

Правительство Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(СПбГУ)

УДК 519.67

Рег. № НИОКТР 121040600198-4



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

С. В. Микушев

« 22 » Октября 2023 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

СОВРЕМЕННЫЕ АНАЛИТИКО-ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И ИСКУССТВЕННЫЙ
ИНТЕЛЛЕКТ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕГУЛЯРНОЙ И ХАОТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ
(заключительный)

Руководитель НИР:
профессор,
доктор физико-математических наук
профессор

Н.В. Кузнецов

Санкт-Петербург 2023

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР, зав. кафедрой,
профессор, д.ф.-м.н.



Н.В. Кузнецов
(введение, заключение,
основной раздел)

Отв. исполнитель, профессор,
д.ф.-м.н.



М.В. Юлдашев
(введение, заключение,
основной раздел)

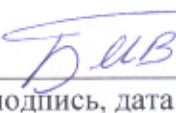
Отв. исполнитель, профессор,
д.ф.-м.н.



Р.В. Юлдашев
(введение, заключение,
основной раздел)

Исполнители:

Ст. преподаватель, к.ф.-м.н.



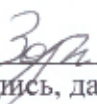
М.В. Благов
(основной раздел)

Профессор, д.ф.-м.н.



И.Г. Бурова
(основной раздел)

Лаб.-исследователь, к.ф.-м.н.



Ю.С. Зайцева
(основной раздел)

Г.н.с., д.ф.-м.н.




О.А. Кузнецова
(основной раздел)

Профессор, д.ф.-м.н.



Р.Н. Мокаев
(введение, заключение,
основной раздел)

Профессор, д.ф.-м.н.



Т.Н. Мокаев
(введение, заключение,
основной раздел)

В.н.с., д.ф.-м.н.



Е.В. Кудряшова
(введение, заключение,
основной раздел)

Доцент, к.ф.-м.н.



А.В. Лебедева
(основной раздел)

Ассистент



подпись, дата

М.Ю. Лобачев
(основной раздел)

Нормоконтроль



подпись, дата

А.В. Вершинин

РЕФЕРАТ

Отчет 52с., 4 рис., 26 источн., 1 прил.

АНАЛИТИКО-ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ, МУЛЬТИУСТОЙЧИВОСТЬ, ХАОТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА, ГЛОБАЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ, СПЛАЙНЫ, СПЛАЙН-ВЕЙВЛЕТЫ, ОБРАБОТКА ЧИСЛОВОЙ ИНФОРМАЦИИ, УПРАВЛЕНИЕ И НАБЛЮДЕНИЕ, ОГРАНИЧЕННАЯ БИТОВАЯ СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Цель работы - разработка эффективных аналитико-численных процедур достоверного анализа динамики для определения устойчивости и локализации аттракторов, а также применение разработанных методов в рамках реализации Стратегии научно-технологического развития РФ к актуальным научно-технологическим задачам. Анализ регулярной и хаотической динамики тесно связан с обработкой и визуализацией числовой информации. При этом особое внимание уделяется сплайнам и сплайн-вейвлетам в связи с моделями искусственного интеллекта.

По результатам работы в 2023 году опубликовано и находится в печати 18 научных публикаций (в т.ч. 13 Scopus, 2 Q1) и оформлено 3 РИД.

За первые два этапа реализации проекта (2021-2022гг.) опубликовано 44 публикации (в т.ч. 30 Scopus, 3 Q1 или Q2).

Итого, в рамках проекта, подготовлено 62 публикации (в т.ч. 43 Scopus, 5 Q1-Q2).

При этом, всего за время реализации проекта (2021-2023гг.) было запланировано 9 публикаций.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
Основной раздел.....	12
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	35
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	36
ПРИЛОЖЕНИЕ А Презентация программы сквозной подготовки высококвалифицированных специалистов в области машинного обучения и искусственного интеллекта на базе фундаментальной математики.....	38

ВВЕДЕНИЕ

В 2021 году в году в нашей стране начал реализовываться федеральный проект «Искусственный интеллект». Развитию и внедрению искусственного интеллекта в последние годы уделяется большое внимание в реальном секторе экономики, как на уровне отдельных компаний и предприятий, так и целых отраслей экономики. Технологии искусственного интеллекта стали одним из эффективных методов для решения прикладных задач, связанных с прогнозированием сложной, в том числе, нерегулярной динамики и применением управляющего воздействия для ее стабилизации. Развитие этой проблематики в СПбГУ опирается на математические методы и вычислительные технологии, которые зародились в рамках «экономической кибернетики», созданной нобелевским лауреатом по экономике 1975 года Л. В. Канторовичем [1-5], и развиваются в традициях научной школы по теоретической и прикладной кибернетике на Математико-механическом факультете СПбГУ. Одной из важных задач этой научной школы является развитие теоретического и инструментального потенциала математического управления и применение новых аналитико-численных методов и современных вычислительных технологий, основанных на искусственном интеллекте, для анализа, прогнозирования и управления поведением динамических систем в различных приложениях.

Одной из центральных проблем анализа и управления динамикой систем различной природы является обоснование и обеспечение глобальной устойчивости или выявление возможных установившихся (предельных) поведений системы после переходных процессов и различных паттернов поведения. Наличие сосуществующих устойчивых паттернов называется мультиустойчивостью, им обладают системы, которые не являются ни глобально устойчивыми, ни неустойчивыми, а состояние которых может притягиваться к различным аттракторам под внешними воздействиями. Мультиустойчивые системы чувствительны к влиянию шума, а также выбору начальных данных и параметров системы. В таких системах можно наблюдать неожиданные переключения состояния системы к нежелательным или неизвестным аттракторам, особенно если у этих систем есть аттракторы с узкими областями притяжения или не выявленные аттракторы. Такие переключения могут приводить к катастрофическим последствиям - неожиданным изменениям климата, финансовым кризисам, выходу из строя инженерных устройств. На современном этапе развития вычислительной техники и нелинейной динамики одним из актуальных подходов к анализу мультиустойчивости является разработка эффективных аналитико-численных методов, сочетающих продуктивные аналитические подходы, вычислительные мощности современных ЭВМ и искусственный интеллект для анализа и синтеза систем с требуемой динамикой. Разработка именно таких методов в первую очередь

мотивирована заметным усложнением анализируемых на практике динамических моделей, которые часто содержат как сложные многомерные и бесконечномерные нелинейные компоненты, так и сетевые, распределенные, мультиагентные системы, и функционируют в условиях запаздывания управляющих сигналов и неидеальности связей между узлами.

Управленческие решения в экономике существенно зависят от качества прогнозирования будущих значений экономических показателей. В случае возникновения нерегулярной динамики в экономическом механизме задача прогнозирования и дальнейшего управления существенно усложняется, и для ее решения требуются эффективные методы. Технологии искусственного интеллекта являются мощным инструментом для решения подобных задач, дополняют классические методы управления и улучшают их результативность.

Данный проект направлен на развитие современных аналитико-численных методов анализа и синтеза регулярной и хаотической динамики. В том числе, согласно заявке, в проекте разрабатывались следующие направления.

Исследование нелинейной динамики и поиск скрытых колебаний методами эволюционных вычислений. Первые шаги в применении эволюционных алгоритмов для локализации скрытых аттракторов были реализованы профессором И. Зелинкой (Остравский технический университет, факультет компьютерных наук) [6]. В его работах показана возможность численной идентификации бассейна притяжения скрытого аттрактора в электронной цепи Чуа путем применения эволюционных алгоритмов с помощью задания специальной целевой функции (cost function), экстремум которой достигается в точках из данного бассейна притяжения. Таким образом, И. Зелинке удалось повторить результаты Леонова-Кузнецова [7,8] и локализовать скрытый аттрактора в системе Чуа с параметрами, для которых уже известно, что данный аттрактор в фазовом пространстве существует. Однако, в рамках такого подхода, возникает задача разработки и реализации эволюционных алгоритмов, обеспечивающих не только поиск скрытых аттракторов в фазовом пространстве системы, но и анализ границ устойчивости в пространстве параметров системы, а также бифуркаций возникающих при пересечении этих границ и приводящих к рождению скрытых аттракторов. Данный проект, в частности, посвящен решению данной задачи. Для этого авторами производятся попытки синтеза подхода, основанного на эволюционных вычислениях, с аналитическими методами (например, методами гармонического баланса и описывающей функции), численными методами (например, методами фазового пространства, продолжения по параметру), а также разрабатываются новые классы целевых функций для эффективного решения данной

задачи.

Исполнителями проекта разработаны новые подходы, основанные на методах искусственного интеллекта (машинного обучения и эволюционных вычислениях), аналитических методах (например, методах гармонического баланса и описывающей функции), численных методах (например, методах фазового пространства, продолжения по параметру), а также на синтезе данных методов для широкого класса теоретических и прикладных математических моделей сложных динамических систем (механических систем, электронных систем и систем фазовой синхронизации (ФАПЧ), систем типа «человек-машина», макроэкономических систем), разработаны и реализованы новые подходы для исследования, стабилизации и управления нелинейной динамикой, анализа границ устойчивости в пространстве параметров, бифуркаций, возникающих при пересечении этих границ и приводящих к рождению скрытых аттракторов.

В области методов обработки информации проект нацелен на разработку новых адаптивных сплайн-вейвлетных алгоритмов параллельной обработки информации, поступающей от источников сложной структуры. Новизна исследования в данном направлении состоит в разработке новых адаптивных сплайн-вейвлетных алгоритмов параллельной обработки информации, поступающей от источников сложной поверхностной или объемной структуры. Источниками подобного рода могут быть поверхности нагреваемых деталей, объемно структурированные слоистые полупрозрачные объекты (например, полупрозрачные внешние оболочки солнца и звезд). Заметим, что под информацией здесь понимаются оцифрованные излучения любого рода, в том числе, предполагаемые результаты могут быть применены к любым оцифрованным электромагнитным излучениям. Таким образом, можно выделить три важные задачи 1) задача построения локально укрупняемого подразделения, 2) задача построения вложенных пространств, ассоциированных с исходным и с укрупненным подразделениями соответственно, 3) реализация полученных алгоритмов на параллельных системах. Заметим, что в односвязных областях на плоскости и в пространстве найдены локально укрупняемые подразделения [9,10]. Для некоторых типов подразделений найдены необходимые и достаточные условия вложенности пространств (в том числе, для пространств курантова типа), построенных на вложенных подразделениях в случае простых областей (прямоугольник, параллелепипед).

Применение технологий машинного обучения и резервуарных нейронных сетей для анализа и предсказания хаотического поведения динамических систем, связанные с применением резервуарных вычислений для прогнозирования эволюции хаотических

систем до далеких горизонтов, были начаты и активно развиваются в научной группе “ветеранов” теоретического изучения хаоса Эдварда Отта (Edward Ott) и Брайна Ханта (Brian R. Hunt) из Мэрилендского университета в Колледж-Парке (University of Maryland, College Park, USA) [11-14]. Они использовали резервуарное вычисление — один из алгоритмов машинного обучения - для изучения динамики “архетипической” хаотической системы под названием уравнение Курамото-Сивашинского. Эволюционирующее решение этого уравнения ведет себя как фронт пламени, мерцающий при прохождении через горючую среду. Кроме того, данное уравнение описывает дрейфовые волны в плазме и другие физические явления, служит испытательным стендом для изучения турбулентности и пространственно-временного хаоса. Потренировавшись на данных о прошлой эволюции уравнения Курамото-Сивашинского, исследовательский резервуарный компьютер смог точно предсказать, как пламевидная система будет эволюционировать в течение восьми «времен Ляпунова», иными словами, исследователям удалось заглянуть в восемь раз дальше по сравнению с тем, что позволяли другие методы прогнозирования. Временем Ляпунова называют время, которое требуется для экспоненциальной дивергенции двух практически идентичных состояний хаотической системы. Как таковое, оно обычно определяет горизонт предсказуемости. Дальнейшее исследование и развитие численного подхода Отта-Ханта в части синтеза с эффективными методами оценки размерностных характеристик хаотических систем [15-18], а также в части исследования границ применимости данного подхода, например, для предсказания переходного (transient) хаотического поведения [16,18]. Последняя проблема, в частности связана с возникшей в последнее время дискуссией о существовании скрытых аттракторов в системе Лоренца [19-21].

Одним из направлений, также можно выделить направление управления и наблюдения поведения нелинейных динамических систем при ограничениях на битовую скорость передачи информации. Новизна исследований в этом направлении состоит в разработке конструктивных методов оценивая и вычисления фундаментальной характеристики динамических систем (минимальной скорости передачи данных, которая требуется для решения той или иной задачи управления/наблюдения) и связанных методов кодирования информации, получении условия не только достаточных для достижимости цели управления, но и достаточных и необходимых (или близких к необходимым), а также в исследовании последствий интерференции различных типов неопределенностей и неидеальностей системы и канала связи. В области нелинейных систем исследования этих вопросов до сих пор находятся в стадии инициализации: смотри, например, обзоры в [22-26].

Для решения интегральных уравнений (и систем интегральных уравнений, а также интегро-дифференциальных уравнений) Вольтерра второго рода, Фредгольма второго рода, в том числе со слабой особенностью, а также интегральных уравнений первого рода, разработаны новые методы решения на основе сплайновых аппроксимаций Лагранжевого типа различного порядка аппроксимации, в том числе локальных сплайнов с первого по седьмой порядок аппроксимации, а также эрмитовых сплайнов четвертого порядка аппроксимации. Полученные алгоритмы легко обобщаются на трехмерные области типа параллелепипед и более сложные. Разработаны пакеты прикладных программ для решения интегральных уравнений, получены свидетельства о регистрации программ. Суть нового подхода к построению решений состоит в применении сплайнов при сведении интегральных уравнений и систем интегральных уравнений к решению систем линейных алгебраических уравнений. Матрица систем линейных алгебраических уравнений оказывается заполненной, поэтому при решении систем высокого порядка рекомендуется использовать такие алгоритмы, как метод исключения Гаусса и параллельный алгоритм метода Гаусса. Полученные алгоритмы проверены на устойчивость, доказаны соответствующие теоремы, и проведены численные эксперименты на устойчивость алгоритмов относительно вариации исходных данных и относительно ошибок округления. При решении интегральных уравнений второго рода доказаны теоремы устойчивости. При решении интегральных уравнений первого рода необходимо применять методы регуляризации по Тихонову или методы регуляризации по Рябову. Предложен новый метод решения интегральных уравнений первого рода с применением сплайнов ненулевой высоты.

