

КРУГЛЫЙ СТОЛ
**«Сеть математических центров Российской
Федерации: цифровизация науки и
промышленности, технологии искусственного
интеллекта и научного приборостроения»**

**«МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР В АКАДЕМГОРОДКЕ
КАК МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И
ИНДУСТРИИ»**

**Насыбуллов Т. Р.,
заместитель директора МЦМУ «Математический центр
в Академгородке»**

Математический центр в Академгородке — это один из четырех научных центров мирового уровня в области математики, созданный в конце 2019 г. Параллельно с ним были созданы один центр в г. Санкт-Петербурге и два – в г. Москве. Мы тесно общаемся друг с другом, имеем множество общих научных проектов. В прошлом году в Сириусе впервые была организована и проведена конференция Математических центров³. На этом масштабном мероприятии были представлены как математические центры мирового уровня, так и региональные математические центры. В этом году такая конференция соберется уже во второй раз⁴. Она будет проходить в Москве на базе Московского государственного университета и Математического института им. В. А. Стеклова.

Каждый из математических центров мирового уровня имеет свою модель развития, свой способ поиска целей, работ и механизмов, свое самоопределение. Я расскажу вам о деятельности нашего Центра, о некоторых практиках, которые можно перенять для собственной работы, а также о некоторых наших мероприятиях, к которым можно присоединиться. В работе

³ Конференция международных Математических центров мирового уровня: <https://siriusmathcenter.ru/all-russian-conference>

⁴ II конференция Математических центров России: <https://mathcenter.ru/conf-mathcenters-2>

Центра выделим четыре крупных блока.

1. Фундаментальные исследования

Исследовательская деятельность Центра в рамках данного блока направлена на получение математических результатов фундаментального характера и встраивание этих результатов в общий контекст мировых математических исследований. Эта деятельность организована в виде трех программ: «Динамические модели физических явлений», «Алгебро-геометрические аспекты естественнонаучных задач», «Математические основы информационной безопасности».

2. Прикладные исследования

Важным направлением в работе Центра являются исследования, результаты которых востребованы конкретным индустриальным потребителем. Как правило, такие исследования мы делаем по запросу индустриальных партнеров с заключением контрактов на выполнение прикладных работ. В 2021 г. на таких исследованиях Математический центр в Академгородке заработал более 36 млн руб.

3. Образование

Результаты работы именно в этом направлении подпитывают высококвалифицированными кадрами как научные организации, так и промышленные предприятия. Различные образовательные проекты мы организуем как в Новосибирском государственном университете, так и в других вузах.

4. Мероприятия и конкурсы

Наконец, заключительным важным направлением в работе Центра является организация различных мероприятий и конкурсов, которые, как правило, направлены на развитие фундаментальных исследований, прикладных исследований и образования.

Деятельность по четырем смысловым блокам проходит согласованно: многие фундаментальные исследования черпают проблемы для изучения из индустрии, прикладные исследования активно используют методы,

разработанные в рамках фундаментальных исследований, образовательная деятельность традиционно для Новосибирского государственного университета основана на исследовательской деятельности, которая ведется в институтах СО РАН и Новосибирском государственном университете.

Далее от общих блоков деятельности Математического центра в Академгородке перейдем к более конкретным действиям, предпринятым нами в рамках работы Центра. Я хочу рассказать вам о двух уникальных практиках. Первая – это создание «Лаборатории прикладных цифровых технологий», по смыслу направленное на системное взаимодействие Центра с индустрией. Вторая – это организация и проведение научно-образовательного мероприятия «Большая математическая мастерская», направленного на быстрый вход молодых команд в исследовательские проекты с конкретными интересантами.

Лаборатория прикладных цифровых технологий

Лаборатория создана в МЦА в 2020 г. Основой будущего коллектива стали несколько сотрудников Института теплофизики СО РАН. Деятельность этой лаборатории с научной точки зрения сфокусирована на математическом моделировании различных физических процессов, численном решении дифференциальных уравнений, описывающих те или иные процессы, а также применении методов машинного обучения к различным прикладным задачам.

Первая отличительная черта «Лаборатории прикладных цифровых технологий» заключается в том, откуда сотрудники лаборатории черпают задачи для своих исследований. Вся работа лаборатории основана на внешних заказах, поступивших от индустриальных партнеров. Все исследования, которые ведутся в лаборатории, имеют конечного потребителя, заинтересованного во внедрении полученных результатов. Таким образом, с одной стороны, лаборатория сама себя обеспечивает за счет выполнения индустриальных заказов, с другой стороны, на основе материалов от индустриального заказчика сотрудники лаборатории получают новые научные результаты, готовят научные публикации, выступают на научных семинарах и конференциях.

1. Кадровый состав лаборатории

Вторая отличительная черта «Лаборатории прикладных цифровых технологий» состоит в том, кто работает в этой лаборатории. Как я уже сказал, в создании лаборатории принимали участие привлеченные сотрудники Института теплофизики СО РАН. Для создания лаборатории мы пригласили 5 молодых сотрудников лаборатории моделирования Института теплофизики, в т. ч. будущего заведующего лабораторией, молодого доктора физико-математических наук Мулляджанова Рустама Илхамовича. Именно эти 5 сотрудников формируют костяк лаборатории. Остальные сотрудники лаборатории (а это около 20 чел.) являются студентами и аспирантами Новосибирского государственного университета. Так, средний возраст сотрудников лаборатории на данный момент составляет 26 лет. Лаборатория работает над множеством проектов в индустрии. Команда каждого проекта формируется в основном из нескольких студентов и аспирантов и одного более опытного математика. Так, эти команды выполняют индустриальные заказы, а студенты и аспиранты на базе этих заказов пишут свои научные статьи, дипломные работы и диссертации.

Таким образом, организованная работа «Лаборатории прикладных цифровых технологий» привела к положительным результатам. Среди партнеров и заказчиков лаборатории можно отметить ГК «Росатом», Техкомпанию Хуавей, ТПК Сигмапро и т. д. Среди результатов лаборатории можно отметить, например, разработку нового алгоритма для приближения решений уравнений Навье – Стокса, основанного на методах машинного обучения для ГК «Росатом». Сейчас осуществляется внедрение этого результата в программный комплекс ЛОГОС, используемый промышленными предприятиями России из отрасли авто-, судо-, авиастроения (более 100 предприятий).

Большая математическая мастерская

Вторая практика, о которой я хочу сегодня рассказать, – это Большая математическая мастерская, которую в этом году мы провели уже в

3-й раз⁵. **Большая математическая мастерская** – это мероприятие, на котором команды студентов, школьников и педагогов вместе с кураторами работают над математическими проектами, т. е. мы как Матцентр ищем проекты (задачи с математической составляющей от научных организаций и промышленных предприятий), привлекаем к этим проектам заинтересованных участников (в основном студентов и аспирантов), подбираем к каждому проекту куратора (молодого исследователя, способного курировать работу команды студентов над проектом) и запускаем работу проектов в рамках двух интенсивных рабочих недель и более расслабленного периода между этими неделями.

В чем была идея первой Мастерской, которая прошла в 2020 г.? Мы просто предположили, что если взять конкретные задачи, собрать замотивированных, заинтересованных людей, которые хотят решать эти задачи, быстро предоставлять им доступ к экспертизе, информации и документам, позволяющим им восполнять недостающие компетенции, то они смогут сгенерировать решение, которое дальше можно уже применять. По результатам работы первой Мастерской в 2020 г. мы поняли, что такой формат работает, когда вы пытаетесь организовать мозговой штурм и решить конкретную задачу. По результатам первой Мастерской было разработано 17 различных программных прототипов, которые дальше стали применяться. Не менее 18 научных статей было подготовлено и доработано позднее.

На Мастерской 2021 г. мы слегка изменили концепцию, уйдя от решения конкретных поставленных задач к генерации идей в области совсем непонятных проблем, для которых есть только понимание того, что с ними нужно что-то делать. По результатам второй Мастерской были получены как чисто научные результаты, оформленные в виде научных публикаций, так и прикладные результаты, оформленные в виде программных продуктов и разработанных прототипов.

В этом году нам впервые удалось провести Большую математическую

⁵ URL: Большая математическая мастерская: <https://bmm2022.mca.nsu.ru/about>

мастерскую в очном формате, при этом она проходила одновременно на 3 площадках: в Новосибирском государственном университете, в Тюменском государственном университете и в Томском государственном университете (Региональный научно-образовательный математический центр). Более 150 участников из более чем 20 университетов одновременно работали над научными проектами в 3 городах, проводили встречи с экспертами, вели дискуссии о развитии проектов, оформляли результаты проектов в виде текстов, алгоритмов, программ. Очный формат проведения Мастерской углубил кооперацию между различными научными группами. Команды проектов, относящихся, на первый взгляд, к разным разделам математики, в рамках совместной работы находили новые пути решения проблем, используя знания друг друга. Итоги третьей Большой математической мастерской пока что подводить рано, однако мы уже видим, что многие из результатов будут завершены и представлены в виде публикаций в научные журналы, а работа части проектов будет продолжена дальше уже с заключением контрактов с заказчиками.

В следующем году мы снова будем проводить Большую математическую мастерскую, и сейчас я обращаюсь к руководителям других математических центров: мы приглашаем вас организовать площадку на базе собственного центра. Так мы сможем развивать взаимодействие между центрами, которое совершенно необходимо для работы как над фундаментальными, так и над прикладными задачами.

«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ЦЕНТР МАТЕМАТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ, СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ»

Нурминский Е. А.,

**д. ф.-м. н., профессор, директор Программы развития
Дальневосточного центра математических исследований**

Дальневосточный центр математических исследований (далее – ДЦМИ) создан в 2020 г. на базе 3 университетов: Дальневосточного федерального университета (ДВФУ, г. Владивосток), Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова (СВФУ, г. Якутск) и Тихоокеанского государственного университета (ТОГУ, г. Хабаровск), в каждом из которых было сформировано соответствующее структурное подразделение – отделение ДЦМИ. В целом можно сказать, что отделения прошли период первоначального становления, сформировались научные коллективы по определенным направлениям, оживились процессы проведения научных конференций, рабочих встреч, совместных семинаров. По собственной инициативе Центра финансово поддерживаются и выполняются фундаментальные научные разработки совместно с магистрантами и аспирантами, что повышает уровень научной работы молодых исследователей. Достигнутое устойчивое состояние Центра позволяет, по крайней мере, сформулировать некоторые идеи для его дальнейшего развития, что также представлено в публикации.

Некоторая фактогеография

Географические особенности расположения отделений ДЦМИ проиллюстрированы с указанием и остальных основных городов ДФО (рис. 1). Всего в регионе расположено 6 университетов с математическими курсами. Взаимное расположение отделений ДЦМИ характеризуется с указанием также и расстояния до координатора сети региональных научно-образовательных математических центров – Института математики и механики. УрО РАН, расположенного в Екатеринбурге (табл. 1).

- сайт Якутского отделения. URL: <https://www.s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/strukturnye-podrazdeleniya/dsmi/>;
- сайт Хабаровского отделения. URL: <https://sites.google.com/view/dvcmi-khv>;
- сайт Владивостокского отделения. URL: <https://www.dcmi.ru/>

Тематика научных исследований

В весьма обобщенном виде научные исследования в ДЦМИ ведутся по следующим направлениям:

- теория моделей и универсальная алгебра;
- геометрические и категорно-алгебраические методы анализа структур и процессов;
- геометрическая теория функций комплексного переменного;
- теория специальных функции гипергеометрического типа;
- дифференциальные уравнения. Краевые задачи для нелинейных параболических уравнений;
- краевые задачи для нелинейных параболических уравнений в нецилиндрических областях и типа Стефана;
- теория и методы решения экстремальных задач;
- вариационные и квазивариационные задачи механики сплошных сред;
- моделирование и оптимизация в задачах проектирования устройств невидимости материальных тел;
- анализ и оптимизация моделей переноса тепла и излучения;
- моделирование и анализ диффузионных процессов для медицинских приложений;
- современные технологии анализа, моделирования и принятия решений;
- игры среднего поля, управляемые случайные процессы;
- численный анализ и научные вычисления;
- применение средств и методов искусственного интеллекта для решения прикладных задач.

В табл. 3 приведена обобщенная статистика публикаций ДЦМИ по

годам работы. За 2022 г. приведены лишь частичные данные, относящиеся к 1-му полугодю. Во 2-м полугодии ожидается существенный рост публикаций, связанный, в частности, с подготовкой к печати докладов конференций 2022 г.

