

25000 кв. метров
передовой
инфраструктуры

26 научных
образовательных
и инновационных центров

100+ научных
конгрессно-выставочных
мероприятий



Предоставляем комплекс качественных услуг для комфортной рабочей среды и эффективного делового общения. В этом нам помогают опыт работы, высокая репутация «Технополиса» как площадки крупнейших в городе научных мероприятий, самая современная инженерно-техническая инфраструктура, передовые выставочные технологии, широкие сервисные возможности.

К вашим услугам – конференц-залы «Семенов» (166 мест) и «Капица» (60 мест), переговорная, телестудия с возможностью выхода в прямой эфир, лекционные аудитории, кафе и зимний сад.

По вопросам организации мероприятий:
+ 7 (812) 552 85 34 expo@spbstu.ru
technopolis.spbstu.ru

НАУКА.ПОЛИТЕХ

№ 02 (2) МАРТ-МАЙ 2021

«КАМА-1»

РЕДАКТИРОВАНИЕ
ГЕНОМА

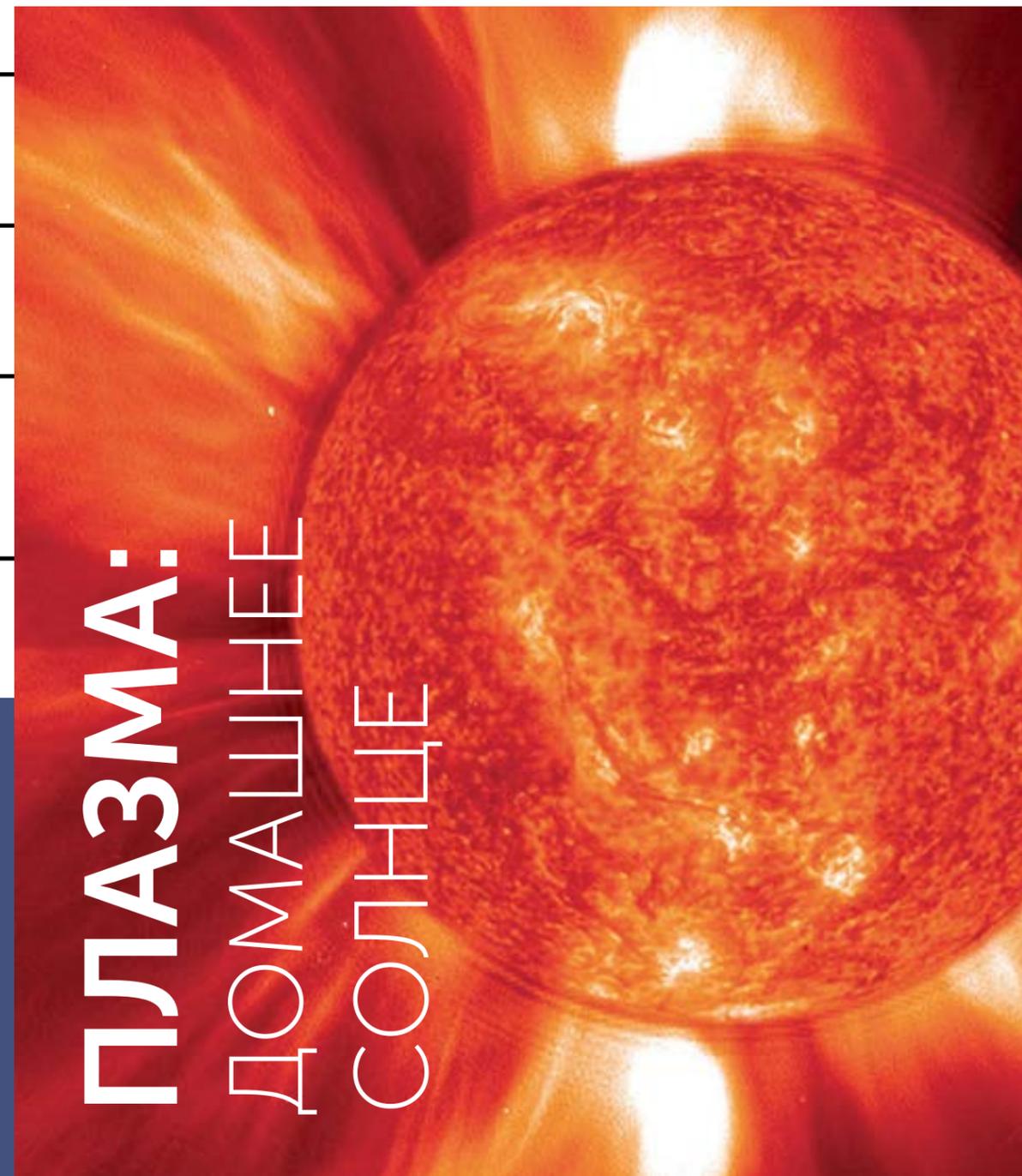
КВАЗИ-
КРИСТАЛЛЫ

СЕВЕРНЫЙ
МОРСКОЙ
ПУТЬ

ИОННЫЙ
ДВИГАТЕЛЬ

**Квантовый
компьютер:**
где предел
искусственного
интеллекта?

**ПЛАЗМА:
ДОМАШНЕЕ
СОЛНЦЕ**





В этом году мы отмечаем 60-летие полета Юрия Гагарина в космос. Одному из главных событий в истории человечества предшествовали десятилетия исследований, множество изобретений, открытий. На страницах этого номера мы вспомним выдающихся политехников, которые внесли неоценимый вклад в освоение космоса. Среди них – один из основоположников теоретической космонавтики Юрий Кондратюк, летчик-испытатель Марк Галлай, легендарный инженер и эксперт в области авиационных и ракетных двигателей Семен Косберг, крупнейший специалист в области механики, ракетной и космической техники Анатолий Благодатов, знаменитый ученый в области робототехники и систем управления Евгений Юревич. Эти и многие-многие другие ученые – выпускники нашего университета, сделали возможным полет в космос, расширили границы пространства.

Человеку всегда было свойственно мечтать об огромном мире, новых горизонтах и открытиях. Наше воображение, любопытство, стремление к неизведанному – наверное, именно эти удивительные качества стали основой технического прогресса всего человечества. Студенты, выпускники и ученые Политеха всегда искали новые рубежи, мечтали об открытиях и совершали их. И в этот юбилейный год мы продолжаем традиции российской науки, ведем перспективные исследования для космической программы.

Мы гордимся традициями российской космонавтики и вкладом Политеха в ее историю. И сегодня, когда российская космонавтика нацелена на активное развитие, тесное взаимодействие образования и науки позволяет нам с оптимизмом смотреть в будущее освоения космоса. Нас ждут новые горизонты и неизведанные миры. Все только начинается!

*Ректор СПбПУ,
академик РАН Андрей Рудской*

Территория прорывных
научно-образовательных технологий
подготовки инженерных кадров и команд
для решения актуальных задач
российской промышленности.



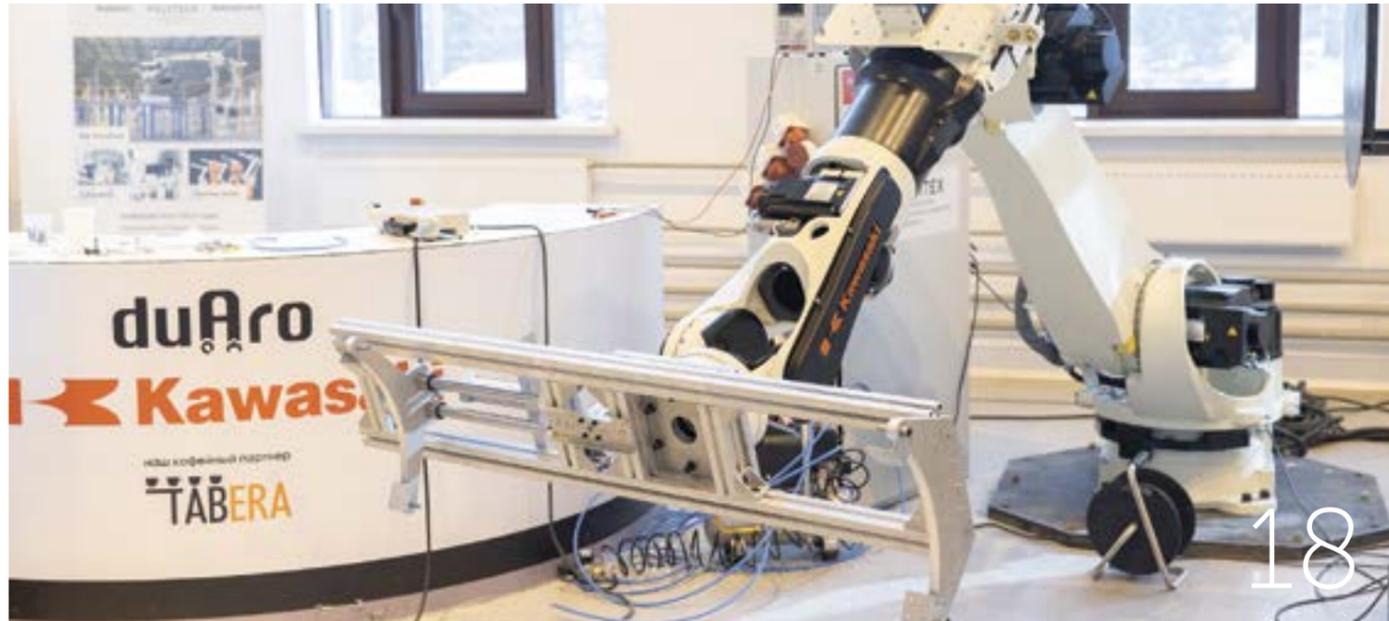
2021 год объявлен Годом науки и технологий. Это будет особый год, когда каждый из нас сможет по-новому увидеть и оценить развитие научной мысли, технологический прогресс в стране. Какие потребности есть у нашей науки, как ей оптимально развиваться, что нужно сделать, чтобы она успешно конкурировала с научными школами других стран? На эти вопросы мы будем стараться найти ответы.

Наш университет всегда славился талантливыми учеными – список открытий и проектов, перевернувших ход научной мысли, можно долго продолжать (см. статью «Покорение космоса: “Полет нормальный”!»). Сегодня у наших ученых есть прорывные работы в самых разных сферах науки – прикладной (статья «КАМА-1»: электромобиль, который ждут») и фундаментальной («Изучение квазикристаллов – междисциплинарная наука будущего»). В этом номере мы расскажем также о редактировании генома и работах ученых Политеха в этой области, об электродуговой сварке и наших инженерах, работающих с ней. Необычайно актуальные сегодня квантовые технологии и искусственный интеллект также в центре внимания наших ученых. Об этом и многом другом читайте на страницах журнала «Наука. Политех».

В Год науки и технологий стартует еще немало масштабных проектов. И вы обязательно о них узнаете на страницах этого издания!

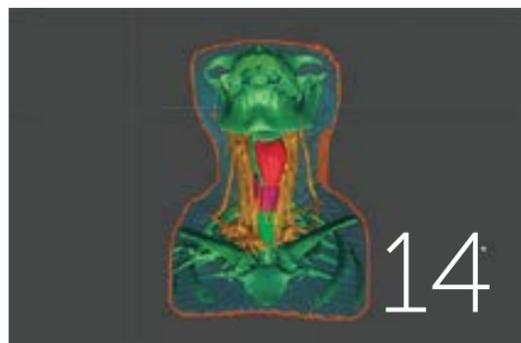
Проректор по научной работе СПбПУ, д.т.н., чл.-корр. РАН
Виталий Сергеев

СОДЕРЖАНИЕ



ТЕХНОЛОГИИ

- 18** Электродуговая сварка: тепловизоры, роботы и аргонаполняемые цеха
- 26** Редактирование генома: революция продолжается
- 36** «КАМА-1»: электромобиль, который ждут
- 46** Электромобили: всерьез и надолго?



НОВОСТИ

- 08** Ученые обнаружили новые физические эффекты, важные для работы реактора ITER
- 10** ВКР в формате стартапа
- 12** Петербургский Политех и Институт общей генетики РАН объединились для борьбы с вирусами и раком
- 14** Проведена первая в России операция с использованием технологии дополненной реальности
- 16** Ученые разработали систему киберзащиты автомобилей





СОДЕРЖАНИЕ

ФЕНОМЕН

- 56** Алексей Мадисон:
«Изучение квазикристаллов – междисциплинарная наука будущего»
- 60** Плазма:
домашнее солнце
- 70** Квантовый компьютер:
нерешительные кванты и злобные роботы?
- 82** Северный морской путь:
горячая Арктика
- 92** Ионный двигатель:
космос как предчувствие
- 100** Кислород в галактике:
поймай меня, если сможешь
- 104** Покорение космоса:
«Полет нормальный»!



114

ТРЕНДЫ

- 114** Преодоление будущего:
готовность к быстрым изменениям



70

Журнал «Наука. Политех»
Март-май 2021 №2

Главный редактор
Роман Лопаткин (loparkin_rv@spbstu.ru)

Выпускающий редактор
Инна Платова (platova_iv@spbstu.ru)

Дизайн и верстка
Светозар Баев (svetozar@raincs.ru)

Над номером работали:
Иван Ющенко, Анна Конева, Сергей Лобанов, Михаил Бабенков, Олег Путин, Екатерина Богданова, Евгений Панкратьев, Максимилиан Васильев

Возрастная категория 13+
Подписано в печать 15 марта 2021
Тираж: 999 экземпляров. Цена свободная

Адрес редакции:
ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, 195251

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре Политехнического университета.
ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, 195251.
Тел.: +7 (812) 552-77-17; 550-40-14



60

104



Ученые обнаружили новые физические эффекты, важные для работы реактора ITER

Энергетика будущего – за управляемым термоядерным синтезом. Научная группа из Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ), возглавляемая профессором Владимиром Рожанским, принимает участие в создании крупнейшего в мире экспериментального термоядерного реактора ITER. Ученые обнаружили новые эффекты, оказывающие влияние на поток энергии в реакторе. Теоретические изыскания подтвердились в ходе экспериментов на двух токамаках. Результаты исследования опубликованы в научном журнале “Plasma Physics and Controlled Fusion”.

Научная группа СПбПУ занимается расчетами пристеночной плазмы, а именно вопросами, как и какие примеси будут поступать в реактор, как будет перераспределяться мощность, которая идет из центральной зоны, и так далее. Для этого ученые СПбПУ разработали специальный численный код – SOLPS-ITER. Сейчас он объявлен как официальный для расчета параметров пристеночной плазмы не только ITER, но и всех существующих установок.



«Одна из главных проблем термоядерного синтеза связана с пристеночной плазмой, а точнее с тонким обдирочным слоем (scrape off layer). Понимание того, как устроен этот слой, знание физики процессов позволяет предсказать плотность потока энергии на материальные поверхности. От этого в целом зависит, можно ли осуществить управляемый термоядерный синтез, потому что пластины реактора должны выдержать огромные потоки энергии», – отмечает профессор Высшей инженерно-физической школы СПбПУ Владимир Рожанский.

Научная группа исследовала электрические токи, которые протекают в тонком слое пристеночной плазмы. Ученые провели теоретические расчеты, а также проверили их на компьютерных математических моделях. В процессе работы научная группа профессора Рожанского использует самые мощные ресурсы, в том числе и Суперкомпьютерного центра «Политехнический». Данные расчетов проверялись экспериментально на двух токамаках – в Институте физики плазмы имени Макса Планка в Германии, а также на российском токамаке «Глобус-М», который находится в ФТИ им. А.Ф. Иоффе. В ходе исследования обдирочного слоя токамаков удалось обнаружить новый тип тока.

«С помощью моделирования и экспериментов на существующих токамаках нам удалось подтвердить теории механизмов формирования обдирочного слоя в реакторе. Эксперименты на обоих токамаках полностью подтвердили наши теоретические расчеты. Следовательно, мы можем делать предсказания и экстраполировать эти данные на более крупный объект – реактор ITER», – уверен профессор Рожанский.

В настоящее время научная группа СПбПУ работает над моделированием самого большого в мире токамака JET, с наиболее близкими к ITER параметрами плазмы.



ВКР в формате стартапа

С этого года студенты Политеха получили возможность защищать выпускные квалификационные работы (ВКР) не только как академическую работу, но и в виде собственного предпринимательского проекта. Таким образом, по окончании обучения выпускники могут получить не только диплом об окончании вуза, но и действующий бизнес.

В настоящий момент Политех активно развивает систему поддержки и развития технологического предпринимательства студентов и преподавателей университета. Изучив международный и первый отечественный опыт, в 2018 году на базе Института передовых производственных технологий (ИППТ) рабочая группа Высшей школы технологического предпринимательства (ВШТП) разработала соответствующие образовательные программы. По мнению директора ВШТП ИППТ Владимира Щеголева, в ближайшее время основными чертами Политеха по тематике «ВКР в формате стартапа» станут следующие характеристики: международный уровень поддержки и оценки проектов; междисциплинарность (межинститутские проекты СПбПУ); развитие стартапов в контексте задач национальной программы «Цифровая экономика», Национальной техно-

логической инициативы, цифровой трансформации бизнеса и целей международного устойчивого развития.

Такой формат выпускной квалификационной работы хорош, прежде всего, тем, что позволяет вовлекать студентов совершенно разных направлений – в одной команде могут оказаться программисты, инженеры и экономисты, и др. На образовательных программах, помимо преподавателей, студентам помогают и внешние эксперты (в т. ч. международные), и бизнес-ангелы, и технологические предприниматели. Обучение происходит в формате круглых столов, акселерационных программ, симуляторов, а в условиях пандемии – еще и дистанционной работы приглашенных иностранных специалистов.

«Самое важное в современных условиях – это наличие не только стратегии, но и работающих инструментов для ее реализации, – уверен Владимир Щеголев. – В Политехе такие возможности созданы, и они в определенном смысле уникальны. Например, наши студенты имеют возможность на постоянной основе получать консультационную поддержку специалистов Научного центра мирового уровня “Передовые цифровые технологии”, реализовывать свои проекты в рамках партнерской международной сети предпринимательских университетов, получать поддержку Центра инноваций и предпринимательства “Политех Strascheg”. Обучение технологическому предпринимательству идет на русском и английском – благодаря этому на программах учатся студенты из России, стран ЕС, Азии и Америки, формируя столь необходимую для этого процесса кросскультурную среду».

В 2020 году Высшая школа технологического предпринимательства ИППТ подготовила своих первых выпускников и благодаря этому в 2021 году планирует запустить международную аккредитацию программы по технологическому предпринимательству.

«Всего около 50% студентов ВШТП развивают собственные предпринимательские инициативы, – поясняет Владимир Щеголев, – другая половина готовит проекты по развитию экосистемы поддержки технологического предпринимательства на предприятиях, проекты по организации систем внутреннего предпринимательства и инновационных производственных процессов, исследовательские проекты по технологическому предпринимательству». При этом миссия школы – сохранить абсолютное большинство студентов и выпускников в сфере развития именно технологического предпринимательства, добавляет директор ВШТП.

В феврале 2021 года на Ученом совете СПбПУ утверждено Положение о Выпускной квалификационной работе (ВКР) в формате стартапа, разработанное Дирекцией образовательных программ совместно с ВШТП ИППТ для всего университета. С этого года в Политехе начинает действовать соответствующий международный экспертный совет СПбПУ для промежуточной экспертизы студенческих стартапов.

«Стартап как диплом» – относительно новый формат защиты в российских вузах. Место научной работы выпускники могут представить свой стартап. Впервые защита в таком формате прошла в 2017 году в ДВФУ. Потом эксперимент провели РЭУ им. Плеханова, МФТИ, ТПУ, ИТМО и РАНХиГС.

Государство поддерживает эту инициативу: в Минобрнауки считают, что такая практика поможет вовлечь студентов в сферу технологического предпринимательства. Идея созвучна целям нацпроекта «Наука», среди которых – соединить науку и бизнес, максимально сократив время между разработкой новой технологии и ее выходом на рынок.



Петербургский Политех и Институт общей генетики РАН объединились для борьбы с вирусами и раком

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого и Институт общей генетики имени Н.И. Вавилова РАН подписали соглашение о сотрудничестве в области лечения онкологических заболеваний и изучения вирусов. Подписи под соглашением поставили ректор СПбПУ академик Андрей Рудской и директор ИОГен РАН член-корреспондент РАН Александр Кудрявцев.

Специалисты обоих учреждений будут совместно заниматься разработкой новой биологической теории, меняющей подход к лечению злокачественных новообразований, а также изучением совокупности вирусов человека и его генома компьютерными методами. Согласно новой биологической теории, злокачественные новообразования рассматриваются как хроническое заболевание, с которым можно жить, сдерживая его негативное влияние. Теория обладает предсказательной силой и объясняет много ранее не объясненных биологических явлений.

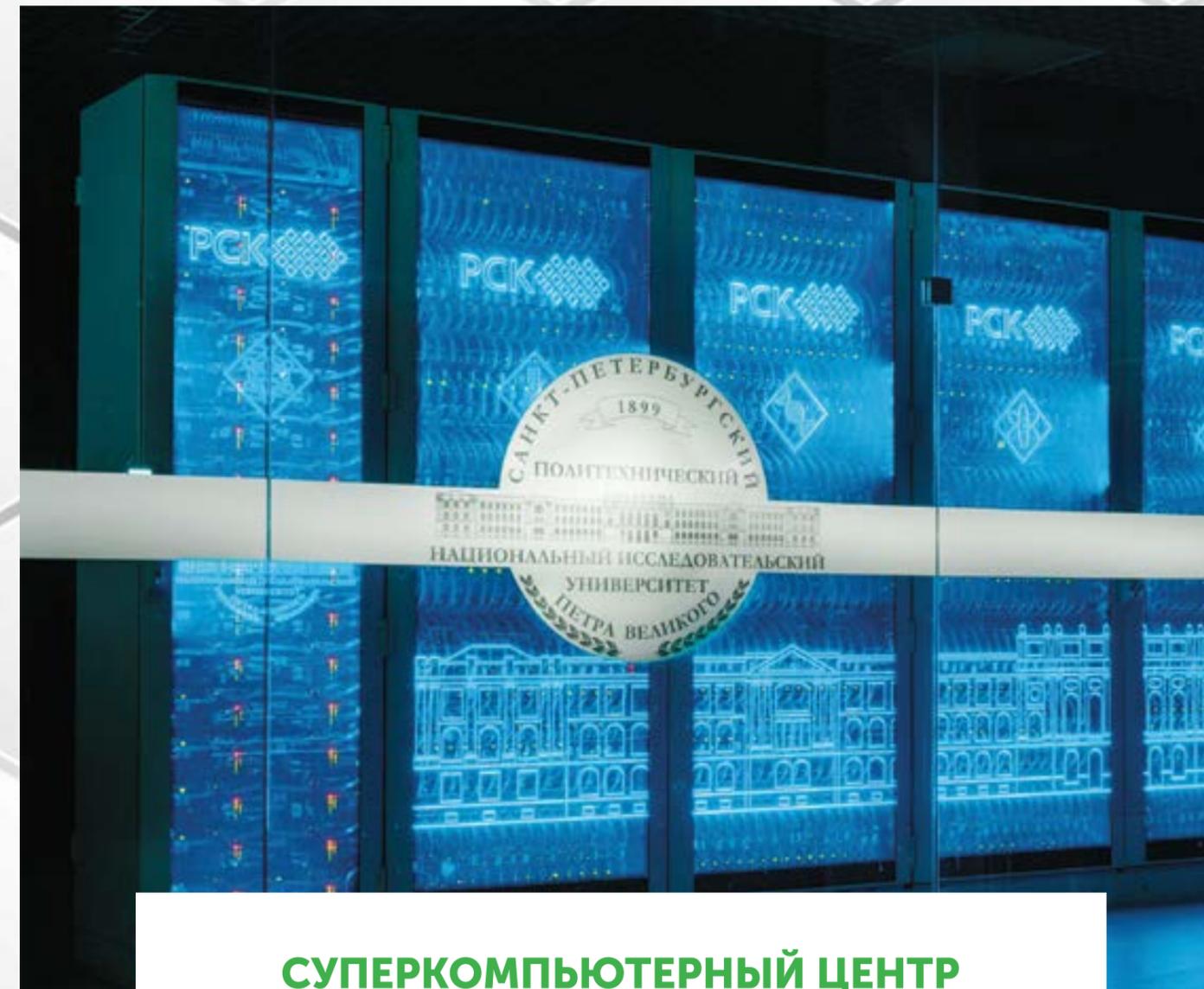
Автор новой биологической теории – руководитель Лаборатории теоретической биологии СПбПУ, доктор биологических наук Андрей Козлов в 2020 году был награжден премией имени Н.И. Вавилова в области биологических наук за открытие TSEEN-генов, предсказанных его теорией. Он входит в рабочую группу по созданию Центра фундаментальной вирусологии, IT-центром которого планирует стать Политех. Ожидается, что в рамках этого проекта уче-

ные Политеха и ИОГена будут работать над технологиями для создания средств диагностики, профилактики и лечения инфекционных заболеваний, вызываемых новыми вирусами.

Директор Института общей генетики Александр Кудрявцев рассказал, что в рамках совместной работы планируется, в частности, сплошной мониторинг всех существующих в природе вирусов и обработка полученных данных на суперкомпьютере, что позволит предсказать поведение вирусов в будущем.

Как заявил ректор СПбПУ Андрей Рудской, обладая ресурсами второго по мощности среди вузов России Суперкомпьютерного центра, ученые Политеха смогут развивать современные вирусологические исследования. «Институт общей генетики РАН изучает вопросы генетики и математического моделирования биологических процессов. Близкие задачи стоят и перед нашими учеными, – уточнил он. – Благодаря возможностям нашего Суперкомпьютерного центра мы можем вносить значительный вклад в развитие современных вирусологических исследований. Актуальность последних в свете пандемии не вызывает никаких сомнений».

В настоящее время Политех совместно с Институтом общей генетики уже участвуют в разработке ДНК-вакцины против коронавируса.



СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЙ ЦЕНТР «ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ»

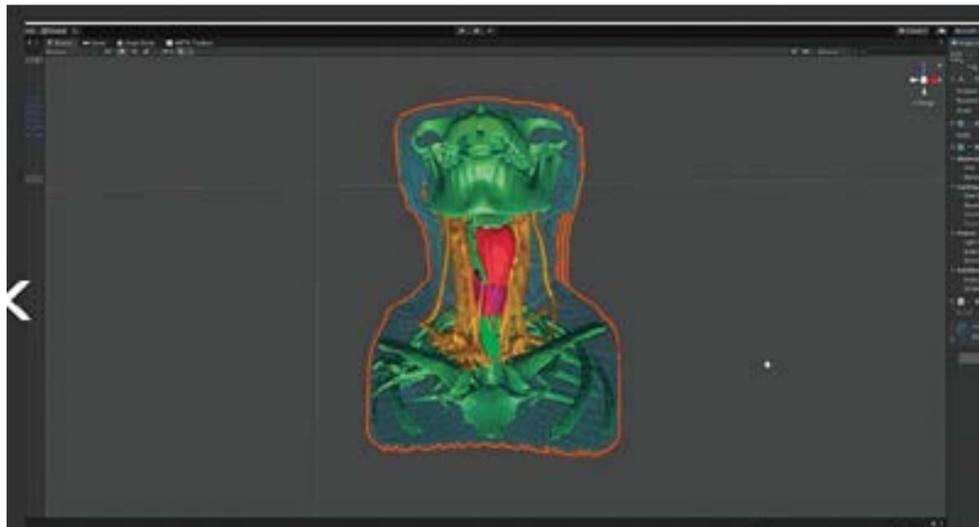
Один из крупнейших суперкомпьютерных центров в России, второй по производительности среди научных центров и четвертый в общем рейтинге.

С использованием ресурсов СКЦ ежегодно выполняются сотни проектов и решаются десятки тысяч вычислительных задач в различных областях знаний, включая науки о жизни, вычислительную механику, материаловедение, геофизику, двигателестроение, исследования

космоса, микроэлектронику, генетику, искусственный интеллект, и др.

СКЦ предоставляет различные вычислительные системы, мощность самой производительной из них 1.3 ПФлопс (миллион миллиардов вычислительных операций в секунду). СКЦ зарегистрирован как центр коллективного пользования и уникальное научное оборудование и является верным партнером для российских научных и промышленных организаций.

ПРИГЛАШАЕМ К СОТРУДНИЧЕСТВУ!
 КОНТАКТЫ: АЛЕКСЕЙ ЛУКАШИН, +7 (812) 290-96-18 ДОБ. 1505, DIRECTOR.SCC@SPBSTU.RU



Проведена первая в России операция с использованием технологии дополненной реальности

В Санкт-Петербургском государственном медицинском университете имени академика И.П. Павлова (ПСПбГМУ) провели первую в России операцию на органах шеи с использованием технологии дополненной реальности. Хирурги использовали приложение для очков дополненной реальности, разработанное специалистами научной группы профессора Владимира Иванова из Института прикладной математики и механики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого и кафедрой челюстно-лицевой хирургии ПСПбГМУ, которую возглавляет проректор ПСПбГМУ, профессор Андрей Яременко.

Эти уникальные технологии сейчас бурно развиваются во всем мире. Первую операцию на позвоночнике с использованием технологии дополненной реальности провели в июле 2020 года в клинике Раша в США. В России эта технология появилась всего через полгода.

При помощи новой разработки петербургских ученых по данным МРТ и КТ пациента строится голограмма внутреннего строения определенной зоны (черепа, позвоночника, шейного отдела и т.д.). При этом удается визуализировать не только костные структуры, но и мягкие ткани, сосуды, доброкачественные и злокачественные опухоли. Это изображение затем подается на очки дополненной реальности, и с помощью маркерной системы жестко «привязывается» к телу пациента. В результате хирург получает возможность и во время планирования операции, и в ходе ее проведения видеть пациента буквально насквозь, что способствует менее инвазивному проведению операции.

Об особенностях технологического сопровождения данной операции рассказал ведущий разработчик метода Сергей Стрелков: «В хирургии важна точность, поэтому был разработан уникальный подход для достоверного позиционирования 3D-модели анатомических структур и визуализации их в дополненной реальности. В связи с тем, что шея и голова очень подвижны, было решено их зафиксировать с помощью маски-каркаса, которая изготавливается индивидуально для пациента. В этой же маске пациенту делалось КТ с контрастированием, на основе которого и создавалась 3D-модель. Это позволило точно соотнести положение головы и шеи пациента во время томографии и операции».

Операцию по удалению рецидива срединной кисты шеи со свищом выполняла бригада хирургов под руководством профессора Николая Калакуцкого. Он так описывает свой опыт: «Новая технология позволяет во время операции четко визуализировать всю зону хирургического вмешательства, видеть образования и сосуды, что в значительной степени уменьшает травматичность вмешательств и снижает риск развития осложнений во время операции и после нее». Профессор Калакуцкий уверен, что внедрение новой технологии в клиническую практику улучшит диагностику заболеваний и планирование операций. Однако, по его мнению, предстоит еще большая научная и клиническая работа, направленная на формулирование показаний и отработку техники использования нового направления в лечении пациентов с различными заболеваниями.

Интерес к технологии уже проявляют ведущие медицинские центры России. Так, в Национальном исследовательском медицинском центре им. В.А. Алмазова прошла операция по удалению злокачественной опухоли головного мозга. Есть предварительные договоренности и с Национальным медицинским исследовательским центром детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера. Разработчики надеются, что в ближайшем будущем доступ к данным технологиям получит широкая сеть медицинских клиник России.





Ученые разработали систему киберзащиты автомобилей

В большинстве современных автомобилей много электроники, а это значит, что они подвержены атакам хакеров. Эту проблему попытались решить ученые Политехнического университета, разработав инновационную систему безопасности для транспортных средств.

Автомобили оснащаются массой электронных систем, и, если хакерам удастся взломать один из узлов, за этим может последовать сбой остальных. Поэтому ученые из Института кибербезопасности и защиты информации СПбПУ в процессе разработки собственной системы безопасности применили метод «разделения». Специалисты СПбПУ разработали новый подход к формированию доменов. Исследователи предлагают делить электронику не только по ее назначению, но и по

характеристике безопасности. Методика предполагает, что группы электронных блоков будут опознавать друг друга и пресекать несанкционированные доступы. Как поясняют авторы проекта, инновационная система не позволит взломать, к примеру, встроенные мультимедиа, а уже через них проникать в систему управления двигателем. Другими словами, если один домен обращается ко второму с командой отключить определенную систему, а это в его компетенцию не входит, то второй просто игнорирует поступивший запрос.