Как известно, интегральные уравнения первого рода сводятся к плохо обусловленным системам линейных алгебраических уравнений, неизвестными в которых являются либо коэффициенты разложения в ряд по специальным функциям, либо приближенные значения искомого оригинала в ряде точек. Построены новые методы решения уравнений Фредгольма первого рода на основе локальных сплайновых аппроксимаций Лагранжевого типа. Построены квадратурные формулы обращения, приспособленные для обращения длительных и медленно протекающих процессов линейной вязкоупругости. Построен метод обращения с помощью специальных квадратурных формул наивысшей степени точности и указаны характеристики точности и устойчивости этого метода. Предложен метод деформации контура интегрирования в формуле обращения Римана — Меллина, приводящий задачу к вычислению определенных интегралов и позволяющий получить оценки погрешности. Описан метод определения возможных точек разрыва оригинала и вычисления величины скачка в этих точках.

Относительно возможного использования полученных результатов можно заметить следующее. Многие области прикладной математики опираются на знание интегральных уравнений, поскольку они естественным образом возникают в различных приложениях математики, техники, физики и техники. Их можно использовать для моделирования широкого спектра физических проблем, таких как теплопроводность, диффузия, механика сплошной среды, геофизика, электричество, магнетизм, транспорт нейтронов, теория движения и многие другие. Интегральные уравнения обеспечивают решения при разработке эффективных алгоритмов параметризации алгебраических кривых, поверхностей и гиперповерхностей. Многие начальные и краевые задачи, связанные с обыкновенными уравнениями и уравнениями в частных производных, можно переформулировать в виде интегральных уравнений. Особый интерес представляют слабо сингулярные интегральные уравнения, поскольку они используются для решения обратных краевых задач, областью определения которых являются фрактальные кривые, где применение классических методов невозможно.

В дальнейшем предполагается продолжение исследований в области решения интегральных и интегро-дифференциальных уравнений (в том числе и со слабой особенностью) ассоциированных с различными областями интегрирования.

Перечень наименований всех подготовленных промежуточных отчетов по предыдущим этапам:

1. Промежуточный отчет за 2021 год: Отчет о научно-исследовательской работе "Современные аналитико-численные методы и искусственный интеллект для анализа регулярной и хаотической динамики" (промежуточный) Регистрационный номер: 221121400070-0;

2. Промежуточный отчет за 2022 год: Отчет о научно-исследовательской работе "Современные аналитико-численные методы и искусственный интеллект для анализа регулярной и хаотической динамики" (промежуточный, этап 2) Регистрационный номер: 222122800148-8.

1 Основной раздел

Основные результаты работы по проекту за третий этап (2023г.) подробно представлены в следующих публикациях (со ссылкой на проект):

1. Burova I.G., Alcybeev G.O. Application of Splines of the Seventh Order Approximation to the Solution of the Fredholm Integral Equations with Weekly Singularity// WSEAS Transactions on Mathematics – 2023. – 22. – P. 475 – 482. (<https://doi.org/10.37394/23206.2023.22.53>) Scopus
2. Dem'yanovich Y. K., Burova I.G. A Posteriori Improvement in Projection Method // WSEAS Transactions on Mathematics – 2023. – 22. – P. 544 – 552. (<https://doi.org/10.37394/23206.2023.22.60>) Scopus
3. Burova I.G., Alcybeev G.O. The Application of Splines of the Seventh Order Approximation to the Solution of Integral Fredholm Equations// WSEAS Transactions on Mathematics – 2023. – 22. – P. 409 – 418. (<https://doi.org/10.37394/23206.2023.22.48>) Scopus
4. Ryabov V. M., Burova I.G. About the Tikhonov Regularization Method for the Solution of Incorrect Problems// WSEAS Transactions on Mathematics – 2023. – 22. – P. 656 – 662. (<https://doi.org/10.37394/23202.2023.22.66>) Scopus
5. Burova I.G., Alcybeev G.O., Schiptcova S. A., Han Y., Ryabov V. M. Local Splines of the Zero and First Degrees, and the Solution of Integral // Proceedings - 2023 International Conference on Control, Artificial Intelligence, Robotics and Optimization, ICCAIRO 2023 – 2023. – 52-58.
6. Lebedeva A. V., Ryabov V. M. On the Properties of Some Inversion Methods of the Laplace Transform// Vestnik St. Petersburg University, Mathematics – 2023. – 56. – 1. P. 27–34 (<https://doi.org/10.1134/S1063454123010089>) Scopus
[Лебедева А.В., Рябов В.М. О свойствах некоторых методов обращения преобразования Лапласа// Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия – 2023. – 10(1). – 36-46. (<https://doi.org/10.21638/spbu01.2023.104>)]
7. Лебедева А.В., Рябов В.М. Характеристики сходимости и устойчивости некоторых методов обращения преобразования Лапласа // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. 2024 [in print] Scopus
8. Kuznetsov N., Andrievsky B., Zaitceva I., Akimova E. Sliding-Mode Control of Phase Shift for Two-Rotor Vibration Setup. In: Ronzhin, A., Sadigov, A., Meshcheryakov, R.

- (eds) Interactive Collaborative Robotics. ICR 2023// Lecture Notes in Computer Science – 2023. – 14214. Springer, Cham. (https://doi.org/10.1007/978-3-031-43111-1_20) Scopus
9. Alexeeva T.A., Diep Q.B., Kuznetsov N.V., Zelinka I. Forecasting and stabilizing chaotic regimes in two macroeconomic models via artificial intelligence technologies and control methods// Chaos, Solitons & Fractals – 2023. – 170. – 113377 (<https://doi.org/10.1016/j.chaos.2023.113377>) Scopus
 10. Kuznetsov N.V., Mokaev T.N., Ponomarenko V.I., Seleznev E.P., Stankevich N.V., Chua L. Hidden attractors in Chua circuit: mathematical theory meets physical experiments// Nonlinear Dynamics – 2023. – 111. – 5859–5887. (<https://doi.org/10.1007/s11071-022-08078-y>) Scopus **Q1**
 11. Kuznetsov N.V., Lobachev M.Y., Yuldashev M.V., Yuldashev R.V., Kudryashova E.V., Kuznetsova O.A.. On the limit behavior of second-order phase-locked loops// IFAC-PapersOnLine (IFAC World Congress. – 2023) – 56. – 2. – P. 821-826 (<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.1667>) Scopus
 12. Zaitceva I.S., Kuznetsov N.V., Andrievsky B.R. Approach to identifying areas of uncontrolled oscillations in human-machine systems// 2023 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon) – 2023. – P. 196-201. (<https://doi.org/10.1109/SmartIndustryCon57312.2023.10110762>) Scopus
 13. Andrievsky B., Kuznetsov N., Kudryashova E., Kuznetsova O., Zaitceva I. Signal-parametric Discrete-time Adaptive Controller for Pneumatically Actuated Stewart Platform// Control Engineering Practice – 2023. – 138. – 105616. (<https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2023.105616>) Scopus **Q1**
 14. Zaitceva I.S., Kuznetsov N.V., Andrievsky B.R. Serial nonlinear correction method in the flight vehicle systems // Lecture Notes in Networks and Systems (Cyber-Physical Systems and Control II) – 2023. – 460. – P. 315-324 (https://doi.org/10.1007/978-3-031-20875-1_29) Scopus
 15. Алексеева Т.А., Кузнецов Н.В., Мокаев Т.Н., Посудин К.М. Моделирование и стабилизация нерегулярного механизма ценообразования на сети локальных рынков// Дифференциальные уравнения и процессы управления – 2023. – 4 [принята в печать] Scopus

Труды конференций

16. Кузнецов Н.В., Лобачев М.Ю. Кусочно-линейный анализ полосы захвата для системы ФАП второго порядка// Материалы XVI Всероссийской Мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2023 – 2023. – 72 -73.

17. Кузнецов Н.В., Лобачев М.Ю. Анализ и синтез систем управления фазовой автоподстройкой с приложением к задачам навигации и управления движением // Материалы Международного семинара "Навигация и управление движением" (NMC2023) – 2023.
18. Алексеева Т.А., Кузнецов Н.В., Мокаев Т.Н., Посудин К.М. Регулирование ценообразования на сетевом рынке товаров с помощью методов управления и технологий искусственного интеллекта // Труды конференции «10-я Всероссийская научная конференция по проблемам информатики: СПИСОК-2023.» Секция «Прикладная кибернетика и искусственный интеллект». – 2023.

Патенты

- a. Свидетельство «Программа синтеза оптимального управления для стабилизации хаоса на основе технологий искусственного интеллекта» (CONTAI), Рег. 25.04.23 № 2023618436 (заявка от 17.04.2023) [Акимова Е.Д., Алексеева Т.А., Благоев М.В., Мокаев Т.Н., и др.]
- b. Свидетельство «Программа для решения интегральных уравнений Фредгольма второго рода сплайнами седьмого порядка аппроксимации», RU2023666157, (июль 2023) [Бурова И.Г., Алцыбеев Г.О.]
- c. Свидетельство «Программный комплекс для моделирования адаптивного управления пневмоприводом платформы Стюарта» (Stewart Platform Simulation) № 2023680598 (2023) [Кузнецов Н.В., Зайцева Ю.С., Кудряшова Е.В. и др.]
- d. «Программа для решения интегральных уравнений Фредгольма со слабой особенностью сплайнами седьмого порядка аппроксимации» (Fred7alpha) № 2023665927 (2023) [Бурова И.Г., Алцыбеев Г.О.]

Итого, за 2023 год по результатам работы над проектом опубликовано или находится в печати 18 научных публикаций (в т.ч. 13 Scopus, 2 Q1) и оформлено 4 РИД.

Все публикации прошли апробацию на ведущих международных и российских конференциях.

Пленарные доклады и приглашенные лекции:

1. Н.В. Кузнецов, Конференция «Моделирование и экспериментальные исследования динамики сложных систем», 2023 (Нижний Новгород, <https://nnov.hse.ru/bipm/meidss/>, приглашенная лекция)

2. N. Kuznetsov, B. Andrievsky, I. Zaitceva, E. Akimova, Plenary lecture “Sliding-Mode Control of Phase Shift for Two-Rotor Vibration Setup”, 8th International Conference on Interactive Collaborative Robotics, 2023, Azerbaijan
3. Н.В. Кузнецов, М.Ю. Лобачев, Анализ и синтез систем управления фазовой автоподстройкой с приложением к задачам навигации и управления движением, Материалы Международного семинара "Навигация и управление движением" (NMC2023), 2023 (Владивосток, 02–06 октября 2023, <http://www.elektropribor.spb.ru/nauchnaya-deyatelnost/konferentsii/2046>, приглашенный доклад)
4. Н.В. Кузнецов, Е.В. Кудряшова, М.Ю. Лобачев, «Границы глобальной устойчивости и скрытые аттракторы в системах фазовой автоподстройки частоты», XXX Всероссийская научная конференция «Нелинейные дни в Саратове для молодых - 2023», 2023 (Саратов, 15–19 мая 2023, <https://nonlindays.sgu.ru/>, приглашенный доклад)
5. N.V. Kuznetsov, Invited lecture «The theory of hidden oscillations and stability of dynamical systems», Beijing-Saint Petersburg Mathematics Colloquium, 2023, (video: <https://disk.pku.edu.cn/link/3CD00DB7B77A6C23A67553D7E98F71B1>)
6. Н.В. Кузнецов, «Скрытые колебания и границы глобальной устойчивости систем управления», XVIII Всероссийская научно-практическая конференция «Перспективные системы и задачи управления», (3-7 апреля 2023 г., п. Домбай, приглашенный доклад)
7. Н.В. Кузнецов, М.Ю. Лобачев, «Кусочно-линейный анализ полосы захвата для системы ФАП второго порядка», XVI Всероссийская Мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2023), 2023 (Волгоград, 11–15 сентября 2023, <https://www.ipu.ru/node/72400>, приглашенный доклад)

Эти результаты получили признание научной общественности, в том числе можно отметить:

- Доклад Президента РАН академика Г.Я. Красникова «О важнейших научных достижениях, полученных российскими учеными в 2022 году» на Общем собрании членов РАН. 23.05.2023. Включены результаты «Теория скрытых колебаний и ее приложения» Н.В. Кузнецова (<https://ipme.ru/news/94-rabota-sotrudnika-ipmash-ran-otmechena-kak-odno-iz-vazhneishih-nauchnyh-dostizhenii-rossiiskih-uc.html>)

- РАН новости. 11.04.2023. Искусственный интеллект обучили прогнозировать хаотические процессы в экономических системах и управлять ими. (<https://new.ras.ru/activities/news/iskusstvennyy-intellekt-obuchili-prognozirovat-chaoticheskie-protsessy-v-ekonomicheskikh-sistemakh-i/>) [по статье N.V. Kuznetsov et al. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2023.113377>]
- РНФ новости. 13.01.2023. Доказано существование скрытого объекта, который выводит системы из равновесия в непредсказуемый хаотический режим (<https://rscf.ru/news/release/dokazano-sushchestvovanie-skrytogo-obekta-kotoryy-vyvodit-sistemy-iz-ravnovesiya-v-nepredskazuemyy-chaoticheskiy-rezhim/>) [по статье N.V. Kuznetsov et al. <https://doi.org/10.1007/s11071-022-08078-y>]
- ВГТРК Россия 1 “Дом ученых”. 22.12.2022, 29.12.2022. Академик РАН Андрей Рудской беседует с член-корреспондентом РАН Николаем Кузнецовым (<https://www.youtube.com/watch?v=NS0Cn8IA46U> , <https://www.youtube.com/watch?v=PNHczsj5hQs>)

Среди основных полученных научных результатов в 2023 году можно выделить следующие.

В области интеллектуальной обработки числовой информации получены следующие результаты, подробно представленные в публикациях и на докладах на международных и всероссийских конференциях.

