_{cpII} , σ^2_I , σ^2_{II} – средние значения и дисперсии двух последовательных выборок; n_1 и n_2 – объемы выборок.

На критические значения статистики Стьюдента влияет только автокорреляция, которая учитывается в виде поправочного коэффициента C_t , зависящего от $r(1)$, на который умножается критическое значение:

$$t'_6 = C_t \cdot t_6, \quad (17)$$

где t'_6 – критическое значение статистики Стьюдента при наличии автокорреляции; t_6 – критическое значение статистики Стьюдента для случайной совокупности при том же числе степеней свободы $k = n_1 + n_2 - 2$.

Деление многолетнего ряда на части осуществляется или визуально по году предполагаемого изменения параметров или пополам, когда явного года перехода от одних квазиоднородных условий к другим не наблюдается или по информации о годе нарушения однородности.

Нарушение стационарности среднего значения и дисперсии во временном ряду может быть обусловлено как изменением условий наблюдений, так и естественными причинами, например, влиянием современного изменения климата.

В качестве примера можно рассмотреть оценку однородности рядов сумм осадков за месяц на метеостанциях в трех разных географических районах: север Западной Сибири, район Северо-Запада ЕТР и Калининградская область. На основе применения критериев Фишера и Стьюдента установлено, что процент месяцев с нестационарными рядами осадков уменьшается с востока на Запад. Так на территории севера Западной Сибири таких рядов 16% от общего числа осадков всех месяцев, в районе Северо-Запада уже 11% и в Калининградской области всего 4%. Притом установлено, что нестационарность имеет место в основном в месяцы с твердыми осадками, а таких месяцев больше в Сибири и переход от одних квазистационарных условий к другим имеет место в 1950х годах, как показано на рисунке 3. А именно в 1950х годах на сети Гидрометслужбы происходила замена регистрирующих приборов:

дождемера на осадкомер Третьякова с лепестковой защитой от выдувания твердых осадков.

Поэтому можно сделать вывод, что до 1960 г. твердые осадки измерялись некорректно и при этом было занижение не только средних значений, но и дисперсий, о чем свидетельствуют результаты оценки по статистическим критериям.

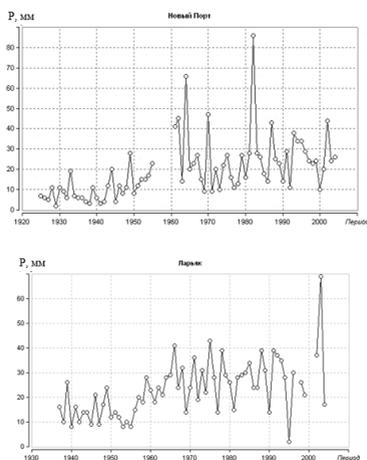


Рисунок 3 – Многолетние нестационарные ряды сумм осадков января на метеостанциях Новый Порт и Ларьяк

Статистические методы повышения качества многолетней информации. Если условия однородности соблюдены, то повышение качества многолетней гидрометеорологической информации в основном связано с увеличением продолжительности временных рядов и восстановлением имеющих место пропусков. Случайные погрешности параметров распределения напрямую связаны с объемом ряда n . Так стандартная погрешность среднего значения $\sigma_{Y_{cp}} = \sigma_Y / \sqrt{n}$ и тем меньше, чем больше объем выборки. При моделировании временных рядов также необходимы продолжительные наблюдения без пропусков, чтобы надежнее оценить имеющие место изменения климата и не путать их с более кратковременной климатической изменчивостью, чтобы правильно сопоставлять результаты, полученные в разных пунктах наблюдений при одинаковом объеме продолжительных данных и т. д. Поэтому в гидрометеорологии были разработаны разные методы восстановления пропусков и получения более продолжительных рядов в зависимости от особенностей данных наблюдений [6, 8, 9]. Наиболее эффективным из них является метод

индивидуальных аналогов, основанный на построении зависимостей за совместный период между рассматриваемым рядом гидроклиматической характеристики с непродолжительными наблюдениями и рядами более продолжительных наблюдений в пунктах-аналогах.

. Восстановление пропусков и удлинение временных рядов осуществляется на основе уравнения множественной линейной регрессии вида:

$$Y = k_1 Y_1 + k_2 Y_2 + \dots + k_m Y_m + k_0, \quad (18)$$

где: Y – ряд наблюдений за климатической характеристикой в рассматриваемом пункте, где требуется восстановить пропуски и увеличить продолжительность;

Y_1, Y_2, \dots, Y_m – ряды наблюдений за климатической характеристикой в предполагаемых пунктах-аналогах;

$k_1, k_2, \dots, k_m, k_0$ - коэффициенты уравнения регрессии,

m – число пунктов-аналогов в уравнении, при условии, что $m < m_{\text{общ}}$, где $m_{\text{общ}}$ – общее число выбранных предполагаемых пунктов-аналогов.

Уравнение вида (18) является эффективным и может быть применено для восстановления, если оно удовлетворяет следующим условиям:

$$n' \geq 6-10, R \geq R_{\text{кр}}, k/\sigma_k \geq B_{\text{кр}}, \sigma_{\varepsilon}/Y_p \leq A'_{\text{кр}} (20-40\%), \sigma_{\varepsilon}/\sigma_Y \leq A_{\text{кр}} (20-40\%), \quad (19)$$

где n' – число совместных лет наблюдений в приводимом пункте и пунктах-аналогах;

R – коэффициент парной или множественной корреляции (в зависимости от числа аналогов в уравнении) между значениями климатических характеристик в приводимом пункте и их значениями в пунктах-аналогах;

$R_{\text{кр}}$ – критическое минимальное значение коэффициента парной или множественной корреляции;

k – коэффициенты уравнения регрессии;

σ_k – средняя квадратическая погрешность коэффициента уравнения регрессии;

$B_{\text{кр}}$ – критическое значение отношения k/σ_k ;

σ_{ε} – среднее квадратическое отклонение остатков уравнения (разностей между фактическими и расчетными значениями);

σ_Y – стандартное (среднее квадратическое) отклонение приводимого к многолетнему периоду ряда;

Y_p – восстановленное по уравнению регрессии значение;

$\Delta'_{кр}$ – предельное значение относительной погрешности восстановленного значения, которая может быть выражена в % при умножении на 100;

$\Delta_{кр}$ – предельное значение относительной погрешности восстановленного значения, выраженное через долю СКО, не объясненную уравнением регрессии (также выражается в %).

Минимальное число совместных лет наблюдений задается: $n \geq 6$ при одном аналоге, $n \geq 10$ при двух и более аналогах. Общее число аналогов, одновременно включаемых в уравнение (18), не должно превышать 3, т.к. при большем числе слагаемых в уравнении уменьшается его статистическая устойчивость, хотя коэффициент множественной корреляции может расти при увеличении числа статистически значимых коэффициентов уравнения. Вместе с тем $m_{общ}$ может составлять и десятки пунктов-аналогов, но в уравнения, получаемые путем перебора всех аналогов по одному, два и три, будет входить не более трех.