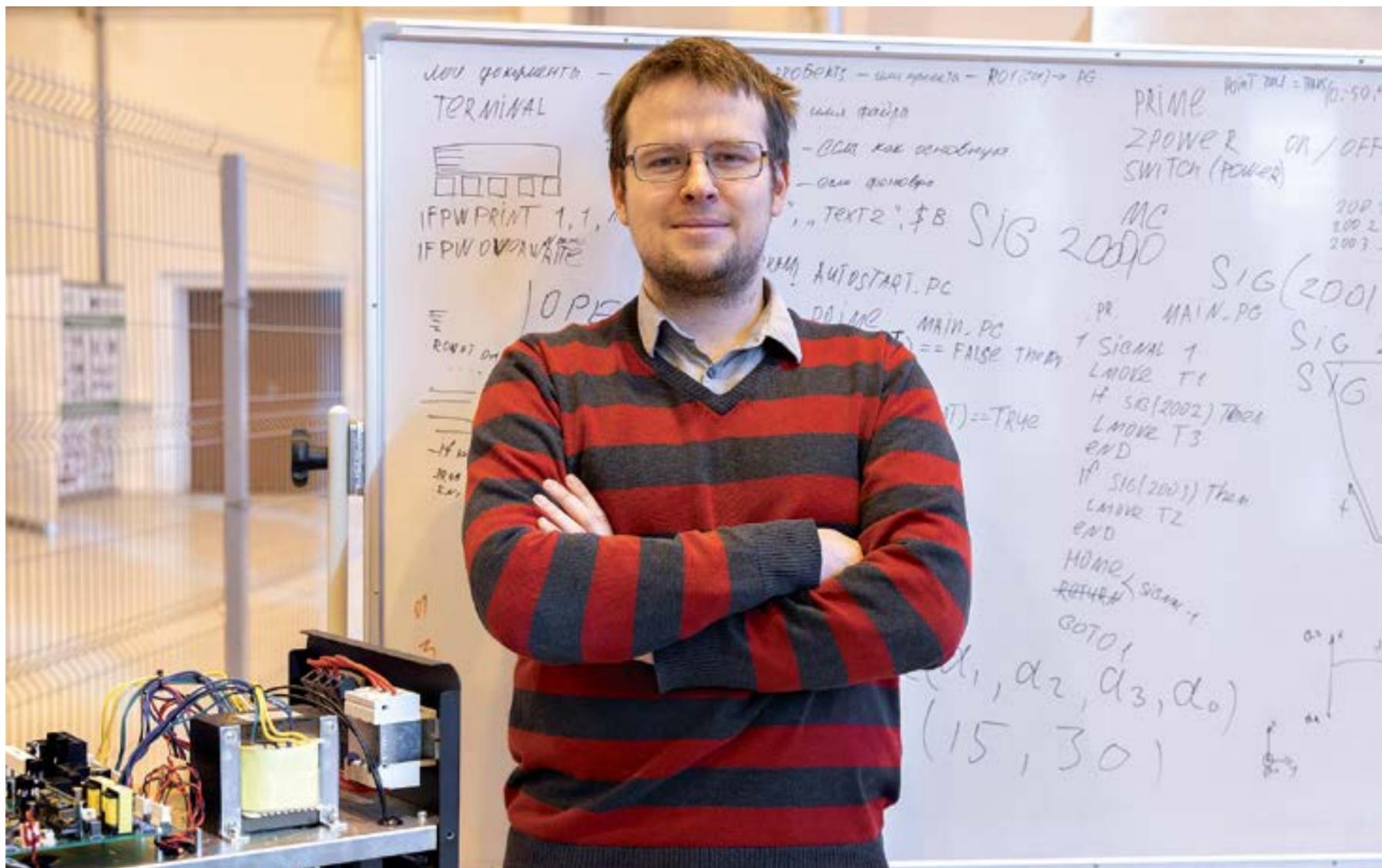


«Наша научная группа разработала имитационную модель, которая выполняет автоматическую кластеризацию блоков управления бортовой системы транспортного средства и разделяет ее на домены таким образом, чтобы нарушение безопасности не привело к негативным последствиям, – поясняет доцент Института кибербезопасности и защиты информации СПбПУ Евгений Павленко. – Такой подход является модульным и легко масштабируемым, то есть не накладывает ограничения на вычислительные ресурсы, а также минимизирует избыточность применяемых мер обеспечения безопасности».

По словам ученых, это уникальная разработка, и подобных систем обеспечения безопасности в автомобилях еще нет. «Технология позволяет сделать так, чтобы нарушитель, который воздействует на электронику в автомобиле, не смог внедрить какой-то электронный блок, и эти его действия никак не сказались бы на неправильном принятии решений с точки зрения пилотирования транспортного средства. Наша разработка не требует сложных вычислений от существующей в автомобиле электроники. Мы не добавляем криптографических схем, которым необходимы большие мощности», – добавляет Евгений Павленко.

На данный момент ученые создали прототип антихакерского модуля. Система может применяться и в личных автомобилях, и для коммерческих транспортных средств. Однако модуль можно подключить в автомобиль не старше 10-15 лет. В течение этого года специалисты продолжают исследования, а в 2022-м планируют запустить пилотные проекты по внедрению технологии на авторынок.

ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА: ТЕПЛОВИЗОРЫ, РОБОТЫ И АРГОНО- НАПОЛНЯЕМЫЕ ЦЕХА



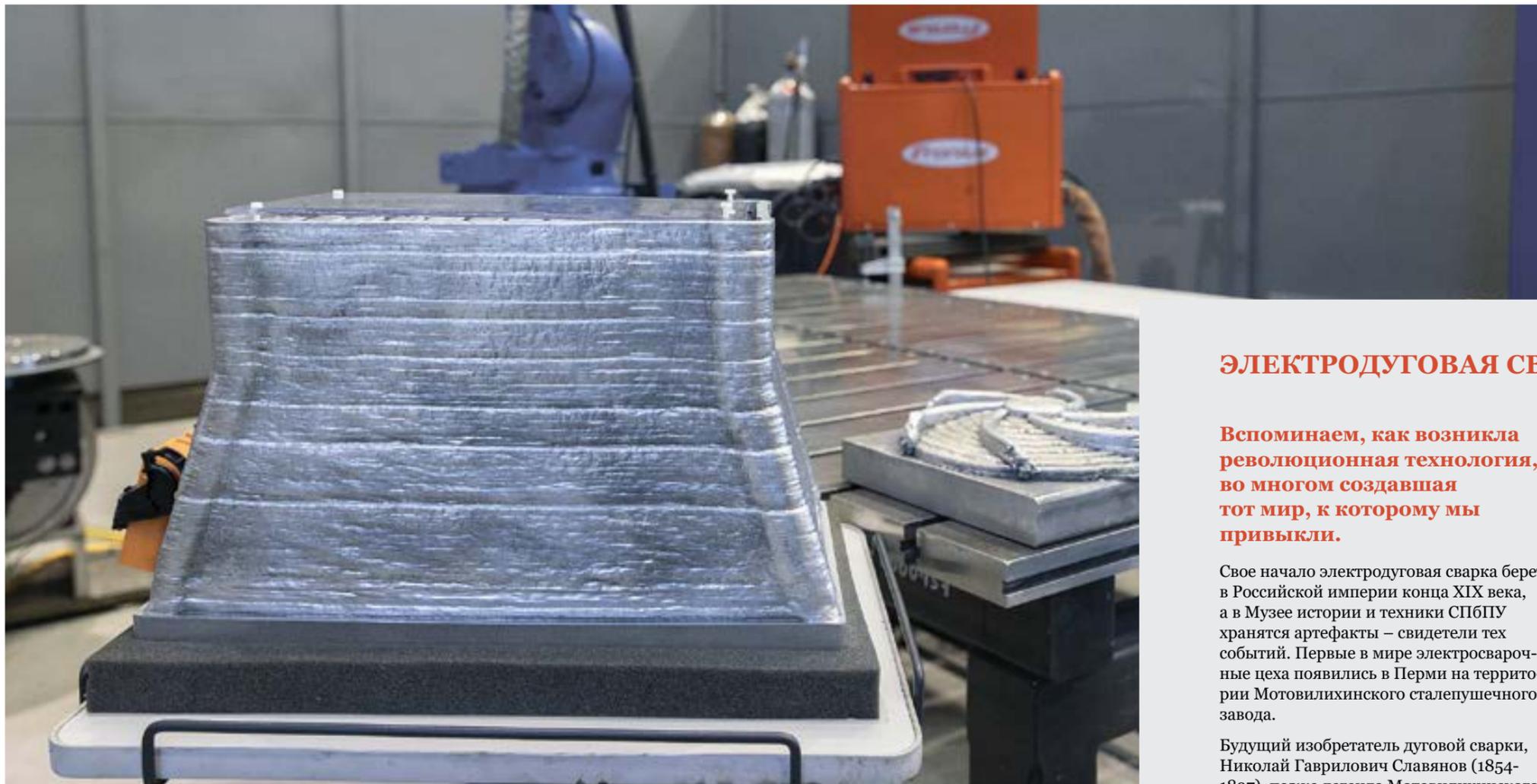
Инженер Лаборатории легких материалов и конструкций Политеха Игорь Мушников раскрывает секреты современной сварки, которая является продуктом высоких технологий и фундаментальных знаний.

Текст: Михаил Бабенков

- Какими исследовательскими проектами вы занимаетесь?

- Одним из наших текущих проектов является разработка системы контроля температуры бесконтактным методом. Любой объект, температура которого больше нуля, излучает электромагнитные волны в инфракрасном спектре. Приборы, которые в народе называются тепловизорами, анализируют этот спектр, сопоставляют его со спектром абсолютно черного тела и показывают красивые карты температур. В реальности абсолютно черного тела не существует, все тела испускают лишь примерно то

же самое, с неким коэффициентом, который называется «коэффициент серости», который для разных материалов разный, причем может отличаться на порядки. Определить из таких измерений истинную температуру трудно, потому что в процессе сварки деталь достаточно «грязная» – на ее поверхности присутствуют шлак, окалина и прочее. Условно говоря, алюминий в каком-то месте сварного соединения может быть «белый», а в каком-то «черный», и они очень сильно отличаются по спектру излучения при одной и той же температуре. Поэтому использовать готовые решения не-



возможно, сделать универсальный тепловизор непростая задача.

- Это же сейчас очень популярная процедура. Везде стоят бесконтактные датчики, которые показывают, есть ли температура у человека, который заходит в здание.

- Да, из-за пандемии пытаются мерить температуру тепловизорами. Я в таком подходе немного сомневаюсь, поскольку в зависимости от оттенка кожи должен меняться спектр излучения. Поэтому точную температуру кожи при помощи тепловизора измерить невозможно, но многие люди, которые используют подобный

метод, этим пренебрегают. А вот мы пренебречь таким не можем. Поскольку спектр того, что попадает в разрабатываемый нами прибор, обладает слишком большим разбросом «коэффициента серости». Приходится применять научный подход и решать эту задачу.

- Повлияла ли пандемия на деятельность вашей лаборатории или учебный процесс?

- На тему инфракрасной спектроскопии прошлой весной у нас защитила бакалаврскую работу студентка. Увы, ввиду карантинных ограничений ее работа осталась без экспериментальной части. Но даже в расчетах она

ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА: НАЧАЛО

Вспоминаем, как возникла революционная технология, во многом создавшая тот мир, к которому мы привыкли.

Свое начало электродуговая сварка берет в Российской империи конца XIX века, а в Музее истории и техники СПбПУ хранятся артефакты – свидетели тех событий. Первые в мире электросварочные цеха появились в Перми на территории Мотовилихинского сталепушечного завода.

Будущий изобретатель дуговой сварки, Николай Гаврилович Славянов (1854-1897), позже легенда Мотовилихинского завода, в начале своего триумфального пути инженера командировается в Европу, посещает там всемирные выставки и знакомится с производством на заводах в Бельгии и Германии. В те времена, когда Славянов учился в Санкт-Петербургском горном институте, такого предмета, как электротехническое дело, еще не было. Из командировки Славянов привозит различные приборы, литературу и, конечно же, знания по электротехнике. С его возвращением завод в Мотовилихе начинает электрифицироваться: им конструируется динамо-машина, строится электростанция, в цехах появляется электродуговое освещение.

Годом появления электродуговой сварки считается 1888 год. В современной лите-

ратуре используется название «сварка по способу Славянова»: между свариваемыми поверхностями и электродной проволокой горит электрическая дуга, вследствие чего сама проволока и свариваемые поверхности расплавляются. Славянов также предложил использовать устройство, которое автоматизирует подачу проволоки. Устройство Славянова сейчас бы назвали сварочным полуавтоматом.

Стоит отметить, что параллельно Николаем Николаевичем Бенардосом была изобретена сварка неплавящимся угольным или вольфрамовым электродом. Однако сварка Славяновским методом оказалась более востребована. Кроме соединения металлических поверхностей, метод позволял производить наплавку. Оба этих обстоятельства делали его незаменимым для ремонта и восстановления различных конструкций: от валов и шестерней до подвижного состава, церковных колоколов и судов. Тогда еще никто не предполагал, что новая технология вытеснит даже господствующую тогда клепку, и до 70% всех сварочных работ будут производиться по методу, предложенному Славяновым.

В те времена было распространено мнение, что цветные и черные металлы не могут быть спаяны друг с другом. В 1893 году Славянов изготавливает образец, полностью развеявший подобные заблуждения. Образец представляет собой грахенный металлический цилиндр, выполненный из сварного соединения бронзы,



никеля, стали, меди, чугуна, колокольной бронзы, томпака (сплав меди и цинка) и нейзильбера (сплав меди, цинка и никеля). Первый экземпляр «Славяновского стакана» был направлен на Всемирную электротехническую выставку, где отмечен грамотой и медалью. Надпись на его торце гласит: «Экспонат на Всемирную электротехническую выставку в г. Чикаго (Америка). Изготовлен Н.Г. Славяновым. Завод Мотовилиха. 1893 год». Второй экземпляр в том же году побывал на IV Электротехнической выставке в Санкт-Петербурге. Позже, когда в 1899-м будет основан Императорский Санкт-Петербургский политехнический институт, этот экземпляр будет передан в дар музею его Электромеханического отделения. В настоящее время один из двух «Славяновских стаканов» находится в коллекции Музея истории и техники СПбПУ.



показала, что предложенный метод должен работать с достаточно высокой чувствительностью. Такой прибор был бы чрезвычайно полезен, чтобы мы могли вычислять степень нагрева каждого слоя, что позволило бы сократить время ожидания перед нанесением слоя следующего. Конечно, можно напечатать и просто ждать, когда температура опустится ниже установленной величины, но можно и автоматизировать, что позволит значительно оптимизировать процесс печати.

- Вы последовательно навариваете несколько сварочных швов, пока не получите готовую деталь?

- Наша идея заключается в использовании классического сварочного процесса как инструмента 3D-печати. Концепция, которую мы развиваем, это печать различными материалами из проволо-

ки. Существует два больших направления сварки: сварка с плавящимся и с неплавящимся электродом. В первом способе расходный материал подается коаксиально при помощи системы подачи, и дуга горит непосредственно через материал. Второй способ: проволока подается в уже расплавленный дугой материал. В ходе экспериментальных работ мы установили, что для 3D-печати лучше подходит плавящийся электрод. Хотя однозначно сказать нельзя, так как разные материалы ведут себя по-разному.

Нужно не просто перемещать сварочную горелку в пространстве, надо делать это так, чтобы система умела моделировать и предсказывать дальнейшее поведение материала. К сожалению, сварка – это достаточно сложный процесс, в котором материал расплавляется и кристаллизуется, и поэтому в процессе

сварки происходит образование огромного количества внутренних напряжений. Из-за этого деталь в ходе производства может непредсказуемо деформироваться, что является главной проблемой аддитивной печати.

- Что вы предпринимаете, чтобы избежать проблем, связанных с остаточными напряжениями?

- Мы разрабатываем систему адаптивного контроля, то есть в будущем планируется, что каждый напечатанный слой будет анализироваться и, исходя из этого, будет корректироваться алгоритм печати следующего слоя. Работа по борьбе с напряжениями ведется сразу в нескольких направлениях. Классический способ снятия напряжений – термический отпуск. Деталь нагревается до высокой температуры, а потом медленно остывает. Есть мечты произ-

водить отпуск прямо во время печати, но если этого не получится, то остаточные напряжения надо усмирять и приручать как-то иначе.

- Такой процесс может считаться 3D-печатью?

- Если быть точнее, он называется WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing) или по-русски – электродуговая наплавка. Если назвать его 3D-печатью, то люди старой школы могут сказать, что мы в 1980-х все это уже делали. Действительно, процесс наплавки ГОСТирован. Им можно, например, восстанавливать изношенные покрытия. Этим занимались достаточно давно: ставили на токарный станок трубу, устанавливали источник. Труба крутилась, источник двигался и появлялось покрытие на трубе. Но тогда не было таких вычислительных и сварочных возможностей. Не было таких

доступных управляемых систем, какими являются современные роботы, и не было систем, которые настолько универсально позволяют генерировать управляющие программы, и как следствие – не было возможности сделать что-то комплексное.

- Чем хуже метод SLM (Selective Laser Melting), где лазером производится послойное спекание металлического порошка?

- Это не конкурирующие технологии – они используются для разных задач. SLM-технология достаточно дорогая, поскольку все это делается в среде защитного газа, и используется лазер. Поэтому детали получаются малогабаритными. Но зато они могут быть довольно тонкостенными, к тому же SLM позволяет создавать различные сетчатые структуры. Технология WAAM, напротив, позволяет печатать детали метровых диапазонов, а само оборудование значительно дешевле. При печати мы используем обычную проволоку вместо дорогостоящего порошка. У нас, конечно, реализована и порошковая подача, но мы больше верим в проволоку, потому что с коммерческой точки зрения она выгоднее где-то на порядки в зависимости от сплавов. Рекламный постер такой системы мог бы гласить: «Вы можете что угодно напечатать из проволоки». Правда, точность метода не так высока, как у SLM, и может потребоваться финишная обработка на фрезерном или токарном оборудовании. Технология WAAM, скорее, конкурент классическому литью и фрезеровке деталей из больших заготовок: меньше отходов и времени, ниже расход режущего инструмента. Например, если мы захотим точно что-нибудь закрепить на фланец, то после литья тоже потребуются финишная механическая обработка.

- С какими материалами вы работаете?

- Конечно, название «Лаборатория легких материалов» в первую очередь подразумевает алюминиевые сплавы, однако мы продвигаем и отдельный спектр композитных материалов, хорошим примером которых является пеноалюминий. В числе прочих он обладает полезным свойством «непотопляемости». В аддитивном направлении переходим на более дорогостоя-



щие сплавы на основе титана и различных нержавеющих сталей. Титановые сплавы очень дорогие и обрабатывать их крайне сложно. И тут как раз такой метод, как WAAM, может сильно сэкономить и время, и деньги. Одна из главных проблем при сварке титана – его окисление. Как борются с окислением? Создают во время сварки среду защитного газа: аргона или гелия. Если материал остыл до того, как «облачко» защитного газа рассеялось, окисление ему не страшно. Проблема в том, что в титане защита нужна настолько хорошая, что варить его можно только точно: сварщик включает газ, потом варит, а потом еще 10 секунд дует на это место защитным газом, пока оно не остынет. Поэтому в печати этот материал довольно проблемный.

- Только ли защитным газом решается этот вопрос?

- Фактически да. Ходят слухи, что в предыдущей цивилизации под названием Советский Союз были целые аргононаполняемые цеха, где люди работали в скафандрах. Если говорить о людях в скафандре в аргоновой камере, то это очень сложно организовать. Когда ты целенаправленно помещаешь человека в опасную среду, нужно иметь кучу нормативных документов, поверенное оборудование, людей, которые будут стоять на вентиле, и бригаду медиков, которые в случае чего начнут спасать работников. У нас все значительно проще. Внутри камеры, наполняемой 10 кубометрами аргона, мы разместили бесчеловечного робота.

- Расскажите подробнее о ваших роботах.

- Это, разумеется, не те роботы, которые по выставкам пытаются ходить, и не роботы Boston Dynamics. Когда инженеру-специалисту говоришь слово «робот», он обычно представляет себе шестиосевой промышленный манипулятор. Такие роботы производятся, как автомобили, миллионами штук в год по всей планете. Передовиком роботизации в Европе является Германия, где под Дюссельдорфом находится центр Kawasaki. Мы туда ездили учиться, когда к нам поставили роботов этой фирмы. Сварка и роботы – это не просто так. Сварка – это довольно монотонный и вредный процесс. Поэтому сварка имеет самый большой процент

роботизации на планете. Например, автомобиль Toyota Corolla собирается миллионами штук. Нет никакого смысла делать это руками, ведь штампы хорошо работают. Гораздо проще построить типовую роботизированную ячейку, которая позволит сократить временные затраты до пары минут, и которую можно поставить на все заводы в мире. Автомобильные заводы работают именно так. Отечественные не являются исключением. Например, сопровождаемый европейцами АвтоВАЗ. В Советском Союзе роботы появились в 70-х-80-х годах, уже тогда начинали автоматизировать не очень приятные производственные процессы.

- Занимаетесь ли вы поставками роботов предприятиям?

- Нашей целью не является поставка роботов или сварочных источников. Нашей задачей является повышение грамотности людей и разработка технологий и технологических ячеек. Часто предприятия начинают приобретать роботов, а потом те простаивают. Конечно, все должно иметь экономическое обоснование. Подсчитать экономическое обоснование робота не так просто. Потому что он есть не просит, и работает без выходных, и тратит только электричество, но зато требует более квалифицированных специалистов: программистов, технологов, в том числе экономистов. Одной из главных проблем роботизации в России, на мой взгляд, является как раз отсутствие квалифицированных экономистов, способных просчитать эффективность роботизации.

- То есть специалист, чтобы он мог ориентироваться в индустрии, должен быть выходцем из некоего комьюнити?

- В некотором смысле да. Например, человек, который занимается пусконаладкой робота-сварщика, должен быть специалистом в робототехнике и специалистом в сварке. Есть люди с техническим взглядом на жизнь, которые имеют опыт программирования и конструирования. Тогда, если такой специалист уже умеет варить, технологию применения роботов можно изучить за несколько недель. Для технических специалистов это, скорее, вспомогательный курс. **L**

РЕДАКТИРОВАНИЕ ГЕНОМА: РЕВОЛЮЦИЯ ПРОДОЛЖАЕТСЯ

Управляемое редактирование генома – уже реалья сегодняшнего дня. О том, как это работает, и о современных исследованиях ученых рассказывает Екатерина Богданова.



Текст: Екатерина Богданова

В 2020 году Нобелевская премия по химии заслуженно нашла своих героев. Ими стали две хрупкие женщины, открытие которых в 2012-м совершило настоящий прорыв в генетике. С изобретением технологии редактирования генома CRISPR/Cas9 наступила новая эпоха, когда стало возможным бороться с ранее неизлечимыми болезнями и исправлять генетические дефекты. CRISPR позволяет делать это с невиданной скоростью и эффективностью. Но началось все с... аспиранта-исследователя солончаков.

Досье на архебактерии

В 1980-е годы аспирант из Испании Франсиско Мохика при исследовании архебактерий, живущих в соленой воде, открыл странные палиндромные последовательности в их геноме. Множество раз фрагменты длиной около 30 нуклеотидов повторялись и отделялись друг от друга уникальными участками ДНК примерно такой же длины. В те годы еще не было понимания, для чего нужны эти структуры. Решили, что они необходимы для некой регуляции. Структуры навали SRSR (Short Regularly Spaced Repeats), потом переименовали в CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Palindromic Repeats).

Продолжив работу в том же направлении, Франсиско Мохика нашел аналогичные повторы у множества других бактерий. В 2002 году рядом с CRISPR-массивами у всех бактерий выявили похожие на них структуры – группу белок-ко-

РЕЗКА – ЭТО И ЕСТЬ ОСНОВНОЙ ЭТАП РЕДАКТИРОВАНИЯ ДНК. А CRISPR – «ГЕНЕТИЧЕСКИЕ НОЖНИЦЫ».

дирующих генов, которую назвали CAS (CRISPR-Associated Genes).

В накопителе GenBank, куда ученые помещают все прочитанные последовательности ДНК, было уже достаточно информации, чтобы при помощи алгоритмов BLAST найти, в каких организмах встречаются похожие CRISPR-последовательности.

И вот какая интересная закономерность выяснилась: фрагменты CRISPR встречаются в ДНК бактериофагов – вирусов, которые инфицируют бактерии и убивают их. Получается, что бактерии хранят внутри себя фрагменты ДНК своих злейших врагов. CRISPR – это иммунная память бактерий, сохраняющих информацию о вирусах, которыми болели.

Проце квашеной капусты...

Новый прорыв сделала докторская диссертация микробиолога Филиппа Хорвата. Он изучал в Эльзасе закваски для квашения молока и капусты – молочнокислые бактерии. Вред заквасочным культурам наносили бактериофаги. Капуста

и молочная продукция при этом портились, а производители несли огромные убытки. Хорват стремился найти способ сделать закваски устойчивыми к бактериофагам и прочитал о CRISPR. Исследуя тему, он доказал, что устойчивые к вирусам бактерии перенимают часть их ДНК. Хорват доказал, что CRISPR-массивы у бактерий являются иммунной системой. Бактерия, перенесшая инфицирование бактериофагом, встраивает в CRISPR-массивы часть его генома и передает эту информацию своим потомкам, которые становятся устойчивыми к бактериофагу.

Когда за дело берутся женщины

Женщины-ученые Эмманюэль Шарпантье и Дженнифер Даудна встретились на конференции в Коста-Рике и решили объединить две РНК в одну single guide RNA и показать, что механизм резки генома работает. Технологии редактирования генома предлагались и ранее, но ни одна из них не достигла такого успеха. Ученые приспособили систему для резки любой ДНК, и в 2012 году в журнале "Science" опубликовали результаты работы. Резка – это и есть основной этап редак-



тирования ДНК. А CRISPR – «генетические ножницы». Первая нобелевская статья продемонстрировала редактирование ДНК в пробирке. Перед учеными стояла амбициозная задача – повторить процесс в клетках человека.

Редактирование ДНК. История революции

В 2013 году в прессе появились сообщения о том, что отредактировали геном человека, мыши, дрожжей, нематод, дрожофилы, резуховидки Таля, рыбки Данио-рерио – всех имеющихся у биологов модельных объектов. Кто же совершил следующую революцию? Одним из тех героев, кто получил признание за разработку системы редактирования генов CRISPR-Cas9 и демонстрацию новаторских применений в клетках млекопитающих, стал доктор Фэн Чжан.

Американский биолог Фэн Чжан, профессор Института исследований мозга Массачусетского технологического института (MIT), оптимизировал процесс, сделав его совместимым с живыми клетками, у которых есть ядра. Чжан – основоположник разработок инструментов редактирования генома для использования в эукариотических клетках, включая клетки человека, из естественных микробных систем CRISPR-Cas9. Он и его

команда адаптировали множество других систем CRISPR для использования в качестве инструментов геномной инженерии, включая системы CRISPR-Cas13 для нацеливания на РНК и системы транспозонов, связанных с CRISPR, которые можно использовать для вставки генов.

Чжан использует CRISPR и другие методы для изучения генетики и эпигенетики болезней человека, особенно сложных расстройств, таких, как психиатрические и неврологические заболевания, которые вызваны множеством генетических и экологических факторов риска и которые трудно моделировать с помощью обычных методов. Инструменты его лаборатории, которые он сделал доступными для ученых всего мира, также используются в областях иммунологии, клинической медицины и биологии рака. Долгосрочная цель Чжана – разработать новые терапевтические стратегии лечения заболеваний.

Лаборатория Чжана специализируется на использовании синтетической биологии для разработки технологий инженерии генома и эпигенома для изучения нейробиологии. Чжан начал работу по использованию и оптимизации системы CRISPR для работы в человеческих клетках в начале 2011 года. В то время как группа Чжана оптимизировала систему Cas9 в человеческих клетках, сотрудничающие группы Эмманюэль

Шарпантье и Дженнифер Даудны описали дизайн химерной РНК, которая способна облегчить расщепление свободно плавающей ДНК с использованием очищенного белка Cas9 и синтетического руководства. Группа Чжана сравнила свой подход к экспрессии РНК с работой, основанной на химерной РНК Даудны / Шарпантье, для использования в клетках человека, и установила особенности, необходимые для эффективного функционирования Cas9 в клетках млекопитающих, которые необходимы в биохимических анализах. Его лаборатория разработала чувствительный диагностический протокол обнаружения нуклеиновых кислот, основанный на CRISPR, называемый SHERLOCK (Specific High Sensitive Enzymatic Reporter UnLOCKing), который способен обнаруживать и различать штаммы вирусов и бактерий.

в том, что в этом случае используется мутантная версия Cas9, которая способна резать только одну цепочку ДНК, не создавая опасного двуцепочечного разрыва. Для того, чтобы залечить разрез и одновременно внести изменения в ДНК, ученые удлиннили направляющую молекулу-гид и добавили в нее последовательность, которая выступает в роли образца для починки разрыва («праймер»). Одновременно к Cas9 присоединили белок, который способен синтезировать ДНК на матрице РНК. В сумме получилась система, которая сначала надрезает ДНК и вставляет туда последовательность, закодированную в «праймере». После этого немодифицированная цепь ДНК разрезается тем же Cas9, и этот разрыв уже ремонтируется на основе последовательности второй цепочки.

Как показали авторы новой системы, эффективность редактирования составляет 10-50%, при этом неаккуратный ремонт происходит на порядок реже. Второе преимущество праймированного редактирования перед базовой схемой – в несколько раз снижена частота нецелевых разрывов в геноме. Дело в том, что спаривание направляющей РНК с ДНК не всегда происходит на 100% точно, и в большом человеческом геноме она с некоторой вероятностью найдет себе еще одну, а то и несколько мишеней. Такое событие может привести к внесению мутации там, где их быть не должно. Ученые до сих пор спорят, насколько эти опасения существенны при использовании в клетках человека, но новая система в любом случае снизит риски нежелательных мутаций.

Чтобы показать потенциальную пользу праймированного редактирования, исследователи взяли клеточную линию и внесли туда несколько мутаций, вызывающих заболевания человека, а затем исправили их обратно. В эксперименте ученые справились с серповидно-клеточной анемией, которая приводит к изменению формы эритроцитов, болезнью Тея-Сакса, а также сделали клетки устойчивыми к прионной инфекции. Авторы проанализировали базу данных вредных мутаций человека, которые ведут к появлению различных заболеваний, и заявили, что с помощью новой системы можно исправить 89% из 75 000 вариантов.

ФАКТИЧЕСКИ CRISPR ПОЗВОЛЯЕТ ПОЛУЧИТЬ РЕЗУЛЬТАТЫ, КОТОРЫХ МОЖНО ДОБИТЬСЯ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ СЕЛЕКЦИИ РАСТЕНИЙ, НО ТОЛЬКО ЗА ОЧЕНЬ КОРОТКИЙ СРОК.

В 2017 году он получил премию медицинского центра Олбани (совместно с Эмманюэль Шарпантье, Дженнифер Даудной, Лучано Марраффи и Франсиско М. Мохика) и премию Lemelson-MIT; в 2019 г. – приз Харви Техниона в Израиле (совместно с Эмманюэль Шарпантье и Дженнифер Даудной); в 2019 г. – премию «Золотая тарелка» Американской академии достижений, в 2018-м Чжан был избран членом Американской академии искусств и наук и членом Национальной академии наук.

В своей новой работе исследователи из Гарварда под руководством Дэвида Лю (Liu) предложили новый способ внесения мутаций под названием «праймированное редактирование». Принципиальное отличие от обычной схемы состоит

ДНК – это стабильная молекула. Ее можно оставить в земле на сотни тысяч лет или кипятить в чайнике. Самая старая обнаруженная учеными ДНК на сегодняшний день имеет возраст 1,7 миллиона лет.

Молекула ДНК на распутье

К сожалению, молекула ДНК очень чувствительна к разрывам. Клетка запускает в этом случае процесс восстановления ДНК, который может идти по двум сценариям.

Негомологичный вариант – когда место разрыва устраняется с дефектами. При этом в ДНК может появиться маленькая вставка или произойти потеря фрагмента. В генетическом коде три нуклеотида кодируют одну аминокислоту. Если их количество изменится, то при этом нарушится последовательность, кодирующая белок. Возникнет сдвиг рамки считывания, в результате которого ген фактически перестанет выполнять свою функцию, так как клетка не сможет использовать его информацию, чтобы синтезировать функциональный белок.