Для решения интегральных уравнений (а также систем интегральных уравнений) Фредгольма второго рода, в том числе со слабой особенностью, разработаны новые численные методы решения на основе сплайновых аппроксимаций высокого порядка аппроксимации, в том числе эрмитовых сплайнов четвертого порядка аппроксимации, сплайнов седьмого порядка аппроксимации Лагранжевого типа. Доказаны теоремы устойчивости вычислений при неточных входных данных. Результаты численных экспериментов подтверждают теоретические выводы. На основе разработанных алгоритмов отлажены пакеты прикладных программ, получены свидетельства о регистрации программ. Как известно, численное решение интегральные уравнения первого рода сводится к решению плохо обусловленных систем линейных алгебраических уравнений, неизвестными в которых являются либо коэффициенты разложения в ряд по специальным функциям, либо приближенные значения искомого оригинала в ряде точек. Построены методы решения интегральные уравнения первого рода на основе сплайновых аппроксимаций. При решении интегральных уравнений первого рода приходится решать системы уравнений с плохообусловленными матрицами. Обработка результатов может

быть проведена с применением искусственного интеллекта. Построены квадратурные формулы обращения, приспособленные для обращения длительных и медленно протекающих процессов линейной вязкоупругости. Построен метод обращения с помощью специальных квадратурных формул наивысшей степени точности и указаны характеристики точности и устойчивости этого метода. Предложен метод деформации контура интегрирования в формуле обращения Римана — Меллина, приводящий задачу к вычислению определенных интегралов и позволяющий получить оценки погрешности. Описан метод определения возможных точек разрыва оригинала и вычисления величины скачка в этих точках.

Основные полученные результаты, используемые и развиваемые методы, отражены в работах:

- В работе [1] рассматривается построение численного решения интегрального уравнения Фредгольма второго рода с недельной особенностью с использованием полиномиальных сплайн-аппроксимаций седьмого порядка аппроксимации. Поддержка базисного сплайна седьмого порядка аппроксимации занимает семь интервалов сетки. В начале, середине и конце интервала интегрирования применяются различные модификации базисных сплайнов седьмого порядка аппроксимации. Мы используем квадратурные формулы типа Гаусса для вычисления интегралов со слабой особенностью. Предполагается, что решение интегрального уравнения достаточно гладкое. К преимуществам использования сплайнов седьмого порядка аппроксимации относится использование небольшого количества узлов сетки для достижения необходимой погрешности аппроксимации. Приведены численные примеры применения сплайн-аппроксимаций седьмого порядка для решения интегральных уравнений.

- Работа [2] посвящена уточнению приближенного решения, полученного методом проекций. Предлагаемый подход использует расширение пространства проектирования за счет добавления новых координатных функций. В результате можно уточнить полученное ранее решение, используя небольшие ресурсы компьютера. Применение данного подхода к методу конечных элементов позволяет произвести локальную модификацию указанного решения. Предлагаемый подход проиллюстрирован методом конечных элементов для краевой задачи второго порядка в одномерном и двумерном случаях.

- Существуют различные численные методы решения интегральных уравнений. Среди новых численных методов следует отметить методы, основанные на сплайнах и сплайн-вейвлетах. Локальные интерполяционные сплайны хорошо зарекомендовали себя при решении дифференциальных и интегральных уравнений. В

работе [3] рассматривается построение численного решения интегрального уравнения Фредгольма второго рода с использованием сплайн-аппроксимации седьмого порядка аппроксимации. Носитель базисного сплайна седьмого порядка аппроксимации занимает семь интервалов сетки. Применяются различные модификации базисных сплайнов седьмого порядка аппроксимации в начале, середине и конце интервала интегрирования. Предполагается, что решение интегрального уравнения достаточно гладкое. К преимуществам использования сплайнов седьмого порядка аппроксимации относится использование небольшого количества узлов сетки для достижения необходимой погрешности аппроксимации. Приведены численные примеры применения сплайн-аппроксимаций седьмого порядка для решения интегральных уравнений.

- Время от времени публикуются статьи, содержащие грубые ошибки при решении интегральных уравнений первого рода. Анализ этих ошибок посвящена статья [4]. В статье рассматривается слабая тихоновская и операторная регуляризация. Для построения решения интегрального уравнения используются локальные сплайны лагранжевого типа второго порядка аппроксимации, а также локальные сплайны эрмитового типа четвертого порядка аппроксимации первой высоты. Представлены результаты численных экспериментов.

- В работе [5] обсуждаются особенности использования локальных сплайнов первого и второго порядка аппроксимации для решения интегральных уравнений Фредгольма второго рода. Заметим, что базисные сплайны с «узким» носителем (т.е. если длина носителя базисного сплайна равна одному или двум шагам сетки) не дают пограничный слой при построении аппроксимации на конечном интервале. Кроме того, такие сплайны более удобны при построении неоднородной адаптивной сетки. Локальные сплайны первого и второго порядков аппроксимации позволяют строить аппроксимации и решать интегральные уравнения на неравномерной сетке. Обсуждается также решение интегральных уравнений Фредгольма второго рода со слабой особенностью.

- В [6] рассмотрена задача обращения интегрального преобразования Лапласа, относящаяся к классу некорректных задач. Интегральные уравнения сводятся к плохо обусловленным системам линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), в которых неизвестными являются либо коэффициенты разложения в ряд по специальным функциям, либо приближенные значения искомого оригинала в ряде точек. Описан метод обращения по специальным квадратурным формулам высшей степени точности (QFHDA) и указаны характеристики точности и устойчивости этого метода. Построены формулы квадратурного обращения, адаптированные для обращения длительных и медленных линейных вязкоупругих процессов. Предложен метод деформации контура интегрирования в

формуле обращения Римана–Меллина, который сводит задачу к вычислению определенных интегралов и позволяет получать оценки погрешности. Описан метод определения возможных точек разрыва оригинала и расчета скачка в этих точках.

- В [7] рассматривается задача обращения интегрального преобразования Лапласа, относящаяся к классу некорректных задач. Интегральные уравнения сводятся к плохо обусловленным системам линейных алгебраических уравнений, неизвестными в которых являются либо коэффициенты разложения в ряд по специальным функциям, либо приближенные значения искомого оригинала в ряде точек. Рассмотрены различные методы обращения и указаны их характеристики точности и устойчивости, которые необходимо знать при выборе метода обращения для решения прикладных задач. Построены квадратурные формулы обращения, приспособленные для обращения длительных и медленно протекающих процессов линейной вязкоупругости. Предложен метод деформации контура интегрирования в формуле обращения Римана-Меллина, приводящий задачу к вычислению определенных интегралов и позволяющий получить оценки погрешности

Для широкого класса прикладных математических моделей сложных динамических систем, а именно вибромеханических систем, механических платформ, электронных систем фазовой синхронизации (ФАПЧ), систем типа «человек-машина», макроэкономических систем, разработаны и реализованы новые подходы, включающие в том числе методы эволюционных вычислений, для исследования, стабилизации и управления нелинейной динамикой и поиска скрытых колебаний. В качестве основных результатов за этап в области исследования нелинейной динамики и поиска скрытых колебаний методами эволюционных вычислений можно выделить следующие.

- В статье [8] успешно разработана и исследована система управления фазовым сдвигом для двухроторной вибромехатронной установки с целью поддержания желаемой скорости вращения роторов. Движение в скользящем режиме достигалось за счет использования релейного регулятора в фазовом контуре, тогда как ПИ-регуляторы использовались в контурах регулирования скорости. Путем численного исследования и моделирования с использованием параметров мехатронной виброустановки СВ-2М продемонстрирована эффективность предложенных законов управления скоростью и фазовым сдвигом. Возможность возникновения скользящего режима в контуре фазового сдвига была исследована посредством аналитического и численного анализа, подтвердившего его наличие.

- В работе [9] изучены нерегулярные режимы динамики в двух макроэкономических моделях – в модели перекрывающихся поколений (overlapping generations, OLG) и в модели ценообразования на сетевом рынке. На примере этих моделей, используя, в частности, аналитико-численную процедуру из патента [a], продемонстрирована эффективность эволюционных алгоритмов и метода непрерывного глубокого Q-обучения в сочетании с методом управления Пирагаса для получения управляющего воздействия, стабилизирующего неустойчивые периодические траектории и подавляющего хаотическую динамику. Сравняются качественные и количественные характеристики динамики модели до и после применения управления и проверяются полученные результаты путем численного моделирования. Предложенный подход позволяет повысить надежность прогнозирования и настройки экономического механизма для достижения максимальной эффективности принятия решений.

- Исследование предельного поведения динамической системы необходимо для нелинейного анализа и расчета точной границы глобальной устойчивости в пространстве параметров. Для систем фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) проблема ее глобальной устойчивости эквивалентна задаче расчета диапазона срабатывания, что является одной из ключевых характеристик устойчивости ФАПЧ. В статье [11] рассматривается модель аналоговой системы ФАПЧ второго порядка и показываем, что она может демонстрировать широкий диапазон предельного поведения, включая циклы и полициклы первого и второго рода.

- В системе «человек-машина» человек-оператор, выступая в роли регулятора, управляет различными устройствами посредством сервомеханизмов. Параметры системы и параметры модели человека-оператора в той или иной степени могут меняться под действием множества факторов. Это может привести к отклонению выходного сигнала от заданного или потере устойчивости, что проявляется в виде колебательных процессов. Обычно нелинейности привода оказывают огромную нагрузку на устойчивую работу системы, что требует тщательного анализа системы и учета этого факта при проектировании системы управления. В работе [12] найдены условия, при которых производительность системы ухудшается. Это проявляется в значительном увеличении погрешности работы или появлении нежелательных колебаний. Был предложен простой способ их предотвращения путем введения в контур управления приводом нелинейного корректирующего устройства. Также предложен анализ системы на плоскости параметров воздействующего сигнала путем расчета обобщенных функций чувствительности.

- Работа [13] посвящена адаптивному управлению пневмоприводами платформы Стюарта с шестью степенями свободы. На основе подхода, известного как

метод неявной эталонной модели, осуществляется синтез параметрических и сигнально-параметрических адаптивных регуляторов. Рассмотрено использование в системе управления как группы пневмораспределителей, так и золотникового клапана. Изучено влияние квантования на уровень процесса управления при использовании пневмоклапанов. Кроме того, учитывается дискретность процесса управления и влияние изменения нагрузки на пневмопривод. Представлены результаты сравнительного моделирования, демонстрирующие устойчивость системы к параметрам объекта и эффективность предлагаемого сигнально-параметрического адаптивного регулятора.

- Метод нелинейной коррекции широко используется в системах автоматического управления для повышения запасов устойчивости и качества. Этот метод нашел применение и в задачах управления пилотируемыми самолетами, где потеря устойчивости и возникновение колебаний недопустимы. В статье [14] рассматриваются новые нелинейные корректирующие устройства. Их структура основана на отдельных каналах формирования желаемой амплитуды и фазы управляющего сигнала. Их применение продемонстрировано на примере пилотируемого самолета, системы управления которого имеют ограничения по скорости исполнительного механизма. Представлены иллюстрации частотных характеристик, спектрограмм нелинейных корректирующих устройств, временных процессов входных, а также реальных сигналов корректируемых и нелинейных некорректируемых систем, из которых можно наблюдать эффективность последовательных корректирующих устройств.

- В 2023 году исполнителями проекта реализована и запатентована программа для ЭВМ «Программа синтеза оптимального управления для стабилизации хаоса на основе технологий искусственного интеллекта» (CONTAI) [a], основанная на современных методах искусственного интеллекта и мягких вычислений и реализующая алгоритм интеллектуальной настройки управления по Пирагасу для подавления хаоса. Подход, реализованный в данной программе, может быть перенесен на хаотические динамические системы с дискретным, а также с непрерывным временем для их эффективной стабилизации. Особенностью программы является использование теоретических результатов для уменьшения ошибки моделирования, современных методов искусственного интеллекта и мягких вычислений для настройки подходящего оптимального управления, а также технологий параллельных вычислений для ускорения ее исполнения.

- Одним из важных направлений исследования в рамках проекта является применение методов искусственного интеллекта к задачам экономики. В рамках этого направления были получены важные результаты, представленные в принятой к публикации

статье [15] и прошедшие апробацию на конференции [18]. По данной тематике в 2023 году под руководством исполнителя проекта была защищена магистерская диссертация в СПбГУ, работа продолжена в аспирантуре. В 2024 году под научным руководством руководителя проекта Н.В. Кузнецова планируется защита докторской диссертации.

Все полученные результаты позволяют решать актуальные теоретические и прикладные задачи, а также соответствуют мировому уровню, что подтверждается соответствующими публикациями и выступлениями на ведущих российских и международных конференциях.

Проводимые в рамках проекта научные исследования были использованы для организации в СПбГУ сквозной научно-образовательной программы подготовки высококвалифицированных кадров (подготовка абитуриентов+бакалавриат+магистратура+аспирантура+докторантура) в области искусственного интеллекта на базе фундаментальной математики. В этом году одна из компонент сквозной программы - программа бакалавриата "Прикладная математика, программирование и искусственный интеллект", стала самой востребованной в СПбГУ и среди вузов Санкт-Петербурга в рамках направления подготовки «прикладная математика и информатика».

Данная научно-образовательная программа впервые использовала изменения нового ФГОС среднего общего образования 2022 года для организации сквозного обучения студентов в области машинного обучения и искусственного интеллекта на базе фундаментальной математики (РК №44/8/16-05-17 от 27.09.2021, РК № 03/1.9-03-7 от 20.09.2023). С учетом изменений во ФГОС, коллективом исполнителей из состава кафедры прикладной кибернетики был пересмотрен образовательный процесс, в том числе по основным дисциплинам образовательной программы бакалавриата "Дискретный анализ и введение в машинное обучение", "Экстремальные задачи" и "Введение в математические основы машинного обучения и искусственного интеллекта".