Задать минимальное предельное значение коэффициента корреляции $R_{кр}$ при котором уравнение еще может считаться эффективным для восстановления можно исходя из двух условий: требуемой погрешности и фактически имеющей место связанности между рядами. Очевидно, что погрешность восстановления следует задавать как можно меньше, но при этом можно не получить ни одного восстановленного значения. Поэтому при задании $R_{кр}$ следует отталкиваться и от желаемой погрешности и фактически имеющихся условий межрядной связанности. т.е. решать задачу оптимизации. Между погрешностью расчета по уравнению регрессии и коэффициентом корреляции уравнения (R) существует следующее соотношение:

$$\sigma_{\varepsilon} = \sigma_Y \sqrt{1 - R^2} . \quad (20)$$

Если рассмотреть относительную погрешность $\Delta = \sigma_{\varepsilon}/\sigma_Y$ или $\Delta' = \sigma_{\varepsilon}^2/\sigma_Y^2$, то она будет определяться только коэффициентом корреляции. При $R=0,7$ погрешность будет равна $1-0,7^2 = 0,51$ или в относительных единицах 51 %, что достаточно много. При $R = 0,8$ погрешность будет равна 36%, при $R = 0,9$ погрешность будет 19% и т.д. Желательно, чтобы погрешность была невысокая (не более 30–40%) и поэтому нижнюю границу коэффициента множественной корреляции лучше задать 0,8–0,85. Однако, такая тесная связанность может иметь место далеко не всегда. Так для среднемесячных и среднегодовых температур воздуха при расстоянии несколько сотен километров — это условие

может еще и выполняется, но для осадков, которые более неоднородны по территории, вряд ли справедливо. Фактически $R_{кр}$ следует задавать из анализа матрицы парных коэффициентов корреляции или построенной пространственной корреляционной функции. В любом случае $R_{кр}$ не следует задавать меньше 0,7, чтобы избежать больших погрешностей в восстановленных данных.

Значение $B_{кр}$ обычно задается равным 2,0, что соответствует 2σ -ому интервалу случайной погрешности или 95%-ному доверительному интервалу относительно коэффициента уравнения регрессии k_m . Если внутри этого доверительного интервала содержится нулевое значение, то аналог с коэффициентом k_m исключается из уравнения, и оно пересчитывается при другом числе аналогов.

В связи с тем, что априори неизвестны возможные аналоги, то общее число предполагаемых аналогов ($m_{общ}$), в соответствии с $L_{radкр} \leq 400-600$ км может быть достаточно большим, а результате перебора всех уравнений с одним, двумя и тремя аналогами общее число уравнений станет намного больше. Так, например, если априори выбрано только 20 предполагаемых аналогов, то общее число всех уравнений будет равно $(20 \cdot 19 \cdot 18) / (1 \cdot 2 \cdot 3) = 1140$. Конечно, не все из этих уравнений отвечают условиям эффективности (19), но в итоге их все-таки будет достаточно много и по каким из них осуществлять восстановление? Именно для этой цели и разработан алгоритм поэтапного определения восстановленных значений, который состоит в следующем:

- все уравнения, удовлетворяющие условиям эффективности, располагаются в порядке убывания коэффициентов корреляции;

- прежде всего, восстанавливаются погодичные (за каждый год) значения климатической характеристики по уравнению с наибольшим значением коэффициента корреляции за те годы, в которые есть совместная информация по всем рядам-аналогам, входящим в уравнение;

- далее рассматривается следующее по величине коэффициента корреляции уравнение регрессии и, если с его помощью, получается восстановить еще хотя бы один новый год наблюдений, то оно применяется для восстановления;

- далее рассматривается следующее по величине коэффициента корреляции уравнение и такое поэтапное восстановление погодичных значений продолжается до тех пор, пока не будут использованы возможности всех уравнений регрессии, отвечающие условиям эффективности.

В результате ряд восстановленных значений будет получен по разным уравнениям регрессии с разными аналогами, но все эти уравнения будут отвечать условиям эффективности, также, как и полученные по ним восстановленные значения, хотя погрешность восстановленных данных и не будет одинаковой.

Следующая особенность восстановления климатических характеристик связана с тем, что восстановленные данные необходимо корректировать, т. к. их дисперсия искусственно преуменьшена за счет применения метода наименьших квадратов (МНК) при расчете коэффициентов уравнения регрессии. В МНК минимизируется погрешность только отклика, а факторы считается, что не имеют погрешностей. При установлении же взаимосвязей в гидрометеорологии, погрешности содержатся как отклике, так и в факторах. Поэтому фактически следует для расчета коэффициентов применять не МНК, а однозначную аппроксимацию. Однако для этого метода не разработан математический аппарат в случае многомерного регрессионного анализа. Поэтому коэффициенты уравнений множественной регрессии рассчитываются по МНК, а в расчетные значения вносится поправка с целью увеличить СКО расчетных значений.

На рисунке 4 показаны зависимости $Y = f(X)$ и $X = f(Y)$ при погрешностях в Y или X соответственно и пунктиром проведена главная диагональ эллипса рассеяния, соответствующая расчету коэффициентов уравнения по методу однозначной аппроксимации. Пересечение всех трех линий находится в точке средних значений Y . Чтобы перейти к этой диагонали от зависимости $Y = f(X)$ необходимо значения Y выше среднего увеличить, а ниже среднего уменьшить. При этом увеличится и наклон линии регрессии, и разброс расчетных величин относительно среднего значения, т. е. увеличится СКО.

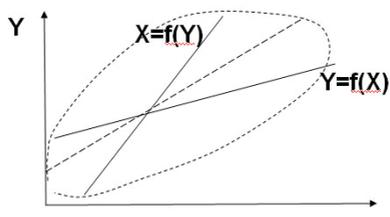


Рисунок 4 – Графическая интерпретация зависимостей, коэффициенты которых получены по МНК и по однозначной аппроксимации

Величина поправки за счет систематического уменьшения дисперсии зависит от разности между расчетным и средним значением и от коэффициента корреляции. В результате корректировка расчетных значений осуществляется по следующей формуле:

$$Y_{ip}' = (Y_{ip} - Y_{cp}) / R + Y_{cp} , \quad (21)$$

где Y_{ip} – значения климатической характеристики, полученные по уравнению (5.1) при определении коэффициентов уравнения по МНК,

Y_{ip}' – откорректированное значение климатической характеристики,

Y_{cp} – среднее значение климатической характеристики.

Список использованной литературы

1. Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный Е.П. Климатология. – Л.: Гидрометеоздат, 1989. – 568 с.

2. Метеорология и климатология: учебник для вузов/ С.П. Хромов, М.А. Петросянц; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. 7-е изд. М.: Изд-во МГУ: Колосс, 2006. – 582 с.

3. Закс Л. Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976 – 598 с.

4. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика, 1973. – 392 с.

5. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 78 с.

6. Дроздов О.А. Теория приведения рядов к одному периоду. – Труды ГГО, 1937. вып. 15(4). – С. 3-42.

7. Лобанов В.А., Лемешко Н.А., Жильцова Е.Л., Горлова С.А., Ренева С.А. Восстановление многолетних рядов температуры воздуха на Европейской территории России. // Метеорология и гидрология – №2. – 2005. – С.5-14.

8. Рекомендации по приведению рядов речного стока и их параметров к многолетнему периоду. Л.: Гидрометеоздат. 1979. –64 с.

9. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. – М.: Госстрой России, 2004. – 73 с.