Таблица 3. Качественный состав публикаций Категории публикаций	2020 г.	2021 г.	2022 г. (на 01.07)
Количество статей в научных журналах, индексируемых в Web of Science, Scopus, MathSciNet	27	48	11
в т. ч. подготовленных с участием молодых исследователей	8	23	4
в т. ч. в высокорейтинговых журналах	4	13	6

Образовательная деятельность

Таблица 4. Основные показатели образовательной деятельности

Наименование показателя	2020 г.	2021 г.	2022 г. (на 01.07)
Количество школьников, принявших участие в мероприятиях Центра	6 759	4 788	1 771
Количество студентов и магистрантов, принявших участие в мероприятиях Центра	694	1 397	491
Количество преподавателей и учителей математики и информатики, принявших участие в мероприятиях Центра	126	259	91
Количество российских и зарубежных ученых, привлеченных к участию в мероприятиях, поддержанных Центром	80	69	87
Количество аспирантов, принявших участие в мероприятиях Центра	16	20	6
Количество исследователей Центра, защитивших диссертации кандидатов и/или докторов наук	0	3	1

Современные вызовы

Наряду с общими проблемами, типичными для всей сети РНОЦ, ДЦМИ приходится сталкиваться и со специфическими условиями работы в регионе, среди которых:

- территориальная отдаленность математических центров ДФО как друг от друга, так и от ведущих матцентров остальной части Российской Федерации;
- весьма небольшая группа высококвалифицированных публикующихся математиков;
- недостаточная библиотечно-информационная поддержка современных математических направлений;
- небольшой набор на математические специальности и низкое его качество;
- отсутствие экспертизы по современным вычислительным технологиям;
- архаичное и практически исключаящее экспериментальную научно-исследовательскую деятельность администрирование компьютерных сред университетов.

Все эти факторы создают коммуникативные барьеры как при администрировании проектов, так и в научных коммуникациях: если математики ДФО еще способны участвовать онлайн в семинарах Новосибирска, Екатеринбурга и далее на запад (к сожалению, за полночь), то участие ученых западной части России в семинарах ДФО практически исключено. В силу весьма небольшого математического сообщества ДФО и ограниченности его экспертизы и ресурсов запись и хранение видеоархивов семинаров, как правило, не производятся; по сути дела, информация о математической жизни ДФО практически не доходит до центров, ограничиваясь эпизодическими представлениями на конференциях всероссийского масштаба или сильно запаздывающими публикациями. В связи с этим на всей территории ДФО лишь небольшая группа математиков квалифицируется как возможные члены редакционных коллегий международных журналов, программных комитетов конференций и пр. Если с международными конференциями ничего, по-видимому, не поделаешь, то хотелось бы все же попросить отечественные редакции и оргкомитеты почаще

привлекать специалистов из ДФО в эти категории, что может увеличить и представительство дальневосточных публикаций.

Другая проблема связана с тем, что спектр математических специальностей, охватываемых математиками ДФО, весьма узок. Фактически, например, ближайшие высококвалифицированные эксперты по вычислительной линейной алгебре, теории графов, оптимальному управлению, теории вероятностей находятся за тысячи километров от основных центров ДФО. Особенно от этого страдают прикладные проекты, где, как правило, требуется целый перечень математических специальностей, не говоря уж об ИТ экспертизе на уровне современных солверов. Даже если такие эксперты есть в пределах ДФО, они, как правило, находятся весьма далеко друг от друга. В результате математические группы весьма слабо взаимодействуют между собой, замыкаются в своих традиционных направлениях с очевидными негативными последствиями.

Исторически сложившаяся библиотечная система дальневосточных университетов ориентирована практически исключительно на преподавание, и если для математических статей еще существуют университетские подписки, как-то решающие проблему полнотекстового доступа, то международные исследовательские монографии по математике являются весьма редким гостем в библиотеках. В какой-то степени до поры до времени это компенсировалось библиотечным фондом Дальневосточного отделения РАН, но и там математические направления в силу традиционной склонности дальневосточной науки к природоведению и в связи с финансовой обстановкой представлены слабо.

В какой-то степени эту ситуацию можно было бы улучшить с помощью более активного использования различных ИТ-технологий удаленного доступа и распределенного сотрудничества, однако этому препятствует ряд административно-технических обстоятельств. Де-факто компьютерные системы университетов (вероятно, регламенты везде примерно одинаковы) представляют собой модели осажденных крепостей, где вход-выход крайне

ограничен, а возможности пользователей весьма урезаны. В лучшем случае доступ предоставляется ограниченному кругу пользователей через VPN или гипертекстовые протоколы к весьма узкому кругу серверов типа библиотеки, расписания, почты или к университетскому вычислителю с его специфической архитектурой и ПО. В силу такой изоляционистской политики техническая поддержка со стороны служб университета также ограничивает себя весьма узким классом устройств, операционных систем, программного обеспечения и сервисов, как правило, весьма низкого класса. При этом вынужденное использование публичных (как правило, зарубежных) облачных сервисов хотя формально и запрещается, но повсеместно практикуется, что вообще доводит эту ситуацию до абсурда, равно как и практикуемый запрет устанавливать на рабочие места пользователей стороннее ПО, не поддерживаемое подразделениями технической службы, что негативно сказывается на исследовательской деятельности. Вместе с тем в мире активно развивается т. н. экспериментальная математика, требующая от математиков навыков коллективной экспериментальной вычислительной работы с использованием оригинальных алгоритмов, разрабатываемых в режиме реального времени на рабочих станциях исследователей с использованием коллективно разработанного ПО.

Перспективные направления развития

Нижеизложенные предложения обусловлены в основном принципами работы Дальневосточного центра математических исследований (ДВФУ – ТОГУ – СВФУ), однако могут оказаться полезными и для всей сети региональных математических центров.

Развитие компьютерной связности математических центров

Для стимуляции совместной работы и для других активностей математических центров целесообразно было бы организовать выделенную подсеть зоны RU, например, домен второго уровня `crem.ru` (Centers for Research and Education in Mathematics) или под каким-либо иным брендом, которая бы состояла из локальных подзон этой сети, администрируемых

соответствующими математическими центрами и реализующих достаточно открытую политику взаимоотношений. Среди возможных мер сетевой поддержки, которой могла бы заниматься указанная структура, должна быть организация совместных инициативных исследований, содействие академическим обменов, служба видеоконференций, вебинаров, почты, сетевой файловой системы, специализированных библиографических и текстовых баз данных публикаций на русском языке, препринтов и т. д., в чем есть явный недостаток. Некоторым образцом такой структуры можно считать проект Internet-2⁶, хотя, конечно, не в таком масштабе. Бюджет такой сети, по опыту ДЦМИ, мог бы вполне уложиться в 100–200 тыс. руб. в год на Центр. Дополнительные вычислительные мощности при этом не понадобятся, представляется, что имеющегося оборудования вполне достаточно, вопрос стоит лишь в его рациональном и творческом использовании. Взаимодействие с развивающимися в настоящее время централизованными системами SCIENCE.NET, НИКС также было бы, по всей вероятности, полезным, хотя функционалы этих систем отличаются от предложенного.

Международный математический конференц-центр

Большой популярностью в мире пользуются математические центры, основной функцией которых является организация компактных, хорошо сфокусированных встреч высококвалифицированных экспертов по актуальным проблемам современной математики и смежных наук: теоретической физики, вычислительной химии, математической экономики, наукам биологического профиля и др. Наиболее известными из них являются Математический институт Обервольфах (MFO — Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach⁷), Международный центр математических исследований (Centre International de Rencontres Mathématiques⁸), Международная исследовательская станция Банифф для математических

⁶ Проект Internet-2. URL: <https://internet2.edu/>

⁷ Математический институт Обервольфах (MFO — Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach). URL: <https://www.mfo.de>

⁸ Международный центр математических исследований Centre International de Rencontres Mathématiques. URL: <https://www.cirm-math.com>

открытий и инноваций (Banff International Research Station (BIRS) for Mathematical Innovation and Discovery⁹), Центр научной культуры Этторе Майорана (Centro Per La Cultura Scientifica Ettore Majorana¹⁰). Аналогичные центры были созданы недавно в Китае (совместно с BIRS), Польше (Польская академия наук, Bedlevo). Представляется, что Владивосток является исключительно подходящим местом для организации подобного международного математического (и не только) конференц-центра. Конкретным местом размещения такого центра мог бы быть о. Русский, где даже в близкой окрестности кампуса федерального университета можно найти площадки с исключительно живописной нетронутой природой и пейзажами, что очень ценится для подобных центров. Дополнительными аргументами в пользу такого размещения может быть доступность: на расстоянии 1 000 км от Владивостока проживает около 400 млн чел. (1 500 км – более 1 млрд), а сам город с быстро развивающимися наукой и экономикой остается центром европейской и российской культуры. Близость к Владивостоку океана тоже придает определенную привлекательность городу для научных встреч по океанологической тематике, морской биологии и т. п., математизирующихся быстрыми темпами.

Заключение

Создание матцентра повысило научную активность ППС. Существенные факторы: профессиональная самооценка сообществом, отсутствие бюрократии, прозрачность принятия решений, фактор доверия к исполнителям. Существующие проблемные вопросы: взаимодействие с образовательным сектором, перенос математического хай-тека в аудитории, межфакультетские взаимодействия. Зона ответственности ДЦМИ (Дальний Восток России) сравнима по охвату территорией примерно с 10 Франций, но университетов здесь в десятки раз меньше, чем в Голландии. В течение многих

⁹ Международная исследовательская станция Банфф для математических открытий и инноваций (Banff International Research Station (BIRS) for Mathematical Innovation and Discovery. URL: <http://www.birs.ca>

¹⁰ Центр научной культуры Этторе Майорана (Centro Per La Cultura Scientifica Ettore Majorana: URL: <http://www.ccsem.infn.it>

лет в университетах не готовились профессиональные математики, и проблема кадров встает весьма остро. Реально запустить процесс восстановления ППС можно массовыми стажировками магистрантов-аспирантов в ведущих школах, но важно избежать бюрократию этого процесса с бесконечными анкетами и ворохами сертификатов. Другая проблема – отсутствие или затрудненность рабочих взаимодействий. В какой-то степени это можно нивелировать с помощью проектов наподобие «Интернет-2» – создать открытые каналы связи между центрами; развивать общие сервисы, начиная с тривиальной почты и заканчивая совместными разработками в режиме свободного доступа к рабочим местам и серверам в центрах; создать совместные сервисы типа электронных публикаций и программных разработок и пр. Большой положительный эффект имело бы создание международного математического конференц-центра по имеющимся зарубежным аналогам.

**«ЦИФРОВАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА
LOBACHEVSKII-DML»**

**Елизаров А. М.,
д. ф.-м. н., профессор
Казанский федеральный университет
Липачёв Е. К.,
к. ф.-м. н., доцент
Казанский федеральный университет**

Проект построения цифровой математической библиотеки Lobachevskii-DML, реализуемый в настоящее время в Казанском (Приволжском) федеральном университете, направлен на развитие и использование современных информационно-коммуникационных технологий для управления математическими знаниями. Целью этого проекта является создание интегрированной цифровой платформы, содержащей систему семантических сервисов комплексного управления электронными математическими коллекциями. При реализации проекта использованы подходы, которые соответствуют концепциям построения Всемирной цифровой математической библиотеки (World Digital Mathematics Library – WDML), Глобальной цифровой математической библиотеки (Global Digital Mathematics Library – GDML) и основным аспектам «Большой Математики» (Big Math) [1–3]. Востребованность названных работ подтверждена широким кругом математиков в рамках обсуждений, проведенных Всемирным математическим союзом в рамках крупных международных конференций и математических съездов, и соответствием этих исследований Глобальной инициативе WDML – объединению всего корпуса имеющихся цифровых математических документов в распределенной системе электронных коллекций [1].

В настоящее время научно-исследовательская деятельность в области математики связана с использованием современных информационных технологий (облачных, семантических и др.). Эти технологии используются в

исследованиях распределенных научных коллективов, подготовке и распространении математических знаний в электронном виде. Под цифровыми библиотеками сегодня понимают модели сложных информационных систем, которые служат основой при создании универсальных распределенных хранилищ знаний и снабжены средствами навигации и поиска в коллекциях разнородных электронных документов, включаемых в эти хранилища. В настоящее время формируется новый тип цифровой библиотеки, связанный с интеграцией математических знаний в научное информационное пространство. Этот тип информационной системы называется цифровой математической библиотекой (Digital Mathematical Library, DML), реализуется ряд глобальных проектов, таких как European Digital Mathematical Library или World Digital Mathematical Library. Цифровые математические библиотеки выполняют роль основного интегратора математического знания, представленного в научных документах, опубликованных за весь период развития математики [4].