Гомологичный вариант: у всех животных в клетках как минимум две копии каждой хромосомы. Если возникает разрыв, клетка может использовать вторую хромосому, чтобы достроить поврежденный участок – скопировать его в поврежденную хромосому. В этот момент в клетку можно ввести похожий фрагмент ДНК (матрицу), который будет использован для ликвидации разрыва.

Благодаря специальному разрыву, который делает CRISPR, появилась возможность достаточно легко менять фрагменты в геноме – вносить необходимые мутации и восстанавливать дефектные гены. Основная проблема состоит в том, что в большинстве случаев восстановление идет по негомологичному варианту.

С помощью недорогих CRISPR-реагентов появилась возможность проводить эксперименты очень быстро. Возникли тысячи компаний, которые пытаются коммерциализировать CRISPR.

Впоследствии технологию редактирования усовершенствовали, лишив Cas-нуклеазу активности – сделали ее нережущей и при этом добавили к ней другие ферменты. Теперь она помещается на конкретный фрагмент ДНК и может его редактировать, не вызывая повреждений. Например, менять азотистые основания без внесения разрывов в ДНК, что очень важно для медицины.

Исследователи уже научились активировать или репрессировать работу гена – редактировать эпигеном. Используя CRISPR, можно выполнять высокоточную микроскопию участков генома.

Например, пятна у породы коров сделали из черно-белых серо-белыми, чтобы они легче переносили жару. С помощью CRISPR увеличили количество веток на томате, увеличили размеры плодов, а также сделали их более устойчивыми к заражению вызывающими гниль бактериями.

Это активно развивается в США, а в Европе генно-модифицированная продукция запрещена к продаже.

Фактически CRISPR позволяет получить результаты, которых можно добиться при длительной селекции растений, но только за очень короткий срок.



CRISPR в биомедицине

Описано большое количество моногенных генетических заболеваний. Все они довольно редкие и возникают из-за мутации («поломки») в каком-то одном гене. Это, например, муковисцидоз, серповидно-клеточная анемия, гемофилия и талассемии. С помощью технологии эмбрионального геномного редактирования теоретически мы можем предотвратить появление людей с такими заболеваниями. Но есть много заболеваний, вызванных мутациями в множественных генах. Теоретически для лечения таких заболеваний с помощью CRISPR-Cas9 нужно просто ввести в клетки редактор, который запрограммирован узнавать не одно место в ДНК, а несколько. Такое мультиплексное редактирование можно осуществить на практике. Но проблема в том, что для подавляющего большинства этих полигенных заболеваний точные комбинации генов/мутаций, ответственных за заболевание, неизвестны. Например, мы знаем, что у шизофрении есть генетическая подоплека, но полный набор генов, ответственных за шизофрению, неизвестен. С другой стороны, есть болезни, генетическая природа которых известна очень хорошо, например синдром Дауна, вызванный наличием лишней хромосомы, но лечить такое состояние с помощью CRISPR-Cas9 невозможно даже теоретически.

Больным бета-талассемией нужны частые переливания крови, а при серповидно-клеточной анемии эритроциты забивают сосуды. Качество жизни у тех и других больных низкое, они балансируют между жизнью и смертью.

Чем в подобной ситуации поможет CRISPR? У человека есть третий ген гемоглобина – фетальный гемоглобин, который активен только у эмбрионов до рождения. После рождения младенца он отключается, работают взрослые альфа- и

бета-гемоглобины. CRISPR позволяет выключить ген, который его контролирует, а включить «спящий» ген фетального гемоглобина.

У двух больных женщин забрали клетки костного мозга и при помощи вируса внедрили в них CRISPR-конструкцию, которая инактивировала ген BCL11A. В этих клетках заработал фетальный гемоглобин. Правильно отредактированные и размноженные клетки пересадили пациентам обратно. Никакого отторжения родных модифицированных клеток не наблюдалось. После этого пациентке с бета-талассемией, которой нужно было в среднем 16 переливаний крови в год, в течение года не понадобилось ни одной процедуры. То же произошло и с больной серповидно-клеточной анемией. После клинических испытаний эта технология в ближайшее время может войти в практику лечения.

У части пациентов, зараженных вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ), развивается рак крови. Для эксперимента взяли костный мозг у донора, который подходил для лечения лейкемии. Перед пересадкой клетки отредактировали с помощью CRISPR, выключив в них ген CCR5, по сути, повторили мутацию, которая существует в природе. Пересадка вылечила пациента и от лейкоза, и от ВИЧ.

В США Управление по контролю за продуктами питания и лекарствами (FDA) одобрило применение генной терапии острого лимфобластного лейкоза у детей и молодых взрослых. Речь идет о первом случае, когда генная терапия для лечения онкологических заболеваний получает одобрение FDA.

Суть терапии заключается в том, что у пациента забирают его собственные Т-клетки, составляющие часть иммунной системы. Клетки замораживают, отвозят на завод фармкомпаний и с помо-

Редактирование генома является одним из видов генной инженерии, при использовании которого проводится включение, перемещение или удаление фрагментов ДНК в геноме организма с использованием спроектированных эндонуклеаз, или «молекулярных ножниц». Геномное редактирование – это технология, которая позволяет направленно изменить последовательность ДНК в живой клетке, например заменить один нуклеотид на другой в определенном месте генома. Основной проблемой является точность редактирования. При попытке изменить одно из 6,5 миллиарда положений ДНК трудно гарантировать отсутствие нежелательных изменений в других местах, отличных от того, которые подверглись редактированию.

щью специально модифицированного вируса иммунодефицита человека помещают в них ген, помогающий убивать злокачественные клетки. После этого Т-клетки снова замораживают, отвозят в клинику и вводят обратно пациенту.

Впрочем, такая терапия имеет побочные эффекты, поэтому прибегать к ней планируется в том случае, когда другие методы лечения оказались неэффективными.

Гены меняются всегда. Несколько десятков изменений-мутаций в ДНК возникает при каждом делении клетки, так что дочерние клетки всегда чуть-чуть отличаются от материнской. Кроме того, мутации могут происходить под влиянием внешней среды, например под действием солнечной радиации, загазованности городов и множества других факторов. Поэтому среди триллионов наших клеток нет генетически идентичных. Большинство мутаций ни на что не влияют, они попадают в мусорную не кодирующую ДНК или не сильно искажают функцию гена, но иногда они могут изменить тот или другой ген так, что возникает болезнь, например рак. Если первопричиной болезни является изменение последовательности ДНК определенного гена, то единственный способ по-настоящему победить болезнь – это «исправить» ген. Так что менять гены – это нормально.

Как и в любой медицинской процедуре, должен действовать принцип «не навреди». Так как про-

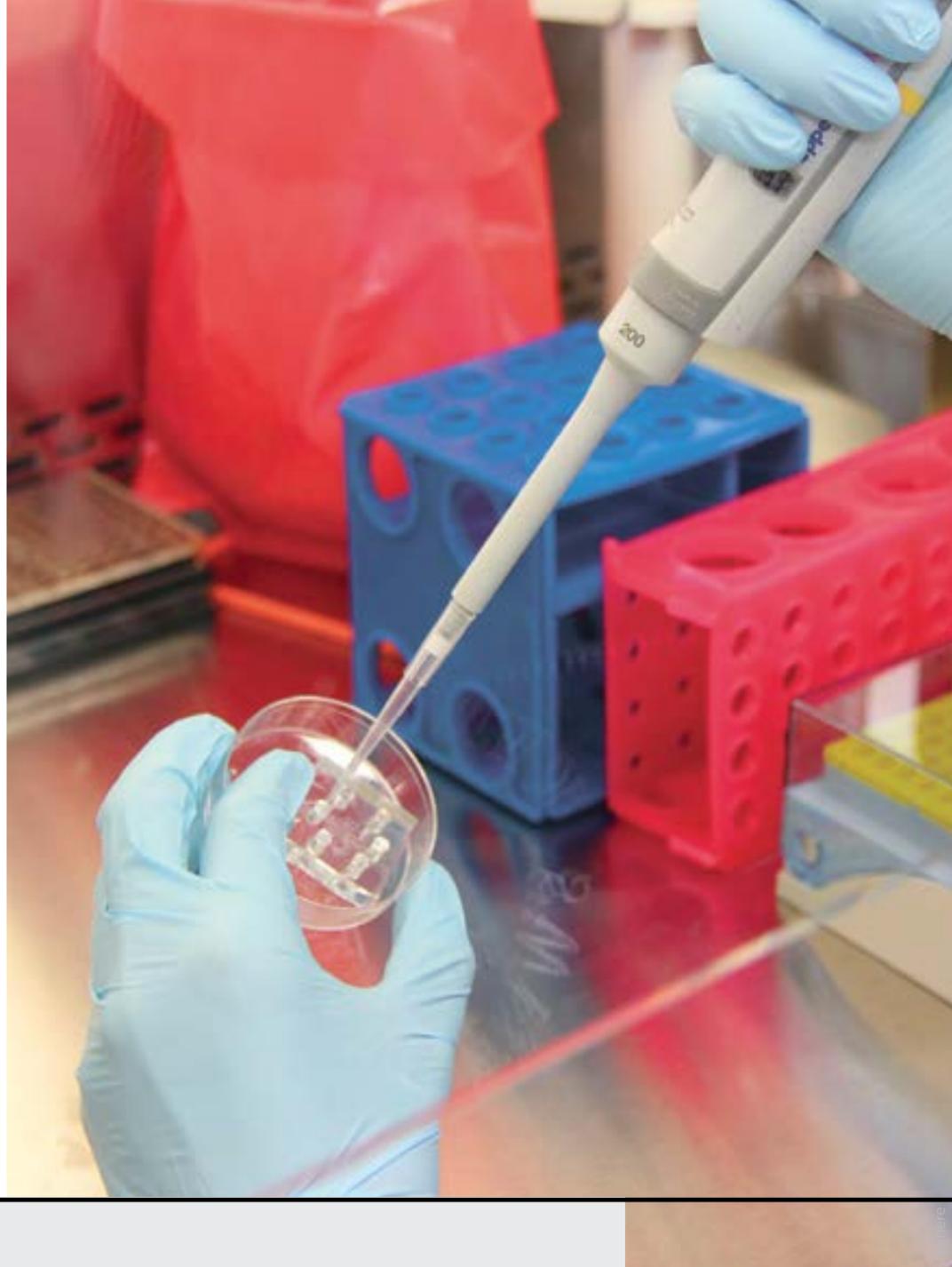
Геномом называют полную последовательность ДНК того или иного организма. ДНК – это линейная молекула, составленная из произвольного набора «букв» – нуклеотидов, А, Г, Ц и Т. Длина молекулы ДНК может быть очень большой, а последовательность букв в ней – произвольной. Геном человека состоит из более чем 6,5 миллиарда букв. Длина такой ДНК более двух метров. Геном большинства бактерий меньше, лишь несколько миллионов букв. Геномы вирусов

еще короче, иногда всего лишь несколько тысяч букв.

Структура ДНК позволяет передавать генетическую информацию, записанную в виде последовательности нуклеотидов, от родительской клетки дочерним при делении с минимумом ошибок-мутаций.

У человека геном разбит на 46 отдельных молекул ДНК – и эти молекулы образуют хромосомы, которые составляют пары: 23 мы получаем от матери, 23 – от отца. ДНК в парных хромосомах, полу-

ченных от каждого из родителей, отличается друг от друга в среднем на один из тысячи нуклеотидов. В каждой хромосоме расположены гены. Ген – это участок ДНК, который кодирует какую-нибудь функцию, влияющую на жизнь клетки или всего организма. Большинство генов кодируют белки, но есть гены, кодирующие РНК (рибонуклеиновая кислота – фактически одноцепочечная копия участка ДНК). В геноме человека находится около 20-25 тысяч пар генов.



цедура редактирования должна в целом увеличить активность лимфоцитов, имеется реальная опасность того, что атаке подвергнутся и здоровые клетки. При редактировании нужно будет минимизировать неконтролируемое внесение генетическим редактором CRISPR-Cas9 нежелательных изменений в другие гены, отличные от гена PD-1. Ведь нельзя исключить, что некоторые из таких изменений будут вредными.

В принципе технологию геномного редактирования можно пытаться применять для лечения любой болезни, для которой достоверно известна генетическая причина. Рак, безусловно, имеет генетическую природу, но она очень сложная, включает мутации во многих генах. К тому же за словом «рак» скрываются десятки или сотни различных, не связанных друг с другом болезней.

недостаточно, чтобы ген перестал функционировать. А вторая копия гена – без изменений. В итоге никакой защиты девочка не получила. Со второй девочкой получилось лучше, но ген все равно остался частично функциональным.

Проблема этого эксперимента – в нарушении этических норм и законов. Оказалось, что Цзянькуй Хэ сфальсифицировал разрешение этической комиссии, которая не одобрила это исследование.

Поэтому за редактирование ДНК человека Цзянькуй Хэ получил около \$0,5 млн штрафа и три года тюрьмы. К тому же с современными препаратами ВИЧ-инфицированные матери рожают здоровых детей более чем в 90% случаев. Поэтому эксперимент был бессмысленным.

Адресная доставка лекарств в больные органы

Ученые Политеха совместно с коллегами из Университета ИТМО и научных организаций из Франции и Китая усовершенствовали систему редактирования генома с помощью микрокапсул. Разработана технология адресной доставки и активизации противоопухолевого лекарства при помощи оптического лазера. Теперь к органам и тканям можно доставлять генетический материал разного размера и структуры. Это поможет устранять дефекты ДНК и лечить пациентов, например, с онкологией. Проект реализуется в рамках гранта РНФ под руководством профессора Глеба Сухорукова.

Разработанный исследователями полимерный носитель обладает рядом уникальных свойств. В «универсальные контейнеры» его структуры можно загружать генетический материал разного размера и структуры.

Заведующий Лабораторией микрокапсулирования и управляемой доставки биологически активных соединений центра «RASA-Политех» Александр Тимин пояснил: «Это в некотором роде флэшка с информацией, которая при попадании в организм заставляет клетки совершать определенные действия, например обучать иммунную систему бороться с белками вируса.

ТАК КАК ПРОЦЕДУРА РЕДАКТИРОВАНИЯ ДОЛЖНА В ЦЕЛОМ УВЕЛИЧИТЬ АКТИВНОСТЬ ЛИМФОЦИТОВ, ИМЕЕТСЯ РЕАЛЬНАЯ ОПАСНОСТЬ ТОГО, ЧТО АТАКЕ ПОДВЕРГНУТСЯ И ЗДОРОВЫЕ КЛЕТКИ.

CRISPR и этика

В 2018 году китайский ученый Цзянькуй Хэ провел эксперимент с редактированием эмбрионов человека. Получив эмбрионы от пар, где отцы были инфицированы ВИЧ, он попытался с помощью CRISPR выключить в них ген CCR5. В результате эксперимента родилось двое внешне здоровых детей.

Однако произошло лишь частичное редактирование. У одной девочки первая копия гена получилась с 15-нуклеотидной делецией, чего оказалось

Эта технология раскрывает новые горизонты для развития невирусных систем доставки».

«Генетическая флэшка» – это маленький шарик размером с четверть клетки. Когда подобный шарик попадает на поверхность клетки, она его съедает, внутри капсула разрушается, и высвобождается генетический материал. Дальше клетка сама встраивает его туда, куда нужно.

Рассказывает Александр Тимин: «Были подобраны носители, состоящие из биodeградируемых полимеров на основе полипептидов и полисахаридов. Носители достаточно легко синтезируются с помощью легкого перемешивания на магнитной мешалке, получаются частички определенного размера. Затем эти частички наносятся на специальные полимеры. Зная природу этих полимеров, мы можем контролировать состав конечных носителей».

Таким способом микроконтейнеры можно создавать под конкретный орган живого организма, загружать в них генетический материал самых

разных размеров и структуры – от малых РНК до больших ДНК. Для того, чтобы «генетическая флэшка» доставила ДНК или РНК в нужную клет-

**АДРЕСНАЯ ДОСТАВКА
ЛЕКАРСТВ ОКАЗЫВАЕТ
МИНИМАЛЬНЫЕ
ПОБОЧНЫЕ ЭФФЕКТЫ НА
ВСЬ ОРГАНИЗМ, ТАК КАК
ПРЕПАРАТ МАКСИМАЛЬНО
КОНЦЕНТРИРУЕТСЯ ТОЛЬКО
В БОЛЬНОМ ОРГАНЕ.
УЧЕНЫЕ ПОЛИТЕХА
В ИССЛЕДОВАНИИ
ИСПОЛЬЗОВАЛИ
ГИБРИДНЫЕ
МИКРОКАПСУЛЫ.**

ку, поверх капсулы наносят специальные антитела или молекулы, на которые реагируют клетки мишени.

Директор научного центра «RASA-Политех» Игорь Радченко пояснил: «Капсулы с генетическим материалом могут доставляться путем системного введения или локально непосредственно в очаг опухоли при онкологических заболеваниях. Мы придумали микроконтейнеры, которые внутри содержат микроскопические ножницы, и которые, благодаря управляемой конструкции, свойствам и иным параметрам могут в эти клеточки попадать и в нужное время эти ножницы высвобождать. И дальше запускается стандартный механизм, по которому эти ножницы вносят модификацию».

Адресная доставка лекарств оказывает минимальные побочные эффекты на весь организм, так как препарат максимально концентрируется только в больном органе. Ученые Политеха в

В качестве платформы для доставки лекарств служат мезенхимальные стволовые клетки. Их относительно просто получают и культивируют в лабораторных условиях. В организме пациента эти клетки двигаются вместе с лекарством в зону воспаления. Врач контролирует местонахождение микрокапсул в организме. Достигнув больного органа, под воздействием излучения лазера микрокапсулы открываются.

Кирилл Лепик, руководитель отделения химиотерапии и трансплантации костного мозга НИИ ДОГИТ им. Р. Горбачевой Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. академика И.П. Павлова, рассказал: «Эксперименты свидетельствуют, что происходит распределение частиц внутри организма, что они обладают достаточно благоприятным профилем токсичности. И сейчас проводятся исследования эффективности доставки генетического материала с помощью нано- и микроразмерных носителей, которые мы разрабатываем совместно с коллегами из Политеха, на животной модели злокачественной опухоли».

Сегодня проект находится на стадии доклинических исследований. Их проводят на простейших организмах и лабораторных мышах. В организм больного животного вводят микрокапсулы. За успехом лечения ученые наблюдают под микроскопом.

Параллельно уже второй год ученые из Политеха ведут проект с коллегами из Бельгии на разработку подходов к вакцине от СПИДа. Генетики планируют отредактировать код иммунных клеток так, чтобы вирус не смог распознать их. Исследования проводят на гранты государственных научных фондов – выделяется 10 млн руб. в год. Через несколько месяцев ученые начнут подготовку к клиническим испытаниям. Они обойдутся уже в сотни миллионов рублей и займут гораздо больше времени, чем разработка.

Инновационная технология, по словам ученых, позволит лечить тысячи генетических заболеваний. Поэтому эффективное лечение людей от ранее считавшихся неизлечимыми заболеваний – в руках ученых, а управляемое редактирование генома – это уже реалии сегодняшнего дня. **L**

**ПАРАЛЛЕЛЬНО УЖЕ
ВТОРОЙ ГОД УЧЕНЫЕ ИЗ
ПОЛИТЕХА ВЕДУТ ПРОЕКТ
С КОЛЛЕГАМИ ИЗ БЕЛЬГИИ
НА РАЗРАБОТКУ ПОДХОДОВ
К ВАКЦИНЕ ОТ СПИДА.
ГЕНЕТИКИ ПЛАНИРУЮТ
ОТРЕДАКТИРОВАТЬ КОД
ИММУННЫХ КЛЕТОК ТАК,
ЧТОБЫ ВИРУС НЕ СМОГ
РАСПОЗНАТЬ ИХ.**

исследовании использовали гибридные микрокапсулы, состоящие из наночастиц оксида железа и биосовместимых полимеров с противоопухолевым препаратом, который действует на разные типы новообразований и активно применяется в химиотерапии.



«КАМА-1»: ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ, КОТОРЫЙ ЖДУТ

Разработанный в Политехе смарт-кроссовер стал событием в отечественном автопроме. Разбираемся, в чем уникальность и инновационность первого российского электромобиля, разработанного полностью на основе технологии цифровых двойников.

Текст: Олег Путин





Первый отечественный электромобиль, разработанный на основе цифровых двойников

Малогобаритный легковой электромобиль «КАМА-1» разработан полностью на основе технологии цифровых двойников и уникальных SML-платформенных решений. Разработчиком выступил Инжиниринговый центр «Центр компьютерного инжиниринга» (ИЦ «ЦКИ») Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого – ключевое подразделение Центра компетенций Национальной технологической инициативы (НТИ) СПбПУ «Новые производственные технологии», индустриальным партнером стал КАМАЗ. Реализован проект при финансовой поддержке Минобрнауки России.

Предсерийный экспериментальный образец электромобиля категории М1 (легковые автомобили), прошедший испытания и сертификацию, был впервые представлен 10 декабря 2020 года на выставке «ВУЗПРОМЭКСПО-2020» в Москве, после чего серия презентаций прошла в Научно-исследовательском корпусе СПбПУ «Технополис Политех», где с разработкой ознакомились представители Правительств Санкт-Петербурга и Ленинградской области, руководители иностранных консульств и диаспор, топ-менеджмент высокотехнологичных предприятий и корпораций, эксперты научного и бизнес-сообществ, федеральные и региональные СМИ. «КАМА-1» получила высокую оценку специалистов и вызвала заинтересованность ряда автопроизводителей.



Стоимость разработки и создания электромобиля – 217 млн руб., в том числе 150 млн руб. – грант Минобрнауки, 67 млн руб. инвестировано ПАО «КАМАЗ».

Электромобиль представляет собой трехдверный 4-местный смарт-кроссовер. Длина – 3,25 м, ширина – 1,7 м, высота – 1,55 м, длина колесной базы – 2,1 м. Дорожный просвет (клиренс) автомобиля – 160 мм, чего вполне достаточно для поездки даже по грунтовой дороге. На это рассчитаны и 17-дюймовые колесные диски.

По габаритным размерам машина занимает промежуточное положение между моделями Smart Fortwo Coupe electric drive и хэтчбеком MINI. Это экономичный автомобиль для небольшой семьи, маневренность которого удобна в условиях плотного трафика и дефицита парковочных

ИНТЕГРАЦИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА

Ректор СПбПУ академик РАН Андрей Рудской: «Впервые автомобиль не только разработан, но и подготовлен к серийному производству не промышленным предприятием, а университетом. Это значит, что наша модель интеграции науки, образования и производства работает. Применение передовых производственных технологий, в частности – технологии цифровых двойников, позволило разработать электромобиль в рекордно короткие для отрасли сроки и стало ключевым условием успешности проекта».



ЭЛЕКТРОМОБИЛИ НАСТУПАЮТ

Продажи легковых электромобилей в России с каждым годом растут, и в этом году количество пользователей превысит 10 тысяч. Учитывая заявленные планы мировых автопроизводителей, к 2025 г. в России будет продаваться более 50 марок электромобилей с запасом хода более 300 км на одной зарядке. При этом цены на них продолжают снижаться, что повышает их конкурентоспособность по сравнению с автомобилями, имеющими двигатель внутреннего сгорания.

Все больше регионов планирует отказаться от автобусов в пользу более экологичных электробусов. В прошлом году Мосгортранс приобрел более 460 электробусов. Москва сразу вошла в число мировых лидеров

по количеству работающих машин общественного электрического транспорта. Этому предшествовали годичные испытания опытных электробусов, выпущенных автозаводами «КАМАЗ» и «ГАЗ». Для зарядки их аккумуляторов используются электростанции (ЭС) «Фора» корпорации «КРЭТ».

Компания «Россети» приняла Программу 30/30 по развитию соответствующей инфраструктуры, которая охватит более 30 крупных городов, в том числе все города-миллионники, а также более 30 наиболее оживленных автомагистралей. Всего на ближайшее время запланировано строительство сети из более чем 770 зарядных станций.

пространств в городе. Также электромобиль вполне подойдет для услуг каршеринга и служб доставки малогабаритных заказов.

По словам Павла Цветкова – ведущего инженера ИЦ «ЦКИ», руководителя направления интеграции в проекте разработки электромобиля, электродвигатель мощностью 80 кВт (109 л.с.), установленный на задней оси, разгоняет автомобиль до 60 км/ч за 3,2 секунды, а до 100 км/ч – за 6,7 сек., максимальная скорость составляет 150 км/ч. При этом возможности силовой установки в действительности более внушительные: номинальная мощность электродвигателя – 160 кВт (220 л.с.), но для данного автомобиля она электронно ограничена. Такое решение принято с целью унификации разработанной платформы для перспективного модельного ряда электромобилей. Единая архитектура позволяет настраивать максимальный крутящий момент двигателя, ограничивая мощность агрегата для младших моделей или используя весь его потенциал для старших.

ПЕРВЫЙ РОССИЙСКИЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ КАТЕГОРИИ M1, РАЗРАБОТАННЫЙ ЗА 2 ГОДА «С НУЛЯ», БЕЗ ДВС- ПРЕДШЕСТВЕННИКА, ДЛЯ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА.

Мотор-редуктор для экспериментального образца взят у китайского автопрома, однако Политех разрабатывает электродвигатель совместно с российской компанией Kubo. Вопрос по двигателю в серии будет решаться уже производителем на основе маркетинговых исследований и во многом будет зависеть от конъюнктуры рынка.

Электромобиль «КАМА-1» снабжен литий-ионным аккумулятором емкостью 33 кВтч, НМС-ячейки пластинчатого типа размещены под полом салона. Общий вес батареи составляет 400 кг, и это, конечно, немало для машины подобного класса, которая весит в полной комплектации 1,3 т, но необходимо для обеспечения заданного проектом запаса хода – до 300 км. В ближайшем будущем разработчики планируют снизить вес аккумулятора наполовину. В обычном режиме батарея заряжается за 6 часов, в ускоренном – за 20 минут (с 20% до 80% емкости).

Благодаря размещению тяжелого аккумулятора под полом понижается центр тяжести автомобиля, что, соответственно, повышает

его устойчивость и снижает угол крена на поворотах.

Спереди у автомобиля установлены стойки McPherson, сзади – многорычажная подвеска. Кузов представляет собой несущее основание с каркасной надстройкой и пластиковыми наружными панелями: накладки крыльев, порогов и юбки бамперов изготовлены в виде отдельных элементов, поэтому являются быстросъемными и легко заменяемыми. В салоне две подушки безопасности – для водителя и пассажира, причем водительская – вертикальная, располагается в потолке.

На электромобиль установлены светодиодные фонари и динамические указатели поворота. Прямо на рулевой колонке укреплен 9-дюймовый монитор, который служит одновременно и панелью приборов, и пультом управления как медиа-, так и климатической системой. На него выводятся результаты диагностики всех систем.

Электромобиль полностью подготовлен к установке компонент для реализации системы интеллектуальной помощи водителю ADAS 3–4 уровня – радаров, лидаров, камер, вычислителя. Разработка, интеграция, отладка и испытание системы проведены специалистами промышленного партнера проекта ПАО «КАМАЗ», уже имеющего успешный опыт внедрения ADAS на грузовых автомобилях. Многие крупнейшие автопроизводители начнут устанавливать такие системы в свои автомобили – например, Honda (Traffic Jam Pilot) и Mercedes – только в этом году. Третий уровень автономности означает, что машина может длительное время двигаться по заданной полосе дороги в автоматическом режиме. Водителю необходимо менять настройки системы только при изменении дорожного покрытия или резком ухудшении погоды. Предусмотрена система автоматической парковки: подъехал к тротуару, запустил команду парковки – и машина сама впишется в свободное пространство.

Проректор по перспективным проектам СПбПУ, руководитель ИЦ «ЦКИ», Центра НТИ СПбПУ и Научного центра мирового уровня «Передовые цифровые технологии» Алексей Боровков рассказал: «Как специалисты, работающие уже больше 15 лет на мировом рынке автопрома с ведущими брендами, мы видим, что рынок электротранспорта будет стремительно расти, и четвертая промышленная революция, хотим мы этого или не хотим, придет. Другое дело, что окно возможностей для Российской Федерации, чтобы занять достойное место на этом рынке,

будет открыто недолго, два-три года. Через пять лет, скорее всего, будет уже поздно – мы увидим на дорогах нашего города электромобили-иномарки. Потому что все производители, в том числе и те, с которыми мы работаем, завершают свою работу с двигателями внутреннего сгорания – их не будет. Многие города в европейских странах уже опубликовали графики перехода к тому моменту, когда автомобилям с дизельными и бензиновыми двигателями закроют доступ в города. Лидером в переходе на электромобильность является Китай, который занимает треть рынка: в Китае по закону автопроизводитель должен выпускать более 50% электромобилей, либо уходить с рынка. Электромобиль «КАМА-1» объединил в себе максимальное количество идей и технологий, которые развиваются в Политехническом университете. Эта разработка – уникальный для российской промышленности пример, доказывающий глобальную конкурентоспособность наших инженеров и открывающий для России огромный рынок, причем не только электротранспорта, но и в целом мировой рынок высокотехнологичной промышленности, на котором наша страна может и должна занимать лидирующие позиции. Собственно, это и есть одна из ключевых задач Национальной технологической инициативы».

«Умный» цифровой двойник

Технология разработки цифровых двойников и CML-платформенные решения выступают драйвером и интегратором применения системы сквозных цифровых технологий, в числе которых цифровое проектирование, математическое и компьютерное моделирование, верификация и валидация, системный инжиниринг, компьютерный и суперкомпьютерный инжиниринг, виртуальные испытания, виртуальные стенды и полигоны, а также искусственный интеллект, блокчейн, большие данные и другие.

Комплексирование этих передовых цифровых технологий и рациональная балансировка 20 000+ характеристик матрицы требований, целевых показателей и ресурсных ограничений проекта (в части стиля, аэродинамики, жесткости, прочности, пассивной безопасности, виброакустического комфорта, кинематических и ди-

намических характеристик подвески, электрики и электроники и проч.) позволило автоматизировать самый сложный творческий процесс – процесс разработки наукоемкого высокотехнологичного изделия. Именно технология цифрового двойника обеспечила появление недоступных ранее «решений за гранью знаний, опыта и интуиции генерального конструктора».

Разработанные сотрудниками ИЦ «ЦКИ» инструменты позволили провести все необходимые виртуальные испытания «КАМА-1», моделиро-



ТЕХНОЛОГИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПОЗВОЛИЛА ГЕНЕРИРОВАТЬ НЕДОСТУПНЫЕ РАНЕЕ «РЕШЕНИЯ ЗА ГРАНЬЮ ЗНАНИЙ, ОПЫТА И ИНТУИЦИИ ГЕНЕРАЛЬНОГО КОНСТРУКТОРА».

вать и виртуально «измерять» любые технические характеристики электромобиля в течение всего жизненного цикла с детальным учетом физико-механических характеристик материалов и особенностей технологических процессов. Этот подход обеспечил значительное сокращение себестоимости, длительности и трудоемкости проекта по сравнению с мировой практикой в отрасли.

Главный конструктор проекта, заместитель руководителя ИЦ «ЦКИ» Олег Клявин пояснил, что все требования, предъявляемые к автомобилю, изначально были заложены в набор данных на основе Цифровой платформы по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench™ (разработка удостоена национальной промышленной премии Российской Федерации «Индустрия» и завоевала гран-при Евразийского конкурса научно-технологических проектов в 2017 г.). Цифровая платформа CML-Bench™ – это система разработки цифровых двойников (Digital Twin) и «умных» цифровых двойников (Smart Digital Twin) как изделий, так и производственных процессов их изготовления, система управления деятельностью в области цифрового проектирования, математического моделирования и компьютерного инжиниринга. Платформа позволяет формировать многоуровневую гиперматрицу требований, целевых показателей (характеристик) и ресурсных ограничений (временных, финансовых, технологических, производственных, экологических и др.) и на ее основе создавать математические модели с высоким уровнем адекватности реальным материалам, конструкциям, машинам и механизмам, приборам и системам.

На базе цифровой платформы создаются виртуальные стенды и виртуальные полигоны, на которых проводятся виртуальные испытания материалов, конструктивных элементов, изделий, компонентов и систем – например, краш-тесты автомобиля. Все элементы электромобиля «КАМА-1» проектировались «в цифре» и тестировались в ходе многочисленных виртуальных испытаний – с тем, чтобы каждый элемент, узел, агрегат автомобиля и вся конструкция в целом отвечали всем необходимым параметрам и ограничениям проекта. Это позволило вдвое сократить время от начала проектирования до производства, а также снизить стоимость разработки при обеспечении высоких потребительских свойств изделия.