10. СНиП 23-01-99 Строительная климатология. – М: Госстрой России, 2000. – 74 с.

11. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Часть 1. (учебное пособие). СПб. – 2011. – 144 с.
12. Лобанов В.А. Лекции по климатологии. Часть 1. Общая климатология. Кн.1. В 2 кн.: учебник. – СПб.: РГГМУ. – 2019. – 378 с.
13. Лобанов В.А. Влияние асимметрии и автокорреляции на статистики критерия Диксона. Сборник работ по гидрологии, №18, Л.: Гидрометеиздат, 1987. – С.21-35.
14. Великанов М.А. Композиционный метод нахождения кривой распределения для пиковых расходов весеннего половодья. Метеорология и гидрология, 1949. – №3. – С.61-67.
15. Дунин-Барковский И.В., Смирнов Н.В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике (общая часть). М.: Изд-во технико-теоретической литературы, – 1955. – 556 с.
16. Лобанов В.А., Беликов В.Е. Определение расчетных гидрологических характеристик с учетом исторических максимумов. Метеорология и гидрология. – № 2. – 2007. – С. 89–99.

ПРИЧИНЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА В КРЫМУ

*Симакина Татьяна Евгеньевна¹, Крюкова Светлана Викторовна¹,
Лапченко Владимир Александрович²*

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия,
tatiana.simakina@gmail.com

²КНС - ПЗ РАН филиал ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ, г. Феодосия, Россия,
ozon.karadag@gmail.com

Аннотация. Выполнен анализ временного хода значений концентраций приземного озона (КПО) в Карадагском природном заповеднике на юго-восточном побережье Крымского полуострова за 2021 год. Путем корреляционного анализа оценена связь КПО с общим содержанием озона, с приземным атмосферным давлением и температурой воздуха.

Ключевые слова: приземный озон, общее содержание озона, ПДК.

THE REASONS FOR THE INCREASE IN GROUND-LEVEL OZONE CONCENTRATIONS IN CRIMEA

*Simakina Tatiana Evgeneyvna¹, Krukova Svetlana Viktorovna¹,
Lapchenko Vladimir Alexandrovich²*

¹Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
tatiana.simakina@gmail.com

²TI Vyazemsky Karadag Scientific Station - Nature Reserve of RAS -
Branch of A O Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS,
Feodosiya, Russia, *ozon.karadag@gmail.com*

Annotation. The analysis of the time course of the values of surface ozone concentrations (KPO) in the Karadag Nature Reserve on the southeastern coast of the Crimean Peninsula for 2021 was carried out. By correlation analysis, the relationship of KPO with the total ozone content, with surface atmospheric pressure and air temperature was estimated.

Key words: ground-level ozone, total ozone content, MPC.

Для защиты населения от вреда, наносимого загрязняющими веществами, к которым относится приземный озон, необходимо осуществлять прогноз периодов повышения его концентрации (КПО). Предельно допустимым уровнем в Российской Федерации, который еще не приводит к негативным последствиям для здоровья, является $100 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ за 8 час. Этот порог установлен недавно – в 2021 г, до этого предельно допустимое значение составляло $30 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ за сутки. Изменение нормативов в 2021 году [1] существенно повлияло на оценку уровня загрязнения воздуха, поскольку в некоторых архивах, как например [2] данные даются в долях ПДК.

В работе рассмотрены превышения нового уровня ПДК в 2021 г в Карадагском природном заповеднике на юго-восточном побережье Крымского полуострова. Максимальные значения КПО выше $100 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ наблюдались с апреля по сентябрь – рисунок 1. 8 мая и 6 августа они достигли значений $150 \text{ мкг}/\text{м}^3$ и $141 \text{ мкг}/\text{м}^3$ соответственно. На рисунке 1 наблюдается пропуск в марте из-за отсутствия данных.

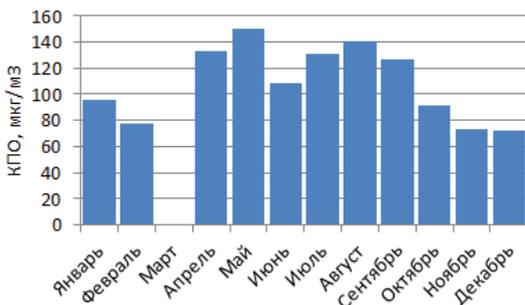


Рисунок 1 – Максимальные значения КПО в Крыму в 2021 г.

Временной ход КПО – рисунок 2 – обнаруживает два эпизода аномального подъема КПО (выделены красным контуром) – весенний - с конца апреля до начала мая, и летний - с середины июля до начала августа. Длительность первого эпизода две недели, второго почти три недели.

Известно, что повышенные уровни приземного озона практически всегда связаны с повышенными температурами [3] Временной ход в Крыму за 2021 г лишь отчасти подтверждает это. Временной ход температуры воздуха изображен на рисунке 3 в том же масштабе по времени, что и КПО на рисунке 2 для сопоставления этих параметров.

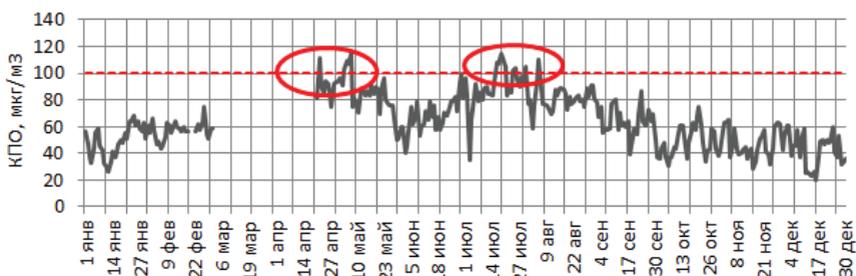


Рисунок 2 – Среднесуточные значения КПО в Крыму в 2021 г.

Оба эпизода повышения КПО произошли в летнее время, второй эпизод - при максимальных температурах. Однако, в начале лета, несмотря на монотонный прогрев воздуха, наблюдается уменьшение КПО.

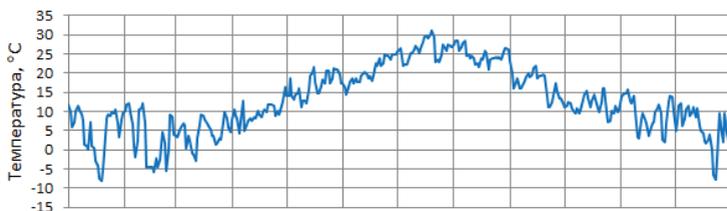


Рисунок 3 – Среднесуточные значения температуры воздуха

Взаимозависимость температуры и КПО во время второго эпизода подтверждает коэффициент корреляции 0,7. Временной ход ежемесячных коэффициентов корреляции приземной температуры воздуха и КПО приведен на рисунке 4. Связь КПО с атмосферным давлением и общим содержанием озона (ОСО) также отражена в виде значений коэффициентов парной корреляции на рисунке 4.