В соответствии с основными принципами WDML в Казанском университете создается цифровая библиотека Lobachevskii Digital Mathematics Library (Lobachevskii-DML, <https://lobachevskii-dml.ru/>). Построение этой библиотеки предполагает разработку инструментов управления математическим контентом, учитывающих не только специфику математических текстов, но и особенности обработки русскоязычных текстов [5].

Управление электронными математическими документами – уникальная и сложная задача. Это связано как с обработкой математических формул, так и со специфической структурой математического документа, состоящего из логически связанной последовательности определений, теорем, доказательств и ссылок. Ключевой идеей, обозначенной в документах проекта WDML, является разработка классов объектов для адекватного описания и исследования математического содержания: предложена новая парадигма представления электронного математического контента, основой которой

являются элементы (классы) и их взаимосвязи. Выделение классов математических объектов и формирование на их основе онтологий областей знаний позволяют создать новые инструменты по обработке информации, в частности по извлечению и обработке формул, поиску похожих результатов [6].

В рамках проекта Lobachevskii-DML предложены методы структурного анализа математических документов и выделения объектов из них. Разработана цифровая экосистема OntoMath, состоящая из онтологий, инструментов текстовой аналитики и приложений, предназначенная для управления математическими знаниями [7].

Метаданные являются основой коммуникации в научном информационном пространстве и используются на всех этапах жизненного цикла научной публикации. Существенным элементом экосистемы любой цифровой библиотеки должна стать фабрика метаданных этой библиотеки. Фабрика метаданных – это система взаимосвязанных программных инструментов, направленных на создание, обработку, хранение и управление метаданными объектов цифровых библиотек и позволяющих интегрировать создаваемые электронные коллекции в агрегирующие цифровые научные библиотеки. С помощью этих инструментов, преимущественно в автоматизированном режиме, выполняются такие операции, как выделение объектов и связей между ними, экстракция метаданных из различных источников и конкретных документов, верификация, уточнение, улучшение, нормализация в различных форматах и гармонизация метаданных с помощью ручного редактирования или автоматизированных агентов, хранение и связывание метаданных с внешними базами данных [8–9]. Для формирования и преобразования метаданных документов в соответствии с правилами и XML-схемами цифровых библиотек и наукометрических баз данных разработаны методы нормализации метаданных [10]. С помощью программных инструментов фабрики метаданных цифровой математической библиотеки Lobachevskii-DML реализованы основные процессы текстового

анализа документов электронных коллекций, в частности выделение именованных сущностей. С помощью разработанной системы запросов произведен поиск в Сети информации, необходимой для получения метаданных, с последующей экстракцией информационных объектов.

Реализация проекта Lobachevskii-DML способствует также достижению основных целей создания и развития российских региональных научно-образовательных математических центров – популяризации и повышению привлекательности в России математики как области знаний и повышению мотивации к ее изучению для применения полученных математических знаний в других областях наук и на практике.

Исследования по разработке интеллектуальных методов управления математическими знаниями ведутся также в сотрудничестве с научно-образовательным математическим центром Приволжского федерального округа (НОМЦ ПФО¹¹). Этот центр создан на базе Казанского федерального университета, Башкирского и Самарского университетов. Руководитель НОМЦ ПФО – д. ф.-м. н., профессор, академик АН РТ Марат Мирзаевич Арсланов¹².

На информационной платформе цифровой библиотеки Lobachevskii-DML организована система взаимодействия региональных и международных математических центров¹³. Разработаны сервисы поддержки актуальной информации о научных семинарах¹⁴, работающих в названных центрах, новых публикациях¹⁵, а также научных событиях (см. рис. 1).

¹¹ НОМЦ ПФО. URL: <https://mathcenter.kpfu.ru/>

¹² Руководитель НОМЦ ПФО – д. ф.-м. н., профессор, академик АН РТ Марат Мирзаевич Арсланов. URL: <https://www.marslanov.org/>

¹³ Система взаимодействия региональных и международных математических центров. URL: <https://lobachevskii-dml.ru/mathcenter>

¹⁴ Семинары математических центров. URL: <https://lobachevskii-dml.ru/mathcenterworkshop>

¹⁵ Коллекции математических центров. URL: <https://lobachevskii-dml.ru/mathcentercollection>

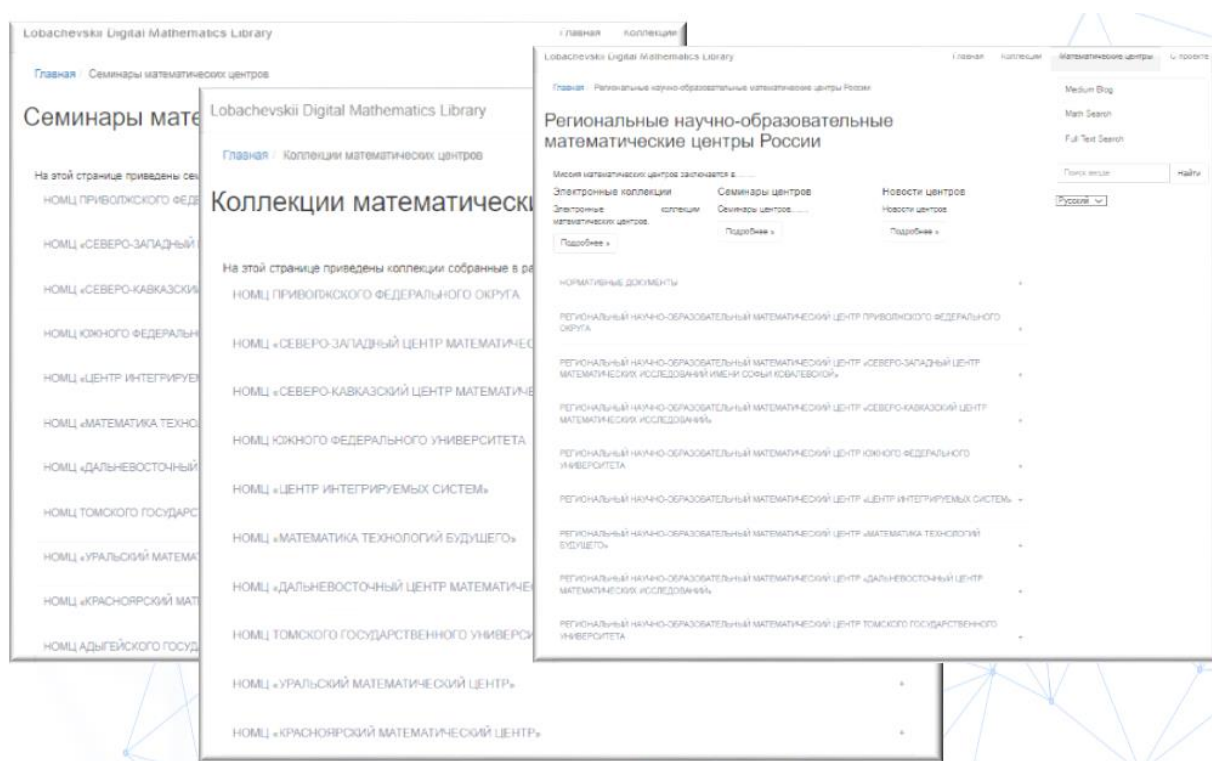


Рис. 1 – Взаимодействие математических центров на платформе цифровой библиотеки Lobachevskii-DML (URL: <https://lobachevskii-dml.ru/mathcenter>; URL: <https://lobachevskii-dml.ru/mathcentercollection>; URL: <https://lobachevskii-dml.ru/mathcenterworkshop>).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-11-00105) и в координации с программой развития научно-образовательного математического центра Приволжского федерального округа (договор № 075-02-2022-882).

Список использованных источников

1. Developing a 21st Century Global Library for Mathematics Research, DC: The National Academies Press, Washington. DOI: <https://doi.org/10.17226/18619>.
2. Ion P.D.F, Watt S.M. The Global Digital Mathematics Library and the International Mathematical Knowledge Trust // Lecture Notes in Computer Science, Springer, Cham. 2017. Vol. 10383. P. 56–69. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-62075-6_5.

3. Carette J., Farmer W.M., Kohlhase M., Rabe F. Big Math and the One-Brain Barrier: The Tetrapod Model of Mathematical Knowledge // *Math Intelligencer*. 2021. Vol. 43. P. 78–87 (2021). URL: <https://doi.org/10.1007/s00283-020-10006-0>.
4. Elizarov A., Lipachev E. Digital Libraries and the Common Digital Space of Mathematical Knowledge // *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 2990. P. 25–38.
5. Elizarov A., Lipachev E. Big Math Methods in Lobachevskii-DML digital library // *CEUR Workshop Proceedings*. 2019. Vol. 2523. P. 59–72.
6. Онтологии математического знания и рекомендательная система для коллекций физико-математических документов / А. М. Елизаров [и др.] // *Доклад РАН*. 2016. Т. 467, № 4. С. 392–395. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0869565216100042>.
7. Digital Ecosystem OntoMath: Mathematical Knowledge Analytics and Management / A. Elizarov [ET AL.] // *Communications in Computer and Information Science*. Springer, Cham. 2017. Vol. 706. P. 33–46. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-57135-5_3.
8. Elizarov A., Lipachev E. Digital Library Metadata Factories // *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 2813. P. 13–21.
9. Гафурова П. О., Елизаров А. М., Липачёв Е. К. Базовые сервисы фабрики метаданных цифровой математической библиотеки Lobachevskii-DML // *Электронные библиотеки*. 2020. Т. 23, № 3. С. 336–381. DOI: <https://doi.org/10.26907/1562-5419-2020-23-3-336-381>.
10. Gafurova P., Elizarov A., Lipachev E. Algorithms for Integration of Unstructured Mathematical Documents into the Common Digital Space of Scientific Knowledge // *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 2990. P. 39–49.

**«РАЗВИТИЕ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ НА БАЗЕ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ДЛЯ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
РАЗВИТИЯ РЕГИОНА В ОБЛАСТИ РОБОТОТЕХНИКИ»**

Караваев Ю. Л.,

доцент ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»,

Уральский математический центр

Уральский математический центр (УМЦ) создан в 2020 г. на базе 3 организаций: Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Института математики и механики имени Н. Н. Красовского УрО РАН, расположенных в г. Екатеринбург, и Удмуртского государственного университета (г. Ижевск). УМЦ является координатором сети региональных научно-образовательных математических центров (РНОМЦ) России. В качестве ключевых научных направлений, в рамках которых проводятся исследования подразделениями УМЦ, следует выделить следующие:

- математические методы позиционного управления и теория дифференциальных игр;
- комбинаторная оптимизация, исследование операций и анализ данных;
- теория функций и приложения;
- математическое моделирование нелинейных процессов в естествознании;
- алгоритмическая алгебра;
- регулярная и хаотическая динамика, нелинейная динамика и робототехника.

Наиболее активные исследования в области робототехники проводятся в лаборатории нелинейного анализа и конструирования новых средств передвижения Удмуртского государственного университета. Лаборатория основана в 2010 г. на базе Института компьютерных исследований под

руководством ведущего российского ученого, академика РАН Трещева Дмитрия Валерьевича (поддержана грантом Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях ВПО (договор № 11.G34.31.0039)). Работа лаборатории после поддержки программы по развитию сети математических центров задействована в проводимых в рамках УМЦ исследованиях. Деятельность лаборатории направлена на развитие современной теории динамических систем и ее приложений к задачам механики, математической физики и робототехники в следующих основных направлениях:

- исследование классических динамических систем;
- исследования в направлении неголономной механики;
- исследования в направлении вихревой гидродинамики и движения тел в жидкости;
- исследования в направлении применения методов теории динамических систем к задачам робототехники;
- разработка и создание робототехнических систем, реализующих новые принципы передвижения на суше и в жидкости.

На сегодняшний день лаборатория имеет все необходимое оборудование и квалифицированные кадры для проведения полного цикла работ, направленных на разработку, создание и исследование робототехнических систем любой сложности. Рассмотрим прототипы робототехнических систем, разработанные в лаборатории и имеющие высокие перспективы для практического применения.

За последние годы в лаборатории созданы 4 различных конструкции сферических роботов. Фотографии прототипов приведены на рис. 1, а подробное описание конструкций и алгоритмов управления ими можно найти в работах [1–6]. Ключевой особенностью сферических роботов является то, что все механические и электронные компоненты находятся внутри герметичной сферической оболочки, которая защищает их от негативного

воздействия агрессивной окружающей среды. Такие роботы не боятся пыли, влаги, химического воздействия окружающих газов и жидкостей и могут быть использованы для задач мониторинга, доставки и исследования опасных зон.