Пересмотренная и обновленная дисциплина "Дискретный анализ и введение в машинное обучение", для первого курса бакалавриата, учитывает и объясняет связь основных разделов дискретной математики, таких как комбинаторика, теория информации, теория графов, марковские процессы, динамическое программирование и т.д. с классическими задачами машинного обучения (классификация, регрессия, кластеризация), а также современными ИИ-технологиями (например, Blockchain) (см. Рис. 1).



Рисунок 1 – Связь курса “Дискретный анализ и введение в машинное обучение” с машинным обучением

Пересмотренная и обновленная дисциплина “Экстремальные задачи”, предназначенная для третьего курса бакалавриата указанного направления обучения, учитывает связи между основными разделами экстремальных задач – линейными и нелинейными экстремальными задачами, градиентными и метаэвристическими методами оптимизации и классическими задачами машинного обучения с учителем (классификация, регрессия, прогнозирование), без учителя (кластеризация), и обучением с подкреплением, а также связанными с ними современными ИИ-технологиями (например, технологиями обработки естественного языка (NLP), технологиями игрового ИИ) (см. Рис. 2).

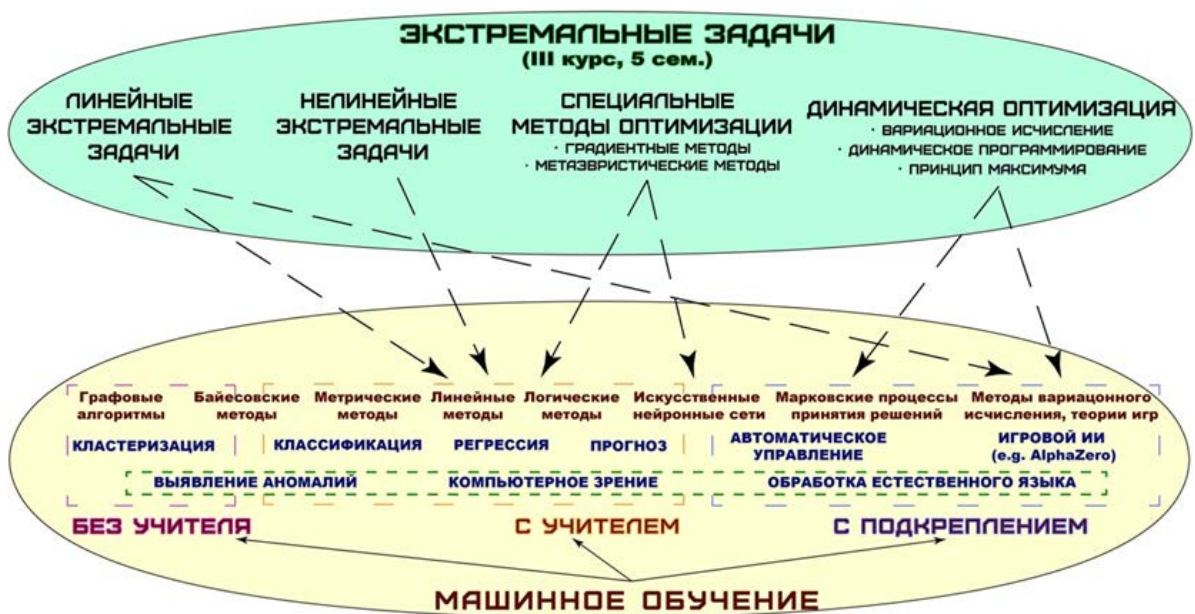


Рисунок 2 – Связь курса “Экстремальные задачи” с машинным обучением

Новая дисциплина “Введение в математические основы машинного обучения и искусственного интеллекта”, включает в себя изучение математических основ базовых методов машинного обучения, в том числе обучения с учителем (в рамках решения задач классификации и восстановления регрессии, прогнозирования) и без учителя (в рамках решения задачи кластеризации) на базе общих фундаментальных математических курсов: Алгебра, Математический анализ, Дискретный анализ, Численные методы, Теория управления, Экстремальные задачи, Теория вероятностей, в объеме первых 5 семестров ОП бакалавриата «Прикладная математика, программирование и искусственный интеллект» (см. Рис. 3).



Рисунок 3 – Связь курса “Введение в математические основы машинного обучения и искусственного интеллекта” с общими фундаментальными математическими курсами бакалавриата

В рамках обновленного образовательного процесса магистерской программы «Прикладная математика, программирование и искусственный интеллект» были разработаны новые дисциплины, такие как: «Продвинутые математические методы машинного обучения и искусственного интеллекта», «Введение в обучение с подкреплением», «Глубокое обучение с подкреплением», «Продвинутые методы глубокого обучения с подкреплением», «Введение в компьютерное зрение», нацеленные на формирование у студентов глубокого и интегрального представления о современном состоянии области искусственного интеллекта и опирающиеся при этом на связанные с ними базовые дисциплины одноименного бакалавриата (см. Рис. 4).

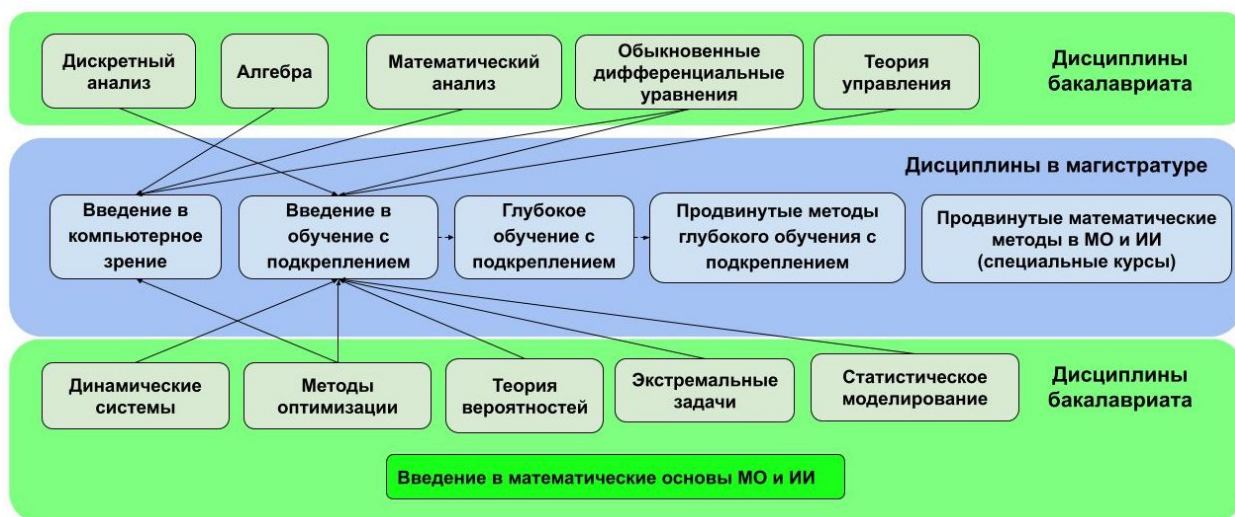


Рисунок 4 – Связь новых дисциплин магистерской программы «Прикладная математика, программирование и искусственный интеллект» с базовыми дисциплинами одноименного бакалавриата

В Приложении А представлена презентация успехов разработанной сквозной программы обучения, представленная на Ученом совете Математико-механического факультета СПбГУ.

В рамках развития проведенных в проекте исследований и разрабатываемой научно-образовательной программы были сформулированы и выполняются под научным руководством исполнителей проекта следующие курсовые и выпускные квалификационные работы (2024 г. выпуска бакалавриата и магистратуры) в СПбГУ:

1. Предсказание цен на фондовом рынке с помощью нейронных сетей
2. Оптимальное управление динамическими системами с помощью нейронных сетей
3. Управление хаотической динамикой в нелинейных системах методами глубокого обучения с подкреплением
4. Сетевое управление нелинейными системами в условиях частичной наблюдаемости с помощью глубокого обучения с подкреплением
5. Прогнозирование цен на фондовом рынке моделью глубокого обучения
6. Создание системы обыкновенных дифференциальных уравнений малой размерности из многомерных хаотических временных рядов с помощью регрессии на основе радиальных базисных функций
7. Применение эволюционного алгоритма для решения задачи о ранце
8. Глобальная устойчивость нейронных сетей с недифференцируемыми активационными функциями
9. Автоматический контроль качества конвейеров данных

10. Бикластеризация адаптированными классическими методами
11. Анализ инструментов быстрого захвата изменений данных
12. Изучение динамики клеточных автоматов с помощью нейронных сетей
13. Хаотическая динамика и мультиустойчивость отображения Эно
14. Контрастивное обучение без учителя с помощью аугментации данных на основе диффузионной модели
15. Применение методов обучения с подкреплением для решения задачи оптимального управления на примере среды торговли криптовалютой
16. Оценки размерности хаотических динамических систем с помощью нейронных сетей
17. Резервуарные нейронные сети: теория, приложения и реализация
18. Предсказанием выдачи кредитных карт логистической регрессией
19. Стабилизация перевернутого маятника на тележке с помощью встроенного нейросетевого регулятора
20. Кластеризация временных рядов модифицированными нейронными сетями Кохонена
21. Предсказание цен на фондовом рынке регрессией опорных векторов
22. Имитация голоса методами машинного обучения
23. Применение машинного обучения для предсказания экстремальных событий дискретных систем
24. Математическое описание коллапса волновой функции в задаче генерации двумерных картинок
25. Обнаружение объектов при использовании графовых нейронных сетей
26. Изучение архитектуры и динамики импульсных нейронных сетей
27. Стабилизация груза на платформе робота-грузчика с помощью встроенного нейросетевого регулятора
28. Прогнозирование цен на фондовом рынке методом опорных векторов с хаотической оптимизацией параметров
29. Конденсация массивов данных с помощью генеративных нейронных сетей
30. Изучение графовых нейронных сетей как динамических систем
31. Изучение динамики логистического отображения с помощью резервуарных вычислений
32. Классификация текстов наивным байесовским классификатором
33. Нелинейные динамические модели нейронов: обзор

34. Безмодельное управление динамическими системами с помощью глубоких резервуарных вычислений
35. Исследование динамических систем с использованием глубоких генеративных моделей
36. Управление динамическими системами с помощью эволюционных алгоритмов

Также проводимые в рамках проекта научные исследования были использованы в рамках реализации сквозной научно-образовательной программы для работы со студентами и школьниками – под руководством исполнителя проекта профессора, д.ф.-м.н. Р.Н. Мокаева сформированы и проводят подготовку команды студентов старших курсов для участия в Национальной технологической олимпиаде для студентов (<https://ntcontest.ru>) по трекам "Технологии беспроводной связи" и "Технологии компьютерного зрения и цифровые сервисы". Получено благодарственное письмо за подготовку финалистов всероссийской междисциплинарной олимпиады школьников «Национальная технологическая олимпиада». В прошлом году отобранный Р.Н. Мокаевым коллектив школьников стал победителем хакатона «Цифровой прорыв. Сезон: искусственный интеллект», организованного АНО «Россия — страна возможностей».

Результаты работы по проекту в первые два этапа (2021г. и 2022г.) подробно представлены в промежуточных отчетах и в следующих публикациях, докладах и РИД:

2022 год (34, в т.ч. 22 Scopus, 2 Q1-Q2):

Scopus

1. Zelinka Ivan, Diep Quoc Bao, Snasel Vaclav, Das Swagatam, Innocenti Giacomo, Tesi Alberto, Schoen Fabio, Kuznetsov Nikolai V. Impact of Chaotic Dynamics on the Performance of Metaheuristic Optimization Algorithms: an Experimental Analysis// Information Sciences – Volume 587. – 2022. – P. 692-719. (<https://doi.org/10.1016/j.ins.2021.10.076>) Scopus Q1
2. Shoreh A., Kuznetsov N., Mokaev T.N. New adaptive synchronization algorithm for a general class of complex hyperchaotic systems with unknown parameters and its application to secure communication// Physica A – 586. – 2022. –126466. (<https://doi.org/10.1016/j.physa.2021.126466>) Scopus Q2
3. Лебедева А.В., Рябов В.М. Метод моментов в задаче обращения преобразования Лапласа и его регуляризация// Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. – 2022.

- 9(67). – 1. – С. 46–52 (<https://doi.org/10.21638/spbu01.2022.105>) [Lebedeva A.V., Ryabov V.M., Method of moments in the problem of inversion of the Laplace transform and its regularization // Vestnik St. Petersburg University. Mathematics. – 2022. – 55 (1). – P. 34–38. (<https://doi.org/10.1134/S1063454122010071>)] Scopus
4. Лебедева А.В., Рябов В.М. Регуляризация процедуры обращения преобразования Лапласа с помощью квадратурных формул // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия – 2022. – 9(67). – 4. – С. 636–643 (<https://doi.org/10.21638/spbu01.2022.406>) [Regularization of the Procedure for Inverting the Laplace Transform Using Quadrature Formulas // Vestnik St. Petersburg University. Mathematics. – 2022. – 55(4). – P. 413–417. (<https://doi.org/10.1134/S1063454122040136>)] Scopus
 5. Burova I. Local Interpolation Splines and Solution of Integro-Differential Equations of Mechanic’s Problems// WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics – 2022. – 17. – P. 103–112. (<https://doi.org/10.37394/232011.2022.17.14>) Scopus
 6. Burova I. Fredholm Integral Equation and Splines of the Fifth Order of Approximation // WSEAS Transactions on Mathematics. – 2022. – 21. – P. 260–270. (<https://doi.org/10.37394/23206.2022.21.31>) Scopus
 7. Burova I. Nonlinear Integro-differential Equations and Splines of the Fifth Order of Approximation // WSEAS Transactions on Mathematics. – 2022. – 21. – P. 691–700 (<https://doi.org/10.37394/23206.2022.21.81>) Scopus
 8. Burova I., The Local Nonpolynomial Splines and Solution of Integro-Differential Equations // WSEAS Transactions on Mathematics. – 2022. – 21. – pp. 718–730 (<https://doi.org/10.37394/23206.2022.21.84>) Scopus
 9. Dem’yanovich Yu. K. ADAPTIVE VARIATIONAL-GRID APPROXIMATION // Journal of Mathematical Sciences. – 2022. – 267 (3). (<https://doi.org/10.1007/s10958-022-06137-8>) Scopus
 10. Kuznetsov N.V., Akimova E.D., Kudryashova E.V., Kuznetsova O.A., Lobachev M.Y., Mokaev R.N., Mokaev T.N. Global Stability Boundaries and Hidden Oscillations in Dynamical Models with Dry Friction, Mechanics and Control of Solids and Structures (Eds. V.A. Polyanskiy, A.K. Belyaev) // Advanced Structured Materials. Springer Nature – 2022. – 164. – P. 387–411. (https://doi.org/10.1007/978-3-030-93076-9_20) Scopus