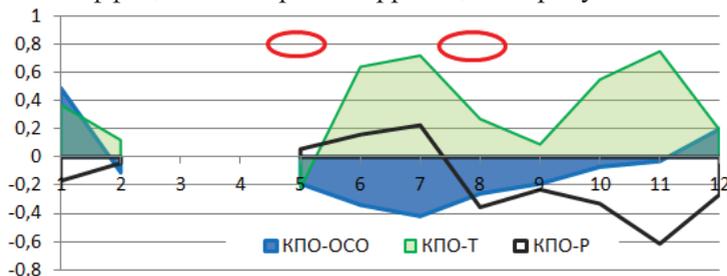


Рисунок 4 – Временной ход коэффициентов корреляции приземной температуры воздуха и КПО, ОСО и КПО, атмосферного давления и КПО. Интервалы двух эпизодов повышения КПО отмечены красным контуром

В обоих эпизодах наблюдается слабая отрицательная связь КПО и ОСО (коэффициент корреляции -0,2). При этом при первом эпизоде ОСО составляло 350 ед.Д., при втором – 300 ед. Д. Оба эпизода имели место на фоне низкого атмосферного давления, однако сильной связи между давлением и КПО не наблюдается.

Известно о двух главных источниках поступления озона в тропосферу [3,4].

Один – естественный - заключается в притоке озона из стратосферы, где он генерируется под действием солнечного ультрафиолетового излучения. Интенсивность стратосферно-тропосферного обмена определяется термической стратификацией и вертикальным распределением скорости ветра. В послеполуденные часы концентрация озона в пограничном атмосферном слое повышается, ночью поток озона к приземному слою существенно ослабляется, особенно при инверсии температуры, имеющийся озон разрушается на земной поверхности. Обычно «естественная» КПО находится в диапазоне безопасных уровней до 50–70 млрд⁻¹.

Второй механизм образования приземного озона – «антропогенный». При достаточном уровне солнечной радиации озон образуется в фотохимических реакциях его предшественников - летучих органических соединений (углеводородов) и оксидов азота. Оксиды азота выбрасываются автотранспортом и промышленными предприятиями. Углеводороды могут иметь как антропогенное, так и естественное происхождение. КПО в этом случае нелинейно зависит от скорости эмиссий углеводородов и оксидов азота: увеличение концентрации оксидов азота на урбанизированных территориях при дефиците углеводородов приводит к уменьшению уровней озона [3]. Т.е. большую роль играет соотношение концентраций углеводородов/NO_x. Аномальное повышение содержания озона, представляющее угрозу здоровью населения, как правило, связано именно с «антропогенным» механизмом.

Поскольку Карадагский заповедник удален от промышленных городских районов и имеет незначительное количество источников антропогенного загрязнения, избытка оксидов азота в нем не наблюдается. Рост концентрации озона в атмосфере обеспечивается увеличением эмиссии углеводородов, продуцируемой растительными сообществами заповедника, или поступлением с

воздухом из районов прикаспийских газовых и нефтяных разработок. Также влияющим фактором является эффективность протекания реакций фотолиза, зависящая, главным образом, от прихода ультрафиолетовой радиации. Таким образом, объяснить разные эпизоды роста КПО одним механизмом или тем более связать с одним фактором не представляется возможным.

Список используемой литературы

1. Ежегодник «Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2022 г.». Санкт-Петербург, 2023
2. Экологический портал Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] - <http://www.infoeco.ru>
3. А. М. Звягинцев, И. Н. Кузнецова, И. Ю. Шалыгина и др. Исследования и мониторинг приземного озона в России //Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. – 2017. – № 365. – С. 56-70.
4. Лапченко В.А., Симакина Т.Е., Крюкова С.В. Приземный озон в непромышленных районах Санкт-Петербурга и Крыма //Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – Природного заповедника РАН. – 2(22). – 2022. – С. 53–61.

УДК [551.551.3:528.88](56)

ОРОГРАФИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ НАД ЗАПАДНОЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТЬЮ МАЛОАЗИАТСКОГО НАГОРЬЯ

Соловых Алиса Дмитриевна

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия, dovagurda@yandex.ru
Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры
ЭФА Симакина Т. Е.

Аннотация. Выполнен анализ трехмерной структуры орографических волн, возникающих над горным массивом в Турции, по данным наблюдений и реанализа, выявлены особенности, которые позволят прогнозировать появление таких волн и связанных с ними областей турбулентности, что особенно важно в условиях ясного неба.

Ключевые слова: орографические волны, число Фруда, реанализ, спутниковые снимки, аэрология.

OROGRAPHIC WAVES OVER THE WESTERN AND CENTRAL PART OF THE ASIAN HIGHLANDS IN TURKEY

Solovyh Alisa Dmitrievna

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
dovagurda@yandex.ru
Scientific supervisor: Ph.D. physics and mathematics Sciences, Associate
Professor, Associate Professor of the EFA Department Simakina T. E.

Annotation. The analysis of the three-dimensional structure of orographic waves arising over a mountain range in Turkey has been performed, according to observations and reanalysis, features have been identified that will allow predicting the appearance of such waves and associated turbulence areas, which is especially important in clear sky conditions.

Keywords: orographic waves, Froude number, reanalysis, satellite images, aerology.

Введение. Неоднородность подстилающей поверхности является одним из определяющих факторов возмущения атмосферного слоя в нижней тропосфере. Результатом гравитационно-волновых процессов

в атмосфере нередко выступают полосчатые линейные орографические облака. Условием их возникновения является расслоенность (стратификация) по влажности и плотности среды. Однако при недостаточной влажности облачные полосы не формируются, и волны остаются невидимыми, что является наиболее опасным случаем при эксплуатации воздушных судов. Для анализа орографических возмущений в исследовании привлекаются данные реанализа MERRA-2, аэрологии, цифровая модель рельефа и спутниковые снимки, сделанные спектрометрией MODIS, установленной на спутниках Terra и Aqua. Детально рассмотрен случай орографического возмущения над центральной и западной частью Малоазиатского нагорья в Турции за 30.04.2019 и проанализированы условия распространения горных волн. Орографические волны возникают при перпендикулярном по отношению к горному хребту направлении ветра, чтобы убедиться в выполнении этого условия, можно обратиться к реанализу. По данным реанализа MERRA-2, рисунок 1, за 12:00 UTC на геопотенциальном уровне 850 гПа ветер имел ЮЗ (перпендикулярное) направление к хребтам и двигался с более холодной морской поверхности в сторону разогретого полуострова Малой Азии.