Цифровая платформа CML-Bench™ – единственная на сегодня отечественная система, предназначенная для проектирования и производства в кратчайшие сроки конкурентоспособной высокотехнологичной продукции в различных отраслях на основе цифровых двойников. В разработке платформы принимают участие сотрудники Центра НТИ СПбПУ, ИЦ «ЦКИ», Группы компаний CompMechLab®: ООО Лаборатория «Вычислительная механика», ООО «Политех-Инжиниринг» и другие.



Команда проекта и автоблогер Константин Заруцкий (AcademeG) на зимних натуральных испытаниях электромобиля «КАМА-1» (декабрь 2020 года)

От экспериментального экземпляра – к модельному ряду

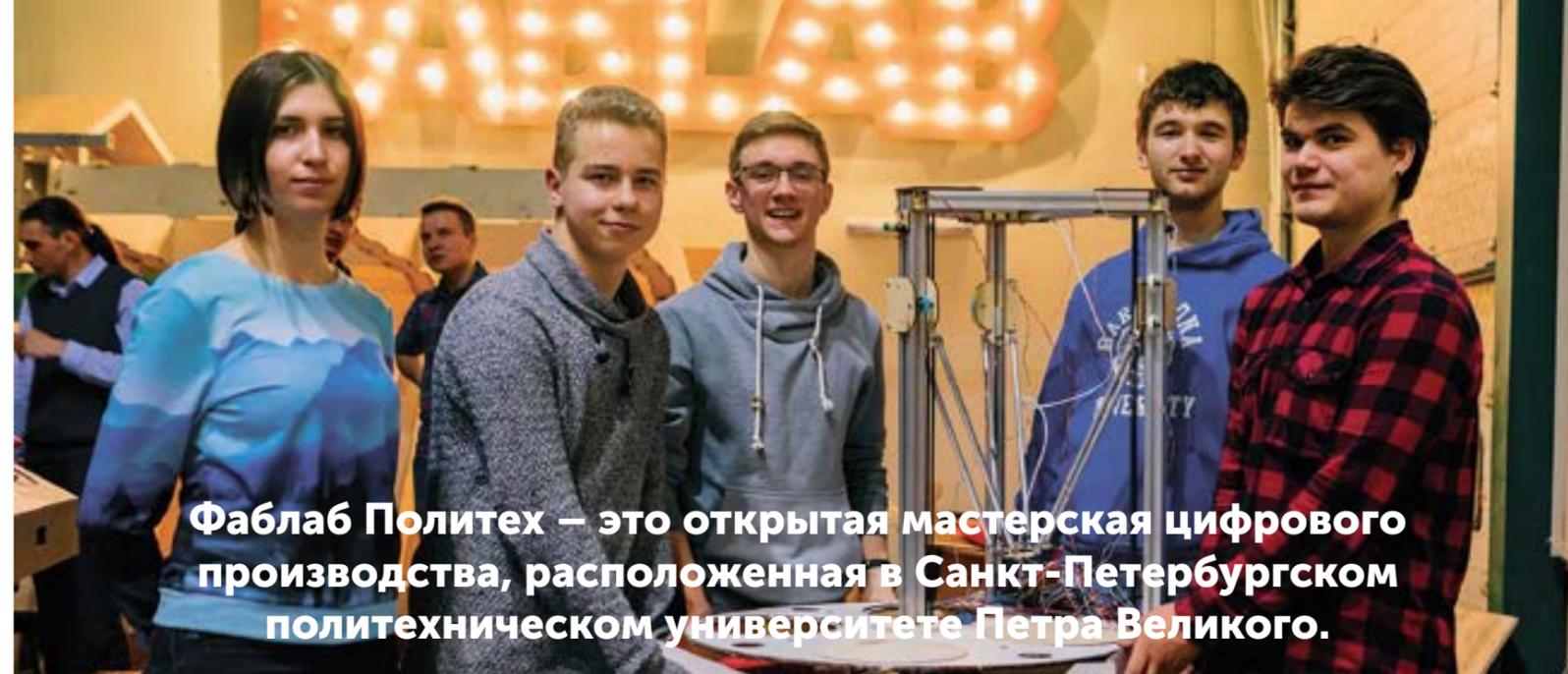
Генеральный директор ПАО «КАМАЗ» Сергей Когогин пояснил: «Это не первый наш совместный проект с Политехом. Мы верим в то, что за электрическим транспортом будущее – уже не далекое, а ближайшее. После того как на улицы Москвы вышли 400 электробусов производства КАМАЗ, сформировав общую концепцию и видя, что происходит в мире, мы совместно с Политехом и с помощью Минобрнауки, которое нам помогает, решили, что пора рассмотреть вопрос о разработке базовой платформы для развития как пассажирского, так и коммерческого транспорта».

В планах Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого в этом году – создание целой линейки электро-транспорта различных классов – от компактных городских седанов до 18-метровых электробусов и грузового коммерческого транспорта – на основе Универсальной модульной цифровой

В ПЛАНАХ СПЫПУ В ЭТОМ ГОДУ – СОЗДАНИЕ ЛИНЕЙКИ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ОТ КОМПАКТНЫХ ГОРОДСКИХ СЕДАНОВ ДО 18-МЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОБУСОВ И ГРУЗОВОГО КОММЕРЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА.

платформы развития модельного ряда электротранспорта CML-EV™.

Благодаря специалистам Питерского Политеха и КАМАЗа цифровые технологии ускоряют проектирование и производство, чтобы улучшить нашу повседневную жизнь. **L**



Фаблаб Политех – это открытая мастерская цифрового производства, расположенная в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого.

Наша цель: дать возможность студентам реализовать их творческие и (или) научно-технические проекты. Для этого у нас есть 3D-принтеры, лазерные и фрезерные станки, режущий плоттер и ручной инструмент, а также люди, готовые обучить пользоваться всем этим оборудованием.



fablab.spbstu.ru
vk.com/fablabpolytech

ФАБЛАБ ПОЛИТЕХ

Режим работы:
пн.-пт. с 10:30 до 21:00, сб. с 10:30 до 19:00.
Мы находимся в пристройке Гидробашни



ЭЛЕКТРОМОБИЛИ: ВСЕРЬЕЗ И НАДОЛГО?

Электромобили – самая модная тема в автомире. Наконец-то после десятилетий поисков, проб и ошибок стало понятно, за какой технологией будущее автомобилестроения. Но действительно ли автомобильный мир нашел новый маршрут, и электромобили изменят человечество? Давайте разбираться!

Текст: Сергей Лобанов

Как все начиналось

Несмотря на то что электромобиль кажется новомодной темой, это изобретение не двадцать первого века, и даже не двадцатого. Нет единого мнения о том, кто построил самый первый электромобиль: очевидно, что идея витала в воздухе. После появления электродвигателей в начале 1800-х годов создание моторизованного транспорта было лишь вопросом времени. Один из известных первопроходцев – Анос Едлик. В 1828 году он сделал небольшую модель электромобиля. Примерно в 1832 году более крупный электродвигатель, созданный шотландским изобретателем Робертом Андерсоном, использовался для привода повозки. В 1835-м Томас Дэвенпорт создал два небольших электромобиля: один в Голландии и один в США. Позже Дэвенпорт также создаст первый электромобиль, работающий на батареях. Они были неперезаряжаемыми и не могли обеспечить автомобилю большой запас хода.

**РУБЕЖ XIX И XX ВЕКОВ
БЫЛ ЗОЛОТЫМ ВРЕМЕНЕМ
ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ.
В 1899-1900 ГОДУ ПРОДАЖИ
ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ
ПРЕВОСХОДИЛИ ПРОДАЖИ
БЕНЗИНОВЫХ МАШИН.**

С изобретением в 1859 году свинцово-кислотных аккумуляторов, поддерживающих перезарядку, электромобили заинтересовали промышленность – опытные образцы электромобилей можно было увидеть на дорогах многих американских и европейских городов. В 1890-х годах емкость аккумуляторов значительно повысилась, и начались массовое производство и коммерческая эксплуатация электромобилей. В мегаполисах даже появились первые таксопарки, состоящие полностью из электромобилей! Их

скорость не превышала 30-40 км/ч, а дальность езды на одной зарядке составляла лишь несколько десятков километров. По современным меркам это может выглядеть несерьезно, но эти показатели уже позволяли конкурировать с конными экипажами. Альтернативные технологии – бензиновые/спиртовые и паровые автомобили – также только появились и не выглядели выигрышными. Машины с ДВС нуждались в коробке передач и карбюраторе, заводились ручным стартером, были слишком сложными, а оттого капризными в эксплуатации, плюс нещадно рычали и дымили, пугая окружающих лошадей. А машины с двигателем внешнего сгорания, то есть паромобили, нужно было в прямом смысле слова раскочегаривать перед началом движения, и этот процесс занимал до часа. Электромобили же были относительно простыми, тихими и чистыми.

Рубеж XIX и XX веков был золотым временем для электромобилей. В 1899-1900 году продажи электромобилей превосходили продажи бензиновых машин. В 1898 году появился первый Porsche – модель P1, и это тоже был электромобиль, с запасом хода в 79 километров и невероятной динамикой. Свои первые гонки он выиграл, обогнав ближайший бензиновый автомобиль на 18 минут!

Однако электромобили выглядели достойно лишь на фоне первых неказистых бензиновых автомобилей, которые прогрессировали чрезвычайно быстро. Уже к концу первого десятилетия XX века, когда началось массовое производство Ford Model T, электромобили оказались забыты. Свою роль сыграли не только малая емкость аккумуляторов, но и слабое распространение электричества. Если центры больших городов уже были электрифицированы, то в провинции можно было надеяться только на бензиновую заправку. Появился электростартер, сильно облегчивший жизнь автомобилистам. Снижалась стоимость добычи нефти. В итоге бензиновые автомобили изменили человечество. Электромобили же надолго остановились в развитии и остались узконишевым продуктом – гольфкары, производственные тележки, шаттлы для выставочных или отельных комплексов, и т.п.

Попытка номер два

Следующий всплеск интереса к альтернативным технологиям произошел в 1970-х и был спровоцирован крупнейшим в истории нефтяным кризисом, вызвавшим резкий рост стоимости бензина. Многие автопроизводители попытались создать автомобиль, вместо ископаемого топлива использующий электричество, спирт, водород, и т.д. В 1971 году электромобиль сыграл эпизодическую, но очень громкую роль – выступил транспортом астронавтов на Луне. В 1972 году электрические BMW 1600 участвовали в Олимпийских играх в Мюнхене в качестве автомобилей поддержки марафона. Свои электромобили разработали даже ВАЗ и УАЗ.

Однако технологии оставались «сырыми». Главной проблемой электромобилей по-прежнему оставалась крайне низкая плотность энергии: свинцовые аккумуляторы были слишком тяжелыми. 50-килограммовая батарея могла доехать в лучшем случае с работы до дома, после чего еще и требовала длительной зарядки. Технологией, которая выиграла от кризиса 1970-х, стали легковые дизельные двигатели – низкий расход топлива и низкая цена солянки позволили им занять заметную долю автомобильного рынка.

Электромобили же по-прежнему оставались неконкурентоспособными. Автоконцерны продолжали проектировать и создавать концептуальные машины с электродвигателями, находились даже отдельные желающие такие машины покупать, но ни о какой массовости речи не шло.

Пожалуй, самым громким электропроектом в 1990-х был General Motors EV1. Было произведено 1 117 этих странно выглядящих автомобилей. С 1997 года они сдавались в лизинг потребителям в Калифорнии и Аризоне, но в 2003-м концерн General Motors закрыл программу, собрал и уничтожил (!) все автомобили, не считаясь с желанием арендаторов их выкупить. По итогам проекта Голливуд выпустил документальный фильм «Кто убил электромобиль?» с Томом Хэнксом и Мэлом Гибсоном, обвинив власти, нефтебизнес и GM в том, что они сознательно делают электромобили непривлекательными, чтобы не допустить снижения спроса на бензин.

Впрочем, электромобили, действительно, не находили серьезного спроса. Появившийся в том же 1997 году Toyota RAV4 EV был произведен в количестве 1 575 экземпляров. «Малыш» Nissan Hypermini 1999 года – выпущено 219 штук. Универсал Nissan Altra 1997 года – сделано 200 экземпляров. Минивен Chrysler TEVan 1993 года – собрано 56 машин. «Электро-гольф» VW CITYStormer 1995 года – продано 200 экземпляров.

К началу XXI века в эксплуатации находилось лишь около 300 тысяч электромобилей всех марок и моделей при мировом парке в 750 миллионов автомобилей. Ахиллесовой пятой электромобилей оставались аккумуляторы. Их большой вес и стоимость делали автомобили без ДВС тяжелыми, медлительными и очень дорогими, при этом их использование было сопряжено со значительными сложностями – ограниченный пробег и долгая зарядка, а также сложности с зимней эксплуатацией делали электромобили выбором редких «зеленых» фанатов.

ГЛАВНОЙ ПРОБЛЕМОЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ ПО-ПРЕЖНЕМУ ОСТАВАЛАСЬ КРАЙНЕ НИЗКАЯ ПЛОТНОСТЬ ЭНЕРГИИ: СВИНЦОВЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ БЫЛИ СЛИШКОМ ТЯЖЕЛЫМИ.

Как тебе такое, Илон Маск?

Не было бы счастья: главными локомотивами электрификации в XXI веке стали экологические идеи. Под давлением «зеленых» власти богатых регионов (Норвегии, Германии, Калифорнии и т.п.) создали серьезные преференции для «чистых» автомобилей, делая их покупку не таким уж странным выбором. Но эоактивистам, выбиравшим электромобили, по-прежнему приходилось мириться с их многочисленными недостатками.



Многие автопроизводители уже предлагали свои электромобили, но никелевые батареи по-прежнему оставались дорогими и тяжелыми. Чтобы хоть как-то снизить стоимость и массу машины, аккумуляторы делались не слишком большими. А чтобы при маленькой батарее сохранить приемлемый запас хода, ставились маломощные двигатели. В результате абсолютно все электромобили были заметно хуже обычных машин – они долго заряжались, медленно разгонялись и проехать на одном заряде могли считанные десятки километров.



ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛИ

Первый советский электромобиль появился еще в 1948 году. Это были два опытных фургона под названием НАМИ-750 и НАМИ-751. Они могли проехать до 70 км на одной зарядке при средней скорости 20-25 км/ч. Фургоны, произведенные на Львовском автозаводе, использовались для развоза почты в Москве и Ленинграде до 1958 года.

В 1959 году появился УАЗ-450ЭМ. Электрическая «Буханка» предназначалась для работы в аэропортах. После еще нескольких опытных моделей появилась серийная машина под названием УАЗ-3801. Было выпущено более ста подобных машин, внешне не отличавшихся от обычных «Буханок». Интересно, что тяговая батарея этих фургонов заряжалась на 70% всего за один час от обычной сети в 220 В!

Электромобили были созданы также в Латвии из микроавтобуса РАФ, в Армении из

фургона ЕрАЗ-3730, в Москве из Москвича-2335. Но больше всего опытов с электроприводом ставили, конечно, в Тольятти. В 1975 году был построен опытный образец ВАЗ-2102 с запасом хода в 130 км и максимальной скоростью 87 км/ч. В следующие пять лет было выпущено 47 экземпляров универсала – они развозили почту и завтраки на ВАЗе, а несколько машин эксплуатировались в Москве и на Украине.

В 1995 году появилась электрическая «Ока». Три блока батарей – в багажнике, под капотом и под задним диваном – давали неплохую автономность, но их стоимость составляла 2/3 от цены машины! Неудивительно, что выпустили всего 20 экземпляров.

В 2013 году появилась El Lada – «Калина» с электромотором. С громким пиаром началось реальное серийное производство «Эллады», было собрано 100 автомобилей

для администрации Ставрополя – там собирались создать «зеленый» таксопарк. Ставропольцы выкупили всего 5 машин, проект был закрыт.

В 2016 году технологии «Эллады» переехали в новый кузов, была анонсирована Lada Vesta EV. Ее автономность – 150 километров, стоимость – не менее 2,5 миллиона рублей.

Достаточно неожиданно свой проект появился у концерна «Калашников» – несколько трициклов «Овум» использовались московской полицией на ЧМ-2018. Несколько десятков электромотоциклов «ИЖ Пульсар» также переданы полиции и военным.

Наконец, самым громким проектом 2020 года стала «КАМА-1» – симпатичный городской электромобиль оригинальной конструкции, спроектированный в Петербургском Политехе.

В 2010 году началось производство первого действительно массового электромобиля – Nissan Leaf. Он был оснащен литий-ионной батареей, на которую давалась огромная гарантия в 100 000 километров. Эксплуатация «Лифа» обходилась дешевле аналогичного бензинового авто, но сам он стоил заметно дороже. Однако государственные дотации позволяли значительно экономить. Leaf так впечатлил журналистов, что был назван «автомобилем года» чуть ли не всеми главными мировыми премиями. Оказалось, что электромобиль может стоить, выглядеть и ездить почти, как обычный.

Но самое главное случилось в 2012 году – начались продажи Tesla Model S. «Гений, плейбой, миллиардер» Илон Маск создал совершенно неожиданный электромобиль – большой, дорогой, очень мощный и весьма нетривиальный. Огромный экран вместо всех кнопок, выезжающие дверные ручки, два багажника, обновление прошивки по интернету и многие другие «фишки» влюбили в этот автомобиль все население Кремниевой долины – того места, где находятся главные интернет-компании Земли и живут самые креативные люди. Model S надолго стала «звездой Ютюба». Оказалось, что она обгоняет Porsche 911 на гоночной трассе, что ее кузов крепче, чем тестовое оборудование страховых

СОЗДАВ АВТОМОБИЛЬ ДЛЯ ПРЕМИУМ-СЕКМЕНТА, В TESLA СМОГЛИ ЗАМАСКИРОВАТЬ СТОИМОСТЬ БАТАРЕЙ В ВЫСОКОЙ ЦЕНЕ МАШИНЫ.

институтов, что она может «перетянуть» дизельный пикап, что в ее багажнике можно устроить бассейн или жарить барбекю, и так далее.

Создав автомобиль для премиум-сегмента, в Tesla смогли замаскировать стоимость батарей в высокой цене машины. Снабдив Model S действительно мощными двигателями и большим аккумулятором, они добились невиданного ранее – теперь электромобиль не просто не уступал бензиновым конкурентам, но и оказался намного сильнее! А длительная зарядка батарей на поверку оказалась несущественным недостатком. Ведь электромобиль можно просто заряжать дома по ночам – так же, как заряжаются наши смартфо-

НУЖЕН ЛИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ ЛИЧНО ВАМ?

Прежде чем оплатить свой новенький Jaguar I-Pace или праворульный Leaf со вторичного рынка, ответьте на несколько вопросов:

- Есть ли у вас возможность внеуличной ночной зарядки? При наличии своего гаража, места в многоэтажном паркинге или хотя бы договоренности с платной автостоянкой заряжать машину ночью реально. Если вы каждый вечер мучительно ищете случайное свободное место где-то во дворах Кудрово или Бутово, о ночной зарядке можно забыть.

Немного спасти ситуацию может возможность зарядки на работе.

- Каков ваш средний дневной пробег? Абсолютное большинство автомобилистов проезжает за один день не больше 100 километров, то есть аккумуляторов, заряженных за ночь, им точно хватит до вечера. Тем, кто ежедневно проезжает сотни километров, вряд ли стоит выбирать современный электромобиль.

- Часто ли вы отправляетесь в междугородние поездки? Если да, то электромобиль покупать рано. Пока электрическая

инфраструктура в нашей стране только начинает развиваться, и даже поездка по маршруту Москва – Санкт-Петербург становится приключением.

- Сколько автомобилей в вашей семье? При наличии в домохозяйстве двух автомобилей и возможности внеуличной зарядки одну из машин с вероятностью 99% можно заменить на электромобиль – вообще без каких-либо неудобств. Для дальней поездки вы всегда можете взять авто с ДВС, а для ежедневных перемещений по городу остается электромобиль.

ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ: ВАЖНЕЙШИЕ ДАТЫ

- 1828-1835** Первые примитивные электромобили. Примерно в 1832 году Роберт Андерсон разрабатывает электромобиль, но только в 1870-х годах электромобили стали практичными.
- 1889-1891** Уильям Моррисон из Де-Мойна, штат Айова, создает первый успешный электромобиль в США.
- 1899** Электромобили набирают популярность.
- 1900-1912** На рубеже веков электромобили занимают около трети всего автопарка.
- 1901** Томас Эдисон разрабатывает аккумуляторы для электромобилей.
- 1908-1912** Серийный Ford Model T с электростартером наносит удар по электромобилям.
- 1920-1935** Падение популярности электромобилей. Промышленное развитие нефтедобычи сделало их неконкурентоспособными.
- 1968-1973** Рост цен на бензин.
- 1971** Электромобиль высаживается на Луну.
- 1973** Следующее поколение электромобилей. Многие производители снова обращают на них внимание.
- 1974-1977** Лидер среди электромобилей. Sebring-Vanguard CitiCar с запасом хода до 100 км производится тиражом 2 000 штук.
- 1979** Нефтяной кризис закончился. Интерес к электромобилям снова угасает.
- 1990-1992** Новые законы в США возобновляют интерес к электромобилям. Производители пытаются выпускать версии обычных автомобилей с электроприводом.
- 1996** General Motors выпускает EV1, изначально разработанный именно как электромобиль. EV1 становится культовым.
- 2006** Стартап Tesla Motors из Кремниевой долины объявляет о выпуске спорткара Tesla Roadster.
- 2010** Nissan выпускает недорогой электромобиль Leaf.
- 2012** Появляется Tesla Model ***

ны и другие гаджеты. В результате продажи Tesla Model S на отдельных рынках, например в Норвегии, обогнали даже продажи бензиновых конкурентов от Mercedes, BMW и Audi.

Затем появились новые модели Tesla, и их ждал такой же успех. Илон Маск уже доброе десятилетие не сходит с первых страниц новостных сайтов (не в последнюю очередь благодаря своему таланту пиарщика), а акции Tesla Motors просто взлетели в космос вслед за ракетами SpaceX (другой компании Маска). В 2020 году Tesla стала самой дорогой автомобильной компанией мира и пока не собирается терять позиции – так высоко инвесторы оценивают ее электромобильные перспективы.

Успех Tesla указал дорогу традиционным автопроизводителям, и самые быстрые из них – например Audi, Jaguar, Porsche, уже смогли выпустить конкурентов для Tesla. Nissan Leaf к 2021 году и вовсе продан полумиллионным тиражом. Интересно, что свои электромобили анонсировали не только автопроизводители, но и такие бренды, как, например, Apple, Xiaomi или Dyson, – ведь создать

**ОБСЛУЖИВАНИЕ
ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ
ОБХОДИТСЯ ДШЕВЛЕ
ПРОСТО ПОТОМУ, ЧТО
ИХ КОНСТРУКЦИЯ
ЗАМЕТНО ПРОЩЕ:
У ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ
НЕТ НЕ ТОЛЬКО БЛОКА
ЦИЛИНДРОВ, ПОРШНЕЙ
И РАСПРЕДВАЛОВ,
У НЕГО, КАК ПРАВИЛО,
НЕТ СИСТЕМ СМАЗКИ,
ОХЛАЖДЕНИЯ,
ВПУСКА, ВЫПУСКА,
ТУРБОНАДДУВА,
СЦЕПЛЕНИЯ, КОРОБКИ
ПЕРЕДАЧ.**

электромобиль проще, чем обычное авто с ДВС, поэтому за их разработку берутся даже непрофильные компании. Сети зарядок развиваются по всему миру, а законодательство, поощряющее покупку электромобилей, принято уже и в России. Сегодня мало кто сомневается в том, что электромобили ждут большое будущее.

Плюсы и минусы

Но будущее это не назовешь безоблачным – проблем у электромобилей хватает. Для начала, впрочем, обсудим достоинства.

Во-первых, эксплуатация электромобилей дешевле. Электричество стоит намного дешевле бензина, дизтоплива или газа – как минимум в два раза. Особенно, если вы заряжаетесь по «ночному тарифу». А для многих зарядка и вовсе бесплатна: например, с владельцев Tesla не берут деньги за зарядку в фирменной сети Supercharger, есть бесплатные публичные зарядки, некото-

Кроме этого, обслуживание электромобилей обходится дешевле просто потому, что их конструкция заметно проще: у электромобилей нет не только блока цилиндров, поршней и распредвалов, у него, как правило, нет систем смазки, охлаждения, впуска, выпуска, турбонаддува, сцепления, коробки передач и многого другого.

Во-вторых, электромобиль не загрязняет окружающую среду. Чем больше в городе электромобилей вместо машин с ДВС – тем приятнее дышать.

В-третьих, современный электромобиль обладает и другими достоинствами. Он намного тише обычного автомобиля, он может удобно заряжаться дома (а значит, вам больше не нужно тратить время, заезжая на АЗС), и у него чрезвычайно высокий крутящий момент. Это очень интересная особенность – электромобили с мощными двигателями, например Porsche Taycan, Audi e-tron, Tesla Model S, Jaguar I-Pace, не просто могут быстро разогнаться, но и обладают непревзойденными показателями эластичности, то есть абсолютно в любую секунду готовы резко ускориться, не тратя время на переключение передач вниз и раскрутку ДВС. Это действительно впечатляющие ощущения, и владельцы электромобилей, полюбившие их, уже не готовы ездить на бензиновых авто.

В-четвертых, у всех электромобилей есть режим рекуперации, который при торможении возвращает в батареи часть энергии, затраченной на разгон. Эту особенность нельзя недооценивать, ведь благодаря ей пользование электромобилем становится намного более ответственным и экологичным. Нажимая на педаль тормоза в обычном автомобиле, вы просто нагреваете атмосферу своими тормозными дисками. Тормозя в электромобиле, вы вырабатываете электричество. Кроме того, рекуперация делает возможным так называемое «вождение одной pedalью». Больше вообще не нужно тормозить – достаточно просто отпустить педаль газа. Вероятно, через несколько десятилетий вождение с двумя (и уж тем более с тремя) pedalями будет восприниматься как анахронизм вроде механических стеклоподъемников.

**ВЕРОЯТНО, ЧЕРЕЗ
НЕСКОЛЬКО ДЕСЯТИЛЕТИЙ
ВОЖДЕНИЕ С ДВУМЯ (И
УЖ ТЕМ БОЛЕЕ С ТРЕМЯ)
ПЕДАЛЯМИ БУДЕТ
ВОСПРИНИМАТЬСЯ
КАК АНАХРОНИЗМ
ВРОДЕ МЕХАНИЧЕСКИХ
СТЕКЛОПОДЪЕМНИКОВ.**

рые владельцы устанавливают на своих домах солнечные батареи, а в российских условиях многие заряжаются «бесплатно» на работе или в других местах. Не забывайте и о том, что стоимость электричества намного стабильнее цен на бензин.

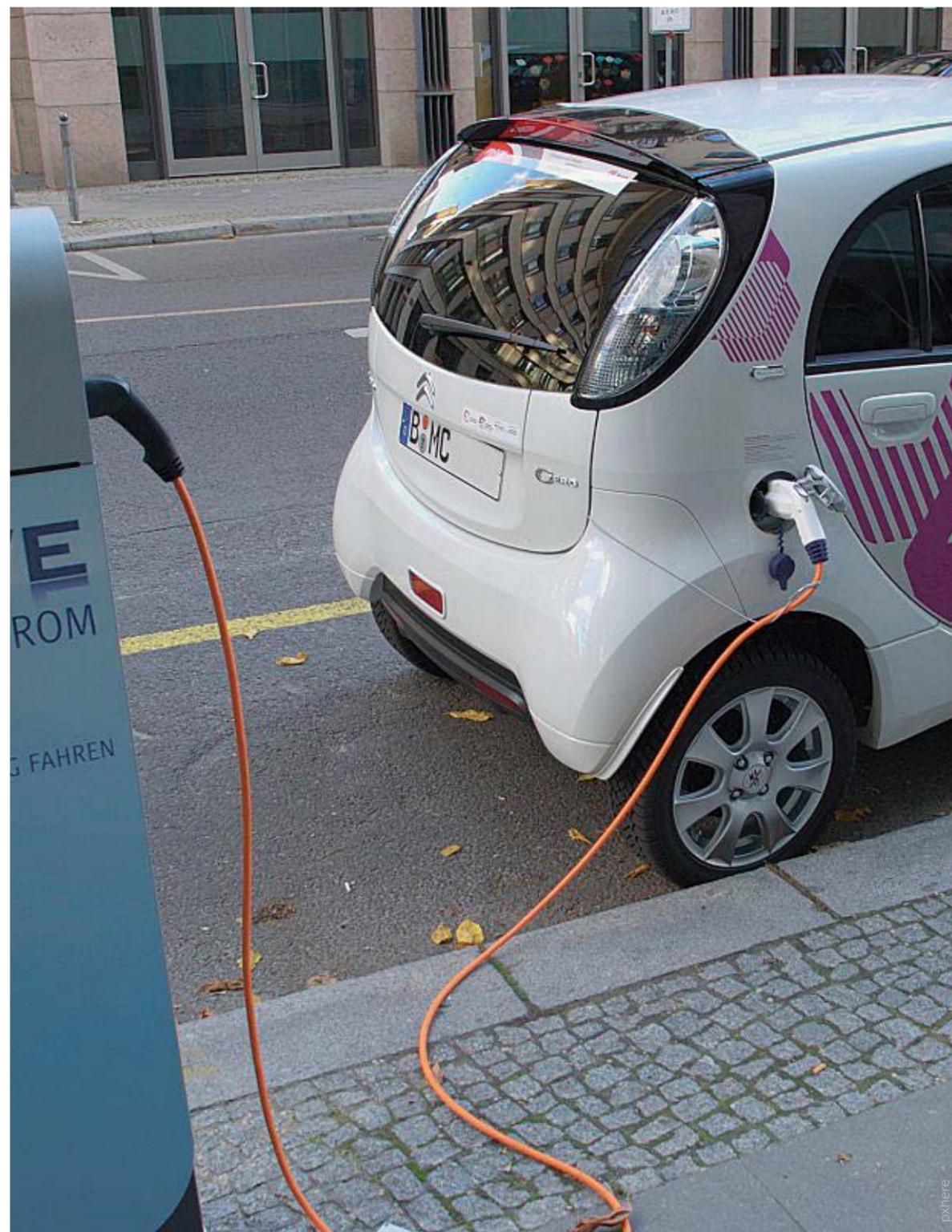


А теперь поговорим о недостатках. Главный из них – это низкая автономность. Лишь самые дорогие электромобили способны проехать на полном заряде столько, сколько проезжает на полном баке бензина банальная малолитражка. У бюджетных же «электричек» типа Nissan Leaf пробег и вовсе ограничен расстоянием в 100-150 километров. Ситуация дополнительно усугубляется тем, что зарядка аккумуляторов происходит весьма медленно – во много раз медленнее заправки даже самых больших бензобаков. А значит, один раз разрядив батарею, владелец электромобиля вынужден делать длительную паузу в своей поездке. Мало того, если

ПЕРЕХОД БОЛЬШОГО КОЛИЧЕСТВА МАШИН НА ЭЛЕКТРОТЯГУ ПРИВЕДЕТ К ОГРОМНОЙ НАГРУЗКЕ НА СЕТИ. НАПРИМЕР, ЕСЛИ ВСЬ АВОТПАРК РОССИИ ЗАМЕНИТЬ НА АВТОМОБИЛИ ФОРМАТА NISSAN LEAF, ТО ТРЕТЬ ВСЕЙ ГЕНЕРАЦИИ СТРАНЫ БУДЕТ УХОДИТЬ НА ЗАРЯДКУ ИХ АККУМУЛЯТОРОВ! ПОНЯТНО, ЧТО ЭТО НЕВОЗМОЖНО.

АЗС можно найти в любой населенной точке Земли, то специализированные зарядки для электромобилей пока встречаются очень редко. Конечно, теоретически заряжать батареи можно от любой бытовой розетки, но в этом случае процесс растянется на долгие часы.

Насколько критичны эти недостатки? Практика показывает, что множество автомобилистов могут пользоваться электромобилем в своих



ежедневных городских поездках, практически не изменяя водительских привычек – достаточно не забывать включать машину в розетку, поставив в гараж. При этом, правда, придется забыть о такой романтической возможности, как «в любой момент прыгнул в машину и уехал в закат» – в районе заката может не оказаться зарядных станций.