11. Kuznetsov N.V., Andrievsky B., Kudryashova E.V., Kuznetsova O.A. Stability and hidden oscillations analysis of the spacecraft attitude control system using reaction wheels// Aerospace Science and Technology – 2022. – 131. – 107973. (<https://doi.org/10.1016/j.ast.2022.107973>)
12. Kuznetsov N.V., Belyaev Y.V., Styazhkina A.V., Yuldashev M.V., Yuldashev R.V. Effects of PLL Architecture on MEMS Gyroscope Performance // Gyroscopy and Navigation – 2022. – 13(1). – P. 44-52 (<https://doi.org/10.1134/S2075108722010047>) Scopus
13. Zaitceva I., Andrievsky B., Kuznetsov N., Identification of Human Operator Model Parameters in System with Saturated Actuator // IFAC-PapersOnLine – 55(7). – 2022. – P. 526–531. (<https://doi.org/10.1109/CODIT55151.2022.9804146>) Scopus
14. Kuznetsov N., Andrievsky B., Zaitceva I., Kudryashova E., Kuznetsova O. Adaptive Suppression of Wing Flutter Under Actuator Saturation and Quantization on Time // IFAC-PapersOnLine. – 55(12). – 2022. – P. 689-694. (<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.07.392>) Scopus
15. Zaitceva I., Andrievsky B., Kuznetsov N., Shestakov I. Application of Optimization Method for Identifying Human Operator Model Parameters // IFAC-PapersOnLine – 55(16). – 2022. – 370-375 (<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.052>) Scopus
16. Zaitceva I., Andrievsky B., Kuznetsov N., Simulation of Remote Manipulator Control System with Saturated Actuator // IFAC-PapersOnLine – 55(10). – 2022. – P. 2980-2985 (<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.185>) Scopus
17. Kuznetsov N., Andrievsky B., Zaitceva I., Kudryashova E., Kuznetsova O. Discrete-time Adaptive Control of Pneumatic Actuators for 6-DoF Stewart Platform// IFAC-PapersOnLine. – 55(10). – 2022. – P. 2803-2808 (<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.155>) Scopus
18. Zaitceva I., Andrievsky B., Kuznetsov N. Application of Nonlinear Correction Method for Attitude Control and Landing Oscillations Prevention, // IFAC-PapersOnLine – 55(29). – 2022. – P. 37-42 (<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.228>) Scopus
19. Burkin I.M., Kuznetsov N.V., Mokaev T.N. Coexisting Chaotic and Periodic Attractors in a Counterexample to the Kalman Conjecture // 2022 16th International Conference on Stability and Oscillations of Nonlinear Control Systems (Pyatnitskiy's Conference) – 2022. – P. 1-4 (<https://doi.org/10.1109/STAB54858.2022.9807590>) Scopus

20. Kuznetsov N.V., Blagov M.V., Lobachev M.Y., Yuldashev M.V., Yuldashev R.V. The conservative lock-in range for PLL with lead-lag filter and triangular phase detector characteristic // 2022 8th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT 2022) – 2022. – P. 1076-1081 (<https://doi.org/10.1109/CoDIT55151.2022.9804049>) Scopus
21. Andrievsky B., Zaitceva I., Kuznetsov N., Kudryashova E., Kuznetsova O. Random Search Optimization Approach for Human-Robot Systems Modeling// 2022 International Russian Automation Conference (RusAutoCon 2022) – 2022. – P. 267–271 (<https://doi.org/10.1109/RusAutoCon54946.2022.9896330>) Scopus
22. Zaitceva I., Kuznetsov N., Andrievsky B. Identification of Human Model Parameters for the Man-Machine Control Systems Design // 8th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT). – 2022. – P. 972-977 (<https://dx.doi.org/10.1109/CoDIT55151.2022.9804146>) Scopus

РИНЦ

23. Kudryashova E.V., Reitmann V. Stability and oscillation in Volterra integral equations with applications to neural networks // Наука СПбГУ – 2021. Сборник материалов Всероссийской конференции по естественным и гуманитарным наукам с международным участием, СПб.: ООО «Свое издательство». – 2022. – 132-133 РИНЦ
24. Зайцева Ю., Андриевский Б.Р., Кузнецов Н.В., Кудряшова Е.В., Кузнецова ОА, Мокаев ТН. Подавление скрытых колебаний при пилотируемой посадке воздушного судна методом нелинейной коррекции // Сб. трудов Межд. н-п. конф. «Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению». Комсомольск-на-Амуре. – 2022. – 510-513 (<https://dx.doi.org/10.17084/978-5-7765-1502-6-2022-507>) РИНЦ
25. Зайцева Ю., Андриевский Б.Р., Кузнецов Н.В. Подход к моделированию человеко-машинных систем // Сб. трудов V Всеросс. нац. науч. конф. молодых ученых: Молодежь и наука: актуальные проблемы. – 2022. – 375-378 РИНЦ
26. Кузнецов В., Акимова Е.Д. Задача Андронова-Вышнеградского и её влияние на развитие теории управления // Материалы 15-й мультikonференции по проблемам управления-2022 [E.D. Akimova, N.V. Kuznetsov, Andronov-Vyshnegradsky problem and its impact on the development of the control theory] РИНЦ

27. Алексеева Т.А., Беляев А.Ю., Кузнецов Н.В., Мокаев Т.Н. Прогнозирование и управление в модели цен на сетевых рынках: нелинейный анализ и технологии искусственного интеллекта// Материалы 15-й мультikonференции по проблемам управления-2022 [Commodity price forecasting and chaos control in network markets: nonlinear analysis and artificial intelligence technologies] РИНЦ
28. Беляев А. Технологии глубокого обучения с подкреплением в задачах управления системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха // Материалы 15-й мультikonференции по проблемам управления-2022 [A. Belyaev, Heating, ventilation, and air conditioning systems control using deep reinforcement learning] РИНЦ
29. Бурова И.Г., Демьянович Ю. К. Машинное обучение и сжатие цифровых потоков // Материалы 15-й мультikonференции по проблемам управления-2022 [I. G. Burova, Yu. K. Dem'yanovich, Machine Learning and Digital Stream Compression] РИНЦ
30. Благов М.В., Коробейников В.Д., Кузнецов Н.В. Генеративно-сопязательные сети в управлении нагрузочным тестированием программных комплексов // Материалы 15-й мультikonференции по проблемам управления-2022 [M.V. Blagov, V.D. Korobeinikov, N.V. Kuznetsov, Generative Adversarial Networks in managing load testing of software systems] РИНЦ
31. Кудряшова Е.В., Райтманн Ф. Использование интегральных уравнений Вольтерра при моделировании нейронных сетей // Материалы 15-й мультikonференции по проблемам управления-2022 РИНЦ
32. Мокаев Т.Н., Райтманн Ф. Условия устойчивости в терминах символов операторов для псевдодифференциальных уравнений на сетях // Материалы 15-й мультikonференции по проблемам управления-2022 [Т.Н. Мокаев, V. Reitmann, Operator symbol conditions for stability of pseudo-differential equations on networks] РИНЦ
33. Наумова Н.И., Мокаев Р.Н., Кузнецов Н.В.. О расстоянии Брегмана в задачах оптимизации и машинном обучении //Материалы 15-й мультikonференции по проблемам управления-2022 [N.I. Naumova, R.N. Moкаev, On the Bregman divergence in optimization problems and machine learning] РИНЦ
34. Благов М.В., Кузнецов Н.В., Лобачев М.Ю., Шахтарин Б.И., Юлдашев М.В., Юлдашев Р.В. Нелинейный анализ и синтез системы фазовой автоподстройки

частоты: гипотеза Капранова и скрытые колебания // Материалы 15-й мультikonференции по проблемам управления, 2022. РИНЦ

2021 (10, в т.ч. 8 Scopus, 2 Q1-Q2)

Scopus

1. Kudryashova Elena V., Reitmann Volker. Contraction analysis of Volterra integral equations via realization theory and frequency-domain methods, *Journal of Computational Dynamics*. 2021. – Vol. 10. – P. 248-267. (<https://doi.org/10.3934/jcd.2022020>) Scopus Q2
2. Alexeeva T.A., Kuznetsov N.V., Mokaev T.N. Study of irregular dynamics in an economic model: attractor localization and Lyapunov exponents // *Chaos, Solitons and Fractals*. – 152. – 2021. – 111365 (<https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.111365>) Scopus Q1
3. Burova I.G., Doronina A.G., Zhilin D.E. Splines of the Fourth Order Approximation and the Volterra Integral Equations // *WSEAS TRANSACTIONS on MATHEMATICS*. – Volume 20. – 2021. – P. 475-488. (<https://doi.org/10.37394/23206.2021.20.50>) Scopus
4. Burova I.G., Dem'yanovich Yu.K., Terekhov A.N., Altynova A.Yu., Satanovskiy A.D., Babushkin A.A. Image Compression and Enlargement Algorithms // *International journal of circuits, systems and signal processing*. – Volume 15. – 2021 (<https://doi.org/10.46300/9106.2021.15.92>) Scopus
5. Reitmann S., Kudryashova E. V., Jung B., Reitmann V. Observation stability and convergence for neural-type evolutionary variational inequalities // *Differential Equations and Control Processes*. – N. 2. – 2021. – P. 126-155 (<https://diffjournal.spbu.ru/pdf/21208-jdecp-reitmann.pdf>) Scopus
6. Reitmann S., Kudryashova E.V., Jung B., Reitmann V. Classification of Point Clouds with Neural Networks and Continuum-Type Memories. // In: Maglogiannis I., Macintyre J., Iliadis L. (eds) *Artificial Intelligence Applications and Innovations. AIAI 2021. IFIP Advances in Information and Communication Technology*. – Volume 627. – 2021. – Springer. Cham. (https://doi.org/10.1007/978-3-030-79150-6_40) Scopus
7. Андриевский Б. Р., Кузнецов Н. В., Кудряшова Е. В., Кузнецова О. А. Крутильно-изгибный флаттер крыла: математические модели, исследование и предотвращение. Обзор // *Дифференциальные уравнения и процессы*

управления. – 4. – 2021. – С. 116-191. (<https://diffjournal.spbu.ru/pdf/21406-jdecp-andrievsky.pdf>) Scopus

8. Alexeeva T.A., Kuznetsov N.V., Mokaev T.N., Polshchikova I.A. Macroeconomic Model with Monetary and Fiscal Policy and Externality: Nonlinear dynamics, Optimization and Control // IFAC Papers-OnLine (IFAC CHAOS). – Volume 54. – Issue 17. – 2021. – P. 26-31 (<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.11.021>) Scopus

РИНЦ

9. Алцыбеев Г.О., Бурова И.Г., ГАЗОТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ И СПЛАЙНОВЫЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ // Процессы управления и устойчивость. – 2021. – Т. 8. – № 1. – С. 101-107. РИНЦ
10. Лебедева А.В., Рябов В.М. О регуляризации решения интегральных уравнений первого рода с помощью квадратурных формул // Вестник СПбГУ, серия 1. – 2021. – Т.8 (66). – Вып. 4. – С. 593-599. (<https://doi.org/10.21638/spbu01.2021.404>) РИНЦ

Пленарные доклады и приглашенные лекции

- Kuznetsov N., The Theory of Hidden Oscillations and Stability of Dynamical Systems, Workshop on Applied Mathematics, 2021 (VSB Technical University of Ostrava)
- Кузнецов Н.В., Пленарный доклад “Теория скрытых колебаний и глобальная устойчивость систем управления”, Осенние математические чтения в Адыгее, 2021 (<https://www.youtube.com/watch?v=-u5vZ8xUC-w>)
- Kuznetsov N.V., Plenary lecture “The theory of hidden oscillations and stability of dynamical systems”, 2nd Online Conference on Nonlinear Dynamics and Complexity, 2021 (<https://www.youtube.com/watch?v=WbfXz4iBN0I>)
- Кузнецов Н.В., Пленарный доклад “Развитие математических методов анализа и синтеза систем фазовой автоподстройки: 2018-2021”, 14-я Мультиконференция по проблемам управления, 2019, Дивноморское [https://www.youtube.com/watch?v=EU0a_n8KzBU]
- Kuznetsov N.V., Plenary lecture “Stability and hidden attractors in the simulation and theoretical study of dynamical models”, The 2nd International Conference on Cyber-Physical Systems and Control (CPS&C 2021), 2021 [http://cpsc.spbstu.ru/files/CPSC_2021_PROGRAMME_2906.pdf]
- Kuznetsov N.V., Plenary lecture “Global stability boundary, hidden oscillations, and non-equilibrium dynamics in models with cylindrical phase space: PLL and Sommerfeld effect”,

Dynamics in Siberia, 2021 [<http://www.math.nsc.ru/conference/ds/2021/PROGRAM.pdf>]
(<http://math.nsc.ru/conference/ds/2021/talks/Kuznetsov.pdf>)

- Kuznetsov N.V., G.A. Leonov and his scientific school: from the stability of motion to the analysis of hidden oscillations, International scientific conference mechanics «The Ninth Polyakhov's Reading», 2021

[https://events.spbu.ru/eventsContent/events/2021/polyakhov/final_Пленарные.pdf]

РИД

- Патент №RU2775856C2 на изобретение “Способ фазовой компенсации в механизмах управления транспортными средствами и устройство для его реализации”, 2022 [Зайцева Ю.С., Андриевский Б.Р., Кузнецов Н.В.] (Заявка №2020137703, дата регистрации: 11.07.2022). Правообладатель СПбГУ. (<https://patenton.ru/patent/RU2775856C2>)
- Патент № 202917 «Устройство для нелинейной коррекции в электромеханических системах», 2021 [Зайцева, Ю. С., Андриевский, Б. Р. & Кузнецов, Н. В.]
- Патент № 2021668573 «Программа для решения уравнения Вольтерра сплайнами четвертого порядка аппроксимации (VOLTS4)», 2021 [Бурова, И. Г., Жилин, Д. Е., Доронина, А. Г. & Демьянович, Ю. К.]