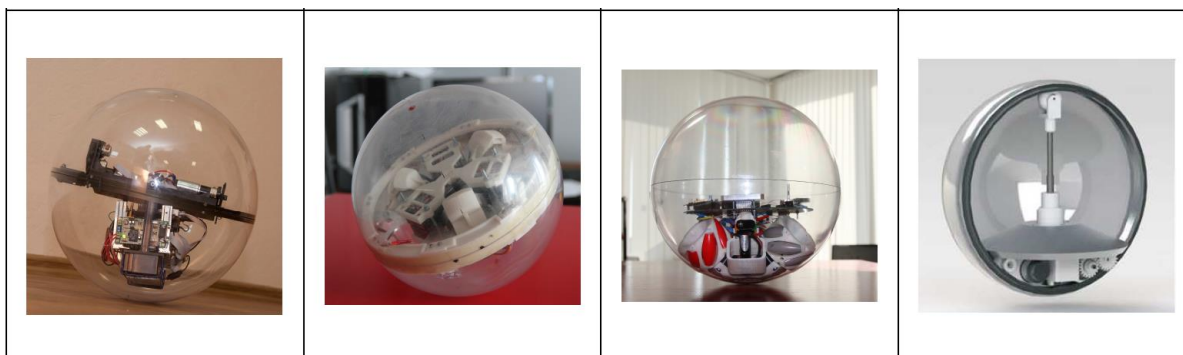


Рис.1 – Прототипы сферических роботов с различными приводными механизмами, разработанные в УМЦ

Также в лаборатории проводятся исследования, направленные на создание безвинтовых надводных и подводных роботов. Фотографии созданных прототипов приведены на рис. 2. Данные роботы не имеют движущихся механизмов, взаимодействующих с жидкостью, а перемещаются за счет специальной формы оболочки и внутренних механизмов, перемещающих или вращающих массы по определенному алгоритму. Подробнее информацию о данных роботах можно найти в публикациях [7–8].



Рис. 2 – Прототипы безвинтовых подводных и надводных роботов

Следующее направление работы связано с созданием высокоманевренных транспортных роботов для решения логистических задач на предприятиях или складах [9–11]. Фотографии созданных прототипов приведены на рис. 3. На сегодняшний день, кроме учебных макетов и прототипов, созданы 2 натурных образца грузоподъемностью 50 и 500 кг. Применение подобных транспортных систем позволит эффективнее использовать пространство помещений, сделать более гибким решение

логистических и транспортных задач.



Рис. 3 – Прототипы высокомавренных транспортных роботов

Коллектив лаборатории также имеет опыт кооперации с промышленными партнерами региона по разработке и реализации образовательных программ дополнительного профессионального образования. Так, по запросу и согласованию с АО «Концерн «Калашников» были разработаны и успешно реализуются в ЧОУ ДПО «Академия Калашников» образовательные программы «Робототехника». Особенностью данных программ является использование специализированных ресурсных наборов компонентов, из которых обучающиеся собирают функционально законченные робототехнические устройства, при этом изучая основы технологий изготовления и проектирования механических и электронных устройств, а также их программирования.

В заключении представлена краткая информация о фестивале робототехники, проводимом совместно ведущими вузами Удмуртской республики, Уральским математическим центром, ЧОУ ДПО «Академия «Калашников» с крупными промышленными компаниями региона (рис. 4).



Рис.4 – Презентация фестиваля робототехники «Калашников-Технофест»

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Kilin A. A., Pivovarova E. N., Ivanova T. B. Spherical Robot of Combined Type: Dynamics and Control, Regular and Chaotic Dynamics. 2015. Vol. 20, no. 6. P. 716–728.
2. Borisov A. V., Kilin A. A., Mamaev I. S. How to Control Chaplygin's Sphere Using Rotors, Regular and Chaotic Dynamics. 2012. Vol. 17, no. 3-4. P. 258–272.
3. Karavaev Y. L., Kilin A. A., Nonholonomic Dynamics and Control of a Spherical Robot with an Internal Omniwheel Platform: Theory and Experiments, Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics. 2016. Vol. 295. P. 158–167.
4. Borisov A. V., Kilin A. A., Karavaev Y. L., Klekovkin A. V., Stabilization of the Motion of a Spherical Robot Using Feedbacks, Applied Mathematical Modelling. 2019. Vol. 69. P. 583–592
5. Ivanova T. B., Karavaev Y. L., Kilin A. A. Control of a Pendulum-Actuated Spherical Robot on a Horizontal Plane with Rolling Resistance, Archive of Applied Mechanics, 2022, vol. 92, pp. 137–150

6. Karavaev Y. L., Mamaev I. S., Kilin A. A., Pivovarova E. N. Spherical Rolling Robots: Different Designs and Control Algorithms, Robots in Human Life: Proceedings of the 23rd International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines, CLAWAR 2020. 2020. P. 195–202
7. A Simple Physical Model for Control of an Propellerless Aquatic Robot / Y. L. Karavaev [et al.] // Journal of Mechanisms and Robotics. 2022. Vol. 14, no. 1, 011007. P. 11.
8. Klekovkin A. V., Karavaev Y. L., Mamaev I. S. Design and Control for the Underwater Robot with Internal Rotor, 2021 // International Conference "Nonlinearity, Information and Robotics" – IEEE. 2021.P. 1–5
9. Mamaev I. S., Kilin A. A., Karavaev Y. L., Shestakov V. A. Criteria of Motion Without Slipping for an Omnidirectional Mobile Robot // Russian Journal of Nonlinear Dynamics. 2021. Vol. 17, no. 4. P. 527–546
10. Shestakov V. A., Mamaev I. S., Karavaev Y. L., Influence of the Design Features of Omni-Wheeled Mobile Robots on the Possibility of Motion Without Slipping, 2021 // International Conference "Nonlinearity, Information and Robotics" – IEEE. 2021. P. 1–4
11. Kilin A. A., Bozek P., Karavaev Y. L., Klekovkin A. V., Shestakov V. A., Experimental investigations of a highly maneuverable mobile omniwheel robot, International Journal of Advanced Robotic Systems, 2017, vol. 14, no. 6. P. 1–9.

«ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НОМЦ ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА В ИНТЕРЕСАХ РЕГИОНА»

Веснин А. Ю.,

главный научный сотрудник РНОМЦ ТГУ

Гензе Л. В.,

декан ММФ ТГУ, директор РНОМЦ ТГУ

Региональный научно-образовательный математический центр Томского государственного университета (далее – РНОМЦ ТГУ) был создан в 2018 г. по итогам всероссийского конкурса. **Миссия центра** – развитие всех ступеней математического образования в регионе и обеспечение высокого уровня научных исследований в области математики и ее приложений – была сформулирована на основе тех целей и задач, которые были задекларированы Министерством образования и науки РФ при организации сети РНОМЦ в 2017 г.

Кадровый состав РНОМЦ ТГУ в 2022 г.: 7 докторов наук, 15 кандидатов наук и 12 сотрудников без ученой степени – преимущественно молодые ученые и аспиранты.

В деятельности НОМЦ ТГУ можно выделить 3 основных направления. Это научная, образовательная и просветительская деятельность, направленная на популяризацию математики.

Основные тематики научных исследований: фундаментальная математика, математические методы механики и тепловых процессов, математическое моделирование и вычислительные технологии в задачах механики, медицины и экологии. Фундаментальные исследования проводятся как по традиционным для ТГУ направлениям (например, теория абелевых групп, колец, модулей), так и по новым, появившимся в ТГУ благодаря открытию НОМЦ (например, теория узлов, гиперболическая геометрия).

Среди новых научных мероприятий, появившихся в ТГУ благодаря НОМЦ, безусловно, нужно отметить уже ставшую традиционной конференцию по математике «Декабрьские чтения в Томске». Кроме этого,

было организовано еще несколько мероприятий, среди которых следует отметить конференции «Математика в медицине» (совместно с ТПУ), «Группы и квандлы в маломерной топологии» (совместно с ВШЭ), «Геометрия в целом», посвященная 90-летию со дня рождения профессора В. А. Топоногова (совместно с СПбГУ), организацию секции «Теория узлов» на первой научной конференции математических центров России (Российско-Корейская и Российско-Китайская конференции по теории узлов, совместно с вузами Кореи и Китая). Совместно с Математическим центром мирового уровня «Математический центр в Академгородке» на площадке НОМЦ ТГУ было реализовано 7 проектов в рамках работы Большой математической мастерской, – летней исследовательской практики студентов. С 2018 г. в ТГУ работает еженедельный научный семинар «Математический коллоквиум», на котором выступают как томские, так и приглашенные ведущие специалисты в области математики и ее приложений.

Объективной оценкой успешности деятельности НОМЦ стало вхождение ТГУ в 2021–2022 гг. в предметный рейтинг QS по математике в группу 401–450.

Образовательная деятельность НОМЦ ТГУ охватывает все уровни образования: школу, бакалавриат, магистратуру и подготовку кадров высшей квалификации. В этом направлении НОМЦ поддерживает как традиционные для ТГУ мероприятия (конференция школьников и учителей «Математическое моделирование задач естествознания», студенческая конференция «Все грани математики и механики», руководство аспирантами), так и развивает новые: олимпиада для пятиклассников «5 с плюсом»; командная олимпиада «Математическая абака» для школьников 5-7 классов; круглый стол по решению задач ЕГЭ для старшеклассников; тренинги по решению олимпиадных задач по математике и информатике; еженедельный методический семинар для педагогов, курирующих математически одаренных обучаемых; организация секции «Математика» на конференции «Перспективы развития фундаментальных наук»; обновление образовательных программ;

организация стажировок аспирантов и молодых ученых в ведущих математических центрах РФ, таких, как МГУ имени М. В. Ломоносова, Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша, Институт математики им. С. Л. Соболева.

В рамках деятельности НОМЦ, направленной на популяризацию математики, выделим создание и продвижение научно-популярных роликов, и ежегодное проведение Международного дня числа π , куда приглашаются школьники и учителя Томска и Томского района. В связи с возникшими в этом году проблемами с набором в вузы на физико-математические и естественно-научные направления подготовки такая деятельность нам видится очень важной.

За время работы у НОМЦ появилось большое количество партнеров. Это, безусловно РНОМЦы и МЦМУ, среди которых прежде всего стоит отметить «Математический центр в Академгородке» и «Красноярский математический центр». Также это:

— научные и образовательные организации РФ (российско-французский Междисциплинарный научный центр Понселе, Московский физико-технический институт, Московский государственный технический университет им. Баумана, Новосибирский государственный университет, Сибирский федеральный университет, Бурятский государственный университет, Томский политехнический университет);

— зарубежные научные и образовательные организации (Beijing Normal University, Dalian University of Technology, Peking University, Soochow University, Kyungpook National University, Pusan National University, Indian Institute Science Education and Research Mohali, Vietnam National University, Vietnam Institute for Advanced Study in Mathematics);

— образовательные организации Томска (Томский областной институт повышения квалификации и переподготовки работников образования, Дворец творчества детей и молодежи, Лицей при ТПУ, Томский физико-технический лицей, Лицей №1 им. А.С. Пушкина г. Томска).

В заключение отметим, что НОМЦ ТГУ постоянно уделяет внимание взаимодействию с предприятиями региона: при его поддержке организуются экскурсии на предприятия и решаются вопросы трудоустройства выпускников. Среди партнеров со стороны промышленности выделим АО «Томский электромеханический завод им. В. В. Вахрушева, АО «НПФ Микран», АО «НПЦ Полюс» и частную компанию Rubius. Кроме этого, НОМЦ запустил программу ДПО «Индустриальная математика: моделирование задач гидродинамики в газотранспортных системах» для сотрудников ООО «Газпром трансгаз Томск» и содействует набору сотрудников этого предприятия на магистерскую программу «Механика жидкости, газа и нефтегазотранспортных систем» (ежегодно зачисляется порядка 10 сотрудников).

**«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ЦЕНТР МАТЕМАТИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ КАК ПЛОЩАДКА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ
И РЕАЛИЗАЦИИ НАУЧНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИНИЦИАТИВ»**

Алиханов А. А.,

**директор РНОМЦ «Северо-Кавказский центр математических
исследований», проректор по научной и исследовательской работе
Северо-Кавказского федерального университета**

Региональный научно-образовательный математический центр «Северо-Кавказский центр математических исследований» создан в 2021 г. на базе 3 организаций: Северо-Кавказский федеральный университет, Северо-Осетинский государственный университет имени Коста Левановича Хетагурова и Владикавказский научный центр Российской академии наук. Для организации эффективного взаимодействия между сторонами создан Консорциум. Координатором Центра является Северо-Кавказский федеральный университет.