Стоит также помнить, что электромобиль не вырабатывает такое количество тепла, как бензиновый, и для отопления салона зимой используется драгоценная энергия аккумуляторов. В особенно холодных регионах использование электромобиля становится проблематичным.

Перспективы массовой «электрификации»

Плюсы и минусы электромобиля как личного транспорта ясны, но что с общественным благом? С первого взгляда массовая «электрификация» мирового автопарка несет одни плюсы: города избавятся от крупнейшего источника загрязнения, жители мегаполисов смогут дышать чистым воздухом и наконец-то увидят солнце, не скрытое смогом. Кроме того, мы перестанем бездумно сжигать нефть в двигателях, а значит, наши потомки еще смогут использовать ее для производства пластмасс, синтетики и других полезных вещей.

Но при этом переход большого количества машин на электротягу приведет к огромной нагрузке на сети. Например, если весь автопарк России заменить на автомобили формата Nissan Leaf, то треть всей генерации страны будет уходить на зарядку их аккумуляторов! Понятно, что это невозможно. Увеличение же мощностей электростанций означает увеличение потребления угля, газа, мазута и другого топлива, а это увеличение загрязнений вокруг ТЭЦ и, опять же, сжигание ископаемых углеводородов. Ситуация может улучшиться при развитии альтернативной энергетики, безопасных АЭС и т.д. Кроме того, достаточно большое количество электромобилей, заряжающихся по ночам, способно решить одну из проблем современной энергетики – куда девать электричество, когда оно не потребляется?

Другой глобальной проблемой становится потребление лития – на сегодня разведанных запасов этого металла даже теоретически не хватит на изготовление батарей для миллиарда электромобилей. Остается надеяться на изобретение альтернативной конструкции аккумуляторов. К счастью, сейчас эти отрасли науки щедро финансируются и прорыва в технологиях можно ждать в любой момент.

Итак, изменят ли мир электромобили? Сейчас никто не может дать ответ на этот вопрос, но очевидно, что электромобили находятся лишь в начальной стадии своего развития, занимая считанные доли процента от мирового авторынка. Отрасль и инвесторы делают большую ставку на эту технологию, понимая ее невероятные перспективы. Но останутся ли электромобили узконишевым продуктом или полностью вытеснят машины с ДВС? Это будет зависеть от действий производителей, властей и, конечно, от нас, покупателей. **L**



АЛЕКСЕЙ МАДИСОН: «ИЗУЧЕНИЕ КВАЗИКРИСТАЛЛОВ – МЕЖДИСЦИПЛИНАРНАЯ НАУКА БУДУЩЕГО»

Что такое квазикристаллы, из чего они состоят и почему их так важно изучать, рассказывает ведущий научный сотрудник Центра перспективных исследований СПбПУ.

Текст: Инна Герасименко

- Чем отличаются квазикристаллы от обычных кристаллов?

- Согласно современному определению кристаллов – ничем! Просто в них реализуется иной вид порядка. И в то же время – разница принципиальная. Обычные кристаллы представляют собой твердые тела, в которых атомы или молекулы расположены закономерно, образуя трехмерную периодическую пространственную упаковку – кристаллическую решетку. Лед, соль, сахар, драгоценные камни, многие горные породы, многие руды и выплавляемые из них металлы – все это, как правило, кристаллические вещества.

Любой кристаллической структуре присуща определенная симметрия. Из классической кристаллографии мы знаем, что существует ограниченный набор способов построения твердого тела из одинаковых ячеек – всего 230 пространственных (фёдоровских) групп. То есть главное свойство кристаллов – периодичность и связанная с ней симметрия. Требование бесконечной периодичности ограничивает набор возможных осей симметрии. Так, в «настоящих» кристаллах могут присутствовать лишь оси второго, третьего, четвертого и шестого порядка, что соответствует поворотам на 180, 120, 90 и 60°. Это означает, что кристалл может совпасть с собой при вращении вокруг этой

оси два, три, четыре или шесть раз. Чтобы это понять, достаточно взять в руки детскую мозаику или вспомнить тротуарную плитку. Кристалл – то же «замощение», только трехмерное, причем «плитки» должны прилегать друг к другу плотно, без зазоров, но и не идти внахлест. Легко удастся замостить плоскость одинаковыми параллелограммами, треугольниками, прямоугольниками, квадратами и шестиугольниками. Мостить тротуар правильными пятиугольниками, семиугольниками и восьмиугольниками не получится – либо они будут перекрываться друг с другом, либо между ними останутся пустоты.

Но... Кто заставляет нас ограничивать себя плитками только одного типа? В 2020 году Нобелевской премии был удостоен профессор Рождер Пенроуз за исследования в области космологии. Однако у многих его имя в первую очередь ассоциируется со знаменитым разбиением 5-го порядка. Мостить тротуар в соответствии с разбиением Пенроуза – это как раз то, что было сделано перед главным входом нового здания Математического института Оксфорда, в прямом смысле слова.

В квазикристаллах реализуются те самые, якобы «невозможные», элементы симметрии. Дан Шехтман в 1982 году наблюдал, описал и интерпретировал очень необычную картину электронной дифракции от сплава алюминия и марганца, полученного быстрым охлаждением из расплава. С помощью электронно-микроскопических исследований профессор Шехтман доказал, что в исследованном им образце существовал строгий дальний порядок, а значит, это кристалл. Но при этом присутствовала ось симметрии пятого порядка, что категорически не вписывалось в правила классической кристаллографии. Начался долгий путь от полного неприятия его результатов, обструкции и публичного высмеивания на крупнейших международных конференциях до присуждения Нобелевской премии в 2011 году за открытие, в экстремальной степени противоречившее существовавшей на тот момент теории.

- Почему такое необычное внимание квазикристаллам?

- Сделанное профессором Шехтманом открытие произвело революцию в наших взглядах на возможное расположение атомов и молекул в кристаллах. Можно сказать, что это стало новой парадигмой в химии. Заслуга Шехтмана в том, что он показал возможность существования этих завораживающе красивых структур в мире реальных объектов. С тех пор уже найдены и изучены сотни новых структур – не только металлических сплавов, но и некоторых полимеров. Изуче-

ние квазикристаллов – истинно междисциплинарная наука будущего, соединяющая в себе химию, физику, математику и науки о материалах. Сейчас десятки групп по всему миру изучают уникальные свойства квазикристаллов, интересные как для фундаментальной, так и для прикладной науки.

Оказалось, что квазикристаллы обладают целым рядом совершенно необычных по сравнению с кристаллическими и аморфными аналогами свойств. Вообще-то это не должно удивлять. Раз они обладают уникальной структурой, то, вполне логично, следует ожидать, что они будут обладать уникальными свойствами.

- Какое у них практическое применение?

- Возможности практического применения квазикристаллов как раз-таки и определяются их уникальными свойствами: высокой прочностью, низкой поверхностной энергией, низким коэффициентом трения, низкой теплопроводностью, необычными электрическими и магнитными свойствами. И во многих случаях обоснованность ожиданий уже была подкреплена конкретными реализациями. Однако, несмотря на интереснейшие свойства, широкое практическое применение квазикристаллов – это задача будущего. Промышленное внедрение тормозит ряд технических проблем: производство значительных количеств квазикристаллов – непростая, хотя и решаемая задача. Хотя, по большому счету, дело даже не в цене. В конце концов, история учит нас тому, что безумную цену можно платить за то, что ярче блестит, или что убедительнее рекламируют и навязывают торговцы. При этом всегда найдутся ненужные вещи, которые в итоге обойдутся еще дороже.

- Что вы имеете в виду?

- Квазикристаллы показали, что понятие порядка – не равнозначно понятию «ходить строем», не равнозначно стенке, выложенной из одинаковых кирпичей. Если говорить о том, что актуально сейчас, то этот новый вид порядка может быть реализован на разных масштабах. Если из атомов, то сегодня это будут легкие металлические сплавы с уникальными свойствами. Если упаковывать коллоидные частицы под воздействием симметричного облучения несколькими лазерами, то реализуется, на первый взгляд, тот же самый порядок, а свойства уже другие. Следующий масштаб – получаем фотонные квазикристаллы. Следующий уровень масштаба – собираем особый композиционный

материал, но не так, как спекают керамику. Берем материалы с сильно различающимися свойствами (магнитные и немагнитные, проводящие и изолирующие, прозрачные и поглощающие и т.д.). Затем формируем строго упорядоченную структуру из закономерно расположенных палочек, шашечек, колец с прорезами и т.п. А потом – «печем пирог с начинкой». Получится метаматериал, то есть искусственный материал, который в увеличенном масштабе воспроизводит атомарную структуру кристалла, но роль мета-атомов исполняют специальные резонаторы заранее рассчитанной формы. В последнее время в литературе появляются сообщения, что квазикристаллические метаматериалы могут обладать отрицательным или нулевым эффективным коэффициентом преломления. В случае нулевого коэффициента преломления электромагнитные волны распространяются так, как будто в этом месте вообще ничего нет. Такие материалы могут применяться для изготовления оптических ключей или для создания «эффекта шапки-невидимки».

Еще один очень удивительный эффект, связанный с квазикристаллами, упоминается в Эйнштейновской лекции профессора Фримена Дайсона (которая не была прочитана и, к нашему прискорбию, никогда уже не будет). Представим себе обычную дифракционную решетку. Студенты изучают ее на лабораторном практикуме по физике в третьем семестре. Это стеклянная пластинка, на поверхности которой расположены периодические щели. А что если щели расположить аперидически? Повторюсь, аперидически не значит хаотически. Например, что если порядок следования дифракционных щелей будет воспроизводить расположение нетривиальных нулей дзета-функции Римана? Их появление кажется абсолютно непредсказуемым – это же одна из нерешенных проблем современной математики! Студент-отличник наверняка скажет, что острые дифракционные пики могут возникнуть, только если выполняется уравнение Вульфа-Брэгга. Поэтому никакого когерентного сложения волн ожидать не следует. И совершит ошибку. Поразительно, но в дифракционных спектрах такой аперидической квазирешетки пики все же возникают, причем их положение индексируется исключительно простыми числами и их степенями! Вероятно, Алан Тьюринг был первым, кто попытался это проверить и за неимением компьютеров делал это с помощью шестеренок со специально подобранными передаточными соотношениями.

Здесь будет уместным привести цитату из Нобелевской лекции Герберта Крёмера. Вы, конечно же, помните, что Нобелевская премия 2000 года была разделена между тремя учеными – Джеком Килби, Жоресом Алфёровым и Гербертом Крёмером. Так вот, в своей Нобелевской лекции Крёмер рассказывает любопытную и поучительную историю о том, как ему отказали в финансировании проекта по созданию полупроводникового лазера на двойной гетероструктуре – на том основании, что «этот прибор не может, по-видимому, иметь никакого практического применения». Как мы все хорошо помним, подобный лазер был создан позже, но в другом месте, а именно – в Физико-техническом институте имени А.Ф. Иоффе. Крёмер говорит, что «это был классический случай оценки принципиально новой технологии не с той позиции, какие новые области применения она может породить, а только лишь с точки зрения ее полезности для уже существующих приложений. Это в высшей степени близорукая тактика». И далее: «Основные области применения любой, достаточно новой инновационной технологии всегда были – и будут – порождены самой этой технологией».

Думаю, что квазикристаллы – не исключение. Смею предположить, что основная область их применения еще ждет своего появления. Не всегда можно реалистически предсказать, какие новые применения возникнут, но можно создать способствующую прогрессу атмосферу, не спрашивая немедленно, а где это новое может быть полезно. Помню, в студенческие времена я изучал физику твердого тела по замечательному учебнику Нейла Ашкрофта и Дэвида Мермина. Мермину принадлежит мудрое высказывание: «Я жду того дня, когда люди поймут, что открытие совершается не потому, что кто-то захотел его сделать – и сделал». Абсолютно неприемлемо мотивировать научное исследование вероятными многообещающими мифическими усовершенствованиями в уже существующих областях. В конечном счете, прогресс в прикладной науке не предопределен, а имеет случайный характер, и каждый скачок использует большое число ранее накопленных в фундаментальной и прикладной науке достижений.

Новая истинно революционная идея не может и не должна конкурировать со старыми технологиями в стандартных областях их использования. Помните библейскую притчу? «Никто, пив старое вино, не захочет тотчас молодого, ибо говорит: старое лучше». Но молодое вино должно вливаться в мехи новые, тогда сбережется и то, и другое. L

pxhere

Алексей Мадисон опубликовал ряд статей, внесших существенный теоретический вклад в изучение структуры и понимание природы квазикристаллов. В 2019 году на обложке журнала “Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences” Лондонского королевского общества вышла его статья “Looking for alternatives to the superspace description of icosahedral quasicrystals”. Это один из старейших и авторитетнейших в мире научных журналов. Вот только краткий перечень знаменитых работ, опубликованных в этом журнале и впоследствии удостоенных Нобелевских премий: статья отца и сына Брэггов о рентгеновской дифракции в кристаллах, описание двойной спирали ДНК Уотсоном и Криком, расшифровка структуры гемоглобина Перуцем, статья Роджера Пенроуза и Стивена Хокинга

о сингулярности гравитационного коллапса, и многие другие.

До недавнего времени считалось, что описание структуры икосаэдрических квазикристаллов иначе как при помощи шестимерного пространства невозможно. Благодаря работам нашего ученого появилась возможность решения данной проблемы в трехмерном пространстве. Оригинальная теория, основанная на идее использования нескольких квази-ячеек, была опубликована в 2015 году в журнале Королевского химического общества “RSC Advances” в серии статей “Substitution rules for icosahedral quasicrystals” и “Atomic structure of icosahedral quasicrystals: stacking multiple quasi-unit cells”.

В 2018-м вышла его статья “Constructing Penrose-like tilings with 7-fold symmetry” и попала

на обложку журнала “Structural Chemistry”. В ней автор предложил интересный аналог знаменитого разбиения Пенроуза, но с симметрией не 5-го, а 7-го порядка. Разбиение может быть сконструировано из ромбических плиток по строгим иерархическим правилам. Узор (паркет) содержит повторяющиеся характерные мотивы из семиконечных звезд и обладает свойством локального изоморфизма (это математический термин, означающий, что разбиение всюду локально почти одинаковое). Годом позже оно было включено в поддерживаемую Университетом Билефельда (Германия) «Энциклопедию разбиений» под его именем. Тот факт, что разбиение Мадисона признано самостоятельной математической конструкцией, инициирующей новый подход в этой области, – большой успех ученых-политехников.

ПЛАЗМА: ДОМАШНЕЕ СОЛНЦЕ

Не пора ли поговорить о плазме? Ведь это слово все чаще попадает в лентах новостей и всегда в каком-то захватывающем контексте. Высокотемпературная плазма станет неиссякаемым источником энергии... Плазменные двигатели позволят достичь далеких уголков космоса... В вопросе разбирается Иван Ющенко.

Что она такое?

Плазма – это четвертое агрегатное состояние вещества. А три первых – твердое, жидкое и газообразное. На самом деле сегодняшняя наука считает, что их около полутора десятков, но давайте здесь обойдемся для простоты четырьмя «классическими». При изменении таких параметров, как температура и давление, в земных условиях легко наблюдать переход веществ из одного состояния в другое и обратно. В самых общих чертах закономерность проста: при повышении температуры твердое вещество становится жидким, а жидкое – газообразным. А если газ продолжать нагревать до нескольких тысяч К? К – это Кельвин, один Кельвин равен одному градусу Цельсия, если помните, только за точку отсчета при измерениях принимается абсолютный нуль, то есть -273 по Цельсию. Так вот, если газ нагреть до нескольких тысяч К, от его атомов начинают отрываться отрицательно заряженные частицы, электроны, и возникает нечто вроде бульона из свободных электронов, в котором плавают положительно заряженные кусочки атомов – ионы. Ионы, впрочем, бывают и отрицательные, если в общей суматохе к атому прилипает «лишний» электрон. Главное, что в целом получается частично или полностью ионизированный газ. Который с легкой руки американского ученого и инженера Ирвинга Ленгмюра в 1928 году получил прозвище плазма – по аналогии как раз с плазмой крови, жидкой средой, в которой плавают кровяные клетки. В земных условиях плазма – это, в общем, экзотика и возникает она в природе, например, при газовых разрядах. С плазмой мы встречаемся при вспышке молнии или когда наблюдаем всполохи полярных сияний. По свойствам она напоминает обыкновенный газ. С той принципиально важной разницей, что газы – это диэлектрики, а плазма электропроводна, и электромагнитное поле такая же неотъемлемая составляющая плазмы, как и частицы, из которых она состоит. При этом вообще во Вселенной, а не в нашем прохладном и твердом закутке, плазма – самое распространенное агрегатное состояние вещества. В этом состоянии находится вещество звезд и вещество, наполняющее межпланетное, межзвездное и межгалактическое пространство, – большая часть «обычного», барионного, вещества (по массе около 99,9%) во Вселенной находится в состоянии плазмы. (Прав-

да, при этом, согласно современным представлениям, Вселенная на 69% – темная энергия, на 27% – темная материя, и лишь скромный процент составляет материя нормальная, но об этом тоже как-нибудь в другой раз.)

Кто ее открыл?

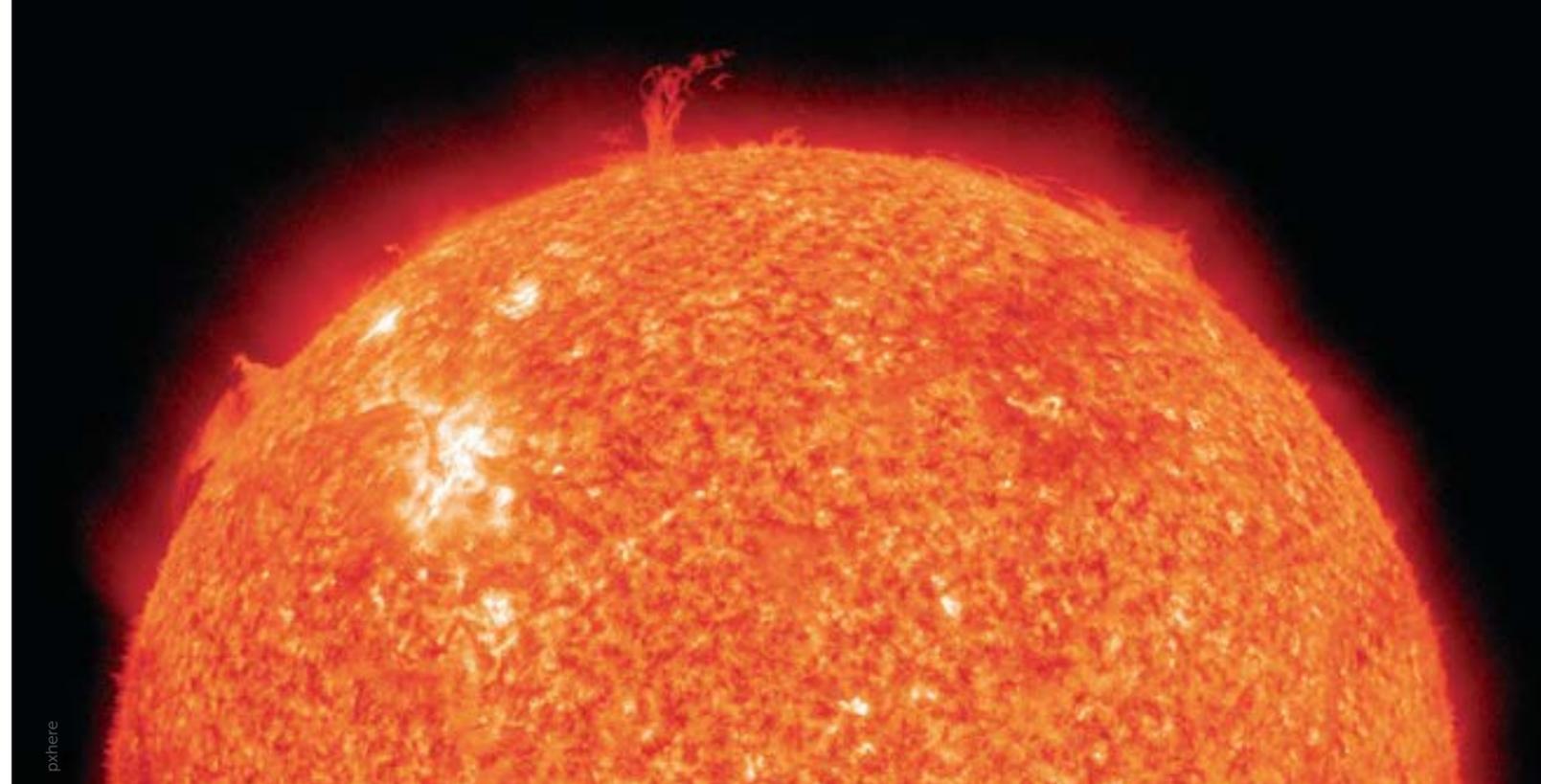
Из плазмы состоит ионосфера Земли (слой атмосферы планеты, сильно ионизированный вследствие облучения космическими лучами, начинается примерно километрах в 60 от поверхности), «продувающий» всю Солнечную систему солнечный ветер и, естественно, само наше светило. Но для земной науки она долго не существовала. Там, где обитает человек, с плазменными явлениями ему приходится более-менее непосредственно сталкиваться в основном в виде атмосферных электрических разрядов. И закономерно, что первыми подступами к открытию плазмы стали исследования электричества. Из важнейших вех в его изучении стоит назвать труды Уильяма Гильберта (1544-1603), английского физика и медика, придворного врача Елизаветы I, а затем ее преемника Иакова I. Гильберт около 1600 года описал возникновение электричества в процессе трения (и ввел, собственно, термин «электричество»).

В 1745-м немец Эвальд Юрген фон Клейст (1700-1748) изобрел электроконденсатор. Еще один знаменитый сын Германии Георг Кристоф Лихтенберг в 1777 году построил большой электростатический генератор, способный создавать искры до 38 см в длину, следы от этих высоковольтных (более 200 000 В) разрядов на изоляторе – «лихтенберговы фигуры», напоминающие по форме молнии, подтвердили связь между рукотворным и атмосферным электричеством. В 1800 году блистательный итальянец Алессандро Вольта создал первую гальваническую батарею «вольтов столб». А в 1802-м наш выдающийся соотечественник Василий Владимирович Петров построил большую гальваническую батарею с электродвижущей силой около 1700 В – она состояла из 2 100 пар медных и цинковых кружков, между которыми прокладывались картонные диски, пропитанные раствором нашатыря. И это позволило ему в том же году открыть дуговой разряд (другое название «воль-

това дуга», хотя справедливее было бы называть электрическую дугу «дугой Петрова»). А, как известно, это не что иное, как ионизированный высокотемпературный газ, то есть плазма. Более того, Петров доказал, что ее можно применять для плавки и сварки металлов, для восстановления металлов из руд и для освещения.

В 1819 году знаменитый Майкл Фарадей поставил вопрос о четырех состояниях вещества, четвертое из которых – лучистое, radiant state of matter (то есть ...плазма). А в 1831-м он открыл электрическое свечение разрядов в разреженных газах. На роль «первооткрывателя плазмы», может быть, с наибольшим основанием подходит английский физик и химик сэр Уильям Крукс (1832-1919): в 1879 году при помощи экспериментальной газоразрядной трубки, сегодня известной как «трубка Крукса», он ионизировал воздух током высокого напряжения. То, что у него получилось, излучало свет, и он назвал это, вслед за Фарадеем, radiant matter – «лучистой материей». И вывод, который Крукс сделал из своих экспериментов, был очень важен: процессы в разреженных газах «так непохожи на все происходящее в воздухе или любом газе при обычном давлении, что в этом случае мы имеем дело с веществом в четвертом состоянии, которое по свойствам отличается от обычного газа в такой же степени, что и газ от жидкости».

В 1897 году это явление смог объяснить другой англичанин сэр Джозеф Джон Томсон, благодаря своим бесчисленным экспериментам с катодными трубками, в результате которых он открыл электрон. Это – очень коротко и пунктирно – предыстория вопроса. А в 1923 году свойствами электрического разряда в газах занялся американец Ирвинг Ленгмюр. Он-то и ввел сам термин «плазма» для ионизированного газа, который образовывался под воздействием мощных переменных токов. Впервые употребив его в таком контексте: «Кроме областей рядом с электродами, где находятся слои экранирования, содержащие очень малое количество электронов, ионизированный газ содержит ионы и электроны примерно в равных количествах, так что результирующий пространственный заряд крайне мал. Для описания этой области, содержащей уравновешенные заряды ионов и электронов, мы будем использовать слово "плазма"». То есть ученый отметил важнейшее свойство плазмы – ее общую электрическую нейтральность за счет уравновешивания зарядов. Еще Ленгмюр разработал теорию электронной температуры и способ измерения электронной температуры и ионной плотности с помощью специального электрода, называемого теперь «зондом Ленгмюра». Еще он изобрел атомно-водородную сварку. И в 1929-м открыл волны электронной плотности в плазме, известные теперь как «волны Ленгмюра».



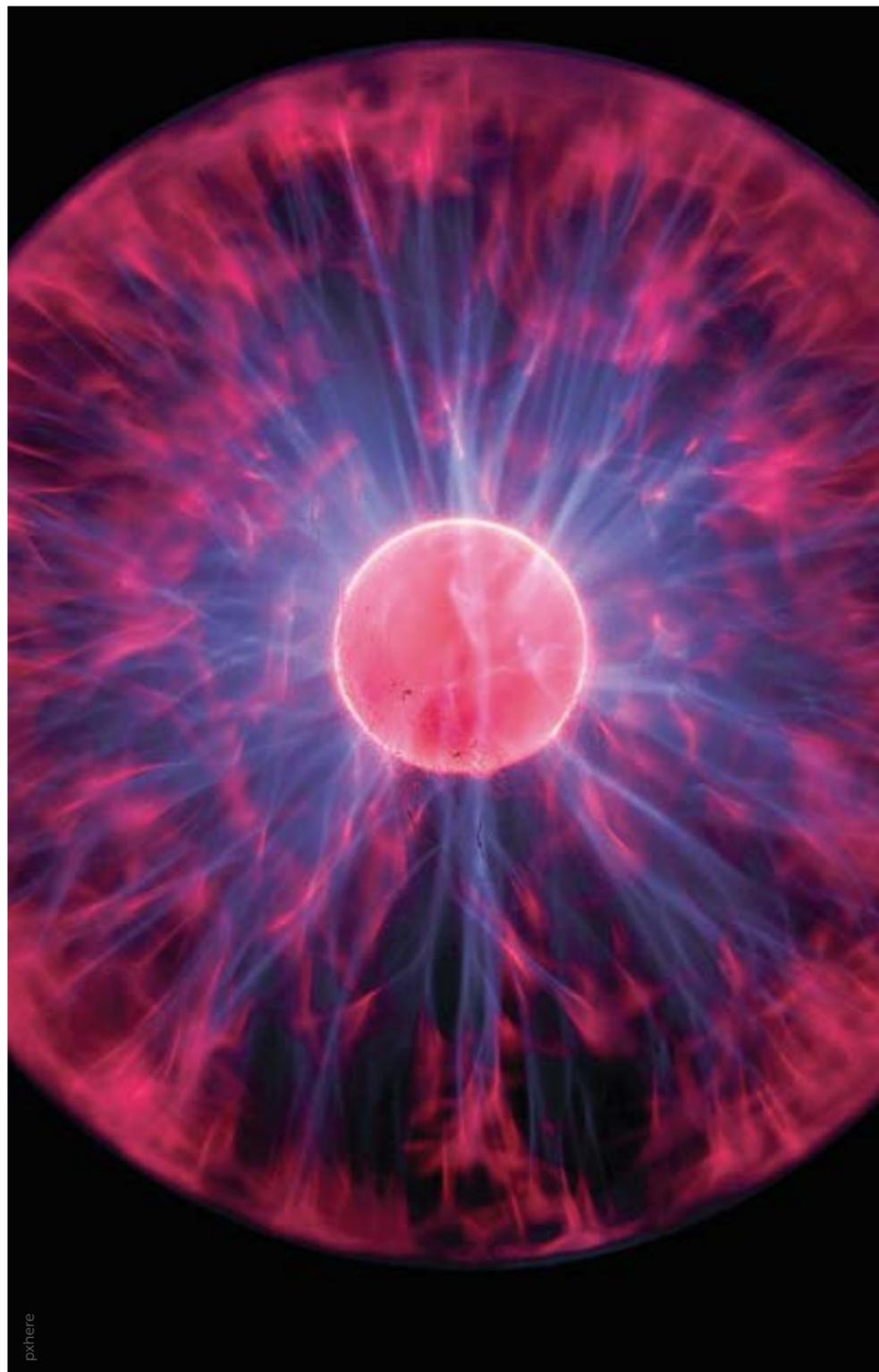
Постепенно накапливалось все больше сведений и теоретического материала, как за счет экспериментов, так и за счет наблюдения за внеземными объектами. Но в середине 1950-х годов исследования плазмы получили новый толчок. Правда, теперь речь шла не о сравнительно низкотемпературных процессах, а о температурах в миллионы К. И перспективе уничтожения всего живого.

Солнечный круг

«Дорогой кот! Мы за тебя рады, что ты хорошо живешь. А природу на дрова рубить не надо. Твой хозяин прав. Посылаем тебе солнце – маленькое, домашнее. Как с ним обращаться, ты знаешь. Видел у нас. Посылаем и регулятор – делать жарче и холоднее. Если ты что-то забыл, напиши нам, мы всё тебе объясним. Всего хорошего. Институт физики Солнца». Так в книжке Эдуарда Успенского «Дядя Фёдор, пёс и кот», за счет личных связей в научных кругах (по благу), кот Матроскин решил проблему зимнего отопления избы в Простоквашине. Выглядит домашнее солнце в детской книге, конечно, тоже по-детски: переводная картинка из спиралек медной проволоки, подключаемая к электричеству через черный ящик.

Солнце – источник тепла и света для нашего мира. Эта простая и основополагающая идея без доказательств принималась человечеством испокон веков. Но что такое солнце и за счет чего оно светит и греет, долгое время оставалось непонятным. И со временем формирования современной науки ученые, исходя из наличествующего уровня знаний и представлений, искали объяснение происходящему с нашим светилом. Например, в 1848 году немецкий естествоиспытатель Юлиус Роберт фон Майер (1814 -1878) выдвинул метеоритную гипотезу, согласно которой Солнце нагревается, благодаря бомбардировке метеоритами. Много сторонников во второй половине XIX века было у теории Германа фон Гельмгольца (1821-1894) и лорда Кельвина (1824-1907) о том, что Солнце нагревается за счет медленного гравитационного сжатия («механизм Кельвина – Гельмгольца»). В XX веке Эрнест Резерфорд (1871-1937) выдвинул гипотезу, что источником внутренней энергии Солнца является радиоактивный распад. И наконец, в 1920 году британец Артур Эддингтон (1882-1944) предположил, что давление и температура в недрах Солнца настолько высоки, что там могут идти термоядерные реакции, при которых ядра водорода (протоны) сливаются в ядро гелия-4.

Теория термоядерного синтеза была развита в 1930-х годах астрофизиками Субраманиямом Чандрасекаром (1910-1995) и Гансом Бете (1906-2005). Бете детально рассчитал две главные термоядерные реакции, которые являются источниками энергии Солнца. Термоядерные реакции – это реакции слияния (синтеза) легких ядер, протекающие при высоких температурах. Они идут с выделением энергии, поскольку в более тяжелом ядре, образовавшемся при слиянии, нуклоны связаны сильнее, т.е. имеют, в среднем,



большую энергию связи, чем в исходных ядрах. Избыточная суммарная энергия связи нуклонов при этом освобождается в виде кинетической энергии продуктов реакции. В обычном состоянии положительные заряды ядер испытывают кулоновское отталкивание. И чтобы его преодолеть, они должны лететь навстречу друг другу с большой скоростью и сблизиться на расстояние примерно одной стомиллиардной сантиметра. Это возможно в сильно нагретых средах или при специальном целенаправленном ускорении. Необходимые условия для протекания самоподдерживающихся термоядерных реакций имеются в звездах, где они являются главным источником энергии и длятся миллиарды лет.

В ОТЛИЧИЕ ОТ СЛУЧАЯ С «МИРНЫМ АТОМОМ», КОТОРЫЙ СТАЛ ИСПРАВНО КИПЯТИТЬ ВОДУ ВСЕГО ЧЕРЕЗ ТРИ ГОДА ПОСЛЕ ХИРОСИМЫ, «ТЕРМОЯД» ОКАЗАЛОСЬ ОБУЗДАТЬ СЛОЖНЕЕ, И ПОЧТИ ЗА СЕМЬДЕСЯТ ЛЕТ «ПОДКЛЮЧИТЬ ДОМАШНЕЕ СОЛНЫШКО К ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ» ТАК И НЕ УДАЛОСЬ.