За первые два этапа реализации проекта (2021-2022гг.) опубликовано 44 публикации (в т.ч. 30 Scopus, 3 Q1 или Q2) и оформлено 3 РИД. За 2023 год опубликовано или находится в печати 18 научных публикаций (в т.ч. 13 Scopus, 2 Q1) и оформлено или подано на оформление 4 РИД (при этом, с учетом показателей за первые два года исполнения проекта и согласно требованиям в конкурсной документации к публикационной активности на весь срок исполнения проекта и поданной заявке план на 2023 год составлял 0 статей).

Итого, в рамках проекта было подготовлено 62 публикации (в т.ч. 43 Scopus, 5 Q1-Q2). При этом, всего на время реализации проекта (2021-2023гг.) было запланировано 9 публикаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все поставленные в заключительном этапе проекта и на весь срок реализации проекта задачи полностью выполнены, целевые индикаторы этапа проекта полностью выполнены и перевыполнены (с учетом принятых к печати статей достигнуты значения целевых индикаторов проекта в целом уже в конце второго этапа). Полученные результаты соответствуют мировому уровню, прошли апробацию на конференциях и опубликованы в престижных изданиях. Полученные результаты могут применяться для решения практических задач анализа и синтеза динамики.

По результатам работы в 2023 году опубликовано и находится в печати 18 научных публикаций (в т.ч. 13 Scopus, 2 Q1) и оформлено 3 РИД.

За первые два этапа реализации проекта (2021-2022гг.) опубликовано 44 публикации (в т.ч. 30 Scopus, 3 Q1 или Q2).

Итого, в рамках проекта, подготовлено 62 публикации (в т.ч. 43 Scopus, 5 Q1-Q2).

При этом, всего за время реализации проекта (2021-2023гг.) было запланировано 9 публикаций.

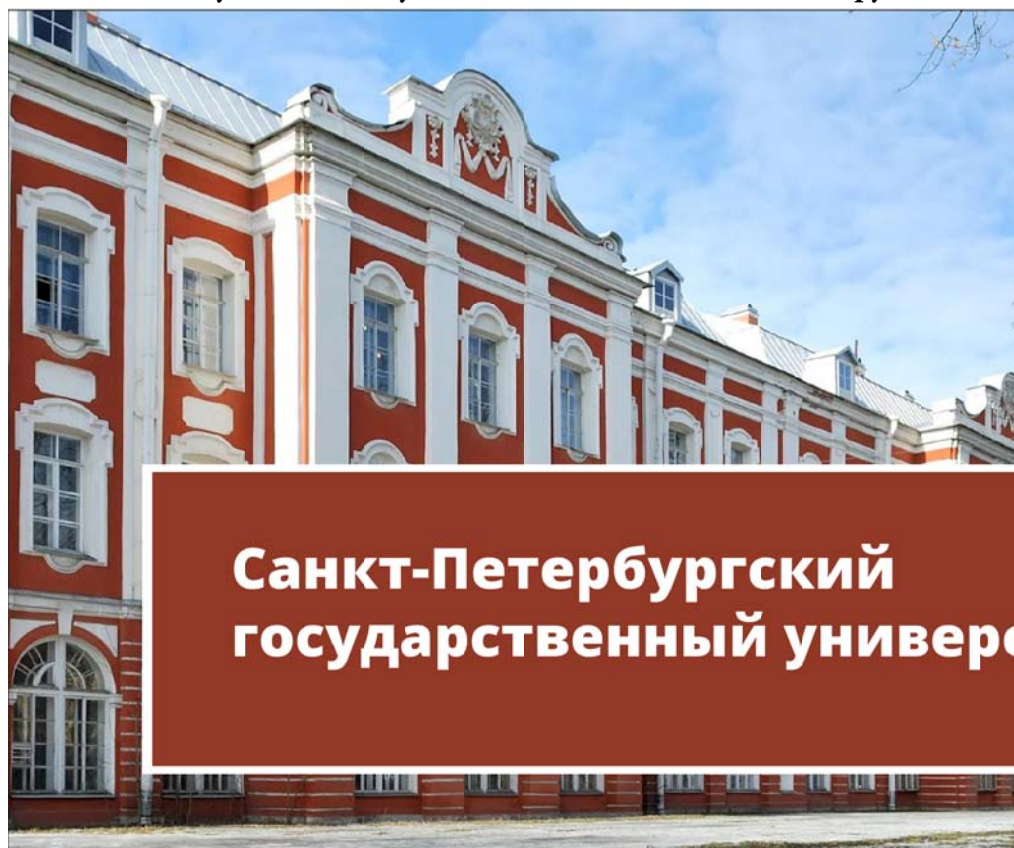
В связи с актуальностью тематики и полученными результатами, коллективом подана заявка на продолжение проекта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Канторович Л. В. Математика в экономике: достижения, трудности, перспективы, Лекция в Шведской Академии наук в связи с присуждением Нобелевской премии за 1975 год.
2. Канторович Л. В. [Экономический расчет наилучшего использования ресурсов](#). М.: Изд-во Академии наук СССР, 1959, 344 с.
3. Бухвалов А. В. Л. В. Канторович и экономико-математическое моделирование: синтез реальности, математики и экономики. Российский журнал менеджмента, 10(3), 2012, 3-30.
4. Леонид Витальевич Канторович: математика, менеджмент, информатика / Под. ред. Г. А. Леонова, В. С. Катъкало, А. В. Бухвалова. СПб.: Изд-во «Высшая школа менеджмента», 2009. - 575 с.
5. Канторович Л. В. О проведении численных и аналитических вычислений на машинах с программным управлением, Изв. АН Арм. ССР, 10(2), 1957, 3-16.
6. Zelinka I. Evolutionary identification of hidden chaotic attractors // Engineering Applications of Artificial Intelligence. - 2016. -50. - P.159-167.
7. Leonov G., Kuznetsov N. Hidden attractors in dynamical systems. From hidden oscillations in Hilbert-Kolmogorov, Aizerman, and Kalman problems to hidden chaotic attractor in Chua circuits // International Journal of Bifurcation and Chaos. - 2013. – Vol. 23(1). - art. no. 1330002. (<http://dx.doi.org/10.1142/S0218127413300024>).
8. Dudkowski D., Jafari S., Kapitaniak T., Kuznetsov N. V., Leonov G. A., Prasad A., Hidden attractors in dynamical systems // Physics Reports.- 2016.- 637. - P.1-50. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.physrep.2016.05.002>).
9. Dem'yanovich. Yu.K., Romanovskii L. M. Spline-Wavelet Coarsening of Courant-Type Approximations // J. of Math. Sci.- 2014.-Vol.199, Issue 4. - P. 414-431.
10. Dem'yanovich Yu.K., Gerasimov I.V. Local Coarsening of Simplicial Subdivisions //J. of Math. Sci.- 2016. - Vol.216, No.2. - P.219-236.
11. Lu Z., Pathak J., Hunt B., Girvan M., Brockett R., Ott E. Reservoir observers: Model-free inference of unmeasured variables in chaotic systems // Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science.- 2017.- 27(4).- 041102.
12. Pathak J., Hunt B., Girvan M., Lu Z., Ott E. Model-free prediction of large spatiotemporally chaotic systems from data: A reservoir computing approach // Physical Review Letters.-2018.-120(2).- 024102.
13. Pathak J., Lu Z., Hunt B., Girvan M., Ott E. Using machine learning to replicate chaotic attractors and calculate Lyapunov exponents from data // Chaos: An Interdisciplinary

- Journal of Nonlinear Science. -2017.- 27(12). -121102.
14. Lu Z., Hunt B., Ott E. Attractor reconstruction by machine learning // *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. - 2018.- 28(6). - 061104.
 15. Kuznetsov N.V., Reitmann V. *Attractor Dimension Estimates for Dynamical Systems: Theory and Computation (Dedicated to Gennady Leonov)*. – Springer, 2021.
[<https://www.springer.com/gp/book/9783030509866>]
 16. Kuznetsov N., Leonov G., Mokaev T., Prasad A., Shrimali M. Finite-time Lyapunov dimension and hidden attractor of the Rabinovich system // *Nonlinear Dynamics*. – 2018. - 92(2). - 267-285. [DOI 10:1007/s11071-018-4054-z]
 17. Matveev A.S., Pogromskii A.Y. Observation of nonlinear systems via finite capacity channels, PartII: Restoration entropy and its estimates // *Automatica*. - 2019.- Vol. 103. - P. 189-199.
 18. Kuznetsov N.V., Mokaev T.N., Kuznetsova O.A., Kudryashova E.V. The Lorenz system: hidden boundary of practical stability and the Lyapunov dimension, has been accepted for publication in *Nonlinear Dynamics // Nonlinear dynamics (Special Issue of Nonlinear Dynamics “Chaos theory and applications: A retrospective on lessons learned and missed”)*. – 2020. [10.1007/s11071-020-05856-4].
 19. Yuan Q., Yang F.-Y., Wang L. A note on hidden transient chaos in the Lorenz system // *International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation*. - 2017.- Vol. 18(5). – P. 427-434.
 20. Munmuangsaen B., Srisuchinwong B. A hidden chaotic attractor in the classical Lorenz system // *Chaos, Solitons & Fractals*. – 2018. - Vol. 107. – P. 61 – 66.
 21. Sprott J., Munmuangsaen B. Comment on “A hidden chaotic attractor in the classical Lorenz system” // *Chaos, Solitons & Fractals*. - 2018. – 113. – P. 261–262.
 22. Yuksel S. and Basar T. *Stochastic Networked Control Systems: Stabilization and Optimization under Information Constraints*. - Birkhauser, Boston, 2013.
 23. Matveev A.S. and Pogromskii A.Y. Observation of nonlinear systems via finite capacity channels, PartII: Restoration entropy and its estimates // *Automatica*/ - 2019. - Vol. 103. - P. 189-199.
 24. Matveev A.S. and Pogromsky A. Observation of nonlinear systems via finite capacity channels: Constructive data rate limits // *Automatica*. – 2016. – Vol. 70. – P. 217-229.
 25. Kawan C., Yüksel S. Metric and topological entropy bounds for optimal coding of stochastic dynamical systems // *IEEE Trans. Autom. Control*. - 2019.
 26. Hafstein S., Kawan C. Numerical computation of the data-rate limit for state estimation under communication constraints // *J. Math. Anal. Appl.* – 2019. - Vol. 473, No. 2.

Презентация программы сквозной подготовки высококвалифицированных специалистов в области машинного обучения и искусственного интеллекта на базе фундаментальной математики.



Санкт-Петербургский
государственный университет

Санкт-Петербургский государственный университет



Санкт - Петербургский Государственный Университет

**МАТЕМАТИКО - МЕХАНИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ**



Сквозная система подготовки высококвалифицированных специалистов в области машинного обучения и искусственного интеллекта на базе фундаментальной математики

**(кафедра прикладной кибернетики и отделение прикладной математики
математико-механического факультета СПбГУ)**

Н.В. Кузнецов, И.Г. Бурова, Е.Д. Акимова, Т.А. Алексеева, М.В. Благов, Е.В. Кудряшова,
С.В. Кузнецов, М.Ю. Лобачев, Р.Н. Мокаев, Т.Н. Мокаев, М.В. Юлдашев, Р.В. Юлдашев

Учебный год 2023/2024:

Год наставника и педагога в России / 300-летие Санкт-Петербургского государственного университета

Бакалавриат СПбГУ по искусственному интеллекту ТОП-1 в Санкт-Петербурге



"По итогам приемной кампании 2023 года Санкт-Петербургский университет принял 2333 абитуриента на бюджетные места и 2284 абитуриента на места с оплатой стоимости обучения. Прием осуществлялся на 113 программ бакалавриата и специалитета, среди которых **наибольшее количество заявлений было подано на образовательную программу "Прикладная математика, программирование и искусственный интеллект"** — рассказал первый проректор по молодежной политике и организации приема СПбГУ Александр Бабич (25.08.2023).

Две реализуемых на Матмехе СПбГУ программы бакалавриата попали в ТОП-3 СПбГУ, ПМППИИ — ТОП-1 направления Прикладная математика и информатика в Санкт-Петербурге

<https://spbu.ru/news-events/novosti/bole-106-000-zayavleniy-podano-v-spbgu-na-programmy-bakalavriata-i>

https://vk.com/apcyb?z=photo-220669694_457239028

3

Этапы пути: математика и ИТ на Матмехе СПбГУ

ПОМИ группа (математика): В 90-х годах декан Матмеха СПбГУ Г.А. Леонов вместе с директором ПОМИ РАН Л.Д. Фаддеевым и вице-президентом Матобщества СПб А.М. Вершиком стал инициатором создания на Матмехе специальной программы по фундаментальной математике, которая показала свою безусловную эффективность. ПОМИ-группа формировалась по результатам экзаменов 1-го семестра, был возможен переход из ПОМИ-группы в обычную (свободно) и из обычной группы в ПОМИ-группу (при условии успешной сдачи предыдущей сессии по усиленной программе). Впоследствии программа стала основой для создания отдельного факультета в СПбГУ.

ИТ-кластер: В 1996 году Г.А. Леонов стал инициатором создания кафедры системного программирования (вместе с А.Н. Тереховым), совместных лабораторий Intel, Motorola, Samsung, HP и др. В 2013 году Матмех стал основой для **Центра мирового уровня в области информационных технологий на базе СПбГУ по результатам конкурсного отбора Министерства связи и массовых коммуникаций РФ**. В 2016 году Г.А. Леонов назначен председателем Федеральной учебно-методической комиссии по УГСН "Математика и компьютерные науки", "Фундаментальная информатика и информационные технологии" и "Математическое обеспечение и администрирование информационных систем". В 2018 году Ученым советом СПбГУ в составе авторского коллектива Г.А. Леонов был выдвинут на соискание Премии Правительства РФ в области образования за создание в СПбГУ ИТ-кластера.