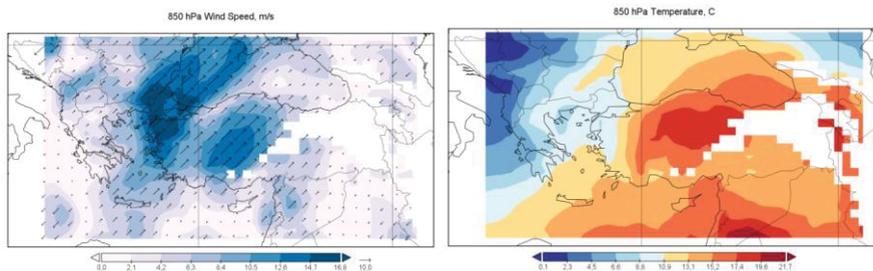


Рисунок 1 – Карты реанализа ветра и температуры на высоте 850 гПа

Волновой поток распространяется с Эгейского моря вглубь континента и занимает обширную область с разными орографическими условиями, поэтому для более подробного анализа проложим два перпендикуляра через карту рельефа: один для Центрального региона, второй для Западной части – в районе Анатолийского плоскогорья. Перпендикуляры соединяют точки шести аэрологических станций. На рисунке 2а показано расположение аэрологических станций и распространение горных волн (красной стрелкой указано направление движения воздушной массы). Несмотря на то, что высота гор в этих

районах до 3 км, влияние орографии прослеживается вплоть до тропопаузы, что может повлиять на полет воздушных судов. Использование синтезирования снимков позволяет получить дополнительную информацию для обнаружения «невидимых» волн и высоты их распространения. Были взяты снимки в видимом диапазоне (0.8 мкм) и пароводяных каналах: излучение водяного пара в средней тропосфере отражает снимок в канале 7.3 мкм, а снимок в канале 6.7 мкм – излучение в верхней тропосфере [1]. Синтезированный в модель RGB (0.8, 7.3, 6.7 мкм) снимок представлен на рисунке 2б. Отсутствие или малые значения компоненты красного цвета, отвечающей за отражаемости оптически плотных облаков, свидетельствует о «невидимых» орографических волнах.

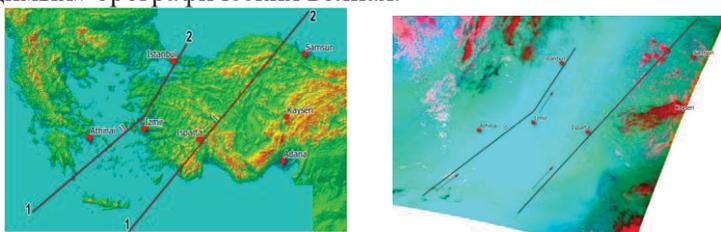


Рисунок 2 – Цифровая модель рельефа с расположением аэрологических станций (а) и цветосинтезированное изображение в видимом канале (R 0.8 мкм) и каналах водяного пара (G 7.3 и B 6.7 мкм) (б)

Проанализировать состояние атмосферы можно при помощи данных радиозондирования. В районе Малоазиатского нагорья были взяты 6 станций. Для первого перпендикуляра Центрального региона используются станции Isparta, Kayseri и Sumsun, а для второго – Athinaï, Izmir и Istanbul. По цифровой модели рельефа были построены высотные профили местности для проведенных перпендикуляров, рисунок 3.

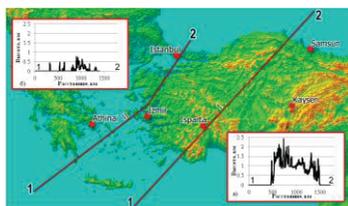


Рисунок 3 – Цифровая модель рельефа и расположение аэрологических станций (движение воздушных масс от точки 1 к точке 2) и высотные профили перпендикуляра I (а) и перпендикуляра II (б)

Рельеф Центрального региона очень сложен, воздушный поток сразу встречается с горными массивами при выходе с морской поверхности на континент, рисунок 4, однако станцию Isparta можно считать наветренной по отношению к самым высоким хребтам Центральной части Малоазиатского нагорья (более 2 км).

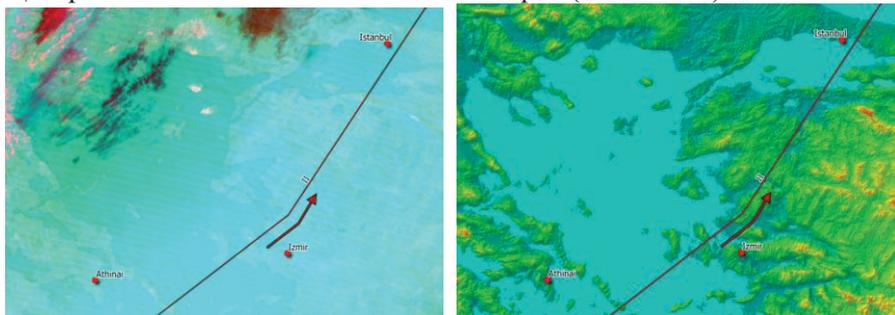


Рисунок 4 – Поворот орографических волн на цветосинтезированном изображении и цифровой модели рельефа

Перемещаясь по водной поверхности Эгейского моря, воздушная масса пересекает острова Греции высотой 440 – 460 м. При движении по Малоазиатскому нагорью воздушный поток сталкивается с вершинами менее 800 м. Во впадине между двумя самыми высокими точками профиля (757 и 728 м) происходит поворот на 20° к западу.

По данным радиозондирования были построены вертикальные профили для температуры, температуры точки росы, относительной влажности, скорости и направления ветра до и после прохождения воздушным потоком горных хребтов, рисунок 5.

На наветренной станции Izmir инверсии температуры не наблюдаются до высот более 11 км. Для температуры точки росы значения слабо меняются в приземном слое до 125 м. Дефицит точки росы достаточно большой во всей атмосфере, что может свидетельствовать о сухом воздухе. Над станцией Istanbul инверсий температуры также не наблюдается до высот более 11.8 км. Наименьшие значения дефицита точки росы в слое 9.3 – 11.0 км.

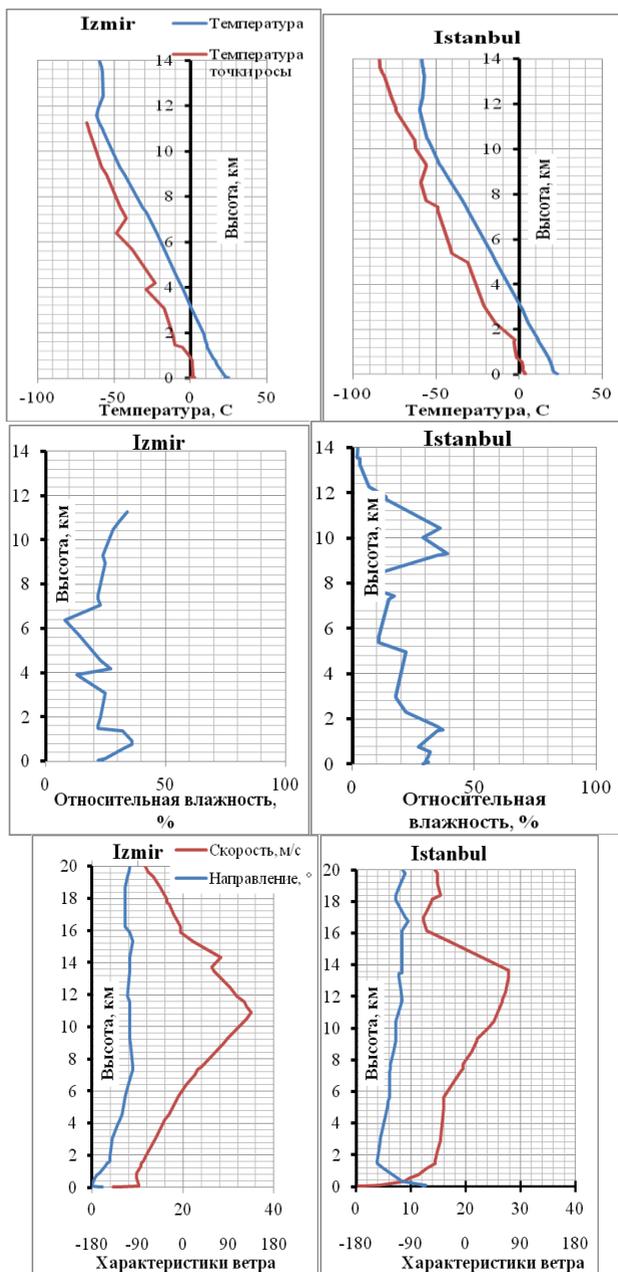


Рисунок 5 – Вертикальные профили метеопараметров на станциях Izmir и Istanbul при наблюдении орографических волн