Основными научными направлениями в области фундаментальных и прикладных исследований являются:

Северо-Кавказский федеральный университет:

1. Аналитическая теория чисел.
2. Нелинейные дифференциальные уравнения в частных производных.
3. Численные методы решения начально-краевых задач математической физики. Краевые задачи для уравнений дробной динамики.
4. Математическое моделирование колебаний механических систем и устойчивости движения.
5. Модулярные вычисления.
6. Математические вопросы криптографии.

Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова:

1. Функциональный анализ, операторные алгебры и некоммутативная

геометрия.

2. Дифференциальные операторы и уравнения с частными производными.

3. Математическое моделирование и анализ данных.

4. Линейные алгебраические группы, регулярные графы.

Владикавказский научный центр Российской академии наук:

1. Функциональный анализ и теория операторов.

2. Дифференциальные уравнения и математическое моделирование.

Работу Центра можно разделить на 2 основные составляющие: научные исследования и образование. Так, в СКФУ было создано 4 научных отдела и отдел по работе со школьниками и студентами. Во Владикавказском научном центре РАН создан отдел математических исследований и отдел развития математического образования.

В Северо-Кавказском центре математических исследований работают 85 чел., больше половины из которых – молодые сотрудники. Одним из основных плюсов создания Центра, на наш взгляд, является привлечение наиболее талантливой молодежи для работы в нашем Центре и ее удержание в Университете.

С момента образования Центра было опубликовано 96 статей в научных журналах, индексируемых в Web of Science / Scopus, из которых 52 статьи – с участием молодых исследователей. В журналах 1 и 2 квартилей издано 37 статей.

В 2021 г. было организовано и проведено свыше 34 научно-образовательных мероприятий, таких как конференции, научные семинары, мастер-классы, школы, в которых приняли участие школьники, студенты, научные исследователи в количестве свыше 11 тыс. чел.

В рамках образовательных курсов и модулей, реализуемых Центром, были организованы курсы:

— профессиональной переподготовки в объеме 1 008 часов по программе «Преподаватель математики»;

— повышения квалификации действующих и будущих учителей математики «Современные технологии в области математического образования»;

— повышения квалификации «Теория и методика обучения математике: перспективные подходы и технологии», учителя математики Республики Южная Осетия, г. Цхинвал;

— повышения квалификации по программе «Достижение личностных и метапредметных результатов при обучении математике».

Для студентов, аспирантов и молодых исследователей были прочитаны 3 курса научных лекций приглашенными профессорами:

1. Курс лекций «Многомасштабное моделирование и вычисления для дифференциальных уравнений». Лектор – Yalchin Efendiev, профессор математики Техасского университета A&M (Техас, США).

2. Курс лекций по облачным вычислениям «Теория расписания и ее приложения». Лектор – А. Н. Черных, профессор, заведующий лабораторией параллельных вычислений Центра научных исследований и высшего образования Энсенада (г. Энсенада, Мексика).

3. Курс лекций «Вычислительные технологии теоретических исследований». Лектор – П. Н. Вабищевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией ИБРАЭ РАН (Москва, Россия).

Большое внимание уделяется работе со школьниками. Отделом по работе со школьниками и студентами запущены в очном и дистанционном формате 5 программ: курсы подготовки к ОГЭ и ЕГЭ, физико-математическая школа, курс олимпиадной математики, математический кружок «Думай, решай, смекай» для школьников 5–7 классов.

Сотрудники Центра совместно с Региональным центром выявления и поддержки одаренных детей в области искусства, спорта, образования и науки Кабардино-Балкарской Республики «Антарес» провели с 18 по 31 октября 2021 г. октябрьскую математическую образовательную программу по олимпиадной математике. Научно-методическое и кадровое сопровождение

программы осуществляют опытные преподаватели и специалисты нашего Центра. В отборе на образовательную программу приняли участие более 600 школьников, из которых было отобрано 45 учеников 8–10 классов Кабардино-Балкарской республики. В рамках обучения школьники систематизируют основные разделы курса математики, не входящие в школьную программу, но необходимые для успешного участия в олимпиадах. Цель программы – выявление математически одаренных школьников, максимальное развитие их математических и творческих способностей и подготовка обучающихся к участию в математических олимпиадах высокого уровня.

Подготовленные сотрудниками Центра ученики стали победителями и призерами Всероссийских олимпиад из перечня РСОШ (23 диплома).

Работа по популяризации математики не ограничивалась Северо-Кавказским федеральным округом. Так, были организованы выездные курсы подготовки по математике для будущих выпускников школ и колледжей Узбекистана, Таджикистана и Киргизии. В университетах – партнерах из этих стран были организованы научно-исследовательские семинары.

Сотрудниками Центра ведется активная работа по грантам РНФ, РФФИ и Министерства образования и науки РФ на общую сумму порядка 33 млн руб.

В рамках работы СКЦМИ получены следующие результаты, которые могут иметь практическое применение:

1. Метод ускорения реконструкции томографического изображения.

Предложен новый метод решения систем линейных алгебраических уравнений специального типа, возникающих при решении задач реконструкции изображений. Восстанавливаемый объект разбивается на плоскости, имеющие толщину в один воксель. Плоскости располагаются перпендикулярно оси движения источника рентгеновского излучения. Предлагаемый метод, благодаря определенной симметрии матрицы и выбору метода нумерации вокселей для двумерных задач, позволяет разделить исходную систему алгебраических уравнений на две независимые системы, что позволяет проводить вычисления параллельно. Размер матриц

получающихся систем в 4 раза меньше размера исходной матрицы, и эти матрицы менее разряженные.

2. Разработка системы гомоморфного шифрования данных на основе системы остаточных классов.

Для уменьшения неопределенности и минимизации рисков нарушения конфиденциальности данных целесообразно использовать коды локализации ошибок и исправления на основе избыточной системы остаточных классов. Данная система представляет исходное число как вычет относительно набора модулей. Число делится на несколько меньших чисел, которые являются независимыми, их обработка выполняется независимо и одновременно, что создает облегченный и быстрый процесс вычисления. Усовершенствован метод умножения матриц в гомоморфном шифровании с помощью линейного преобразования, расчета вспомогательных матриц и их перестановок.

Данная система повышает надежность конфиденциальных данных, происходит ускорение вычислений в облачных системах обработки и хранения данных, улучшение эффективности обработки зашифрованной информации.

3. Разработка архитектуры высокопроизводительных аппаратных устройств для очистки от шума трехмерных медицинских изображений.

Разработана математическая модель цифровых фильтров обработки изображений с вычислениями в формате с фиксированной точкой, учитывающей влияние модальности, изотропности и разрядности медицинских изображений на качество их обработки. Выполнена оценка влияния точности представления коэффициентов фильтров в памяти аппаратных устройств на вычислительную сложность цифровой фильтрации и погрешность при обработке трехмерных медицинских изображений. На ее основе предложен метод масштабирования коэффициентов фильтров, обладающий рядом преимуществ над известными аналогами. Разработан вычислительный метод масштабирования коэффициентов цифровых фильтров для максимизации производительности вычислений при сохранении

высокого качества обработки медицинских изображений. Разработан алгоритм выбора модулей системы остаточных классов специального вида для обеспечения достаточного динамического диапазона вычислений при аппаратной реализации методов цифровой обработки трехмерных медицинских изображений с использованием масштабированных фильтров и модулярной арифметики. Разработаны архитектуры высокопроизводительных аппаратных устройств цифровой фильтрации для очистки от шума трехмерных медицинских изображений различных модальностей с масштабированными коэффициентами фильтров и параллельными вычислениями в системе остаточных классов. Использование разработанных подходов к проектированию аппаратных ускорителей для цифровой обработки медицинских изображений позволило увеличить скорость цифровой фильтрации трехмерных медицинских изображений.

Северо-Кавказский федеральный университет приглашает к сотрудничеству и готов стать площадкой для обсуждения и реализации как фундаментальных, так и прикладных работ, направленных на внедрение высокотехнологичных разработок в производство.

**«О ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В
КРАСНОЯРСКОМ
МАТЕМАТИЧЕСКОМ ЦЕНТРЕ»**

**Садовский В. М.,
руководитель отдела РНОМЦ
«Красноярский математический центр»
Института вычислительного моделирования СО РАН –
обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН**

Региональный научно-образовательный математический центр «Красноярский математический центр» функционирует с 2020 г. на базе 2 организаций – Сибирского федерального университета и Института вычислительного моделирования СО РАН. Основную научно-образовательную роль в этом партнерстве выполняет Университет силами профессорско-преподавательского состава Института математики и фундаментальной информатики СФУ. В рамках математического центра развиваются научные направления, относящиеся к «чистой» математике, – алгебра и математическая логика, геометрия, функциональный анализ и теория функций, теоретическая информатика. Научные результаты сотрудников Центра во многих областях, в частности, в области многомерного комплексного анализа, признаны на мировом уровне. Университетские сотрудники Красноярского математического центра ведут большую работу по профориентации и пропаганде математических знаний со школьниками и студентами. На базе объектов XXIX Всемирной зимней Универсиады 2019 г. в Красноярске создана и успешно работает Физико-математическая школа СФУ. В 2022 г. ее набор составил 400 учеников десятых и одиннадцатых классов (200 + 200). Каждую неделю в «университетский день» в этой школе занятия ведутся сотрудниками Красноярского математического центра. Организованы факультативы и спецкурсы по многим математическим направлениям, один из которых – факультатив по решению олимпиадных задач. Для учителей школ Красноярска и Красноярского края проводятся

курсы повышения квалификации.



Рис.1 – Рефлексивная сессия с десятиклассниками¹⁶

В Институте вычислительного моделирования СО РАН ведутся научные исследования по направлениям прикладной математики, математического моделирования и информатики с приложениями в механике, экономике, экологии. Основной целью деятельности организованного в ИВМ СО РАН отдела РНОМЦ «Красноярский математический центр» является подготовка кадров высшей квалификации – кандидатов и докторов наук – через научные исследования. Работа в этом направлении ориентирована на вузы города и высокотехнологичные предприятия реального сектора экономики: АО «Информационно-спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева (г. Железногорск), АО «Радиосвязь» (г. Красноярск). Решается также собственная потребность в омоложении кадрового состава Красноярского научного центра. Следует отметить, что в 2022 г. при финансовой поддержке Красноярского математического центра в ИВМ СО РАН защищены 6 диссертаций – 3 кандидатские и 3 докторские.

Важнейшая научная задача по направлению цифровизации и цифровых технологий, имеющая высокую социальную значимость, связана с экологией города. Красноярск известен как проблемный город из-за повторяющихся неблагоприятных метеорологических условий, т. н. «черного неба». В КНЦ СО РАН на базе сети датчиков, распределенных по районам города, создана городская система оперативного мониторинга экологического состояния воздуха. Разработано специальное программно-технологическое обеспечение

¹⁶ Фотографии взяты с сайта URL: <https://fms.sfu-kras.ru/life/photo/>

– комплекс взаимосвязанных компонентов, реализованный в сервис-ориентированной архитектуре: база пространственных данных с архивом наблюдений, сервисы сбора данных со станций мониторинга, интерактивные средства анализа данных и построения графиков/диаграмм, картографической визуализации на основе геоинформационной веб-системы [1]. Система оперативного мониторинга размещена для публичного доступа в сети Интернет и имеет широкий круг пользователей.

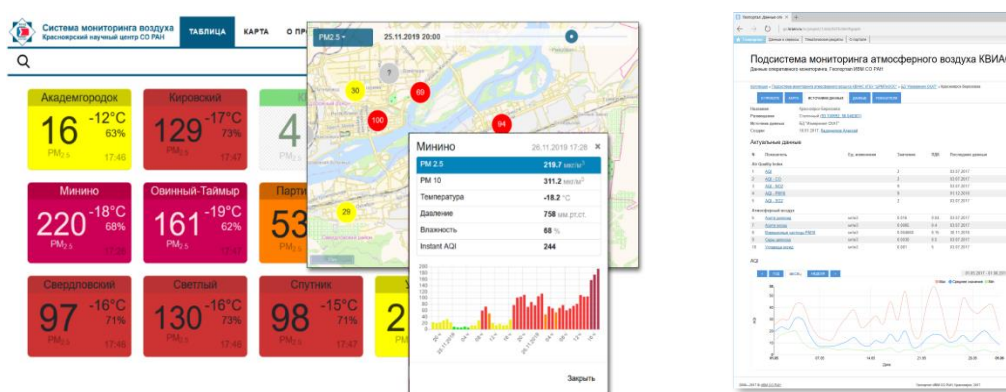


Рис. 2 – Сайт системы оперативного мониторинга¹⁷

В рассматриваемом контексте особый интерес для исследователей представляют температурные инверсии над незамерзающей зимой рекой Енисей, которые, возможно, являются одной из основных причин формирования неблагоприятных метеорологических условий, способствующих накоплению вредных веществ в приземном слое атмосферы над городом. Результаты мониторинга показывают устойчивую взаимосвязь между периодами повышенного загрязнения атмосферы мелкодисперсными взвешенными частицами PM_{2.5} и температурными инверсиями, которые также способствуют образованию туманов и облаков испарения над Енисеем.