В середине прошлого века ученым и инженерам удалось осуществить термоядерную реакцию и на Земле. И, как это часто бывает в истории человечества, плоды исследований, колоссальный труд и научные прозрения огромного количества умных и талантливых людей были поставлены на службу войны и разрушения. Самоподдерживающиеся термоядерные реакции в течение чрезвычайно короткого времени (слияние двух тяжелых изотопов водорода, дейтерия и трития в ядро гелия с испусканием нейтрона) с выделением огромной энергии – это не что иное, как взрыв водородной бомбы, самое мощное оружие в современном арсенале средств уничтожения. Справедливости ради надо отметить, что, как и в случае с атомной бомбой, почти сразу же возникла мысль о том, чтобы огненного демона поставить на службу миру. Иными словами, перейти к управляемому термоядерному синтезу для производства энергии.

Предложения об использовании управляемого термоядерного синтеза для промышленных целей и конкретную схему с использованием термоизоляции высокотемпературной плазмы электрическим полем впервые сформулировал советский физик О.А. Лаврентьев (1926-2011) в 1950 году. А.Д. Сахаров (1921-1989) и И.Е. Тамм (1895-1971) в 1951 году предложили модифицированную теоретическую схему термоядерного реактора, где плазма имела бы форму тора и удерживалась магнитным полем. Первый токамак (тороидальная камера с магнитными катушками) был построен в 1954 году, и советские токамаки долго были единственными в мире. В 1968 году на токамаке Т-3 в Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова под руководством академика Л.А. Арцимовича (1909-1973), была достигнута электронная температура плазмы 1 кэВ (что соответствует 11,6 млн °С). Английские ученые из лаборатории в Кулхэме со своей аппаратурой приехали в СССР, произвели измерения и подтвердили этот казавшийся неправдоподобным результат. После этого в передовых научных державах токамаки

стали строить ударными темпами. Тем не менее о практических экономически значимых результатах до сих пор речи не идет. В отличие от случая с «мирным атомом», который стал исправно кипятить воду всего через три года после Хиросимы, «термояд» оказалось обуздать сложнее, и почти за семьдесят лет «подключить домашнее солнышко к электричеству» так и не удалось.

Но мы полны оптимизма

Зачем нам нужна термоядерная энергетика? Прежде всего, чтобы «не рубить природу на дрова». За термоядерную энергетiku – множество факторов, среди них перспективы исчерпания ископаемого топлива (в ближайшие 50-60 лет), проблемы с загрязнением среды продуктами горения в случае с классической тепловой энергетикой, крайне негативное влияние на экологию самой добычи топлива для современных электростанций, недостаточная для обеспечения растущих потребностей землян мощность альтернативных, возобновляемых источников энергии (и их, увы, тоже не полная безопасность для окружающей среды). Поэтому статья «подобными Солнцу» – соблазнительный путь. Что для этого нужно?

Для управляемого термоядерного синтеза необходима высокотемпературная водородная плазма. Но обычный водород, которым обходится Солнце и другие звезды, нам не подойдет: для земных масштабов интенсивность энерговыделения невысока, горячая плазма под высоким давлением удерживается гравитацией, а все излучаемое рентгеновское излучение – за счет огромной плотности и размеров поглощается. Таким образом, ядро не остывает даже при относительно малых скоростях реакции. Из-за этого в ядре сгорают не только водород и дейтерий, но и гораздо более тяжелые элементы – нереализуемая конструкция. Поэтому лучше всего использовать плазму из смеси тяжелых изотопов водорода дейтерия и трития в пропорции 1:1. Кроме того, плазма должна быть плотной. Частицы должны оставаться в зоне реакции сравнительно долго – иначе потеря энергии превысит ее выделение. В общем, согласно так называемому «критерию Лоусона», производство плотности плазмы на среднее время удержания

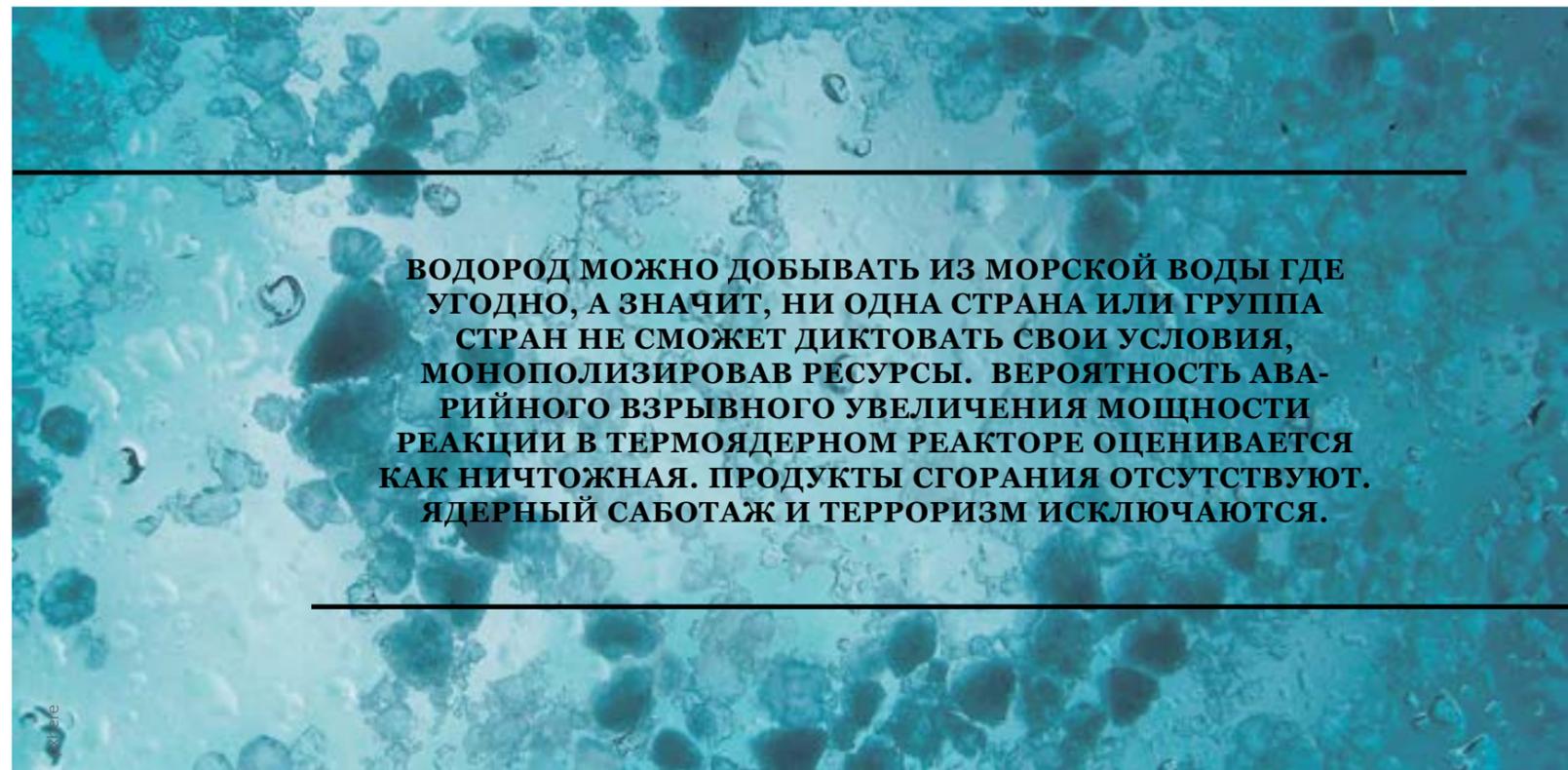
частиц должно быть выше некоторой величины, определяемой температурой, составом термоядерного топлива и ожидаемым коэффициентом полезного действия реактора. И сейчас есть две принципиальные схемы осуществления управляемого термоядерного синтеза: квазистационарные системы и импульсные системы.

В первых нагрев и удержание плазмы осуществляется магнитным полем при относительно низком давлении и высокой температуре. Для этого применяются реакторы в виде токамаков, стеллараторов (торсатронов) и зеркальных ловушек.

Во вторых термоядерный синтез осуществляется путем кратковременного нагрева небольших мишеней, содержащих дейтерий и тритий, сверхмощными лазерными лучами или пучками высокоэнергичных частиц (ионов, электронов). Такое облучение вызывает последовательность термоядерных микровзрывов.

Первый вид термоядерных реакторов намного лучше разработан и изучен, чем второй. И выглядит перспективнее. Именно поэтому в 60 км от французского города Марселя в 2007 году объединенными усилиями 35 стран – в первую очередь Евросоюза, России, США и Японии – начато строительство ITER, международного экспериментального термоядерного реактора. На нем предполагается отработать решения физических и технологических проблем промышленного производства энергии с помощью термоядерного синтеза.

Этот реактор представляет собой токамак. То есть плазма в нем будет удерживаться комбинированным магнитным полем – тороидальным внешним и полоидальным полем тока, протекающего по плазменному шнуру (тороидальный и полоидальный – это пространственная ориентация: тороидальное поле ориентировано по окружности «бублика»-тора, а полоидальное – по его сечению). Это особенность токамаков: ток в плазме обеспечивает разогрев плазмы и удержание равновесия плазменного шнура в вакуумной камере. Тогда как в стеллараторе (одна из альтернативных схем удержания) и тороидальное, и полоидальное поля создаются с помощью внешних магнитных катушек.



ВОДОРОД МОЖНО ДОБЫВАТЬ ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ ГДЕ УГОДНО, А ЗНАЧИТ, НИ ОДНА СТРАНА ИЛИ ГРУППА СТРАН НЕ СМОЖЕТ ДИКТОВАТЬ СВОИ УСЛОВИЯ, МОНОПОЛИЗИРОВАВ РЕСУРСЫ. ВЕРОЯТНОСТЬ АВАРИЙНОГО ВЗРЫВНОГО УВЕЛИЧЕНИЯ МОЩНОСТИ РЕАКЦИИ В ТЕРМОЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ ОЦЕНИВАЕТСЯ КАК НИЧТОЖНАЯ. ПРОДУКТЫ СГОРАНИЯ ОТСУТСТВУЮТ. ЯДЕРНЫЙ САБОТАЖ И ТЕРРОРИЗМ ИСКЛЮЧАЮТСЯ.

Масштаб и сложность научных и инженерных задач на проекте ITER видны и по срокам, и по стоимости его осуществления. Проект начал разрабатываться еще в 1980-х годах, от нулевого цикла строительства до начала сборки реактора из компонентов (июль 2020 года) прошло 13 лет. А между тем стройку, стоимость которой первоначально оценивалась в 5 млрд евро, планировалось завершить в 2016 году. На данный момент закончить работы планируется к 2025 году, и сумма расходов выросла до 19 млрд евро.

Что же мы, человечество, планируем получить за эти (и в перспективе – еще большие) деньги и ценой таких усилий? Многие ученые считают термоядерный синтез в долгосрочной перспективе «естественным» источником энергии. В его пользу приводят яркие аргументы. Практически неисчерпаемые запасы топлива. Водород можно добывать из морской воды где угодно, а значит, ни одна страна или группа стран не сможет диктовать свои условия, монополизовав ресурсы.

Вероятность аварийного взрывного увеличения мощности реакции в термоядерном реакторе оценивается как ничтожная. Продукты сгорания отсутствуют. Ядерный саботаж и терроризм исключаются, поскольку не используются материалы, которые можно применить для ядерных взрывных устройств. И те радиоактивные отходы, которые будут оставлять термоядерные электростанции, в отличие от отходов существующих АЭС, будут обладать коротким периодом полураспада. Однако есть и скептики. Они указывают, например, на то, что рентабельность ядерного синтеза в производстве электроэнергии остается под вопросом. В исследовании, проведенном по заказу Бюро науки и техники британского парламента, говорится, что себестоимость электроэнергии будет, вероятно, в верхней части спектра стоимости традиционных источников энергии. Поскольку стоимость электроэнергии напрямую зависит от эффективности использования, длительности эксплуатации и стоимости утилизации реактора. Проблемой является разработка мате-

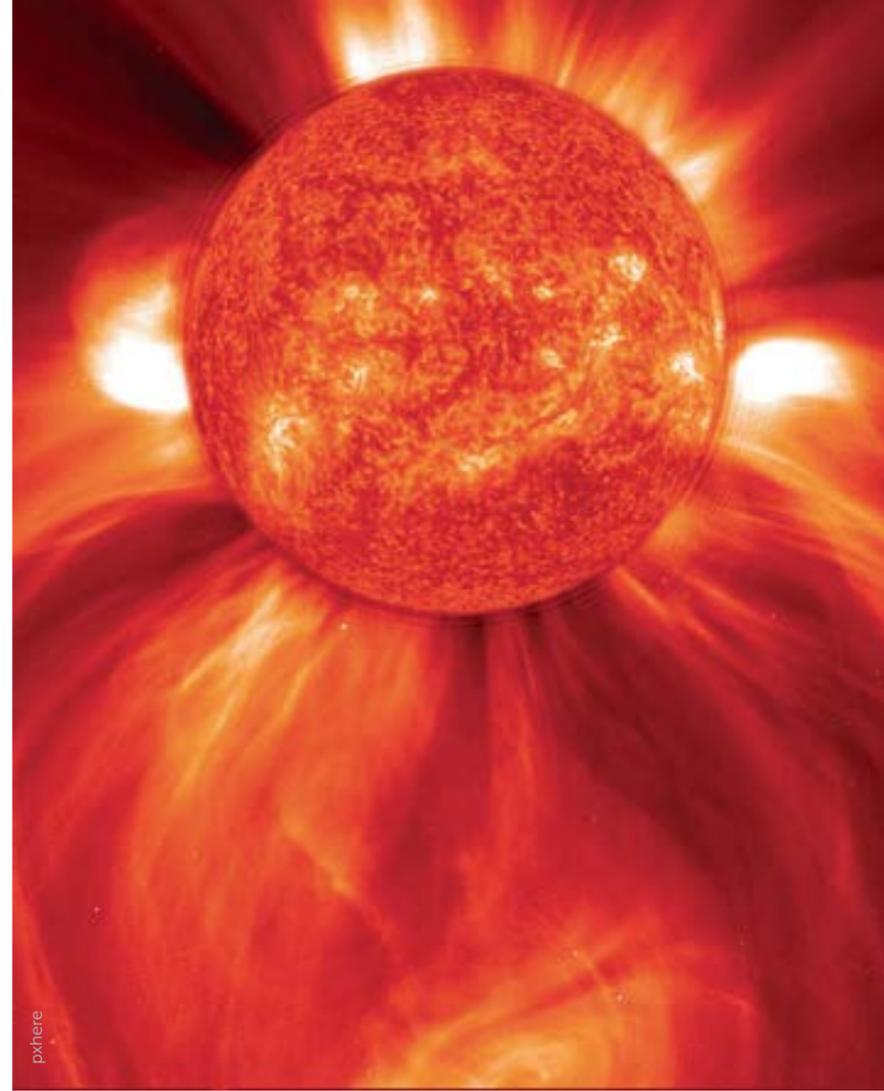
риала, способного выдержать нейтронную бомбардировку, которая, как оценивается, должна быть на порядок, а то и на два интенсивнее, чем в традиционных ядерных реакторах. Это обуславливает необходимость очень частой замены конструкций реактора и критически снижает его рентабельность: стоимость конструкций оказывается больше стоимости произведенной на них энергии.

При мощности нейтронного потока в 5-10 раз больше, чем у обычных ядерных реакторов, реактор, если его сделать из тех же материалов, прослужит 5 лет, а не 50, как на современных АЭС. И облученные таким мощным потоком нейтронов части реактора, разумеется, превращаются при этом в радиоактивные отходы. Существенно и то, что изотоп водорода тритий тоже весьма дорог, получение его не проще и не дешевле, чем получение плутония из отходов урана или U-233 из тория, а для промышленного производства энергии его нужно много.

Так или иначе, начало коммерческой термоядерной энергетики, по довольно оптимистичным прогнозам, отстоит от нашего времени лет на 30-40. Сделано очень много, но до покорения горячей плазмы еще далеко – мы по-прежнему в начале пути.

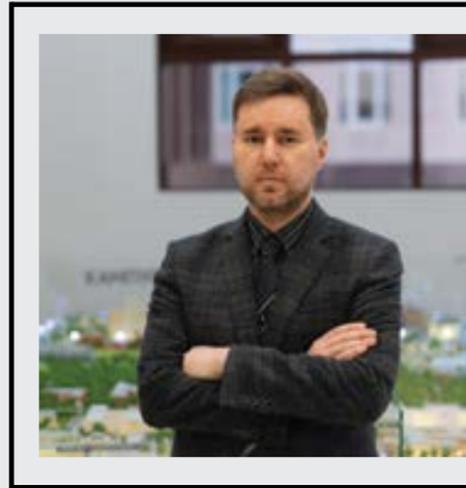
А тем временем

Колосс термоядерной энергетики еще только силится встать на ноги и совершить хоть какие-то осмысленные действия. Но настоящее время, реальность, данная нам в ощущении, полна примеров, когда свойства плазмы успешно используются на практике. Применений ей и уже совсем привычных (вспомним электрическую дугу Василия Петрова) и экзотических огромное множество. Плазма – это и электрическое освещение: газоразрядное (в люминесцентных лампах) и светящаяся реклама) и дуговое (в проекторах). И плазменные двигатели на основе эффекта Холла, которые используются на космических аппаратах с 1970-х годов. Плазма – это сварка и резка материалов. Мониторы и телевизионные экраны. Плазма – это изготовление микрочипов, на которых, скажем прямо, держится сегодня наше информационное общество. Плаз-



ма – это новые, более эффективные виды антенн. Плазма – это установки для получения горючего. Плазма – это утилизация отходов и новые медицинские технологии, которые дают возможность бороться с микробами и вирусами, обеззараживать раны и бороться с раковыми клетками.

Каждый год возникают новые и новые технологии на основе свойств ионизированного газа. Какие-то, как плазменные экраны и дуговые киноэкраны, занимают на некоторое время доминирующее положение, а потом клонятся к закату. Какие-то, как низкотемпературные плазмотроны для стерилизации поверхностей, приобретают особую значимость в условиях борьбы с новой коронавирусной инфекцией. И эта широта и разнообразие применений ее свойств лишней раз доказывает, что результаты научных исследований, какими бы далекими они ни казались от практики на начальном этапе, в итоге способствуют прогрессу и улучшению качества нашей повседневной жизни. **Л**



ПАВЕЛ ГОНЧАРОВ:

«ЗАДАЧА ФИЗИКИ МАГНИТНОГО УДЕРЖАНИЯ ПЛАЗМЫ – ПОНИМАНИЕ И УМЕНЬШЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ И ЧАСТИЦ».

Заведующий Научной лабораторией перспективных методов исследования плазмы сферических токамаков СПбПУ рассказывает о перспективах «термояда» и кадровом вопросе.

- Вопрос об использовании термоядерного синтеза для производства энергии поставлен еще в 1950-е годы. И более того, его разработка все это время отнюдь не стояла на месте. Но пока практических результатов достичь не удалось. В чем сложности осуществления этой идеи?

- Сложность понятна интуитивно. Плазма состоит из взаимодействующих заряженных частиц и реагирует на поля. В свою очередь, движения заряженных частиц, то есть токи, сами создают магнитные поля. То есть плазма так или иначе «ведет себя». Ее поведение в магнитной ловушке намного сложнее, чем было бы поведение единичной захваченной частицы. Задача физики магнитного удержания плазмы – понимание и уменьшение потерь энергии и частиц. Потери связаны с разнообразными неустойчивостями плазмы. Очень важным достижением было получение в 1982 году режима улучшенного удержания. Нам очень приятно, что профессор Фридрих Вагнер, который открыл это явление, был в 2016 году избран иностранным членом Российской академии наук и несколько лет работал с нами в Политехе по приглашению Правительства России. Изучение механизмов подавления переноса частиц поперек магнитного поля продолжается. На перенос в объеме может влиять и поведение пристеночной, периферийной плазмы, параметры которой определяют также нагрузки на обращенные к плазме поверхности. С этим, а также с потоками нейтронов из термоядерной

плазмы связана очень важная задача подбора специальных конструкционных и функциональных материалов. Отдельно нужно сказать про генерацию и удержание быстрых частиц в плазме, в частности продуктов синтеза. Если мы говорим о дейтерийтритиевой реакции, это альфа-частицы, удержание которых определяет термоядерное зажигание, – они должны греть плазму, делая реакцию самоподдерживающейся.

- Накопленный опыт и знания позволяют трезво оценить перспективы «термояда» на сегодняшний день. Каковы они?

- По всем перечисленным направлениям продолжается работа, в частности, в нашей лаборатории, которая была создана Минобрнауки в Политехе в прошлом году. В 2020-м началась сборка международного экспериментального термоядерного реактора ITER. В приветствии президента России отмечено, что это – крупнейший международный научно-технический проект. В его основе – разработанная в нашей стране концепция токамака. Результатом совместной работы ученых Японии и Европейского союза стало успешное сооружение наиболее совершенного на сегодня токамака JT-60SA для проверки и развития физических основ будущего демонстрационного промышленного энергетического реактора. Работы на крупных современных токамаках, оснащенных системами нагрева и диагностики плазмы, ведутся в Корее (установка KSTAR), в Китае (установка EAST). В каждой стране – участнице ITER есть и собственная сильная программа исследований. Мы рады, что в России утвержден Федеральный проект по термоядерным и плазменным технологиям. Профессиональное сообщество надеется на то, что

после более трех десятков лет перерыва у нас в стране будут приняты решения о строительстве экспериментальной инфраструктуры, не уступающей зарубежной. Так было в прошлом, когда по советским книгам учились другие, и когда наши токамаки демонстрировали выдающиеся на то время параметры.

- Ничего в науке и технике, разумеется, нельзя сделать без квалифицированных кадров. Прогресс двигают люди, а людей готовят научные школы. В нашей стране в конце XX века случились драматичные события, которые повлияли на развитие научно-технического потенциала, в том числе и в кадровом отношении. Как сейчас обстоят дела?

- Известные исторические обстоятельства и их следствия не обошли и нашу науку. Кадровый вопрос – ключевой. Для успешной реализации поставленных президентом национальных целей в части термоядерных и плазменных исследований, по нашим оценкам, требуется подготовить в стране около пяти тысяч новых специалистов в ближайшие 15 лет, чтобы компенсировать возникший с 90-х годов отрыв. Мы надеемся, что Минобрнауки, учитывая особую роль России как основоположницы исследований по управляемому синтезу легких ядер, учитывая также современный передовой зарубежный опыт и опыт международных проектов, должным образом организует развитие кадрового потенциала в области физики высокотемпературной плазмы и смежных областях. Мы готовы над этим работать.

КВАНТОВЫЙ КОМПЬЮТЕР: НЕРЕШИТЕЛЬНЫЕ КВАНТЫ И ЗЛОБНЫЕ РОБОТЫ?

Самая горячая тема сейчас – квантовые вычисления. Вычисления на другом принципе, вычисления с немыслимыми скоростями! Зачем нам квантовый компьютер и где предел искусственного интеллекта?

Текст: Иван Ющенко

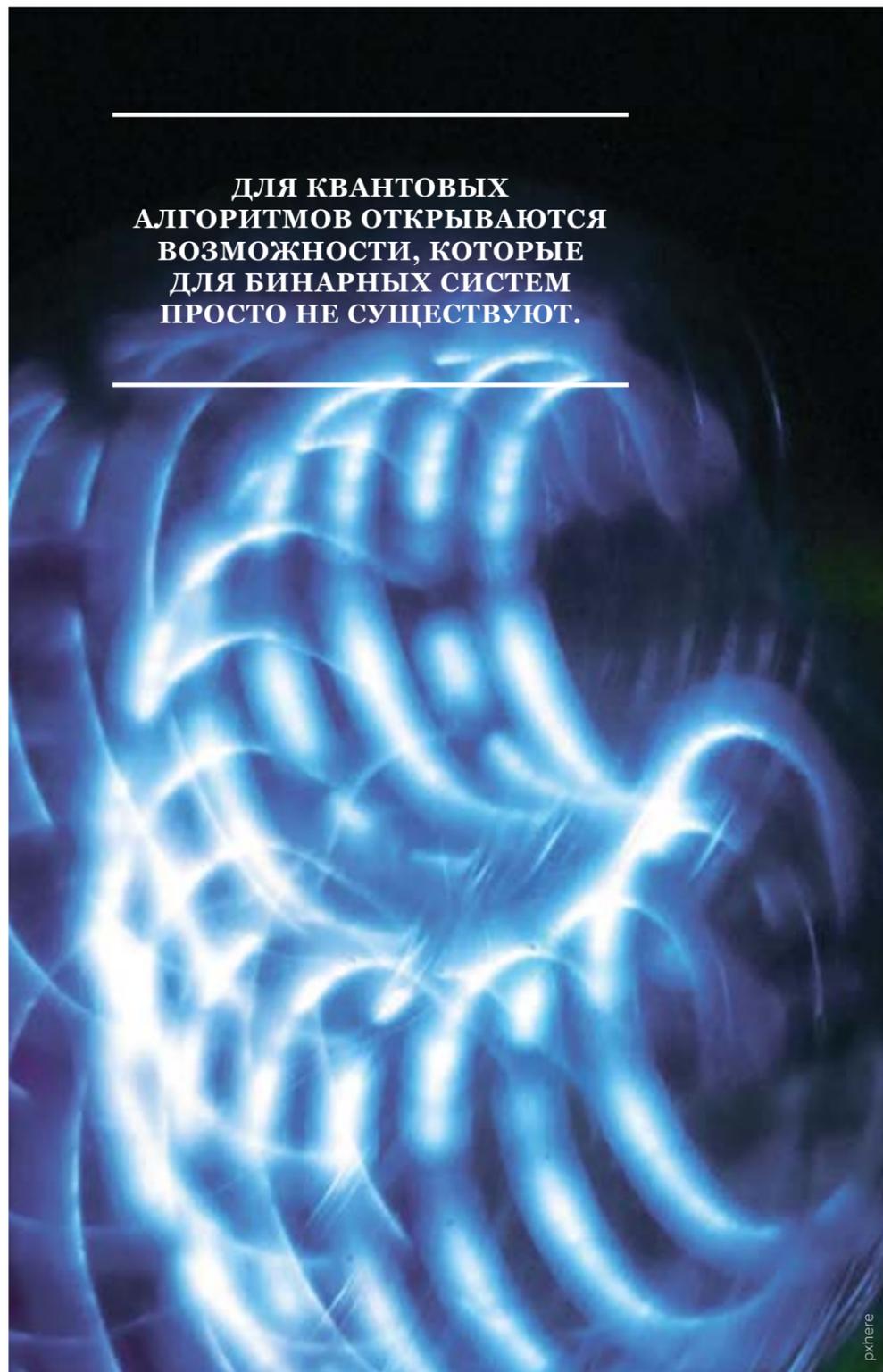
Прогресс развивается одновременно по многим направлениям. Но какие-то из тем выступают на первый план и некоторое время сильнее всего прочего будоражат воображение. Например, в 1920-30-е годы такими были химия и радио. В 1950-60-е – ядерная физика и космос. Сегодня это цифровые технологии, и одна из самых горячих тем здесь – квантовые компьютеры. В лентах информационных агентств то и дело мелькают сообщения о достижениях различных фирм и организаций в их разработке и описываются светлые перспективы их применения. «Облако IBM открывает свободный доступ к квантовому компьютеру». «Россия начнет разработку универсального квантового компьютера». «Google: квантовый компьютер D-Wave в 100 миллионов раз быстрее обычного».

Последуем за трендом и попытаемся разобраться в модном вопросе.

Со времен создания первых компьютеров, вначале электромеханических, действующих как система переключателей, реле (в сущности, таких же, как те, что тогда использовались на телефонных станциях), вычислители (так переводится на русский слово «компьютер») работали на принципах двоичного счисления. Все данные в задачах представлялись в виде череды нулей и единиц, что соответствовало положению переключателя вкл/выкл. Совершенствовалась элементная база компьютеров: появились ЭВМ, электронно-вычислительные машины, в которых роль переключателей вместо реле взяли на себя вакуумные лампы, затем полупроводниковые транзисторы, затем чипы, то есть сначала МИС – малые интегральные схемы, потом БИС – большие интегральные схемы, потом СБИС – сверхбольшие интегральные схемы... Словом, количество элементов на единицу объема все увеличивалось и увеличивалось, производительность все росла и росла. Но принцип оставался все тем же: вкл/выкл, нуль/единица, да/нет. Однако человечество (в лице ученых) в своем неукротимом беге по пути познания осознало, что обсчитать ему хочется вообще все, но есть вещи, которые при таком подходе за разумное количество времени не обсчитаешь. Это, например, современные шифры, точное моделирование молекулярных взаимодействий и химических реакций, системы искусственного интеллекта.

В 1980-х годах благодаря теоретическим работам таких выдающихся умов, как Пол Бениофф, Юрий Манин, Ричард Фейнман, появилась надежда, что эту неприятность можно обойти, применив для вычислений квантово-механические принципы. Если говорить предельно просто, суть заключается в том, что переключатель находится одновременно и в состоянии «вкл», и в состоянии «выкл» – во всех возможных состояниях. Это явление называется квантовой суперпозицией и иллюстрируется знаменитым мысленным экспериментом Эрвина Шрёдингера с котом, сидящим в ящике: это когда мы не знаем, жив кот или мертв, пока этот ящик не откроется. Элементарная единица информации в классическом компьютере называется бит. В квантовых устройствах – это квантовый бит, сокращенно кубит (физически можно использовать, скажем, электрон или фотон). Они основаны на двух четко определенных базисных состояниях некоей квантовой системы (спин для электрона или поляризация для фотона), которые можно принять за 0 и 1 («квантовое физическое состояние ноль», «квантовое физическое состояние единица»). Но этими двумя состояниями дело не ограничивается: принцип суперпозиции, если отвлечься на секунду от котов, состоит в том, что если квантово-механическая система может находиться в каких-то состояниях, то она может находиться и в любой суперпозиции этих состояний. То есть, если представить себе привычный двоичный переключатель ноль-единица как отрезок прямой, у которого имеют значение только крайние точки, то кубит – это сфера, ноль и единица – это ее северный и южный полюса, но при этом существуют и имеют значение и все остальные точки на поверхности сферы, другие возможные состояния. Иными словами, для квантовых алгоритмов открываются возможности, которые для бинарных систем просто не существуют. Важно, что при измерении состояния кубита мы получаем не оттенки значений, а снова двоичный код: да и нет, ноль и единица. А квантовый алгоритм – это все посередине между моментом инициализации начального состояния системы и измерением ее конечного состояния. И для того, чтобы получить какие-то значимые результаты, кубитов должно быть множество и они должны взаимодействовать друг с другом. В теории таким образом (на уровне палочек и шариков) все ясно. Осталось только реализо-

ДЛЯ КВАНТОВЫХ АЛГОРИТМОВ ОТКРЫВАЮТСЯ ВОЗМОЖНОСТИ, КОТОРЫЕ ДЛЯ БИНАРНЫХ СИСТЕМ ПРОСТО НЕ СУЩЕСТВУЮТ.



вать захватывающую идею на практике. Что для этого нужно?

В 2000 году американский физик-теоретик Дэвид Дивинченцо сформулировал условия, необходимые для того, чтобы построить квантовый компьютер. Их называют «критерии Дивинченцо», и их пять:

1. *Нужно иметь масштабируемую физическую систему, то есть систему из четко определяемых кубитов с одинаковыми свойствами, где число кубитов может быть произвольным и есть возможность индивидуальной адресации кубитов.*
2. *Мы должны иметь возможность «инициализировать фидуциальное состояние», то есть попросту уметь приводить кубиты к некоей отправной точке измерений.*
3. *Нужно обеспечить длительное значимое время декогеренции. При декогеренции квантовая система взаимодействует с окружающей средой, так что ее квантовое состояние неконтролируемо изменяется. А наблюдать любой физический объект можно, только когда он взаимодействует с окружающей средой, в случае наблюдения за квантовой системой энергия воздействия сравнима с энергией самой системы. И вот нужно, чтобы система не теряла нужные для производства вычислений параметры, пока вычисления не будут закончены и считаны.*
4. *Нам нужен универсальный набор квантовых логических вентилей (они же «гейты», от английского gate – «ворота»), то есть базовых элементов, которые входные состояния кубитов преобразуют в выходные по некоторому закону. Серия этих вентилей, как правило одно-двухкубитных операций, и представляет собой код, который выполняет квантовый процессор.*
5. *Конечно, если не имеем возможности считать полученный результат, все остальное бесполезно. И пятый критерий Дивинченцо – это способность кубит-специфичного измерения, то есть мы должны уметь измерять конечное состояние каждого кубита, поскольку в основе квантовых вычислений и лежит процесс изменения квантового состояния кубита.*

Как же эти требования реализуются в материале? Из чего же, из чего же, из чего же можно сделать будущее?