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1864/1/012066/pdf>

<http://ipo.spb.ru/journal/index.php?article/1908>

4

Этапы пути: победы команд Матмеха СПбГУ на ICPC



Команды студентов Матмеха СПбГУ неоднократно становились победителями чемпионатов мира по программированию среди университетских команд (ACM ICPC).



Чемпионство 2000 г., 2001 г., 2014 г., 2016 г.

Золото 2009 г., 2011 г., 2017 г.

Серебро 2006 г., 2013 г.

Бронза 2008 г., 2010 г.

Этапы пути: Ведущие научные школы Матмеха СПбГУ

В 1996 году в РФ была объявлена программа Президента РФ для поддержки **Ведущих научных школ РФ**: *завоевавших известность высоким уровнем исследований в признанном и достаточно широком научном направлении, устойчивостью традиций, преемственностью поколений в ходе подготовки научных кадров высокой квалификации.*

Зарубежный аналог: программы Centres of Excellence.

Первые гранты Президента РФ присуждались на срок до 3 лет в 1997, 2000 и 2003 годах и на срок 2 года с 2006 года.

Научные коллективы Матмеха СПбГУ получали статус Ведущей научной школы РФ более 50 раз.



Этапы пути: создание кафедры прикладной кибернетики СПбГУ

В 2007 году по инициативе чл.-кор. РАН Г.А. Леонова и доц. Н.В. Кузнецова в СПбГУ была организована кафедра прикладной кибернетики

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ПРИКАЗ

Л.А. Вербицкая
С.Петербург

По личному составу.

ПРИКАЗЫВАЮ:

Во исполнение Постановления Ученого совета СПбГУ от 01.11.2006 г.

Создать на математико-механическом факультете кафедру прикладной кибернетики путем выделения из кафедры теоретической кибернетики.

Основание: выписка из протокола № 11 от 25.12.2006 г. заседания Ученого совета Санкт-Петербургского государственного университета.

Ректор *Л.А. Вербицкая* Л.А. Вербицкая



В 2007 году открыта совместная образовательная программа кафедры прикладной кибернетики Матмеха СПбГУ и Факультета информационных технологий University of Jyväskylä (Finland), со-руководитель Prof. Pekka Neittaanmäki (почетный профессор СПбГУ с 2010 года).

<http://apcyb.spbu.ru/>

7

Этапы пути: подготовка сотрудников кафедры прикладной кибернетики СПбГУ



Сотрудники и выпускники кафедры проходили обучение в совместной программе СПбГУ и JyU и, кроме ученых степеней ВАК РФ, получили степень Doctor of Philosophy (University of Jyväskylä)



<https://www.youtube.com/watch?v=LiE0Czv7iw> Defence of PhD dissertation by Mikhail Blagov [University of Jyväskylä, 15.12.2021]

8

Этапы пути: подготовка сотрудников кафедры прикладной кибернетики СПбГУ

В 2013 году Г.А. Леонову и Н.В. Кузнецову выпала честь провести в СПбГУ по поручению ректора Н.М. Кропачева первые три защиты диссертаций их учеников на **ученую степень Ph.D. СПбГУ, впервые в современной истории России самостоятельно присуждаемую Университетом.**

При организации и проведении защит был использован опыт совместной образовательной программы кафедры прикладной кибернетики Матмеха СПбГУ и Факультета информационных технологий University of Jyväskylä (Finland), со-руководителем диссертаций выступил почетный проф. СПбГУ Pekka Neittaanmäki.



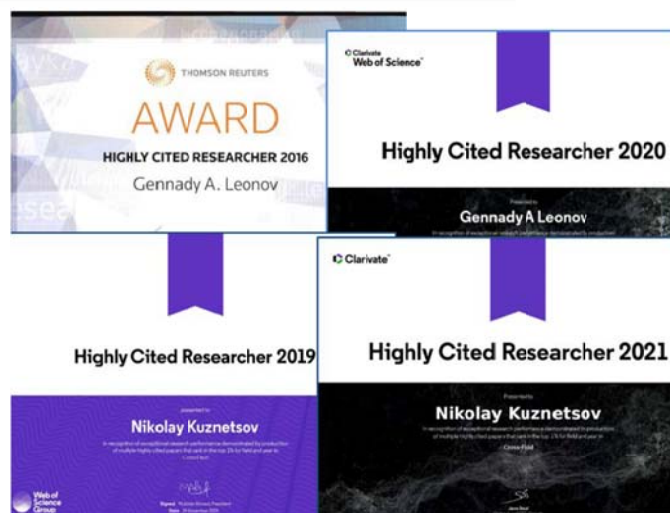
Новости СПбГУ. 19.06.2013: <https://spbu.ru/news-events/novosti/v-spbgu-nachali-novuyu-glavu-v-istorii-rossiyskogo-obrazovaniya>
Первая защита диссертации на ученую степень PhD СПбГУ (Р.В. Юлдашев, 19.06.2013): https://www.youtube.com/watch?v=3Q1R15oa_Dk

9

Этапы пути: Highly Cited Researchers и ТОП-50 ARWU

Руководители Ведущей научной школы РФ на кафедре прикладной кибернетики Г.А. Леонов и Н.В. Кузнецов неоднократно включались в мировые рейтинги высокоцитируемых ученых Highly Cited Researchers (около 0,1% самых цитируемых в Web of Science ученых мира). Это стало существенным вкладом в укрепление позиций СПбГУ в Шанхайском рейтинге университетов (ARWU), где статус высокоцитируемого ученого имеет одинаковый вес с получением Нобелевской премии и Филдсовской медали.

При этом в Шанхайском предметном рейтинге по одному из ключевых направлений кафедры — **Automation & Control — СПбГУ стал лучшим университетом РФ и вошел в топ-100 вузов мира: занял в 2018 году 32 место**, что стало уникальным достижением для российских ВУЗов по всем областям знаний за все годы существования рейтинга до настоящего времени.



<https://www.shanghairanking.com/methodology/arwu/2023>

10

Этапы пути: Ведущая научная школа РФ кафедры прикладной кибернетики СПбГУ

В 2018 году под руководством Н.В. Кузнецова коллектив на базе кафедры прикладной кибернетики СПбГУ получил и сохраняет по настоящее время статус **Ведущей научной школы РФ в области математики и механики** по приоритетному направлению научно-технологического развития "переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта".

Ведущая научная школа РФ

на кафедре прикладной кибернетики получила этот статус среди 5 отобранных школ в 2018 г., 2 - в 2020 г. и 3 - в 2022 г.



11

Этапы пути: Премия Правительства СПб и СПбНЦ РАН имени Г.А. Леонова в области кибернетики и искусственного интеллекта

В 2021 году учреждена городская премия в области кибернетики и искусственного интеллекта имени многолетнего декана Матмеха СПбГУ и основателя кафедры прикладной кибернетики Геннадия Алексеевича Леонова

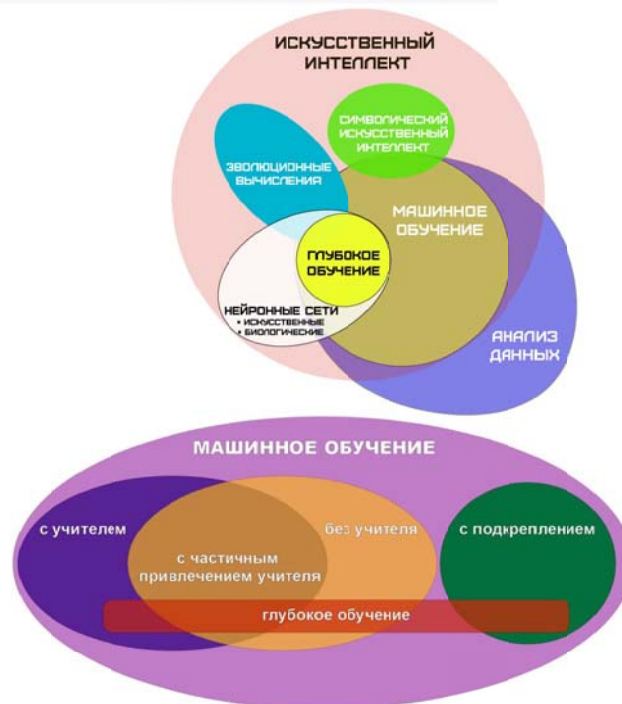


<https://spbr.ru/awards/awards-spbr/leonov>

12

Федеральный проект Искусственный интеллект в РФ

- Указ Президента РФ № 490 "О развитии искусственного интеллекта в РФ" от 10.10.2019.
- Федеральный проект "Искусственный интеллект" национального проекта "Цифровая экономика", 2020 г.
- Приказ Минобрнауки №118 "О номенклатуре научных специальностей" от 24.02.2021.
- Программа развития ФГБОУ ВПО СПбГУ на 2021-2030 гг.



13

Федеральные государственные образовательные стандарты среднего общего образования (СОО) РФ

- ФГОС среднего общего образования (10-11кл.), 2012г.: *элементарная теория вероятностей, нет искусственного интеллекта (ИИ)*. ⇒ Примерная основная образовательная программа СОО, 2016г. (есть ИИ): **Математика (базовый, углубленный)**: Программы содержат сравнительно новый для российской школы раздел "Вероятность и статистика". К этому разделу также относятся сведения из логики, комбинаторики и теории графов, значительно варьирующиеся от типа программы. **Информатика (базовый)**: обработка больших данных; машинное обучение (решение задач распознавания, классификации и предсказания); ИИ. **Информатика (углубленный)**: анализ данных с применением методов машинного обучения; экспертные и рекомендательные системы; большие данные в природе и технике, технологии их обработки и хранения.
- ↓
- ФГОС среднего общего образования (10-11кл.), 2022г.: курс "Вероятность и статистика", *есть искусственный интеллект (ИИ)*. ⇒ Примерные рабочие программы СОО, 2022г. (есть понятие ИИ уже на базовом уровне в основной школе 5-6 кл.): **Математика (базовый, углубленный)**: учебный курс "Вероятность и статистика": случайные события и вероятности; случайные величины и закон больших чисел; **Информатика (базовый)**: обработка больших данных; основные задачи анализа данных: прогнозирование, классификация, кластеризация, анализ отклонений; средства ИИ; самообучающиеся системы; использование методов ИИ в обучающих системах и в робототехнике. **Информатика (углубленный)**: разработка программ для решения простых задач анализа данных (очистка данных, классификация, анализ отклонений); большие данные; машинное обучение; нейронные сети.

14

Разработка цикла программ в области МО и ИИ на отделении прикладной математики Матмеха СПбГУ

В 2020 году были подготовлены заявки и выиграны под руководством Н.В. Кузнецова:

- грант СПбГУ Мероприятие 3 PureID 75207094 (2021-2023),
- международный грант "Toward Double Doctor Degree between leading research schools of Finland and Russia" Team Finland Knowledge programme №163/83/2021 (2021-2022),
- грант Ведущих научных школ РФ Совета по грантам при Президенте РФ (2020-2021),

в рамках которых проводились исследования в области прикладной математики и искусственного интеллекта, и был разработан цикл рабочих программ учебных дисциплин в области машинного обучения и искусственного интеллекта на базе фундаментальной математики.



№
14.10.2021

Рецензия на цикл рабочих программ учебных дисциплин для обучения студентов в области машинного обучения и искусственного интеллекта в бакалавриате "Прикладная математика, программирование и искусственный интеллект" и магистратуре "Математическое моделирование, программирование и искусственный интеллект" на отделении прикладной математики Математико-механического факультета СПбГУ

Группа компаний TaskData (один из лидеров в области обработки и анализа данных в РФ) ознакомилась с представленным циклом рабочих программ учебных дисциплин. Данный цикл был разработан коллективом Кафедры прикладной кибернетики Математико-механического факультета СПбГУ под руководством члена-корреспондента РАН проф. Н.В. Кузнецова совместно с ведущими российскими и зарубежными специалистами и представителями ИТ-индустрии для обучения студентов в области машинного обучения и искусственного интеллекта в рамках реализуемых на Отделении прикладной математики Математико-механического факультета СПбГУ образовательных программ "Прикладная математика, программирование и искусственный интеллект" (бакалавриат) и "Математическое моделирование, программирование и искусственный интеллект" (магистратура).

Представленный цикл программ учебных дисциплин является первым разработанным в Санкт-Петербургском государственном университете комплексным циклом программ для сквозного обучения студентов в области машинного обучения и искусственного интеллекта на базе фундаментальной математики на всех курсах бакалавриата и магистратуры. Как выпускник и аспирант профильной Кафедры исследования операций Матмеха СПбГУ (научный руководитель проф. И.В. Романовский) хочу особенно отметить существенное обновление в бакалавриате сквозной связи общих математических дисциплин по дискретному анализу и экстремальным задачам с задачами машинного обучения и искусственного интеллекта. Представленная программа бакалавриата впервые в России использует планируемые изменения нового ФГОС среднего общего образования (ожидаемая дата утверждения - 2022 год) для организации обучения студентов в области машинного обучения в рамках базового математического курса по дискретной математике 1 курса бакалавриата (дисциплина "Дискретный анализ и введение в машинное обучение").

В целом представленный цикл дисциплин последовательно связывает в образовательных программах получаемое студентами уникальное фундаментальное математическое образование с современными технологиями, применяемыми ведущими российскими и зарубежными разработчиками ИТ-решений в области машинного обучения и искусственного интеллекта.

15

Бакалавриат ПМПиИИ: 1-й в СПбГУ в области ИИ

Бакалавриат "Прикладная математика, программирование и искусственный интеллект" заменил бакалавриат "Прикладная математика и информатика": **1-я открытая в СПбГУ программа бакалавриата в области искусственного интеллекта** (занятия по МО и ИИ на всех курсах), прием открыт в 2022 году.

СЛУЖЕБНАЯ ЗАПИСКА

14.10.2021 № 44/2021-2022
на № _____ от _____

Об изменении перечня программ для приема в 2022 году

Первому проректору по учебной работе
М.Ю. Лавриковой

И.о. проректора по учебно-методической работе
Э.А. Зелетдиновой

Проректору по воспитательной работе и организации приема
А.В.Бабичу

Глубокоуважаемые коллеги!