¹⁷ Сайт системы оперативного мониторинга. URL: <http://air.krasn.ru>



Рис. 3 - Туман над Енисеем 31 июля 2021 г.¹⁸.

Анализ цифровых метеоданных из различных источников, включая систему оперативного мониторинга, а также данные дистанционного зондирования Земли, способствует решению задач, связанных с изучением загрязнения нижнего слоя атмосферы, и позволяет более точно выявлять и прогнозировать периоды неблагоприятных метеорологических условий [3]. Однако многие экологические вопросы до настоящего времени по-прежнему не решены и требуют дальнейшего исследования. Нет ответа на главный вопрос – как обеспечить чистую атмосферу города.

В отделе Красноярского математического центра ИВМ СО РАН развиваются технологии суперкомпьютерных вычислений. В частности, для ПАО «Геотек Сейсморазведка» проводятся расчеты сейсмических волн, возбуждаемых в грунтовых массивах импульсными сейсмоисточниками серии «Енисей» производства ООО «Эвенкиягеофизика» (г. Минусинск Красноярский край).



Рис. 4 – Сейсмоисточники серии «Енисей»¹⁹

¹⁸ Фотография из статьи [2].

¹⁹ Более подробно Сейсмоисточники серии «Енисей» см. по ссылке: URL: <http://gseis.ru/our-business/field-seismic-works/>

В плоской, осесимметричной и пространственной постановках с учетом криволинейных поверхностей раздела между слоями проведены расчеты волновых полей для упругого двухслойного массива с податливым (глинистым) верхним слоем, для упругого массива с жестким (из плотного грунта / горной породы) верхним слоем и для водно-грунтового массива, открытого и с ледовым покрытием. Результаты обработки численных решений с помощью преобразования Фурье и на основе построения векторных полей потока энергии Умова – Пойнтинга позволили проанализировать систему волн в рабочем диапазоне частот нефтегазовой сейсморазведки. Задача состоит в оптимизации основных узлов сейсмоисточника для повышения производительности разведочных работ.

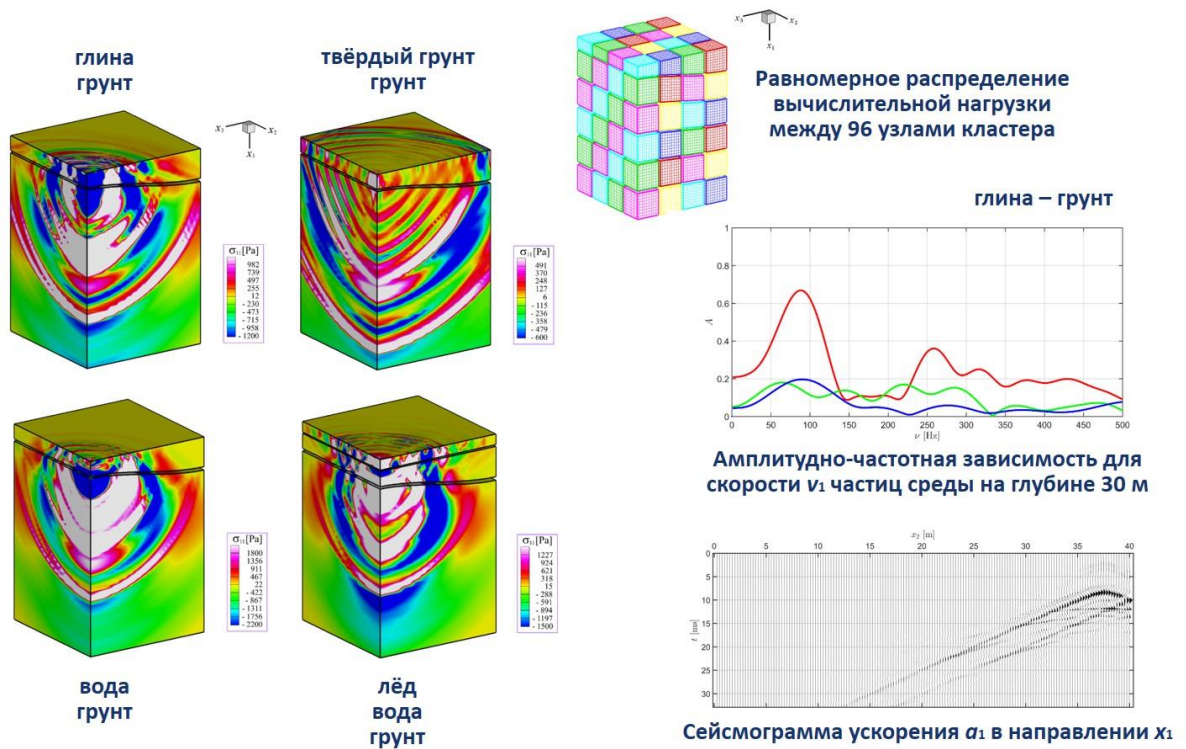


Рис. 5 – Результаты расчетов – линии уровня напряжений, амплитудно-частотные характеристики и сейсмограммы падающих и отраженных волн [4]

Подготовка квалифицированных кадров в отделе Красноярского математического центра ИВМ СО РАН сопровождается применением современных инструментов, обеспечивающих постановку и решение научных и прикладных задач. Одним из направлений исследований в этой области

является создание инструментов практического исследования понятий, методов и технологий Интернета вещей (IoT).

В последнее время Интернет вещей становится одним из основных источников больших данных, что влечет за собой необходимость создания новых подходов к обеспечению безопасности коммуникационной среды и организации на ее основе вычислительных ресурсов и услуг. Для проведения исследований развернута масштабируемая инфраструктура распределенных устройств и приложений. Инфраструктура содержит все функциональные уровни Интернета вещей, обеспечивающие сбор данных, управление устройствами, коммуникационную среду, хранение и обработку данных, а также инструменты создания приложений для решения прикладных задач.

В специализированных технологических помещениях с телекоммуникационным оборудованием размещены датчики для мониторинга показателей температуры, влажности и загрязнений мелкодисперсными частицами PM2.5. Коммуникационная среда реализована в рамках корпоративной сети ФИЦ КНЦ СО РАН. Для обработки данных и управления бизнес-процессами развернут кластер на 10 узлов, установлена система управления контейнерами, инструменты обработки и база данных (Кластер – Kubernetes, брокер – Eclipse Mosquitto, обработчик – Logstash, база данных – MySQL). На прикладном уровне размещены современные средства разработки приложений (Python, R-studio, Grafana).

Ведутся работы по исследованию аспектов безопасности Интернета вещей. Создан метод адаптивной настройки брокера данных в зависимости от частотных характеристик наблюдаемых событий. Построены аналитические показатели для выявления аномалий сетевого трафика. Созданы панели мониторинга данных, собираемых устройствами IoT.

Для исследования безопасности различных конфигураций серверов выполнен выбор нелегитимных обращений и их группировка по серверам, имеющим различные настройки.

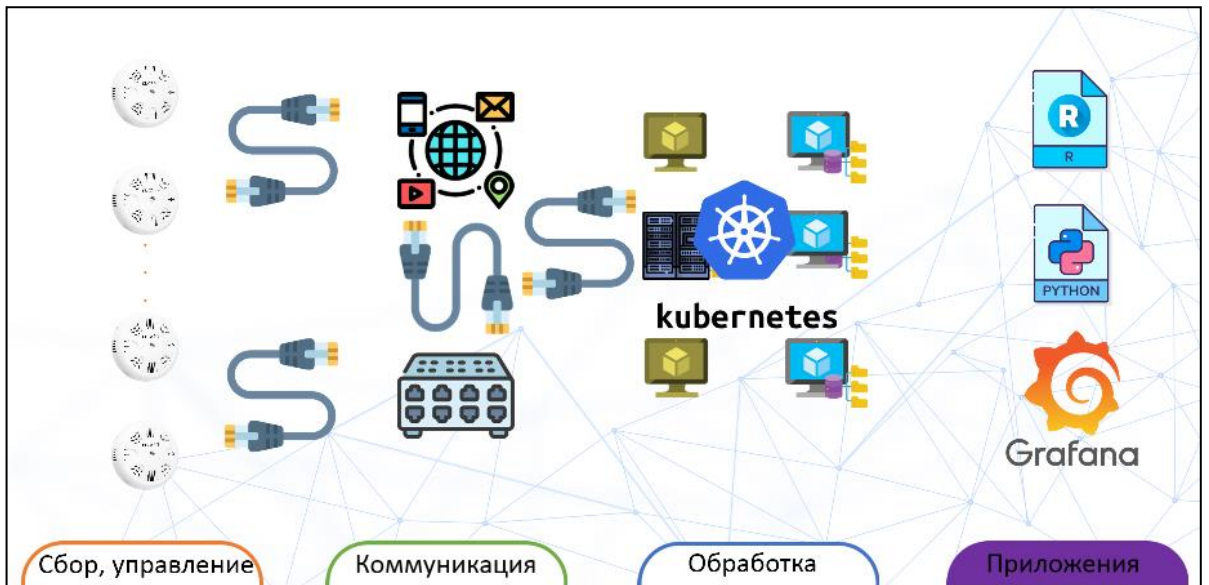


Рис. 6 – Функциональные уровни Интернета вещей [5]

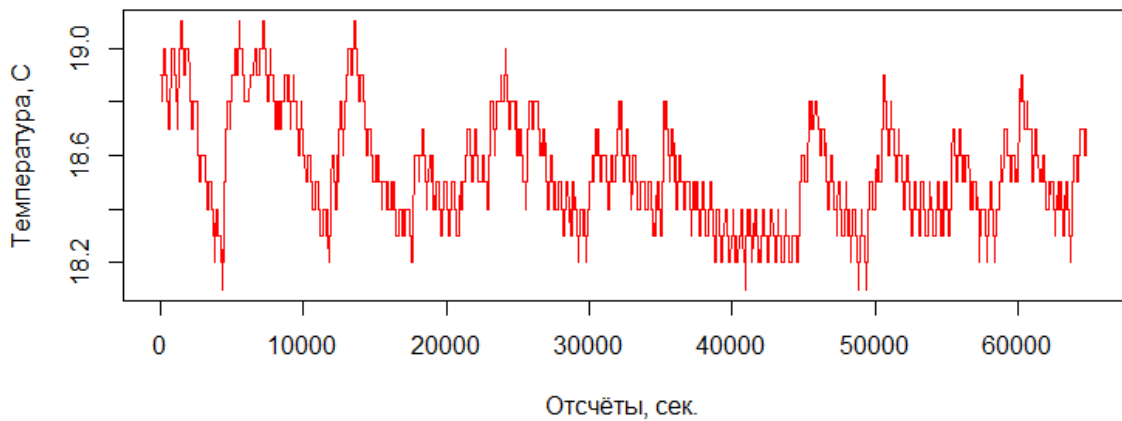


Рис.7 – Пример представления данных по измерению температуры

Для исследования безопасности различных конфигураций серверов выполнен выбор нелегитимных обращений и их группировка по серверам, имеющим различные настройки.

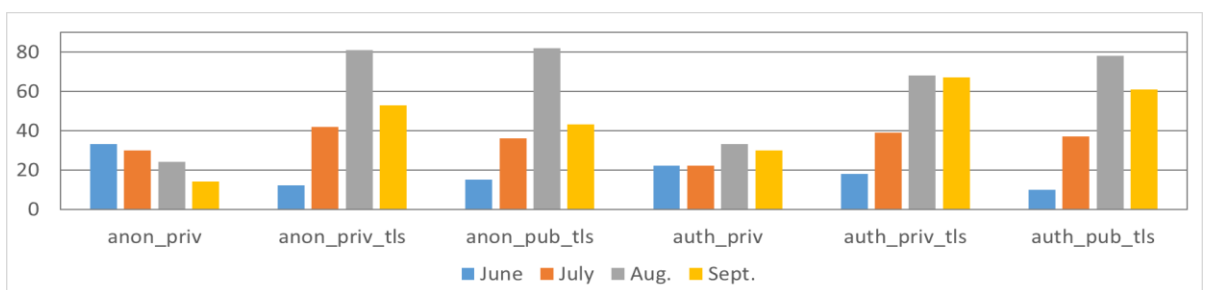


Рис.8 - Статистика нелегитимных обращений к серверам

Полученные результаты могут найти применение при решении широкого круга задач, в частности для решения проблемы защиты

информации в компьютерных сетях. Разработанный стенд используется в качестве учебного средства при подготовке IT- специалистов. Направление дальнейших исследований – создание методов анализа больших данных для исследования показателей, генерируемых устройствами IoT.