Квантовые компьютеры можно построить на основе квантовых точек на полупроводниках: в качестве логических кубитов используются либо зарядовые состояния (электрон присутствует или отсутствует), либо направление электронного и/или ядерного спина в квантовой точке.

На сверхпроводящих элементах: логический кубит – присутствие/отсутствие куперовской пары в определенной пространственной области (куперовская пара – связанное состояние двух взаимодействующих через фонон электронов).

На основе ионов в вакуумных ловушках (или атомов в оптических ловушках): в качестве логических кубитов здесь используются основное/возбужденное состояния внешнего электрона в ионе.

На основе фотонов: кубит – поляризация (горизонтальная и вертикальная или правая и левая циркулярная).

На пути реализации технически состоятельных конструкций квантового компьютера, основанного на любом из принципов, стоит огромное количество трудностей, которые ученые и инженеры с присущим Homo sapiens хитроумием и настойчивостью постепенно преодолевают. Но когда будут надежно обеспечены основные требования – высокая точность измерений состояний кубитов и защита от внешних воздействий, сказать трудно. Стабильность систем, где в связанном состоянии находится множество кубитов, тоже остается под вопросом: чем больше кубитов в системе, тем труднее ее обеспечить. А для того, чтобы квантовые вычислительные системы бесспорно доказали свое превосходство над ныне существующими «классическими», они должны состоять из десятков связанных кубитов, работающих без срывов и с малым числом ошибок.



**Владимир Заборовский:
«Квантовая механика – это, прежде всего, механика, построенная на анализе пространства возможного, а не состоявшегося».**

С начала разработки квантовых компьютеров прошло очень немного времени. Но уже сейчас хотелось бы разобраться не только в том, как она будет осуществляться, но и к чему приведет. Об этом обозреватель журнала «Наука. Политех» Иван Ющенко побеседовал с доктором технических наук, ведущим научным сотрудником, профессором Высшей школы математики и вычислительной физики Владимиром Заборовским.

Иван Ющенко: Так сложилось, что после школы мы разделены на две группы: «гуманитарии», которые не могут сосчитать сдачу в гастрономе, и «математически одаренные», которые, наверно, могут. И вот они – тот контингент, который поступает на математические, физические и технические факультеты и двигает вперед то, что для всех, включая гуманитариев, составляет сегодня основу жизни: они двигают вперед технический прогресс, дарят человечеству все эти цифровые супер-телефоны для просмотра котиков и прочие мыслящие утюги. И мы к этому привыкли. А я вот посмотрел на историю и прикинул, сколько времени прошло от электромеханических счетных машин, которые занимали бескрайние залы и считали не намного быстрее логарифмической линейки, до нынешнего состояния дел, и выходит это всего лет восемьдесят...

Владимир Заборовский: Пятьдесят.

ИЮ: Ну, пятьдесят – это где-то от микроэлектронных первых машин, а если считать «арифмометры на гужевой тяге».

ВЗ: Иван, помнишь изречение Соломона? «Что было – уже есть, и чему быть – уже было». На самом деле все не совсем так, как пишут в журналах. Первые идеи механических вычислений восходят к античным временам. Более того, был такой монах Раймунд Луллий в XIII веке – он все эти логарифмические линейки сделал тогда еще. Другое дело, что потребителей не было. Ты помнишь, когда Пушкин женился на Наталии Гончаровой? 1832 год. В том же году Семён Николаевич Корсаков написал статью (понятное дело, на чисто французском языке) о создании машин, сравнивающих мысли. Так вот этот человек до того, как придуманы были все эти компьютеры, придумал, как писать программы. Он даже создал свои машины в железе. На самом деле все, что мы сейчас имеем, это развитие гениальных мыслей, высказанных много-много лет назад. Так что за эти 50 лет не произошло ничего... (Смеется.)

ИЮ: Так или иначе, но сегодня мы привыкли к машинам, где используется двоичная система счисления. И сначала были лампы. Потом тран-

зисторы: микроэлектроника – ура-ура! Показали Хрущёву в 1962 году УМ-1 этот знаменитый, который Старос сделал в Ленинграде. Никита Сергеевич был крайне восхищен. Вариант для управления технологическими процессами назывался «Управляющая машина для народного хозяйства» – УМ-1 НХ, расшифровали остряки: «Ум один – Никита Хрущёв»... И как-то мы вроде были счастливы все эти годы: элементы все уменьшались и уменьшались, мощность росла и росла. Мы помним суперкомпьютер DeerpBlue, который победил чемпиона мира по шахматам Гарри Каспарова в 1997 году – так теперь игровая приставка Sony PlayStation в 150 раз мощнее, чем он. Но вот оказалось, что нам все-таки мало. Самая горячая тема сейчас – квантовые вычисления. Вычисления на другом принципе! Вычисления с немыслимыми скоростями! А зачем нам квантовый компьютер?

ВЗ: Да он нам не нужен, в общем-то (Смеется.). Самая загадочная часть реальности – наше сознание. Часть, которую мы никакими формальными математическими методами описать не в состоянии. Сознание не арифметизируется, не алгоритмизируется. Возникает вопрос: есть ли еще в природе что-то, что не алгоритмизируется? Есть. А мы сможем использовать эту сложную сущность, чтобы выполнять некоторые более простые операции, – мозг же может считать один плюс два равно три? И получим ли мы какое-нибудь преимущество при этом? Что такое квантовая механика? Это, прежде всего, механика, построенная на анализе пространства возможного, а не состоявшегося. Если ты помнишь, главный принцип квантовой механики – это принцип дополненности. Правильное объяснение сложного процесса возможно только тогда, когда в этом объяснении используются взаимоисключающие понятия: квантовая частица – это и частица, и волна. Не может быть в нашей логике один и тот же объект и частицей, и волной: это принципиально другая сущность.

Так вот замысел квантового компьютера заключается в очень простом применении этой идеи. Что такое современный компьютер? Это устройство, которое считает, и устройство, которое запоминает. Если бы нам удалось все это совместить, то мы бы получили колос-

сальный эффект параллельного выполнения операций. Так вот квантовый компьютер, считается, что если он заработает (но я-то считаю, что он не заработает), то мы сможем колоссальным образом ускорить расчеты. Но все, что происходит в квантовом мире, вероятно: у нас есть объективная вероятность получить некоторое значение, но мы не можем гарантировать, какое значение мы получим, оно будет взято из пространства возможностей. Если мы многократно повторим эти вычисления, мы сможем получить некоторое устойчивое в статистическом смысле значение, и тогда мы его возьмем за истин-

ное. Но, слушайте, это выглядит ненадежно. Я, например, не доверяю этому вычислению. Потому что усреднение не учитывает новые данные, появившиеся за время обсчета этого усреднения. Поэтому квантовый компьютер – это некий прототип аналогового нецифрового вычислителя, который доставляет ответы, используя возможности того, что мы называем квантовым параллелизмом, но сами ответы носят вероятностный характер.

ИЮ: Это можно сравнить с пифией, да? Мы пользуемся ее предсказаниями, но как мы их толкуем –

другой вопрос: пифия предсказывает смерть царю Филиппу, но пока Филипп не умрет, мы не знаем, в чем смысл предсказания.

ВЗ: Абсолютно правильно. Когда мы говорим о вероятностях, должны понимать, что это объективное свойство реальности. Но оно может быть состоявшееся и не состоявшееся. Вся наша физика построена на том, что состоялось. Но реальность наша включает и то, что еще не состоялось – это главное отличие нашего мышления от физического процесса. Физики на этом ломаются полностью: физика не использует такого понятия,

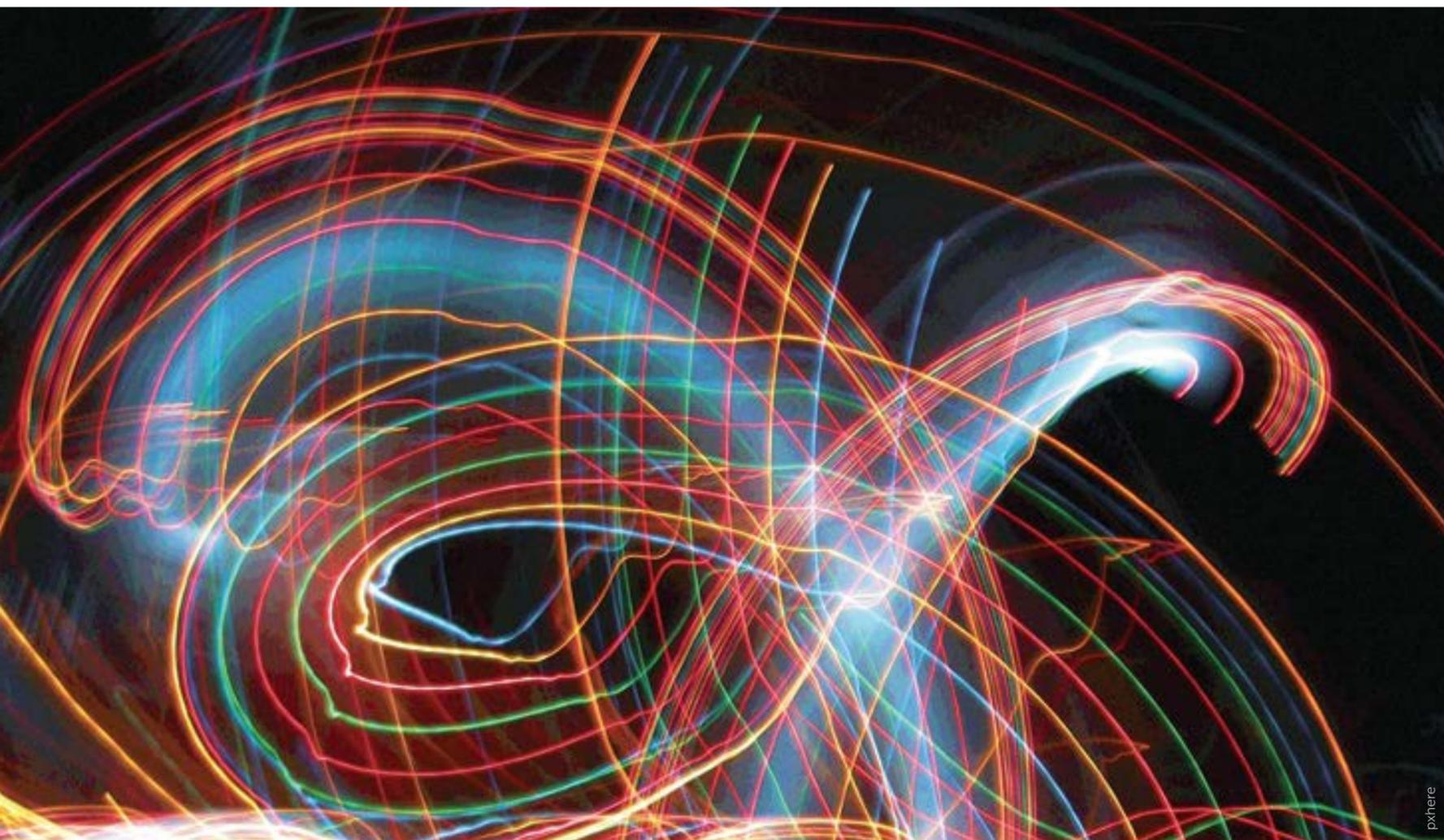
ит в том, что нельзя говорить ни о материальном, ни об идеальном. Правильный ответ: и то, и то.

ИЮ: Но гонка за квантовым превосходством – все же это реальность, данная нам в ощущении. Так куда же мы бежим, чего хотим?

ВЗ: Иван, я человек из компьютерных наук. А квантовое превосходство – это физики, они там заключают, кого хочешь. Значит смотри, где мы сейчас находимся с точки зрения прорывного направления развития компьютерных наук. Оставим в стороне квантовые вычислители: я тебе примерно сказал, о чем это. Да, есть класс задач, где они могут быть применены. В общем случае их применение связано с тем, что их результаты являются случайными, и надо иметь очень серьезные аргументы, чтобы такими случайными результатами пользоваться на практике. Возвращаясь к физикам: мы не можем их обойти. Они говорят: физическое пространство четырехмерно, у нас есть три координаты и время. А теперь мы говорим: а мы кто? Мы – физические объекты, вот мы с тобой, или нет? Мы все-таки когнитивны, у нас есть разум и так далее. И тогда возникает вопрос: чем наше существование интеллектуального субъекта отличается от физического объекта? Это имеет прямое отношение к вычислениям: то есть могу ли я вычислить реальность, которую я вижу. Ответ: все, что я вижу, я могу вычислить. Почему? Я могу передвигаться как по координатам, так и во времени. Но если физический объект может перемещаться во времени только в одну сторону – это стрела времени термодинамическая, то я, если я работаю в когнитивном пространстве, могу ходить и назад, и вперед. Я могу быть и в прошлом – это память, и в будущем – это мой прогноз. Так что когнитивное пространство шестимерно: три координаты и три времени. А технически это выглядит так: мне нужна большая память, потому что все, что сохраняется в памяти, это транспортровка чего-либо во времени. И мне нужна высокая скорость прогнозов, то есть моделирования будущего, для того, чтобы сейчас принимать решения, на которые будет влиять еще не состоявшееся будущее. Это практически чистая квантовая механика: туннелирование, ретропричинность и так далее.

МЫ ДОЛЖНЫ СОЗДАВАТЬ КОМПЬЮТЕРЫ, РАБОТАЮЩИЕ В ШЕСТИМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ, В КОТОРОМ ЕСТЬ ТРИ КООРДИНАТЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И ТРИ КООРДИНАТЫ ВРЕМЕНИ.

как «информация»... Есть настоящие физики, которые в чем-то разбираются. Например, Джон Арчибальд Уиллер. Он говорил: «Я думал, что все вокруг меня – материя. Потом, когда я стал повзрослее, я понял, что все вокруг меня – энергия. А теперь я утверждаю, что все вокруг – информация». «It from bit» – вся материя построена из информации, вот его цитата. Это, конечно, колоссально подрывает примитивную картину мира. Но извините, это люди, которые не с улицы пришли – это физики, квантовые механики. То есть, понимаешь, получается, что мир не состоит из причины и следствия, а он состоит из интенции и реализации. Как я говорю своим студентам: друзья, принцип дополнительности в этой философии состо-



Но мы работаем в этом пространстве. Что надо делать нам? Делать вычислители, которые не просто считают, а которые имеют специально организованную память, которая позволяет нам связывать объекты с их текущим состоянием. Как это состояние изменится – это всегда вероятностная вещь. Попытка посмотреть, что было раньше – тоже. Прошлое так же вероятно, как и будущее, потому что мы не можем держать в памяти все события прошлого. То есть мы оставляем только то, что нам надо. Мы должны создавать компьютеры, работающие в шестимерном пространстве, в котором есть три координаты пространственные и три координаты времени. Вот мы этим сейчас и занимаемся.

ИЮ: И работа таких компьютеров не зависит от элементной базы или нужны какие-то физические принципы для их производства?

ВЗ: Важнейший постулат естествознания заключается в том, что всё уже есть – вы только разглядите то, что надо. То есть я уже говорил: Корсаков, 1832 год – все, что мы называем искусственным интеллектом, он описал в виде статьи. Принципы не меняются. Конечно, элементную базу надо делать получше: мне нужна большая память, значит, я должен к ней быстро обращаться. Вот сейчас у нас в нашем суперкомпьютерном зале стоит двадцать вторая в мире по быстродействию гиперконвергентная система хранения данных. То есть для компьютера важны не просто счеты, а важна структура хранения данных. Ждать, когда кто-нибудь придумает «нанотрубку», на которой будет сделан квантовый компьютер, не надо.

ИЮ: Ну, то есть «работайте над своими фотонными и сверхпроводящими компьютерами, но будущее за компьютерами, которые работают в другой плоскости»?

ВЗ: Конечно. Воспроизводить архитектуру современного компьютера, используя квантовые технологии, глупо, потому что это совершенно другая возможность. Наше сознание, если почитать Пенроуза и так далее, как раз использует квантовые эффекты. А что такое квантовые эффекты? Это супер-

позиция. Причем суперпозиция не обязательно физических состояний. Главная идея: вот берем, например, интернет: интернет – это не физическая сеть, это логическая сеть, и потому ей совершенно по барабану, какими каналами связи ты пользуешься. У нее есть только логический интернет-адрес и виртуально-транспортное соединение. Это виртуальная сеть. Почему она не физическая? Количество людей, которые

ЕСТЬ И РАЗНЫЕ ЛОГИКИ, ПОМИМО РЕАЛИЗОВАННОЙ В СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОРАХ, БИНАРНОЙ, БУЛЕВОЙ ЛОГИКИ. ТЕМПОРАЛЬНАЯ, НАПРИМЕР. МОДАЛЬНАЯ ЛОГИКА.

подключены, – это, в принципе, миллиарды, если я вынужден был бы между ними всеми городить физические каналы связи, такая сеть не существовала бы, она была бы слишком сложной. А у меня возникают виртуальные соединения по мере необходимости. Виртуализация – в логическом, информационном смысле – это магистральный путь в развитии всех коммуникационных технологий. И нам не надо искать новых физических принципов – нам просто надо применять технологии, которые у нас есть, в разных ипостасях. Главное – архитектура, все компьютеры, которые мы сейчас видим, включая нейронные сети, это воплощение машины Тьюринга.

ИЮ: Переходим теперь к другому животрепещущему вопросу – искусственному интеллекту. Всячески подчеркивается его главное достоинство – самообучаемость. Понимается, что скоро наступит заветный миг, когда

могучий искусственный интеллект решит все наши проблемы. Меня смущает то, что учиться он будет, конечно, на том, что делаем мы. И вот если он будет учиться на том, что делаем мы, то страшнее этого не будет ничего. Потому что он, естественно, усвоит все наши ошибки.

ВЗ: Да, правильно.

ИЮ: И где же предел искусственности интеллекта? Куда мы здесь идем?

ВЗ: Для начала нужно определиться с понятиями. Что такое интеллект на вычислительном уровне, если мы его хотим смоделировать. Вот задай кому-нибудь из компьютерщиков вопрос: что такое интеллект?

ИЮ: Не знаю, что они ответят. Но могу сам попробовать ответить: это машина реагиру-

ния на окружающую среду, с мощной прогностической функцией.

ВЗ: Я из компьютерных наук – наша специальность называется «Математика и компьютерные науки». И в компьютерных науках есть прямая задача: «один плюс два равно три», например. Для прямой задачи есть алгоритм решения. Механически я там передвигаю костяшки на счетах, либо сдвигаю регистры – это не интеллект. А интеллект – это решения обратной задачи. А что такое обратная задача? Если говорить про «один плюс два равно три», то это каким образом я могу эту тройку породить. И любая обратная задача имеет бесконечное количество возможных вариантов решения. В чем смысл решения обратных задач: практически все задачи требуют учета ограничений. Так вот интеллект – это умение решать задачи с учетом ранее полученного опыта. Это не решение по алгоритму – это построение алгоритма получения решения. Мы постоянно решаем такие задачи. Возни-



pxhere

кает вопрос: а возможно ли построить машину, которая тоже сумеет постоянно решать обратные задачи. И ответ требует учета массы обстоятельств.

ИЮ: Я люблю научную фантастику, особенно классическую. И здесь мне пришли на ум эти пресловутые «три закона робототехники». То есть, допустим, мы построили роботов, у которых бесконечно совершенные «позитронные» мозги. И вот они строят самостоятельно, исходя из своего опыта и натуры, эти самые алгоритмы решения. А мы им имплантировали наши «не убий». Но если они так совершенны, наши законы будут им по колено, нет? Ведь действовать-то они станут исходя из логики своего существования...

ВЗ: Нет, Иван, не впадай в крайности. Мы не имеем никаких иллюзий по отношению к тому, что может делать электронное устройство: оно может работать по программе. Единственная свобода действий у него – это поменять программу. Пока не поменяется программа, робот будет действовать так, как нужно. Есть и разные логики, помимо реализованной в современных процессорах, бинарной, булевой логики. Темпоральная, например. Модальная логика. И конечно, мы должны использовать в этих агентах, роботах, киберфизических системах просто определенный класс логик, который поменять они не в состоянии. Ты же, например, не можешь, просто сидя на стуле, заставить свое сердце биться быстрее или медленнее. Потому что мы отключены от некоторых функций, которые управляют физиологией нашего тела. Точно так же любая конструкция, которую мы создадим в виде интеллектуального объекта, будет иметь функции, которые будут недоступны ей из ее функционального пространства. Поэтому я абсолютно не волнуюсь, что роботы нам чего-нибудь там устроят. Другое дело, что мы сами себе можем устроить. Есть классиче-



ский закон компьютерных наук: в любой программе на тысячу операторов – десять ошибок. Если ты исправишь эти десять ошибок, у тебя появятся новые десять. Написать программу без ошибок невозможно. Но это не ошибки в таком примитивном смысле, а это свойства какие-то, это функции: программы работают точно так, как мы их написали, но мы сами до конца не понимаем, что мы написали. Вспомним Тютчева: «Мысль изреченная есть ложь». И вот в этом опасность, а не в том, что роботы будут агрессивны. В том, что мы можем создать системы, которые мы сами понимать не будем.

ИЮ: Ну, а если мы еще и отдадим им самим на откуп создание программ – разоведем логически идею искусственного интеллекта, а сами не будем иметь к этому прямого отношения?..

ВЗ: Нет-нет. Ну, это опять некоторые иллюзии, как насчет квантового компьютера. Что такое современный искусственный интеллект? Это то же самое программирование, только в нем язык программирования заменен на некоторую структуру данных, которую мы как интеллектуальные агенты можем классифицировать. Нейронные сети ничему не учатся сами – они учатся на основе того набора примеров, который посчитали возможным им предоставить мы для настройки. Вместо написания алгоритма там настраиваются весовые коэффициенты нейронов, которые, по сути дела, выполняют те же самые операции, которые выполняют операторы в любой программе. Просто по-другому написано. А напиши на русском языке, на английском, на китайском – смысл остается тот же самый. Поэтому никакого самообучения в первоначальном смысле нет. Там есть некоторые особенности – «реинфорсмент лернинг» (обучение с подкреплением, от англ. reinforcement learning) и так далее, но все это действует в четких рамках достаточно ограниченного набора возможностей.

ИЮ: Но это современное положение вещей. А тот же reinforcement learning – это же фактически оперантное научение скиннеровское, принцип обучения у живых существ. То есть перед нами фактически система, которая способна потенциально развиваться самостоятельно. Так что боязно чего-то за, так скажем, светлое будущее!

ВЗ: Ну а была ли большая беда, что люди открыли огонь? Да спрячьте огонь в печку и грейтесь! То же самое и здесь: можно спалить дом, а можно приготовить яичницу. Из любого открытия можно извлечь пользу или обратить его во зло. Поэтому не надо бояться – надо четко понимать, что мы делаем. Все зависит от нас. Даже если посмотреть на возможности наши: у нас в голове сто миллиардов нейронов, у нас длина синаптических связей, знаешь какая, миллион километров! А наши все суперкомпьютеры на шесть-восемь порядков слабее любого человеческого мозга. Вот и все. И пока мы доберемся до возможностей, соизмеримых с нашими мозговыми процессами, эволюционный процесс пройдет такой, что мало не покажется. Более того, суперкомпьютер потребляет мегаватт электроэнергии, а наш мозг – двадцать ватт, хотя он в миллион раз более мощный в вычислительном смысле. У него есть недостатки, но их можно компенсировать. Поэтому мы сейчас сторонники той концепции – лично я ее активно пропагандирую последнее время, что не надо говорить об искусственном интеллекте: его не будет. Но можно говорить об экзоскелете.

ИЮ: Это как экзоскелет?

ВЗ: Да! Чего нам не хватает? Памяти и быстрого счета – все остальное у нас есть. Делайте, пожалуйста, память, которой можно было бы взаимодействие с человеком организовать, и быстрый счет. Прогноз вперед и прогноз назад – все, больше нам ничего не надо. Все остальное мы сами сделаем! L

СЕВЕРНЫЙ МОРСКОЙ ПУТЬ: ГОРЯЧАЯ АРКТИКА

Сегодня маршрут между Европой и Азией вдоль российского арктического побережья – это противоречивый союз геополитики, экономики и инноваций.

Текст: Евгений Панкратьев

Исконно русская Арктика

По общепризнанному мнению, Древнерусское государство во многом обязано своему началу и развитию торговле пушниной, которая в раннем Средневековье была сопоставима по ВВП и доходности с торговлей газом и нефтью. Историки сообщают, например, что в XIII веке только за одну продажу в Европе партии из 20 тысяч шкурок получено серебра, достаточного для покупки нескольких тысяч лошадей. Древняя Русь была главным поставщиком и монополистом пушнины на рынки Европы и Азии. По мере истребления пушных зверей россияне продвигались на север и восток до Аляски, подчиняя племена и строя города, которые, потеряв экономический смысл, исчезали, как средневековая Мангазея или советский Кадыкчан. Одна из причин продажи Русской Америки – истощение меховых ресурсов и потеря рентабельности.

Образно выражаясь, Северный морской путь прокладывали исчезающие соболи и тюлени, а не моряки и географы. Архипелаг Земля Франца-Иосифа, равный по площади примерно Калининградской области, за 30 лет до того, как здесь в 1901 году побывало первое российское судно под командованием адмирала Макарова, был уже освоен исследователями из Австро-Венгрии, Голландии, Шотландии, Норвегии, США. Едва не став итальянским владением. В 1926 году он был включен в состав Архангельской области СССР. Примечательно, что до сих пор не все острова архипелага изучены, год назад было открыто пять новых островов, проявившихся из-за таяния льда.

Несмотря на то, что как навигационный проект в мировой географии Северный морской путь возник еще во времена колониального передела мира, и связан был с увлекательными и драматическими приключениями европейских мореплавателей, искавших гипотетический пролив Аниан между Европой и Азией, который, как думалось, располагался примерно в районе современной Якутии, – в реальности морской арктический транзит появился только в первой половине XX века.

В раннем Средневековье викинги и поморы, действительно, ходили из Баренцева в Белое море и дальше на восток, но, по сути, это было прибрежное сообщение. Во времена становления Русского государства правители, как кажется, напротив прилагали усилия к тому, чтобы этот маршрут не был реализован.

В XVI веке северный путь в Китай искали англичане, один корабль под командованием Хью Уиллоби остался на

зимовку на краю Баренцева моря. Несмотря на обилие запасов, экипаж погиб, как предполагают, угорев от угля. Другой добрался до Белого моря, и его командир Ричард Ченслер попал на прием к Ивану Грозному, который поразил его тем, что был усыпан драгоценностями, как никакой другой европейский государь, и кормил бояр с рук, как собак. Результатом нечаянного визита стало открытие торговых отношений с Англией и учреждение английской Московской компании, которая более ста лет обладала монополией и многими другими привилегиями, как, например, беспошлинная оптовая торговля, в России, в том числе была монопольным оператором Беломорского пути. За то, что компания поставляла по дешевым ценам ткани и прочие предметы роскоши к царскому двору, она вытеснила с рынка торговые начинания других стран и самих россиян. По действовавшему некоторое время договору ни один корабль, кроме принадлежащих компании, не мог зайти в северные порты, более того, ни один иностранец не мог пересечь Россию по суше на пути в Азию, за это англичане могли его поймать и конфисковать товар.

Открытие Дежнёвым пролива между Америкой и Азией для России не было в строгом смысле навигационным событием, поскольку речь в те времена шла только о соболиных шкурках. На одну, как уверяют историки, можно было в Москве жить год, а у туземцев их отбирали в виде ясака (который получали, порой взяв в заложники детей) в огромном количестве: пишут, что при обмене давали за медный котел столько шкурок, сколько в него поместится. Судя по одному из источников, за семь лет в сибирском городе Мангазея было продано более полумиллиона соболиных шкур. Когда пушного зверя истребили, вместо шкурок пошли морские животные, кость мамонта (она нелегально экспортируется до сих пор, а в XVIII веке первые исследователи обнаружили на Новосибирских островах горы прекрасных бивней, копившихся в течение 200 тысяч лет), потом – лес, уголь, нефть, газ, никель и т.п.

Освоенный было охотниками до шкурок в XVI веке морской путь из Белого моря в Карское был в начале XVII-го указом царя Михаила Романова под страхом смертной казни закрыт для мореплавания, потому что не было возможности его контролировать и охранять от посягательств западных держав. Он мешал уже налаженному веками экспорту пушнины по материковым путям.

Петр I, как известно, смотрел на Европу через Балтику, а на Америку и Азию – через Камчатку, минуя Арктический океан. После основания Санкт-Петербурга на потенциале Северного морского пути был поставлен крест. Архангельск как главный экспортный порт страны конкурировал с Се-



ОТКРЫТИЕ ДЕЖНЁВЫМ ПРОЛИВА МЕЖДУ АМЕРИКОЙ И АЗИЕЙ ДЛЯ РОССИИ НЕ БЫЛО В СТРОГОМ СМЫСЛЕ НАВИГАЦИОННЫМ СОБЫТИЕМ, ПОСКОЛЬКУ РЕЧЬ В ТЕ ВРЕМЕНА ШЛА ТОЛЬКО О СОБОЛИНЫХ ШКУРКАХ. НА ОДНУ, КАК УВЕРЯЮТ ИСТОРИКИ, МОЖНО БЫЛО В МОСКВЕ ЖИТЬ ГОД.

верной Пальмирой и был быстро задушен государственными мерами. Интересно, что и сегодня одним из основных сдерживающих факторов для развития арктического транзита международная аналитика называет обременительные меры по государственному регулированию. Например, тарифы на прохождение судна по северным морям РФ в два раза выше, чем через Суэцкий канал, а стоимость обязательной ледокольной проводки сопоставима с затратами на топливо.

Ломоносов рассуждал о развитии Северного морского пути в контексте колонизации Америки, нежели торговли с Азией и Европой. При этом, между прочим, предлагал, как менее опасный, путь вдоль берегов канадских, а не российских, поскольку на нашей стороне, как он полагал, обрывается больше льда из-за сибирских рек.

Впервые пройти Северным морским путем удалось шведам в 1878 году. На трехмачтовом барке

«Вега» Арктику пересек финский ученый барон Норденшельд, на деньги короля Швеции Оскара II. Уже на рубеже веков в России был разработан первый ледокол «Ермак» под руководством адмирала Макарова при участии Менделеева, и построен на британской верфи в Ньюкасле, однако впоследствии основное время он эксплуатировался на Балтике.

Первое российское плавание по Северному морскому пути с Востока на Запад с зимовкой на Таймыре состоялось в 1914-1915 годах на пароходах «Таймыр» и «Вайгач».

Как сугубо российская магистраль Северный морской путь формально существует с 1919 года, когда был основан Комитет Северного морского пути под началом адмирала Колчака. Год спустя Комсевморпуть стал советским, в 30-х годах Главное управление Севморпути возглавил Отто Шмидт, началась эпоха строительства портов, городов, заводов, нефтяных скважин, полярных станций и лагерей, узников которых государство конвертировало в общенациональный проект.

За сто лет вдоль трассы Северного морского пути появилось два десятка портов и городов, сегодня многие брошены или в полузаброшенном состоянии. В колониальной парадигме Арктика превратилась в место добычи ископаемых, военных испытаний и мусорных полигонов. По экспертным данным, в арктических морях затоплено более 17 тыс. контейнеров и 19 судов с радиоактивными отходами, 14 реакторов, в том числе с отработанным ядерным топливом, а также около тысячи радиоактивных конструкций и атомных подводных лодок с невыгруженными реакторами. По побережью рассредоточено до 4 млн тонн промышленного мусора, в том числе токсичного.