На станциях Малой Азии прослеживается небольшая относительная влажность атмосферы ($< 40\%$) в целом. Наиболее сухой воздух над наветренной станцией Izmir, где наибольшая влажность на высоте 895 м (36%), а наиболее сухая прослойка (8%) на высоте 6.3 км. Над станцией Istanbul атмосфера менее сухая, но наибольшие значения относительной влажности на высотах 1.5 и 9.3 км менее 40%. Довольно сухие слои ($< 20\%$) от 2.9 до 7.7 км.

На наветренной станции Izmir от уровня 610 м до 10.9 км скорость всё время увеличивалась с высотой, от 100 м ветер уже превышала 10 м/с. Над станцией Istanbul скорость ветра медленнее растет с высотой, а её значения по всей атмосфере слабее, чем на двух предыдущих. Наблюдается небольшой сдвиг ветра приземного уровня, сдвиг между 2 и 3 км. С высотой ветер сменяется с южного на западный. Над станцией Istanbul приземный ветер ЗСЗ, а от высоты 1.4 км ЮЗ-З.

В работе вычислены частота Брента-Вайсяля N и число Фруда Fr , которое характеризует структуру горных волн по скорости ветра и градиенту потенциальной температуры [2], на станциях Isparta, Kayseri и Sumsun; Athinai, Izmir и Istanbul, таблица 1.

Таблица 1 – Данные о высоте, частоте Брента-Вайсяля и числе Фруда для станций Isparta, Kayseri и Sumsun; Athinai, Izmir и Istanbul

Станция	Высота станции (м)	Высота (м) для расчета числа Fr	$N (c^{-1})$	Fr	Длина волны, км
Athinai	15	767	0.0051	1.2	14
Izmir	29	1634	0.0038	1.5	10
Istanbul	17	748	0.002	1.0	7
Isparta	997	2966	0.0026	1.1	11
Kayseri	1094	4769	0.0013	1.0	9
Sumsun	4	1703	0.014	0.1	9

Числа Фруда, находящиеся в диапазоне $Fr = 1.0 - 1.5$, соответствуют ситуации устойчивой атмосферы с сильными ветрами, в результате чего происходят сильные восходящие и нисходящие волновые колебания – длина волны совпадает с шириной горы.

Для анализа высоты распространения орографических волн были построены фотометрические разрезы по цветосинтезированному изображению в каналах 0.8, 7.3 и 6.7 мкм, рисунок 6.

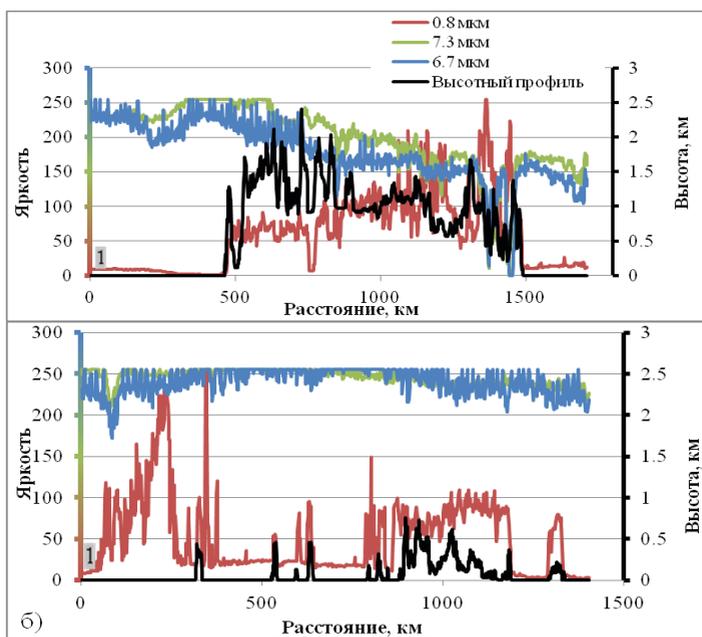


Рисунок 6 – Фотометрические разрезы яркости (0.8, 6.7, 7.3 мкм) и высотный профиль перпендикуляра I (а) и перпендикуляра II (б)

Низкие значения яркости в видимом спектральном канале (красная кривая) свидетельствуют о низкой отражаемости оптически плотных облаков. Высокие значения яркости в пароводяных каналах (кривые зеленого и синего цвета) свидетельствуют о мощных волновых движениях до высот более 7 км. Влияние горного хребта можно проследить до уровня верхней тропосферы.

Для перпендикуляра I можно заметить, что значения зелёной и синей компонент, отвечающих за распространение в средней и верхней тропосфере, уменьшились после преодоления вершин более 2 км, а значения красной компоненты видимого канала наоборот увеличились по мере удаления от точки «1». В самом конце (близ станции Sumsun) воздушный поток оказался уже ослабленным ($Fr \ll 1$), его часть не пересекла наветренную вершину, около которой скопилась кучевая облачность. После выхода на морскую поверхность значения зелёной и синей компонент снова увеличились.

В начале движения от точки «1» по перпендикуляру II над частью Средиземного моря излучение в средней тропосфере было сильнее излучения в верхней, а также прослеживалась некоторая облачность (красная компонента). Над Эгейским морем колебания амплитуд

зелёной и синей компонент минимальны, а их значения очень высоки. После выхода на поверхность Малой Азии и повороте на 20° к западу амплитудные колебания увеличились, вклад синей компоненты (излучение в верхней тропосфере) в некоторых местах после прохождения вершин превышал вклад зелёной компоненты (излучение в средней тропосфере). Меньшие значения компонент зелёного и синего цвета ближе к Мраморному морю подтверждают выводы о том, что орографический поток ослаб. После выхода к Черному морю колебания ещё больше уменьшились.

Струйное течение возбуждает генерацию ветровых порывов над земной поверхностью и может способствовать возникновению внутренних гравитационных волн. Проверить наличие струйного течения можно по карте реанализа АТ-300, рисунок 7.