За счет финансирования Красноярского математического центра для чтения лекций и проведения консультаций по направлениям развития Центра регулярно приглашаются ведущие ученые и специалисты России, что обеспечивает подготовку научных кадров на высоком научном, технологическом и образовательном уровне.

Список использованных источников

1. Yakubailik O. E., Kadochnikov A. A., Tokarev A.V. WEB Geographic Information System and the Hardware and Software Ensuring Rapid Assessment of Aar Pollution // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. 2018. Vol. 54, Iss. 3. P. 243–249. DOI: <https://doi.org/10.3103/S8756699018030056>.

2. Шапарев Н. Я., Токарев А. В., Якубайлик О. Э. Формирование туманов в нижнем бьефе Красноярской ГЭС на реке Енисей // Оптика атмосферы и океана. 2022. Т. 35, № 5 (400). С. 397–401. DOI: <https://doi.org/10.15372/AOO20220508>.

3. Дергунов А. В., Краснощеков К. В., Якубайлик О. Э. Технологии обработки данных спутникового мониторинга и реанализа для оценки состояния атмосферы воздуха Красноярской агломерации // Вычислительные технологии. 2022. Т. 27, № 3. С. 84–94. DOI: <https://doi.org/10.25743/ICT.2022.27.3.007>.

4. Sadovskaya O., Sadovskii V., Efimov E. Analysis of Seismic Efficiency of the Electromagnetic Pulse Source “Yenisei” // EGU General Assembly 2020. Online (4–8 May 2020). Art. EGU2020-2754. DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-2754>.

5. Isaeva O., Kulyasov N., Isaev S. Creation of a Simulation Stand for Studying of the Internet of Things’ technologies // AIP Conference Proceedings. 2021. Vol. 2647. In print.

**«ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС РАСПОЗНАВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ВИДЕОПОТОКЕ НА ОСНОВЕ
АЛГОРИТМОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА»**

**Аверина М. Д.,
аспирант ЯрГУ им. П. Г. Демидова**

**Леванова О. А.,
руководитель научной группы**

**Мурин Д. М.,
директор института ИБ ЯрГУ им. П. Г. Демидова**

Благодаря развитию технологий производства различные беспилотные летательные аппараты (далее – БПЛА), в т. ч. квадрокоптеры, с каждым годом приобретают новую функциональность и становятся более доступными для широкого использования. К сожалению, кроме решения позитивных задач, БПЛА могут быть использованы для достижения деструктивных целей, например, для преодоления систем ограждения защищаемых (охраняемых) объектов (например, промышленных предприятий), несанкционированного наблюдения за физическими лицами, перемещением материальных объектов и т. п.

Наша работа посвящена разработке программного комплекса на основе сверточных нейронных сетей, позволяющего детектировать квадрокоптеры в видеопотоке. Источником информации для нашего комплекса могут являться данные обычных систем видеонаблюдения, которыми уже оборудованы многие защищаемые объекты, а также некоторые жилые дома. Наш комплекс способен анализировать видеопоток и определять, присутствует ли в кадре квадрокоптер. В случае обнаружения квадрокоптера, он выделяется объемлющим прямоугольником.

Для обучения нейронных сетей нами был создан собственный датасет. Предварительными материалами для него стали отснятые нами видео, причем съемки проводились в разное время года, в разных географических локациях,

в различное время суток.

На тестовой выборке, не участвовавшей в процессе обучения, нам удалось добиться детектирования квадрокоптеров, занимающих в кадре площадь в интервале 10–20 пикселей, с полнотой 64 % при точности 75 %. В случае, если квадрокоптер занимает большую площадь, достигается полнота 90 % при точности 88 %. Результаты детектирования квадрокоптеров, занимающих меньшую площадь, нельзя признать удовлетворительными. Тем не менее при детектировании квадрокоптеров размером 3 x 3 пикселя удалось достичь точности 75 % при значении полноты 25 %.

«ИНФРАСТРУКТУРА «НОВОГО» ТИПА»

Тюрнина Н. Г.,
заместитель директора по научной работе ФГБУН Ордена
Трудового Красного Знамени Института химии силикатов
им. И. В. Гребенщикова Российской академии наук

Боровичев Е. А.,
заместитель генерального директора Федерального
исследовательского центра Кольский научный центр РАН

Карташев А. С.,
директор «Исследовательская компания «Sorokdva»

Чебров Д. В.,
директор Камчатского филиала Федерального
исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН»

Инфраструктура научной деятельности – это совокупность материальных и нематериальных объектов, обеспечивающих исследовательский и другие типы процессов научной деятельности. Инфраструктуру обычно подразделяют на жесткую (научное оборудование, установки, базы данных, коллекции, архивы, виварии, питомники, серверы и т. д.) и мягкую (финансовая, юридическая, цифровая, сервисная инфраструктура и т. д.). За рубежом используют другую классификацию и делят ее на локализованную (например, ЦКП, БАК), распределенную (например, сети мониторинга), мобильную (например, исследовательские суда) и виртуальную (например, цифровые сервисы).

Наиболее многочисленным формализованным сегментом научной инфраструктуры являются центры коллективного пользования (ЦКП) и уникальные научные установки (УНУ), которые по изначальному замыслу должны выполнять работы и оказывать услуги проведения научных исследований не только базовой организации, владеющей ими, но еще и сторонним заказчикам.

По состоянию на 2021 г. на портале <https://скр-rf.ru>, который является важным элементом виртуальной инфраструктуры, зарегистрировано 644 ЦКП, включая 25 суперкомпьютерных центров и 74 биоресурсные коллекции (коллекции клеток, микроорганизмов, растений, животных); 378 УНУ, включая 4 суперкомпьютерных комплекса и 90 биоресурсных коллекций (клетки, микроорганизмы, растения, животные).

Согласно данным мониторинга за 2021 г. [1], лишь около половины всех ЦКП (375) подали сведения о себе. Большинство из них находится в организациях, подведомственных Минобрнауки России. Средняя загрузка оборудования составляет 84 %, а в интересах внешних пользователей – лишь 44 %. Если учитывать, что эти данные не верифицированы, а носят заявительный характер, то эффективность этой части научной инфраструктуры вызывает серьезные вопросы.

Что касается УНУ, то, согласно данным того же мониторинга, средняя загрузка оборудования составляет 85 %, а в интересах внешних пользователей – 49 %. Эти показатели близки к показателям ЦКП, однако процент стоимости объемов оказанных услуг в интересах внешних пользователей почти в 1,5 раза ниже, чем для ЦКП: 40 % против 65,7 % соответственно. Стоит отметить, что отчеты о своей деятельности подали 202 УНУ из 378.

Анализ результатов мониторинга [1] свидетельствует, что эффективность инфраструктуры российской науки невысокая, имеет серьезные ограничения по доступу, гибкости и эффективности, а системы финансирования и оценки пока недостаточно нацелены на исправление проблем.

Такая ситуация приводит к тому, что ведомства, контролирующие эффективность государственного финансирования, не настроены на существенное увеличение финансирования, необходимого для актуализации научной инфраструктуры, и продолжают финансировать те ЦКП и УНУ, которые уже продемонстрировали административные успехи, что приводит к эффекту «деньги к деньгам». Кроме того, некоторое все же выделенное

дополнительное финансирование направляется на точечные проекты «мегасайнс» из-за их специфики — большой бюджет, простота администрирования, отложенный зачастую фундаментальный результат исследований.

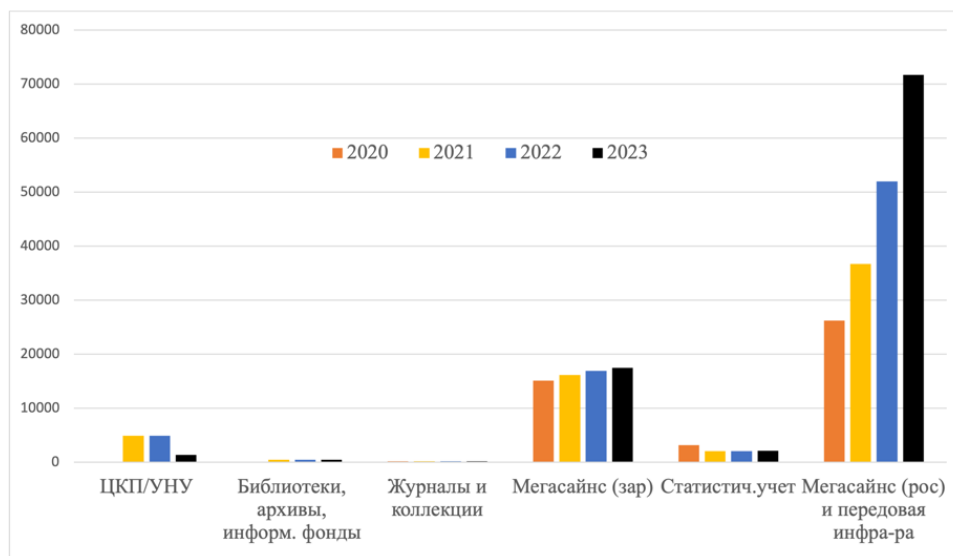


Рис. 1 – Направления поддержки в рамках подпрограммы «Инфраструктура научной, научно-технической и инновационной деятельности» РФ, млн руб.

Для большей части исследователей РФ увеличение бюджетного финансирования программ развития инфраструктуры недоступно, не приводит к повышению качества исследовательских результатов и росту их производительности труда.

Анализируя изменения, происходящие в научной деятельности, мы по всем направлениям наблюдаем усложнение, ускорение, увеличение объемов данных, увеличение объема знаний, все чаще требуются междисциплинарные исследования и кооперация, а это ведет к необходимости улучшения качества инфраструктуры и требует ускорения ее развития.

Оценивая в современной научной деятельности запросы на коммуникацию, междисциплинарность, выбор инструментов, мы также видим рост. Однако наша научная инфраструктура не схватывает новую специфику изменения в исследовательских процессах и деятельности. Инфраструктура не способствует ускорению процессов, не адаптируется под меняющиеся условия и требует все больших финансовых вложений.

Современный российский исследователь как универсал вынужден делать все сам, от написания ТЗ к тендерам на закупку до сборки мебели в лаборатории, тем самым теряя огромное количество исследовательского времени на непрофильную деятельность. Необходимо разделить задачи между разными позициями: исследовательскими и неисследовательскими.

В первую очередь необходимо сделать инфраструктуру науки более адаптивной, понизив барьеры входа, отменив устаревшие границы и рудиментарные ограничения. Тем самым кратно возрастет производительность труда в науке.

Анализируя текущую систему финансирования, мы видим, что государство жестко сверху спускает финансирование на научную инфраструктуру, при этом ставит задачу нарастить объем заказов и научных публикаций. Однако зачастую мы наблюдаем ситуацию «деньги к деньгам».

В новой модели должна быть возможность привлечения денег из разных источников. Инфраструктура в будущем должна приносить прибыль, а сегодня должна начать покрывать расходы на свое содержание и самообновление.

Инфраструктура научной деятельности в России жестко встроена в вертикально организованную систему учреждений науки. Минимальной автономной единицей является научная организация или вуз. Единственный легальный доступ к инфраструктуре для внешнего пользователя лежит через дирекцию организации. Прямые горизонтальные связи в настоящее время фактически «нелегалы». Существующая схема обуславливает высокие издержки на организацию новых исследовательских процессов.

Мы видим на практике – инфраструктура, зажатая внутри научных организаций, не используется эффективно, научная продуктивность в данном случае упирается в «бутылочное горлышко» активности конкретных ученых, имеющих к ней доступ, и это не отвечает возрастающим требованиям к скорости, сложности и междисциплинарности исследовательской деятельности, выталкивает современных российских исследователей из науки.

Инфраструктура «нового» типа должна быть построена на новых принципах. Она должна быть адаптивной к актуальной и будущей повестке, обеспечивать синхронизацию исследований и разработок. Новая инфраструктура должна иметь интерфейсы (стандарты) и проектный жизненный цикл, соответствовать организационным требованиям по загруженности, открытости доступа, принципу оторванности от исследовательской деятельности (за исключением исследовательской деятельности, направленной на развитие метода), усложнения СРТ, разномасштабности. Новая инфраструктура должна генерировать ресурсы – производить компетенции, деньги, время.