Предлагаю для приема в 2022 году внести изменения в перечень основных образовательных программ (ООП) по направлению 01.03.02 «Прикладная математика и информатика» (бакалавриат): вместо ООП СВ.5004 «Прикладная математика и информатика» открыть новую ООП «Прикладная математика, программирование и искусственный интеллект».

Указанная программа будет представлять модернизацию имеющейся на основе предложений профессора Н.В. Кузнецова.

Комплект учебно-методической документации будет представлен в УМК 01, заседание которой запланировано на 29.10.2021г.

Декан
математико-механического
факультета

А.И.Разов

16



Бакалавриат ПМПиИИ: связь со школьной программой

Новый ФГОС позволил реализовать впервые в РФ в бакалавриате ПМПиИИ Матмеха СПбГУ обучение машинному обучению в рамках математического курса лекций в 1-м семестре: **Дискретный анализ и введение в машинное обучение, 1 курс**



Новый школьный ФГОС включил в себя: постановки задач машинного обучения и искусственного интеллекта, введение в теорию вероятностей и статистику, понятия графа и матрицы и работу с ними. Это позволило разгрузить классический курс "Дискретный анализ" и включить в него решение задач машинного обучения.

Бакалавриат ПМПиИИ: связь с общими курсами высшей математики

Введение в математические основы МО и ИИ, 6 семестр



Бакалавриат ПМПиИИ: продолжение обучения в магистратуре и аспирантуре

Магистерская программа "Математическое моделирование, программирование и искусственный интеллект" разработана на Матмехе СПбГУ в 2020 году.



Аспирантура (специальности): 1.2.1. "Искусственный интеллект и машинное обучение", 1.2.2. "Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ".

Сотрудничество с компаниями: актуализация программы и производственная практика

Компании:

- Юнидата,
- Taskdata,
- Вымпелком (Билайн),
- и другие



ООО «ЮниДата»
ИНН/КПП 7801285745 / 781301001
197198, г. Санкт-Петербург, ул. Красного Курсанта, 25, литер В, офис 613
+7 812 677-21-86 | info@unidata-platform.ru | www.unidata-platform.ru

Рецензия на цикл рабочих программ учебных дисциплин для обучения студентов в области машинного обучения и искусственного интеллекта в рамках реализуемых на Отделении прикладной математики Математико-механического факультета СПбГУ образовательных программ.

ДОГОВОР № 1
О ПРАКТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ, ЗАКЛЮЧАЕМЫЙ МЕЖДУ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИМ ГОСУДАРСТВЕННЫМ УНИВЕРСИТЕТОМ
И ПАО «ВЫМПЕЛКОМ»

г. Санкт-Петербург

"14" марта 2023 г.

Продвижение бакалавриата ПМПИИ: работа со школьниками

- Профориентационные ежегодные выступления с научно-популярными лекциями для школьников, участие в Днях открытых дверей и в реализации программ дополнительного образования (ПФМЛ№239, ГБОУ СОШ№53 и другие), Р.Н. Мокаев, Т.Н. Мокаев, Н.В. Кузнецов.
- Победа с командой школьников в хакатоне "Цифровой прорыв. Сезон: искусственный интеллект" АНО "Россия — страна возможностей", 2022, Р.Н. Мокаев.
- Участие в подготовке финалистов всероссийской междисциплинарной олимпиады школьников "Национальная технологическая олимпиада", 2022, Р.Н. Мокаев.



21

Продвижение бакалавриата ПМПИИ: образовательные стандарты и выступления

- Участие в работе Федеральных учебно-методических объединений УГСН 01.00.00 "Математика и механика", 02.00.00 "Компьютерные и информационные науки", И.Г. Бурова.
- Интервью на телевидении и в Интернете: ВГТРК Россия 1 "Дом ученых", 2022, <https://www.youtube.com/watch?v=NS0Cn8IA46U>; ЛенТВ 24 "Территория согласия", 2020, <https://www.youtube.com/watch?v=8f-whQa8FAU&t=137s>, Н.В. Кузнецов.
- Выступления на российских мероприятиях по образованию и науке: Профессорский форум "Наука и технологии в XXI веке: тренды и перспективы", "Подготовка высококвалифицированных специалистов в области кибернетики, IT-технологий и искусственного интеллекта на базе фундаментальной математики: опыт кафедры прикладной кибернетики СПбГУ", 2021, <http://apcyb.spbu.ru/wp-content/uploads/2021-ProfForum.pdf>, Н.В. Кузнецов.
- Выступления на мероприятиях российских IT-компаний: Юнидата open day "О совместной программе подготовки студентов", 2021, <https://www.youtube.com/watch?v=gUEhBu9L1JL>, Н.В. Кузнецов, М.В. Юлдашев.

22

Продвижение бакалавриата ПМПИИ: развитие кадрового потенциала

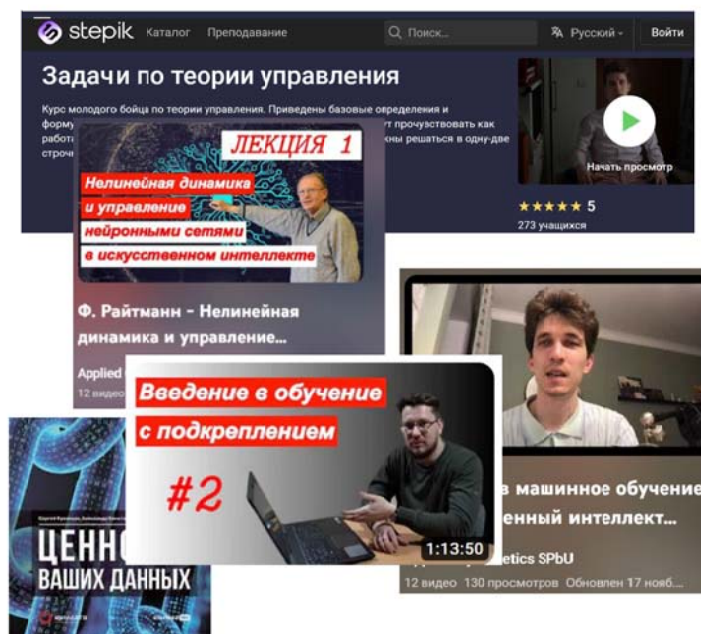
- Прохождение и получение сертификатов профильных онлайн курсов по ИТ и ИИ, повышение квалификации преподавателей в рамках образовательного курса НИУ ВШЭ "Базовые компетенции для реализации дисциплин в области искусственного интеллекта (Математика искусственного интеллекта)" 72 часа, 2019-2022 (А.Ю. Беляев, И.Г. Бурова, Е.В. Кудряшова, Р.Н. Мокаев, Т.Н. Мокаев и др.).
- Повышение квалификации по английскому языку (B2), 2019-2023 (Н.В. Кузнецов, Р.Н. Мокаев, Е.В. Кудряшова, О.А. Кузнецова, М.В.Благов, И.Г. Бурова и др.).
- Выступления на профильных российских технологических конференциях: "Эволюция схемы данных. Носим данные из реляционной СУБД в Nadoop", Конференция по инженерии данных SmartData (<https://smartdataconf.ru/talks/a70058c9e1f14073ba8303e5799f4e39>), 2023 (М.В.Благов и др.).



23

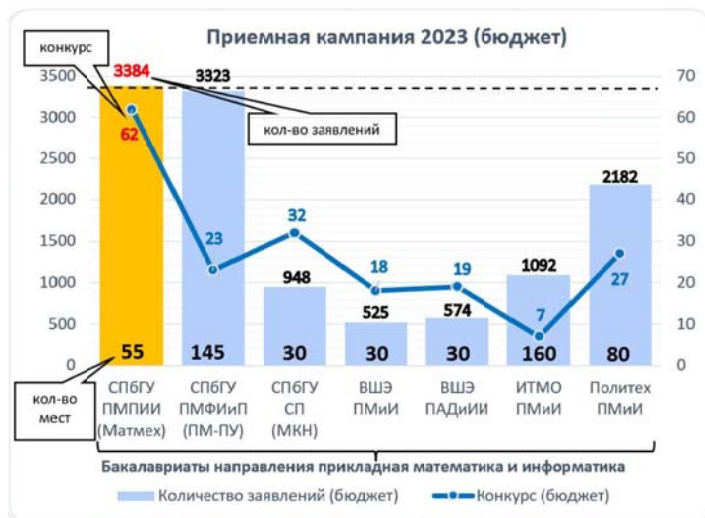
Продвижение бакалавриата ПМПИИ: методические пособия и видеолекции

- Подготовка для образовательной программы учебно-методических пособий "Основы информационных технологий" (Р.Н. Мокаев и др.), "Дискретный анализ и введение в машинное обучение" (Р.Н. Мокаев, Н.В. Кузнецов, Е.В. Кудряшова и др.), "Нелинейная динамика и управление нейронными сетями в искусственном интеллекте" (Ф. Райтманн, Н.В. Кузнецов, Т.Н. Мокаев, Е.В. Кудряшова) и др.
- Подготовка более 100 видеолекций и онлайн курсов на Stepik (Ф. Райтманн, А.Ю. Беляев, Т.Н. Мокаев, Р.В. Юлдашев, М.В. Юлдашев).
- Публикация монографий: С.В. Кузнецов и др. Ценность Ваших Данных (Альпина PRO), 2022; DAMA-DMBOK: Свод знаний по управлению данными (Олимп-Бизнес), 2020.



24

Итоги приемной кампании 2023 в Санкт-Петербурге



ТОП-1 направления Прикладная математика и информатика в Санкт-Петербурге бакалавриат ПМПИИ Матмеха СПбГУ (30.08.23)

Кафедра прикладной кибернетики (Матмех, СПбГУ) https://vk.com/apcyb?z=photo-220669694_457239028

Дальнейшее развитие бакалавриата ПМПИИИ

Укрепление кадрового потенциала программы и дальнейшее обновление материалов с учетом текущих тенденций (перехода на специалитет) совершенствования высшего образования в Указе Президента РФ от 12.05.2023 №343 "О некоторых вопросах совершенствования системы высшего образования", для решения которых необходима административная поддержка со стороны руководства СПбГУ.

Актуализация и совершенствование практических дисциплин цикла (связанных с глубоким обучением и передовыми технологиями в области машинного обучения и искусственного интеллекта) и профессиональное обучение студентов требуют привлечения действующих высокооплачиваемых специалистов ведущих компаний. В связи с этим для таких специалистов в СПбГУ предлагается выделение ставок и формирование привлекательных финансовых условий, разрешение ведения дистанционных занятий с использованием ИКТ, заключение взаимовыгодных партнерских соглашений с представляемыми ими компаниями, а также предоставление в СПбГУ соответствующей инфраструктуры и помещений (в том числе в центре города). Кроме того, необходима реализация комплексной программы закрепления в СПбГУ молодых специалистов (до 51 года), ведущих обучение студентов в области машинного обучения и искусственного интеллекта, в том числе заключение с ними долгосрочных 5-летних контрактов на привлекательных финансовых условиях для предотвращения их перехода на работу в бизнес компании и индустрию.

Публикации

- Кузнецов Н.В., Возможно, задачей будущего является замена ученых искусственным интеллектом?, 2021 (<https://spbu.ru/news-events/krupnym-planom/matematik-spbgu-nikolay-kuznecov-vozmozhno-zadachey-budushchego>).
- Abramovich S., Kuznetsov N., Razov A., G.A. Leonov: eminent scholar, admired teacher and unconventional administrator, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1864, 2021, 012066 (<https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1864/1/012066>).
- Леонов Г.А., Терехов А.Н., Новиков Б.А., Крук Е.А., Нестеров В.М., Создание на Математико-механическом факультете СПбГУ научно-образовательного ИТ-кластера на базе современной фундаментальной математики, Компьютерные инструменты в образовании, №2, 2017, 42-57 (<http://ipo.spb.ru/journal/index.php?article/1908>).
- Кузнецов Н.В., Геннадий Алексеевич Леонов и его научная школа. 13-я Мультиконференция по проблемам управления, 07.10.2020 (<https://www.youtube.com/watch?v=DFLfyIUKm0>).
- Кузнецов Н.В., Леонов Г.А., Оносовский В.В., Селеджи С.М., Филиппов Е.В., Инновационные подходы к подготовке современных высококвалифицированных специалистов в области ИТ, Материалы всероссийской научной конференции по проблемам информатики, 2013, СПИСОК-2013, 601-618.
- Леонов Г.А., О математическом образовании в России и Санкт-Петербурге. Прошлое, настоящее, будущее, Дифференциальные уравнения и процессы управления (Differential Equations and Control Processes), №2, 2012, 4-8 (<https://apcyb.spbu.ru/wp-content/uploads/2012-math-education.pdf>).

Благодарности

От всего коллектива научно-педагогических работников, принимавших участие в разработке образовательной программы бакалавриата "Прикладная математика, программирование и искусственный интеллект", и себя лично хочу выразить благодарность коллегам отделения прикладной математики Математико-механического факультета, членам Ученого совета, приемной комиссии, декану факультета, проректорам и ректору нашего Университета за поддержку и внимание к нашей работе, которые позволили достичь нам вместе этих успехов.

Посвящается

многoletнему декану Матмеха СПбГУ,
основателю кафедры прикладной кибернетики,
руководителю Ведущей научной школы РФ
Геннадию Алексеевичу Леонову (1947-2018)



<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1864/1/012066/pdf>

29

Контакты

Кузнецов Николай Владимирович

заведующий кафедрой прикладной кибернетики СПбГУ,
заведующий лабораторией информационно-управляющих систем ИПМаш РАН,
руководитель Ведущей научной школы РФ в области математики и механики,
Ph.D., доктор физ.-мат. наук, профессор, член-корреспондент РАН

n.v.kuznetsov@spbu.ru, nkuznetsov239@mail.ru
<https://vk.com/apcyb>

<https://apcyb.spbu.ru/wp-content/uploads/2023-AMPandAI-MatMech-SPBU.pdf>



30