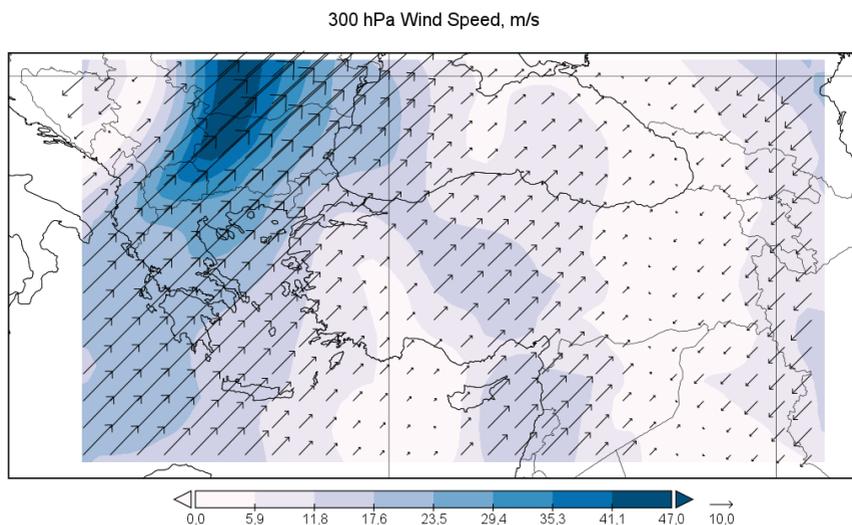


Рисунок 7 – Карта реанализа ветра АТ-300

Струйного течения не наблюдалось над Малой Азией, но оно прослеживается над Балканским полуостровом со скоростями до 47 м/с.

Заключение. Атмосфера оказалась более влажной для перпендикуляра I, чем для перпендикуляра II. Однако поток столкнулся с более сложным рельефом, скорости ветра были меньше и ему требовалось больше энергии для преодоления высоких хребтов. Длина

и амплитуда орографических волн также больше для перпендикуляра I, но в конце часть потока оказалась заблокирована горными препятствиями.

Над станцией Izmir атмосфера несколько менее устойчиво стратифицирована, чем над станциями Athinaí и Istanbul, а скорости ветра достаточно высоки (>10 м/с), в результате чего число Фруда наибольшее ($Fr = 1.5$). После перемещения воздушного потока дальше по Малой Азии орографические волны ослабли: атмосфера стала более устойчивой, а ветер уменьшился.

Список использованной литературы

1. Федосеева, Н. В. Использование цифровых текстурных фильтров для выделения «невидимых» орографических волн на спутниковых изображениях в каналах водяного пара / Н. В. Федосеева, Т. Е. Симакина // Материалы 20-й Международной конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", Москва, 14–18 ноября 2022 года. – Москва: Институт космических исследований Российской академии наук, 2022. – С. 463.

2. Соловых, А. Д. Исследование орографических волн и безразмерного числа Фруда / А. Д. Соловых, Т. Е. Симакина // Гидрометеорология и физика атмосферы: современные достижения и тенденции развития : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 21–23 марта 2023 года. – Санкт-Петербург: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2023. – С. 461-465.

Содержание

Секция 1. Фундаментальные и прикладные аспекты высшей математики в современных исследованиях	4
Арбапов Сердар Муратбаевич, Гелдиев Юнус Махмыт оглы, Мередов Артыкбай Гурбанбаевич, Мередов Сердар Артыкбаевич, Махемов Юсуп Дадебаевич МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ РЕШЕНИЮ ДРОБНО-РАЦИОНАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ	4
Атаев Мердан Нургельдиевич, Сапаргелдиев Джумадурды, Балышев Тиркеш Ашырбаевич, Махемов Юсуп Дадебаевич, Ковусов Шыхмырат Нурмамедович АНАЛИЗ ЗАДАЧ, СВЯЗАННЫХ С СУММАМИ ЧИСЕЛ	9
Галина Иосифовна Беликова, Екатерина Анатольевна Бровкина, Виталий Борисович Чесноков, Матвей Евгеньевич Гробылёв ВЕЛИЧАЙШИЙ УМ РОССИИ – МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ	14
Вершинин Александр Константинович МЕТОДИКА НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОДНОРОДНОСТИ И СВЯЗИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ	23
Ефременко Дмитрий Сергееви, Кузнецов Анатолий Дмитриевич, Сероухова Ольга Станиславовна О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕККУРЕНТНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С РАЗЛИЧНЫМИ ВХОДНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ТЕКУЩИХ ПРОГНОЗОВ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА	30
Зайцева Ирина Владимировна, Малафеев Олег Алексеевич, Тюрина Оксана Дмитриевна, Чжан Кунь, Чуркин Ярослав Дмитриевич МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОВЕДЕНИЯ ИНСПЕКЦИЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ	37
Зоткина Дина Вадимовна, Чуркин Ярослав Дмитриевич РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ АППРОКСИМАЦИИ ЭМПИРИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ СРЕДСТВАМИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ	41
Карнадуд Олеся Сергеевна, Шебукова Анна Сергеевна ПРИМЕНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО	46

ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ПЛАНИРОВАНИИ РАБОЧЕЙ СИЛЫ НА ПРЕДПРИЯТИИ	52
Карнадуд Вадим Кириллович, Карнадуд Олеся Сергеевна, Шебукова Анна Сергеевна	
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКЕ	58
Лобанов Игорь Евгеньевич	
ТЕОРИЯ ИНТЕНСИФИЦИРОВАННОЙ ТЕПЛООТДАЧИ В ТРУБАХ С ДИАФРАГМАМИ В ОБЛАСТИ ПЕРЕХОДА К ТУРБУЛЕНТНОМУ ТЕЧЕНИЮ И В ЛАМИНАРНОЙ ОБЛАСТИ	65
Малафеев Олег Алексеевич, Чжан Кунь, Шлаев Дмитрий Валерьевич, Филимонов Александр Алексеевич, Скворцова Ольга Ивановна	
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРЕСЛЕДОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	74
Мамедов Джумамырат Какабаевич, Мередов Парахат Овезович, Гылыжов Голбай Хожаахмедович, Досназаров Байрамбай Сатбаевич, Махемов Юсуп Дадебаевич	
ОСОБЕННОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛОВ	78
Пичугин Юрий Александрович	
ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ	83
Тарасенко Елена Олеговна	
РЕГРЕССИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОТНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ ПРИ УПЛОТНЕНИИ ВЗРЫВОМ	90
Токошева Жазгул Аскербековна, Золотарева Татьяна Анатольевна	
ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ОШСКОЙ ОБЛАСТИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ	97
Фадеев Сергей Николаевич, Зайцева Ирина Владимировна	
О ПРИМЕНЕНИИ КРИТЕРИЯ КОКСА–СТЮАРТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ТРЕНДОВ	

Секция 2. Физические исследования природных процессов	103
Бертова София Сергеевна, Яковлева Татьяна Юрьевна ВЛИЯНИЕ СБРОСА РАДИОАКТИВНОЙ ВОДЫ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ	103
Дьяченко Наталия Владимировна, Дружкова Вероника Станиславовна, Козлов Никита Олегович, Ружицкая Ева Витальевна ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПРОДОЛЬНОЙ ЖЕСТКОСТИ ПРУЖИН С ИХ ПАРАМЕТРАМИ	112
Карпенко Ксения Константиновна НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ	118
Ковригин Даниил Дмитриевич, Потапова Ирина Александровна ФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА	123
Кудель Мария Дмитриевна, Михтеева Елена Юрьевна ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В МОРСКОЙ СРЕДЕ	130
Курышев Дмитрий Сергеевич, Мурзабеков Джамалейл Гириханович, Скворцов Егор Святославович, Яковлева Татьяна Юрьевна ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА И МОДЕЛИРОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ	137
Малиновская Елена Александровна, Абделаал Мохамад Эссам Сайед ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПРИ ТУННЕЛЬНОМ ПЕРЕХОДЕ ЭЛЕКТРОНОВ МЕЖДУ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИМИ ЧАСТИЦАМИ ПЫЛИ	143
Малиновская Елена Александровна, Чхетиани Отто Гурамович, Максименков Леонид Олегович, Лебедев Владимир Александрович, Азизян Генрих Вачаганович О ПЕРЕНОСЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПЫЛИ КОНВЕКТИВНЫМИ СТРУКТУРАМИ	150
Петрова Вера Валерьевна, Зайцева Ирина Владимировна ЛАМИНАРНОЕ И ТУРБУЛЕНТНОЕ ТЕЧЕНИЕ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ	155