На наш взгляд, возможное решение — создание нового элемента инфраструктуры научной деятельности — **сети Агентств научных исследований.**

Агентство научных исследований — это автономная некоммерческая организация, специализирующаяся на исполнении внешних заказов на научные исследования, без собственной исследовательской повестки (за исключением исследований, направленных на улучшение исследовательского метода), с одним ключевым учредителем — НИИ, вузом или руководителем исследовательской группы. У такой организации должно быть оборудование для научных исследований в выбранной учредителем области, внутренний эндаумент фонда и фандрайзинговая деятельность; исследовательская и коммерциализирующая команды в штате. Организация должна размещаться в университетском кампусе, технопарке, на площадях НИИ и развиваться в рамках собственной согласованной стратегии с гибкими показателями; быть самоокупаемой после 7-го года с момента создания.

Мы считаем, что создание сети устойчивых и автономных агентств научных исследований, способных пересобрать инфраструктуру научной деятельности, станет новым драйвером развития научной инфраструктуры и науки в России.

Важно отметить, что главный принцип перехода к новой системе –

добровольность и заявительный характер.

Для пересборки необходима разработка инструментов стимулирования деятельности по новым принципам, в первую очередь – композитный рейтинг организаций, владеющих ЦКП и УНУ, содержащий 3 основных группы показателей – научные, коммерческие и общественно значимые (рис. 3). Оценка эффективности должна производиться по-новому, на основе динамики изменения показателей конкретной организации во времени, т. е. должно оцениваться движение агентства в рамках своей стратегии, а не разные агентства между собой. Большая часть показателей рассчитывается автоматически алгоритмами платформы <https://ckp-rf.ru>.

Суть рейтинга – стимулировать рост эффективности научной инфраструктуры через кооперацию внутри науки и снаружи — с промышленностью и образованием.

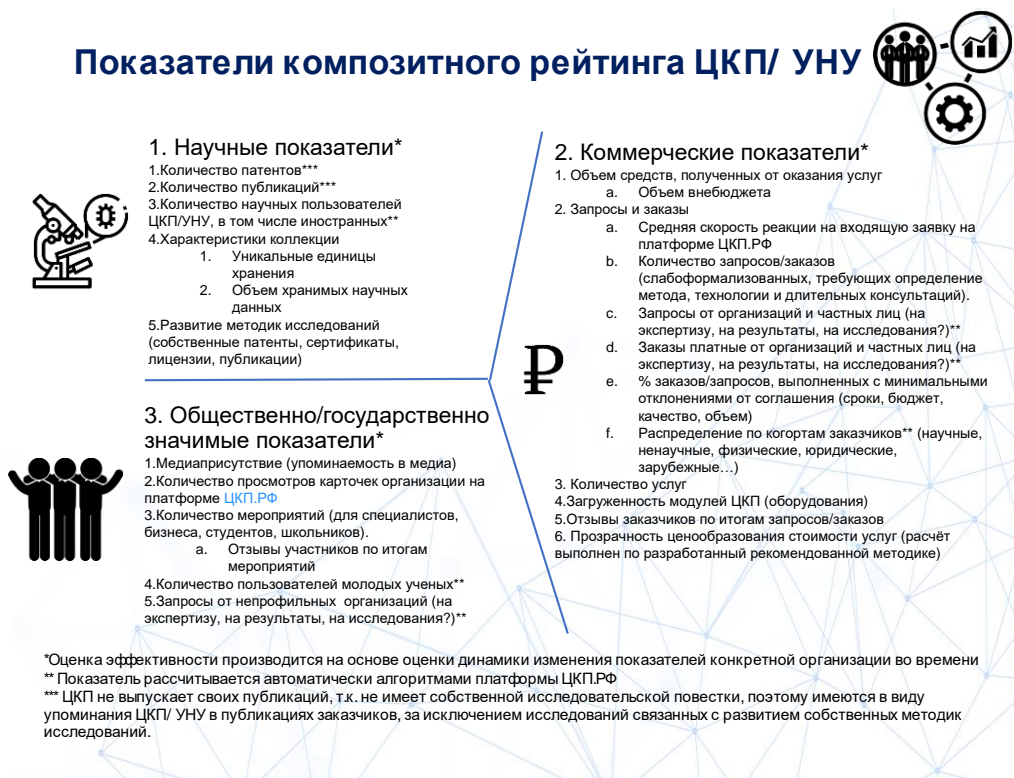


Рис. 2 – Концепция композитного рейтинга элементов научной инфраструктуры

Для перехода к модели агентств, которые для понимания еще можно назвать «ЦКП 3.0», необходимо:

— внесение изменений в Мероприятия по поддержке развития центров коллективного пользования и уникальных научных установок в

рамках ГП «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» и, возможно, в другие программы;

— разработка безопасных юридических механизмов по выделению имеющейся инфраструктуры в новые агентства в форме АНО;

— расширение функционала платформы <https://ckp-rf.ru> (новые сервисы, система «одного окна», цифровая торговая площадка и т. д.);

— создание отраслевого сообщества и специализированного think-tank для стимулирования кооперации и горизонтального сотрудничества, способного вырасти в «сеть агентств» и др.;

Благодарим коллег из групп «Инфраструктура» программы ШУИП 2021–2022 гг. МШУ Сколково, с которыми мы вместе много думали на тему инфраструктуры и повышения ее эффективности: Викторию Елкину, Оксану Коплак, Владимира Милькина, Андрея Полле, Василия Ретивова, Анастасию Соловьеву, Степана Галушкина (модератор), Александра Ломзова, Андрея Каратеева, Марину Костюченко.

Список использованных источников

1. Калюжный К. А., Чеченкина Т. В., Сотникова М. В. Ресурсный потенциал и результативность деятельности центров коллективного пользования научным оборудованием и уникальных научных установок. — М.: IMG Print, 2021. — 36 с.

**«ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В МЦМУ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ
ЛЕОНАРДА ЭЙЛЕРА»**

**Постнова О. В.,
научный сотрудник МЦМУ им. Л. Эйлера**

Я представляю математический центр Леонарда Эйлера, город Санкт-Петербург. Центр образован как консорциум Санкт-Петербургского государственного университета и Санкт-Петербургского отделения математического института имени Стеклова РАН.

Главная задача нашего центра – это развитие фундаментальных исследований, в т. ч. связанных с решением прикладных задач и получением результата для индустрии. Как раз о таких исследованиях преимущественно и пойдет речь. Отмечу, что в рамках деятельности МЦМУ Эйлера за прошлый год нам удалось привлечь и оказать поддержку молодым исследователям. Две трети наших сотрудников – это молодые ученые. Средний возраст работника Центра – 29 лет, туда входят и аспиранты и постдоки; 1/4 наших исследователей – это аспиранты. При этом более четверти исследователей нашего центра – это ведущие ученые.

Мы существенно расширили курсы лекций в 2021 г.

Было проведено:

- 13 международных конференций;
- 9 научных школ и воркшопов.

Более 500 молодых исследователей прошли обучение в центре и приняли участие в наших научных программах.

На рис. 1 приведены краткие описания результатов прикладных исследований за прошедший год. Здесь и работы по машинному обучению, искусственному интеллекту, комбинаторике, гидродинамике и квантовым вычислениям. Реализация этих проектов произошла как за счет индустриального партнерства, так и за счет поддержки МЦМУ,

осуществляемой в рамках наших тематических программ. Так, в рамках индустриального партнерства ведутся два, на мой взгляд, интересных проекта, о которых я расскажу подробнее.

Первый проект связан с разработкой модели искусственного интеллекта для создания новых рекомендательных систем на основе коллаборативной фильтрации.

Что такое коллаборативная фильтрация? Есть множество пользователей и множество предметов. Пользователи выставляют оценки предметам. В результате можно рассмотреть матрицу размерностью число пользователей на число предметов. В случае положительного взаимодействия ставится 1, в противном случае – 0. Задача состоит в том, чтобы рекомендовать предмет, с которым пользователю только предстоит взаимодействовать. Есть много разных подходов.

Искусственный интеллект

Высокопроизводительные порождающие модели для обработки больших данных. Для задачи коллаборативной фильтрации (предсказания предпочтений пользователей на основе информации о взаимодействии других пользователей с объектами) была разработана модель RecVAE.

Машинное обучение

Развитие математической теории гауссовских процессов Матерна для задач машинного обучения. Рассмотрено приложение к задачам оптимизации в робототехнике.

Квантовые алгоритмы

Найдено математическое решение задачи Р. Фейнмана 1965 г. об асимптотическом поведении физической модели движения электрона «шашки Фейнмана».

Гидродинамика

Изучено возникновение и рост зоны неустойчивого фронта вытеснения в однофазном потоке в пористой среде, соответствующее смешивающемуся вытеснению вязких жидкостей для увеличения нефтеотдачи.

Комбинаторика и теория графов

В рамках вычислительных задач поведенческой экономики получено снижение математического ожидания стоимости пути агента в моделях непоследовательного планирования.

Рис. 1 – Ключевые результаты прикладных исследований МЦМУ им. Л. Эйлера в 2021–2022 гг.

Один из известных методов – SLIM (Sparse Linear methods) – позволяет выразить искомый рейтинг (еще не выбранного предмета) через линейную

комбинацию рейтингов выбранных предметов. Также существует метод Locally Linear Embedding – нелинейный метод снижения размерности, который сохраняет локальные расстояния между предметами. LLE изначально является двухшаговым. Наши сотрудники предложили модернизировать метод Locally Linear Embeddings, внедрив в него весовую матрицу, содержащую информацию о предпочтениях пользователей, порождаемую моделью SLIM. Это позволило:

- модернизировать метод LLE, внедрив в него SLIM в качестве первого шага, тем самым извлекая из SLIM векторы, описывающие предметы;
- свести двухуровневую схему метода LLE к одноуровневой без явного вычисления весовой матрицы. При этом достигнуто существенное снижение затрат памяти и вычислительных ресурсов по сравнению со SLIM, что позволяет улучшить передовые модели коллаборативной фильтрации.

Другой проект посвящен описанию гидродинамических процессов в нефтегазовых пластах для МУН (методов увеличения нефтеотдачи). Известно, что до 70 % нефти в пласте не извлекается за счет из-за природного давления, и требуются дополнительные нагнетательные скважины, через которые в пласт закачиваются жидкости, выдавливающие нефть из добывающей скважины. Вытесняющей жидкостью является вода, однако ее плотность сильно ниже, чем у нефти, поэтому через нагнетательную скважину в пласт предварительно закачивают раствор полимера, снижающий подвижность воды и отношения вязкостей нефти и воды. В результате между вытесняющей водой и нефтью образуется полимерная оторочка, от толщины и скорости распространения которой зависит эффективность МУН.

Здесь ключевую роль играют процессы вытеснения водой полимера из пористой среды, в результате которого образуется зона смешивания воды и полимера, состоящая из тонких вязких пальцев. В проекте оценивается скорость распространения зоны смешивания, причем как переднего, так и заднего фронтов. Нашей группой была разработана модель Transverse Flow Equilibrium, которая впервые учитывала адгезию полимера породой. Модель

TFE позволяет скорректировать объемы закачиваемого полимера, уточнить размеры оторочек и повысить эффективность МУН.

Однако для решения более масштабных задач, а также для взаимодействия математики и индустрии, усилий одного МЦМУ недостаточно. На «Технопроме» высказывались идеи о том, как решать задачи взаимодействия бизнеса, университетов и научных сообществ. Очевидно, что для математиков этот вопрос более тонок, поэтому мы предлагаем объединить усилия матцентров для поиска и решения перспективных прикладных задач по следующей схеме.

Допустим, в индустрии возникают задачи и требуются эксперты для их решения. Как их связать? В качестве первого шага можно, например, создать интернет-ресурс, с которым работают координаторы центров и через который представители индустрии могут сделать запрос на исследования. Координаторы приглашают из разных МЦМУ экспертов в тематическую группу, которая оценит масштаб задачи, после чего матцентрами совместно проводится одна или несколько открытых школ-конференций в рамках соответствующей предметной области, на которых сделают доклады представители индустрии и ведущие ученые матцентров. Для участия в школе приглашаются студенты, аспиранты и молодые ученые, которые будут активно вовлечены в процесс решения задач и которые в будущем будут рассматриваться как основной потенциал исследовательской группы. По результатам участников школы будет решаться вопрос о формировании исследовательских групп. Предлагаемая схема позволит максимально задействовать имеющихся специалистов в России, а также привлечь к проекту молодежь, что будет способствовать успешности решения крупных задач и исследовательских проектов в области математики в долгосрочной перспективе.