Потапова Ирина Александровна, Волкова Надежда Александровна, Михтеева Елена Юрьевна, Потапова Вероника Ростиславовна, Хлябич Петр Петрович	160
АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АТМОСФЕРЫ НА ПРИНИМАЕМЫЙ СИГНАЛ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЗРАЧНОСТИ	
Потапова Ирина Александровна, Дьяченко Наталия Владимировна, Потапова Вероника Ростиславовна, Ржонсницкая Юлия Борисовна, Скобликова Анна Львовна	168
МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫМИ В ВОЗДУХЕ КРУПНОДИСПЕРСНЫМИ АЭРОЗОЛЯМИ	
Пьянкова Мария Сергеевна, Бармасова Анна Михайловна, Бармасов Александр Викторович, Яковлева Татьяна Юрьевна	176
ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ БИОФИЗИКИ	
Семенов Данила Евгеньевич, Яковлева Татьяна Юрьевна, Дьяченко Наталия Владимировна, Потапова Ирина Александровна	183
РОЛЬ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В РАЗВИТИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА	
Юнев Пётр Андреевич, Михтеева Елена Юрьевна	194
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ: ЖИЗНЕННО ВАЖНЫЙ ЩИТ	
Секция 3. Современные прикладные информационные системы и геотехнологии	199
Болдырев Кирилл Андреевич, Недбайло Олег Владимирович, Михтеева Елена Юрьевна	199
ПРИНЦИПЫ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ В КРИПТОГРАФИИ	
Ержакова Софья Олеговна, Наркевич Кирилл Андреевич, Коринец Екатерина Михайловна, Абрамов Валерий Михайлович	207
ИНТЕГРАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В СУДОХОДСТВЕ: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ	
Зотов Владислав Денисович, Степанов Лев Алексеевич, Рычихин Даниил Андреевич	213
ЭЛЕКТРОННЫЕ КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ И ИХ МОДЕРНИЗАЦИЯ	

Зубакин Игорь Александрович	218
ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	
Козловская Василиса Алексеевна, Кутикова Виктория Сергеевна	223
ТОПОЛОГИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОПОЛНЕНИЙ ГНСС ГЛОНАСС/GPS, ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ ДЛЯ НУЖД ВНУТРЕННЕГО ВОДНОГО ТРАНСПОРТА	
Малафеев Олег Алексеевич, Зайцева Ирина Владимировна, Тюрина Оксана Дмитриевна, Чжан Кунь, Чуркин Ярослав Дмитриевич	228
ТЕОРЕТИКО-ИГРОВАЯ МОДЕЛЬ ПОИСКА И ПЕРЕХВАТА	
Малиновская Елена Александровна, Калинин Савелий Дмитриевич	231
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕРМОКОНВЕКТИВНЫХ СТРУКТУР В ПОТОКЕ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	
Медведицына Анастасия Владимировна	238
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГЕОЛОГИИ И ГЕОДЕЗИИ	
Наркевич Кирилл Андреевич, Абрамова Елизавета Николаевна, Ержакова Софья Олеговна, Пнюшков Александр Дмитриевич, Абрамов Валерий Михайлович	245
ЦИФРОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЕВЕРНЫХ ПОРТОВ	
Николаева Юлия Олеговна	250
РАЗНОВИДНОСТИ И ОСОБЕННОСТИ КОНКУРЕНТНЫХ СТРАТЕГИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ	
Простакевич Константин Сергеевич, Абрамова Александра Леонидовна, Сикарев Игорь Александрович, Юрин Игорь Валентинович, Абрамов Валерий Михайлович	254
ИНСТРУМЕНТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМИ СУДАМИ	
Сычѳв Сергей Анатольевич, Руссков Дмитрий Андреевич	261
ИНФОРМАЦИОННОЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ И	

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ	273
Тюрина Оксана Дмитриевна, Тюрина Алина Дмитриевна, Скворцова Ольга Ивановна, Филимонов Александр Алексеевич, Шлаев Дмитрий Валерьевич	
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОИСКА ОБЪЕКТОВ	279
Хромов Кирилл Романович	
ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БРЕНДИРОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ, ВЫПУСКАЮЩИМИ МОРСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ МЕДИАСРЕДЫ	284
Ярошенко Анатолий Вячеславович, Гаврилов Даниил Игоревич, Семиделова Алина Олеговна, Рычихин Даниил Андреевич, Сикарев Игорь Александрович	
ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОЛУЧЕВОГО ЭХОЛОТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПУТЕВЫХ РАБОТ НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ РФ	289
Ятченко Андрей Сергеевич	
ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЕТРА	292
Elman Ksenia Alexandrovna	
MODERN METHODS OF PROSPECTING, EXPLORATION AND DEVELOPMENT OF BITUMINOUS OIL	
Секция 4. Развитие исследований в гидрометеорологии и экологии	296
Батраченко Екатерина Александровна	296
РОЛЬ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ АГРОСИСТЕМ	
Восканян Карина Левановна, Кузнецов Анатолий Дмитриевич, Сероухова Ольга Станиславовна, Симакина Татьяна Евгеньевна	303
МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ТЕКУЩЕГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ	

Восканян Карина Левановна, Кузнецов Анатолий Дмитриевич, Никитина Виктория Сергеевна, Сероухова Ольга Станиславовна, Симакина Татьяна Евгеньевна ПОСТРОЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИМПУЛЬСА В НЕОДНОРОДНОЙ АТМОСФЕРЕ	310
Дроздов Владимир Владимирович, Лобанов Владимир Алексеевич, Окуличева Арина Андреевна МЕТОДИКА СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ КЛИМАТА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОВРЕМЕННЫХ И БУДУЩИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ)	317
Лобанов Владимир Алексеевич, Акбаров Хасанбек, Нзамбимана Энок, Спасенков Ярослав Михайлович ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОДНОРОДНОСТИ И ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МНОГОЛЕТНЕЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ	331
Симакина Татьяна Евгеньевна, Крюкова Светлана Викторовна, Лапченко Владимир Александрови ПРИЧИНЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА В КРЫМУ	349
Соловых Алиса Дмитриевна ОРОГРАФИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ НАД ЗАПАДНОЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТЬЮ МАЛОАЗИАТСКОГО НАГОРЬЯ	354

**ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ
МАТЕМАТИКИ И ФИЗИКИ
В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Сборник трудов
Международной научно-практической конференции

5 апреля 2024 года

Подписано в печать 21.06.2024. Формат 60×84/16. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 23,25. Тираж 500. Заказ 1824.

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного редколлегией,
в Издательско-полиграфическом центре Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.