Новые ресурсы

Сегодня Северный морской путь, как обычно его понимают, то есть как маршрут между Европой и Азией вдоль российского арктического побережья, это в большей части своего значения дипломатическая фигура речи по обе стороны госполитики, обрамляющая притязания на арктические недра. На это указывает принятая в конце прошлого года Стратегия развития Арктики до 2035 года, во всех отношениях оптимистичная, которая для транзитных перевозок по Северному морскому пути определяет в качестве цели на ближайшие 15 лет увеличить объем более чем в 10 раз – до 10 млн тонн. То есть в тысячу раз меньше, чем в прошлом году обработал риторический антагонист – Южный путь через Суэцкий канал, 1,2 млрд тонн.

Но стратегия и ясно выражает основной экономический смысл Севморпути – обеспечение экспорта ископаемых ресурсов: газа, нефти, ценных металлов, угля из мест добычи за рубежом. Основные грузополучатели – Япония, КНР и страны Европы. Сегодня эти грузы составляют основной объем перевозок, в прошлом году более 31 млн тонн, план к 2035-му – 130 млн тонн. При запасе арктических недр, который Минприроды оценивает в размере 7,3 млрд тонн нефти, 2,7 млрд тонн газового конденсата стоимостью более 20

УЧИТЫВАЯ 10% МИРОВЫХ ЗАПАСОВ НИКЕЛЯ, 20% ПЛАТИНЫ И ПРОЧЕГО, ОСНОВНЫМ СМЫСЛОМ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ ОСТАЕТСЯ ТОТ, ЧТО И БЫЛ ВО ВРЕМЕНА КОЛОНИЗАЦИИ СИБИРИ, И БУДЕТ ВПРЕДЬ – ЭКСПОРТ РЕСУРСОВ.

трлн долларов. По некоторым оценкам ресурсные запасы Арктики составляют 100-150 млрд тонн нефтяного эквивалента. Учитывая 10% мировых запасов никеля, 20% платины и прочего, основным смыслом Северного морского пути остается тот, что и был во времена колонизации Сибири, и будет впредь – экспорт ресурсов.

Доля арктической добычи газа в России составляет более 70%, общий ресурсный оборот в Арктике в год – более 20% экспорта, это порядка 10% налоговых доходов страны. При этом геологоразведкой

охвачено примерно треть арктических территорий и около 10% шельфа. Несколько лет назад расходы на всю арктическую программу были сопоставимы с бюджетом крупного вуза – 12 млрд рублей. В прошлом году на развитие Арктики выделено более 100 млрд рублей. Основные ресурсы направлены на строительство флота. В последние годы только на постройку пяти атомных ледоколов – порядка 400 млрд руб. К слову, самый крупный из них атомоход «Лидер», который строится на судостроительном заводе «Звезда», является самым мощным в истории планеты, но он недостаточно широк для самых рентабельных контейнеровозов.

Сегодня Северный морской путь (СМП) развивается за счет экспорта собственной грузовой базы в регионе и сопутствующих поставок. По оценкам аналитиков, этой грузовой базы в Арктике достаточно для того, чтобы увеличить грузооборот магистралей до уровня, заданного правительством. Что касается полноценного развития и привлечения международных контейнерных линий, то в ближайшей перспективе это, как рассказал руководитель одной из крупнейших отечественных транспортных компаний, вряд ли возможно по экономическим соображениям.

Во-первых, расходы на движение судна по СМП сопоставимы с расходами на южном направле-

нии, более того, себестоимость так называемой «ячейки» на СМП сегодня на пару сотен долларов выше. Во-вторых, преимущество в скорости небольшое: путь из Шанхая в Роттердам через Суэцкий канал сопоставим по срокам с СМП, на котором в силу разных причин не налажена регулярная ледокольная проводка. Однажды судно задержалось в пути на две недели, потому что во льду застрял сам ледокол. В то же время на мировом рынке избыток мощностей флота, строится новый, а суда из Азии не загружены. В-третьих, использование судов ледового класса дороже и подчинено сезонности, то есть в определенные месяцы флот будет вынужден простаивать без работы. В-четвертых, на сегодня в арктическом регионе не существует отлаженной фидерной сети, которая бы позволяла менять объемы и суда на линии. Кроме того, СМП не имеет должной инфраструктуры, гарантирующей безопасность мореплавания. Вероятно, поэтому такие крупные контейнерные перевозчики, как Maersk и CMA, не проявляют активности в продвижении на этот рынок, считая, что риски перевешивают.

В то же время на государственном уровне заявляется о приоритетном арктическом развитии и создании альтернативного международного маршрута на основе Северного морского пути, с упором на цифровизацию Арктики и всего маршрута.

Виртуальный путь

В 2019 году Госкорпорация «Росатом» как обладатель ледокольного флота и уполномоченный государством оператор Северного морского пути инициировала проект «Северный морской транзитный коридор» (СМТК), в разработке которого приняли участие ученые разных научных институтов, в том числе Петербургского Политеха. Итогом работы в 2019-2020 годах стала экспедиция «Цифровое судно СМТК», ставшая подготовительным этапом создания логистического сервиса на Севморпути. Практические результаты коллективной работы носят пропедевтический характер. Разработаны гипотезы по моделированию грузопотока, оформлены требования к эскизному проекту судна, которое могло бы эффективно перевозить грузы по данному маршруту, а также концепции цифровых сервисов и их методология.

ПРОЕКТ МЕЖДУНАРОДНОГО ТРАНЗИТНОГО КОРИДОРА В АРКТИКЕ ИМЕЕТ ВСЕ ШАНСЫ ВОЙТИ В ЧИСЛО УНИКАЛЬНЫХ ПРЕЦЕДЕНТОВ В ОБЛАСТИ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.

Как утверждают авторы проекта, Северный морской транзитный коридор реализуется в тренде преобразования мировой транспортной конъюнктуры и решения государственных задач по освоению Арктики и развитию атомной энергетики. Концепция СМТК дублирует схему южного пути, опираясь на идею доставки груза фидерными линиями в транспортно-логистический узел в Азии, откуда флот доставляет его в аналогичный узел на западе. Идея предполагает четыре уровня транспортных связей: международный, федеральный, региональный и муниципальный, что позволит региональным экономикам выходить на новые рынки, в первую очередь – на китайский. Основное преимущество проекта – ско-



рость, предсказуемость, удобство цифровых сред. Основные задачи на сегодня – создание флота, моделирование грузовой базы, цифровых сервисов, обеспечение внешней телекоммуникационной инфраструктуры, отработка цифровизации логистики для перехода к сценарному прогнозированию.

Однако выходящая за рамки исследования проблематика играет в реализации проекта существенную роль. Как заметил один из экспертов, математически верный расчет трафика судов – безусловно, передовая процедура, однако он может нарушиться, как это уже происходило, из-за непредвиденных обстоятельств. Например, потому, что кто-нибудь из экипажа заболел и единственным способом спасти его будет снятие судна с маршрута, поскольку на большей части арктического побережья нет никакой инфраструктуры.

Руководитель Центра морских исследований МГУ имени Ломоносова Николай Шабалин обращает внимание на то, что в Арктике крайне сложные гидрометеорологические условия и высокие экологические риски, отсутствует единый центр сбора информации для анализа и прогнозирования данных, разноформатное множество которых сложно совмещать и анализировать. Одной из существенных проблем является отсутствие мелкомасштабного и локального картографирования для сложных участков маршрута. «Необходимы цифровые сервисы, чтобы доставлять грузы эффективно и безопасно, прежде всего экологически. Такие сервисы уже разрабатываются, в том числе нами. Однако для обеспечения работы сервиса необходима хорошая спутниковая группировка, в первую очередь радиолокационная. Сегодня радиолокацию в Арктике обеспечивают исключительно зарубежные спутники, прогноз и анализ обстановки мы делаем на основе открытых данных. Стоит европейцам, американцам или канадцам ограничить к ним доступ, наши цифровые сервисы и модели закончатся».

Проректор по перспективным проектам СПбПУ, руководитель Центра НТИ СПбПУ Алексей Боровков рассказывает, что для решения задачи по моделированию проекта СМТК были использованы наработки из различных областей, в том числе автомобилестроения. «Мы располагаем набором из порядка 30 передовых технологий, в применении которых мы должны расставить весовые коэффициенты. Готового решения нет, поскольку проект требует учета многих данных. Однако наши технологические возможности позволяют решать задачи с количеством требований и ограничений на порядок выше, нежели применяется в современной индустрии, что дает возможность видеть взаимовлияние различных данных на разных этапах жизненного цикла проекта, – объясняет эксперт. – Одним из ключевых моментов здесь является разработка критических зон проекта, чтобы не генерировать “мусорных” данных. Перед нами есть печальный пример компании “Дженерал Электрик”, которая инвестировала пять миллиардов в сектор цифрового моделирования, прогоревший из-за поломок турбин в Техасе. Ежедневно генерировались и собирались огромные объемы данных, которые разработчики в результате просто не смогли “переварить” из-за их избыточности. Важны правильная расстановка коэффициентов и генерация “умных” данных. Для успешной работы необходимо внедрять межотраслевой трансфер технологий и снижать транзакционные издержки. Отмечу, что сообщество пока не готово воспринимать некоторые новые концепции, мыслит на уровне наработок 20-летней давности, либо предпочитает статус-кво. Между тем проект международного транзитного коридора в Арктике имеет все шансы войти в число уникальных прецедентов в области цифрового моделирования».



Трансцендентальная Арктика

Особенность присутствия Арктики в российском сознании можно определить так, будто она существует всегда в форме амбивалентного понятия, которое одновременно и есть, и нет, как флаг РФ на дне океана в условной точке Северного полюса. Как отзвук языка юпик в слове эскимо. Или как Северный морской путь, который действует, скорее, как локальная транспортная магистраль, ориентированная либо на Европу, либо на Азию, но не как связующее звено в международной торговле.

Все знают, что в Арктике – баснословные запасы газа и нефти, но их почти невозможно полноценно использовать, потому что это дорого и наукоемко. Также все понимают, что климат меняется и происходит сокращение ледяного покрова. За последние 60 лет он уменьшился на 2/3 и продолжает таять, и, по разным прогнозам, полное потепление случится в обозримом будущем (некоторые называют уже 2035 год и дальше), но никто не знает, что с этим делать, и можно ли всерьез мыслить ответственность каждого гражданина и потребителя за прогрессирующее изменение климата.

Между тем потепление климата, помимо катастрофы для арктических животных и непредсказуемых последствий для береговых цивилизаций, приоткрывает новую страницу транспортной истории, где российская арктическая магистраль начинает конкурировать с другими маршрутами. Это в первую очередь ставший с эпохи Романтизма идиомой Северо-западный проход (Northwest Passage) вдоль Канады, исторически переплетенный с реализацией Севморпути и уже опробованный контейнеровозами и круизными судами, а также самый короткий и наименее обремененный тарифами Трансполярный путь, по которому в 2012 году прошел китайский ледокол Xue Long (Снежный дракон). К слову, судно работает в Арктике с 1999 года, а с 2004 года КНР основала научную станцию на архипелаге Шпицбергена.

Тем не менее среди всех арктических маршрутов Севморпуть считается сегодня хотя и дорогим, но наименее рискованным, и все же не настолько привлекательным, чтобы крупные контейнерные перевозчики рассматривали его всерьез.

Кроме того, Арктика содержит нераскрытый культурный пласт – наследие коренных народов, который потенциально может обогатить современность в области концептуального понимания Арктики. Вероятно, наиболее ясный подход к Арктике – научный, во всем широчайшем многообразии тематики, охватывающей историю планеты и современные процессы, относящиеся ко всем фундаментальным областям знаний. **L**

ИОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ: КОСМОС КАК ПРЕДЧУВСТВИЕ

Рассказываем о плюсах и недостатках ионных двигателей, а также о разработках Политеха, которые, возможно, сделают космос немного ближе.

Текст: Олег Путин

Ионные двигатели VS химические ракетные двигатели

Исследователи постоянно ищут возможности для создания ракетных двигателей нового поколения, в результате пришли к идее создания электрического ионного двигателя. Так называется тип ракетного двигателя, который создает реактивную тягу из ионизированного газа, разогнанного до высоких скоростей в электрическом поле.

Если сравнить, то обычные химические (жидкостные, твердотопливные или гибридные) ракетные двигатели имеют низкую эффективность – КПД составляет около 35%, а у ионных двигателей КПД доходит до 90%. У химического двигателя ракеты скорость истечения горячих газов из сопла составляет до 5 км/сек., а ионные двигатели могут выбрасывать заряженные атомы со скоростью свыше 90 км/сек., что должно придать космическому аппарату намного большее ускорение.

Например, ракета-носитель тяжелого класса «Ангара-А5» с жидкостным двигателем имеет стартовую массу в 780 т, способна вывести на низкую опорную орбиту 24 т груза, а на геостационарную – всего 4 т. Двигатель вместе с баками для топлива и окислителя имеет огромные размеры и способен работать очень короткое время при однократном включении. Получается, что при использовании жидкостного двигателя в атмосфере полностью сгорает 776 т вещества: сначала топливо, а затем, при отделении ступеней ракеты, и сами двигатели. С экологической и

экономической точек зрения это просто неэффективное использование ресурсов. Поэтому нужна альтернатива.

Ионный двигатель имеет небольшие размеры, топлива использует мало, может работать надежно в течение десятилетий с многократными включениями. Двигатель питается от солнечных батарей, а в дальнейшем и от ядерной бортовой электроустановки, имеет высокий удельный импульс, то есть максимальную скорость потока, которая недостижима для обычных ракетных двигателей,

и способен разогнать космический аппарат в условиях невесомости до высоких скоростей.

Почему бы не перевести ракеты на экономичные и экологичные ионные двигатели? Давайте разберемся.

Чтобы преодолеть притяжение Земли, летательный аппарат должен развить первую космическую скорость около 7,9 км/сек. Этого достаточно, чтобы двигаться вокруг Земли по концентрической орбите и стать ее спутником. Вторая космическая скорость составляет 11,2 км/сек., такая скорость необходима, чтобы покинуть орбиту Земли.

При всех достоинствах ионный двигатель имеет пока один недостаток – низкую тягу. Поэтому он не способен преодолеть силу земного притяжения, но очень эффективен в открытом космосе для маневров, ускорения и торможения космических аппаратов.

История развития ионных двигателей

Концепцию ионного двигателя предложил в 1917 г. американский ученый Роберт Годдард, создавший впоследствии первый жидкостной ракетный двигатель. Подробно описал технологию работы ионного двигателя с детальными расчетами американский ученый-ядерщик и ракетостроитель Эрнст Штулингер в 1954 г.

ЧИСТЫЙ ИОННЫЙ ВЫХЛОП СТАЛ НЕОЖИДАННЫМ РЕЗУЛЬТАТОМ, И УЧЕНЫЕ СЕЙЧАС ПЫТАЮТСЯ ОБЪЯСНИТЬ ЕГО ПРОИСХОЖДЕНИЕ.



В следующем 1955 г. русский физик Алексей Иванович Морозов подготовил научный труд «Об ускорении плазмы магнитным полем», а в 1957-м опубликовал об этом статью в «Журнале экспериментальной и теоретической физики».

Впервые плазменно-эрозионный двигатель конструкции физика Александра Михайловича Андрианова применили в 1964 г. на космическом аппарате «Зонд-2». Он использовался как двигатель ориентации и имел питание от солнечных батарей.

В Советском Союзе были разработаны и устанавливались разные типы ионных двигателей на многих космических аппаратах. Серийно стали устанавливать на спутники, начиная с 1982 г., ионные двигатели СПД-25 с тягой 25 мН, СПД-100, имеющие при форсировании тягу до 100 -130 мН, и другие. В таких двигателях используется эффект Холла, который возникает при воздействии магнитного поля на движущиеся электроны, которые реализуют ионизацию газа, и после ускорения ионов их нейтрализацию.

Первый американский ионный электростатический двигатель был создан под руководством Гарольда Кауфмана в 1959 г. в научном центре НАСА John H. Glenn Research Center at Lewis Field. Его испытания успешно прошли в 1964 г. во время суборбитального полета космического аппарата SERT I. Двигатель по плану отработал 31 минуту. Испытание длительности работы ртутных ионных электростатических двигателей в космосе провели на космическом аппарате SERT II в 1970 г. После этого разработки электрических ионных двигателей были прекращены ввиду их низкой на то время эффективности.

В качестве маршевого ионный двигатель NSTAR впервые применили в США на космическом аппарате Deep Space I в 1998 г. Электрические ионные двигатели отработали бесперебойно несколько лет, обеспечив визит к Марсу.

Следующий американский космический аппарат AMC Dawn имел уже три ионных двигателя NSTAR. Это позволило ему в 2007 г. разогнаться до высоких скоростей и отлично маневрировать в космическом пространстве, изучить крупные астероиды Веста, Церера и другие.

Японское агентство аэрокосмических исследований (JAXA) отправило с помощью ионных двигателей к астероиду Итокава в 2003 г. космический аппарат Hayabusa (Сапсан), который успешно взял образцы грунта и доставил их на Землю. Сейчас его преемник Hayabusa-2 направляется к группе астероидов за пробами грунта.

Ионные двигатели спасли многомиллионный спутник связи Artemis, запущенный Европейским космическим агентством (ESA) в 2001 г. Из-за аварии третьей ступени ракеты-носителя Arian спутник не был выведен на расчетную геостационарную орбиту и оказался на эллиптической орбите на высоте 17 487 км при расчетной в 35 853 км. Центр управления полетами ESA смог перевести аппарат на высоту 31 000 км. Оставшиеся 4 853 км аппарат поднимался с помощью экспериментальных ионных двигателей с тягой в 15 мН, которые предназначались лишь для ориентации спутника на орбите. Из-за малой мощности двигателей, которые не предполагалось использовать в качестве маршевых, подъем составлял всего до 15 км в день. Через 11 месяцев спутник вышел на заданную орбиту и работает до сих пор. Вот такие ионные двигатели: маленькие да удаленные.

В 2003 г. ESA применило ионные двигатели для перевода космического аппарата Smart-1 с околоземной орбиты на лунную, а в 2009 г. на спутнике GOCE, запущенном на сверхнизкую околоземную орбиту высотой около 260 км, ионный двигатель использовался для управления ориентацией и коррекции орбиты. В 2015 г. в рамках научной миссии LISA Pathfinder ионные двигатели применялись для маневрирования спутника.

На космическом аппарате BepiColombo, запущенном ESA в 2018 г. к планете Меркурий, используются четыре ионных двигателя с суммарной тягой 290 мН. При переходе на орбиту Меркурия сначала работает химический двигатель, а задача ионных – маневрирование и удержание спутника на заданной орбите. Миссия продолжается.

Американская компания SpaceX в настоящее время использует ионные двигатели для маневрирования спутников и удержания их на точной орбите. Причем изготавливаются двигатели на 3D-принтере.

Как увеличить тягу ионного двигателя?

Самый большой ионный двигатель диаметром один метр весит 227 кг. Он оснащен тремя каналами выхода плазмы, что позволяет уменьшить его габариты по сравнению с обычными одноканальными двигателями. Работу X-3 обеспечивает электрическая силовая установка XR-100, изготовленная компанией Aerojet Rocketdyne. Сообщалось, что на испытаниях в вакуумной камере ионный двигатель продемонстрировал тягу в 5,4 Н. Это достижение побило все рекорды, однако пока нет соответствующих такому двигателю мощных бортовых источников электрической энергии.

Основным преимуществом подобного ионного двигателя является высокий удельный импульс – около 40 км/сек., а недостатком – использование ксенона, большой запас которого необходимо иметь на борту спутника до окончания миссии. Поэтому срок службы двигателя зависит от количества ксенона – заправки в космосе пока еще отсутствуют.

В Европейском космическом агентстве (ESA) разрабатывается прямоточный ионный двигатель, который способен работать на низких орбитах. Он использует молекулы воздуха из атмосферы, ионизирует их и выбрасывает из сопла, создавая тягу. Никаких запасов газа не требуется. Поэтому аппарат может работать десяток лет без всякой дозаправки, питаясь от солнечных батарей на орбите любой планеты, имеющей атмосферу. Есть только один недостаток – для движения в открытом космосе он непригоден.

В январе этого года исследователи из Массачусетского технологического института (MIT) изготовили на 3D-принтере миниатюрный прототип ионного двигателя диаметром 20 мм. Ученые ставили целью разработку технологии производства недорогих ионных двигателей для миниатюрных спутников CubeSat с использованием 3D-принтеров.

Двигатель использует электрогидродинамический эффект, выбрасывая поток заряженных частиц под воздействием электрического поля. Реактивной массой служит ионная жидкость в виде солевого расплава, насыщенного ионами. 3D-печатный корпус двигателя имеет топливный

резервуар с ионной жидкостью и множество миниатюрных конусообразных эмиттеров с покрытием из нановолокон оксида цинка, выращенных на поверхности методом гидротермального синтеза. Нанопроволоки действуют как фитили для транспортировки жидкости из резервуара к наконечникам излучателей. При подаче напряжения между эмиттерами и электродом экстрактора заряженные частицы выбрасываются из наконечников эмиттеров. Решетку двигателя изготовили с помощью 3D-печати из нержавеющей стали.

ПРЕИМУЩЕСТВО НАШИХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЗАКЛЮЧАЕТСЯ В ТОМ, ЧТО В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА МОГУТ ИСПОЛЬЗОВАТЬСЯ ВЕЩЕСТВА, КОТОРЫЕ РАСПРОСТРАНЕНЫ НА ДРУГИХ КОСМИЧЕСКИХ ТЕЛАХ. НАПРИМЕР, ЗАГРУЗИЛИ МЫ КОСМИЧЕСКИЙ КОРАБЛЬ НА ЗЕМЛЕ, ОН ДОБРАЛСЯ ДО ЛУНЫ И ТОПЛИВО ЗАКОНЧИЛОСЬ. НА ЧЕМ ДАЛЬШЕ ЛЕТЕТЬ? НУЖНО ДОБЫТЬ ТОПЛИВО НА МЕСТЕ.

Чистый ионный выхлоп стал неожиданным результатом, и ученые сейчас пытаются объяснить его происхождение. Ведь электрораспыление ионных жидкостей не отличается такой чистотой результата и дает при работе двигателя в вакууме комбинацию чистых ионов и ионов, смешанных с нейтральными молекулами. При атмосферном давлении столкновения приводят к очистке от нейтралов. Такая реакция используется в биомолекулярных масс-спектрометрах, за ее внедрение Джону Фенну была присуждена Нобелевская премия в 2002 году. Руководитель проекта старший научный сотрудник лаборатории микросистемной техники (MTL) Луис Фернандо Веласкес-Гарсия предполагает, что такой эффект позволили получить нановолокна оксида цинка и их взаимодействие с топливной жидкостью по мере доставки ее к эмиттерам. Он также считает, что конструкция электроспрея может иметь много применений в технике: «Можно испускать не только ионы, но и, например, нановолокна и капли. Вы мо-



ОТ МЕЧТЫ К ТЕОРИИ

Впервые идея устройства реактивного космического двигателя описана 125 лет назад русским ученым Константином Эдуардовичем Циолковским в 1896 г. Основные формулы, относящиеся к прямолинейному движению ракет в свободном пространстве и однородном поле силы тяжести, рассчитаны им к середине мая 1897 г., но первую часть работы удалось опубликовать лишь в 1903 г. в статье «Исследование мировых пространств реактивными приборами» (журнал «Научное обозрение», 1903, № 5, стр. 45-75). Как вспоминал Константин Эдуардович, только одного редактора российского научного журнала еле удалось уговорить

на публикацию, да и то не сразу: слишком утопичной казалась людям идея космических полетов.

«Камера имеет большой запас веществ, которые при своем смешении тотчас же образуют взрывчатую массу. Вещества эти, правильно и довольно равномерно взрываясь в определенном для того месте, текут в виде горячих газов по расширяющимся к концу трубам, вроде рупора... Понятно, что такой снаряд, как и ракета, при известных условиях будет подниматься в высоту», – писал основоположник теории ракетостроения К.Э. Циолковский. Регулировать направление движения он предполагал, изменяя направление струи выбрасываемых из сопла газов.

жете использовать волокна для изготовления фильтров или электродов для хранения энергии, или использовать капли для очистки морской воды, удаляя рассол. Вы также можете использовать конструкцию электроспрея в камере сгорания обычного двигателя, чтобы распылять топливо на очень маленькие капельки, повышая при этом качество сгорания и мощность двигателя».

Это первый двигатель такого типа, который производит чистые ионы из ионных жидкостей, используемых для создания движителя. Чистые ионы делают двигатель более эффективным, чем аналогичные современные устройства, придавая ему большую тягу на единицу расхода топлива. Ученые Массачусетского технологического института планируют создание полноразмерного опытного образца ионного двигателя.

Уникальные разработки ученых СПбПУ

В России разработкой ионного двигателя нового поколения занимаются ученые Санкт-Петербургского политехнического университета (СПбПУ) Петра Великого. Исследователи создали опытный образец электрического двигателя для космических летательных аппаратов, основанный на получении отрицательных ионов и их ускорении в электрическом поле. Двигатель позволяет использовать различные виды топлива.

В двигателе происходит ионизация рабочего вещества, полученные ионы ускоряют электрическим полем до десятков километров в секунду. Создание опытного образца ионного космического двигателя стало результатом многолетних исследований и технических разработок научной группы профессора Высшей инженерно-физической школы СПбПУ Олега Юрьевича Цыбина.

«Вначале мы получили ионизованное вещество при десорбции с гладкой поверхности, усилили этот процесс с помощью "горячих" электронов. Затем обнаружили, что можем получить еще более интенсивную ионизацию, если вместо гладкой поверхности использовать микро- и наноструктурированную. В итоге достигнут новый результат – усиление ионизации на структурированной мембранной поверхности. В 2019 и 2020 годах получили два патента на изобретение таких двигателей.

Для космической промышленности наша технология оказалась очень своевременной, потому что имеющиеся

ионные двигатели ограничены в своих ресурсах. Необходимо заменить ксенон, на котором в основном работают ионные двигатели, другими веществами. Ксенон – очень дорогой газ, его ресурсы на Земле ограничены, и их просто не хватит для дальнейшего развития космических исследований. Перед мировым сообществом стоит актуальная задача – создание нового электроракетного двигателя на альтернативном виде рабочего вещества. Надо выдержать конкуренцию с лучшими образцами, появляющимися на мировом рынке. Этот рынок по своему объему – гигантский, в ближайшем десятилетии он составит десятки миллиардов долларов», – пояснил О.Ю. Цыбин.

В испытаниях ионного двигателя участвовала Военно-космическая академия имени Можайского, предоставившая вакуумную камеру на своей экспериментальной базе.

В чем отличие разработки Высшей инженерно-физической школы СПбПУ от других моделей? «Преимущество наших двигателей заключается в том, что в качестве топлива могут использоваться вещества, которые распространены на других космических телах. Например, загрузили мы космический корабль на Земле, он добрался до Луны и топливо закончилось. На чем дальше лететь? Нужно добыть топливо на месте. Мы знаем, что на космических телах есть лед, скалы, песок, базальт, металлы, на Луне есть лунный реголит – из них на месте можно создать топливо. Одной из наших задач было создание двигателя на топливе, полученном из природных веществ космического тела. Это называется asteroid mining: прилетели на астероид, добыли вещество, обработали соответствующим образом и полетели на этом топливе дальше. И такие технологии уже близки к реализации, – рассказал Олег Юрьевич. – Цикл, который идет от фундаментальных исследований через лабораторный образец к опытному, опытно-промышленному и серийно-промышленному, как правило, очень длительный. Сейчас мы находимся на стадии апробации лабораторных образцов. Продолжаются совместные исследования и испытания ионных двигателей с Военно-космической академией имени Можайского. Планируем в ближайшее время перейти к опытно-промышленному образцу».

В настоящее время космические агентства применяют ионные двигатели для управления ориентацией и коррекции орбиты искусственных спутников Земли, а также как главный тяговый двигатель для малых автоматических космических станций. В перспективе исследователи надеются использовать их в качестве разгонной системы межпланетных звездолетов для дальнейшего изучения и освоения космоса. **L**



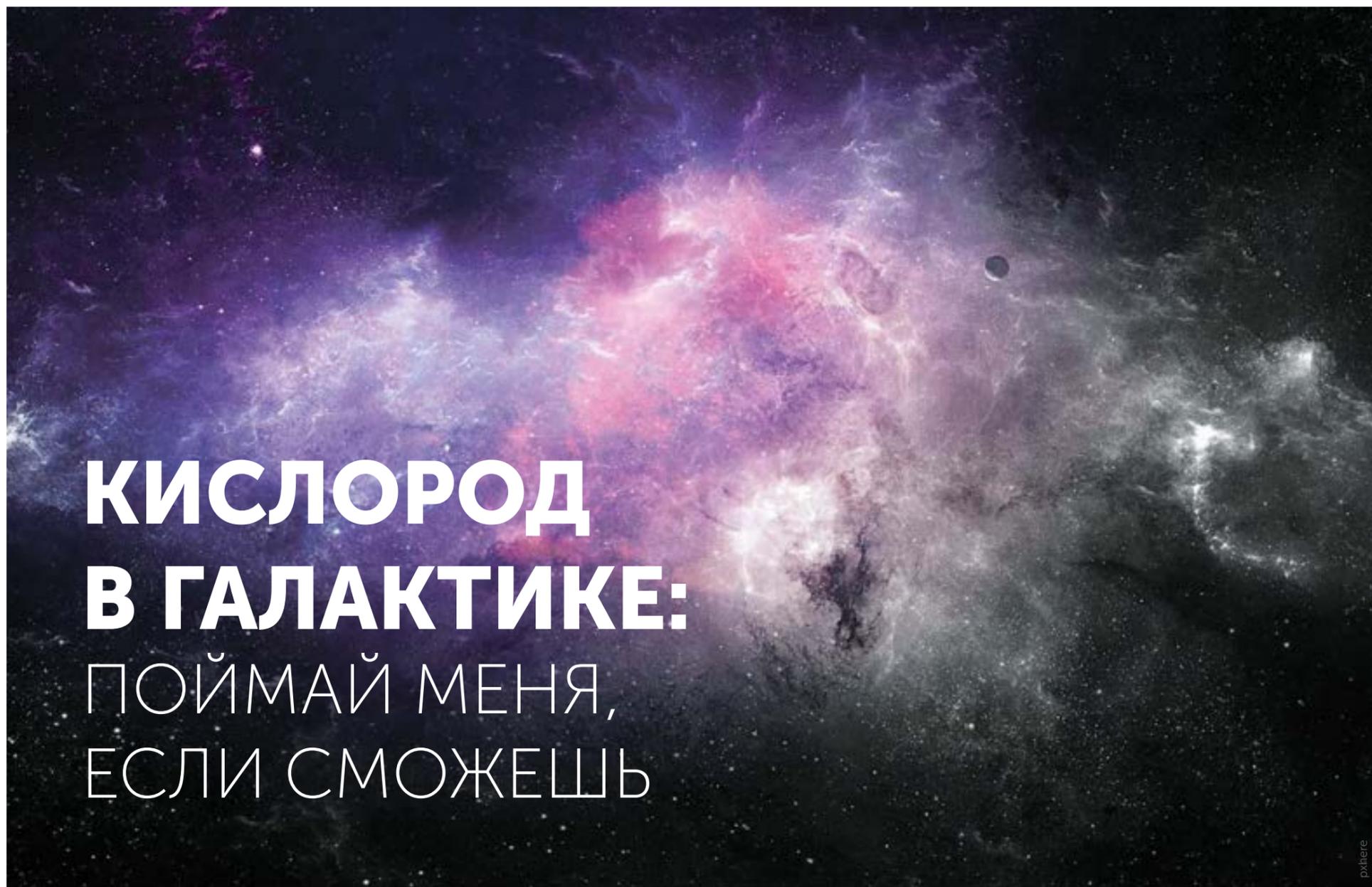
ЕДИНСТВЕННЫЙ В РОССИИ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПРОМЫШЛЕННОЙ РОБОТОТЕХНИКИ «KAWASAKI-ПОЛИТЕХ»



10 НОВЕЙШИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ДУГОВОЙ И ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ, ФРЕЗЕРОВКИ, ПАЛЕТИРОВАНИЯ, СБОРКИ, ПОКРАСКИ, СОРТИРОВКИ И УКЛАДКИ ПРОДУКЦИИ

- ОБУЧЕНИЕ РАБОТЕ С ПРОМЫШЛЕННЫМИ РОБОТАМИ;
- РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ;
- ПОДГОТОВКА КОНСТРУКТОРОВ, ТЕХНОЛОГОВ, РАЗРАБОТЧИКОВ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ РОБОТОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ.

ПРИГЛАШАЕМ К СОТРУДНИЧЕСТВУ! КОНТАКТЫ: ОЛЕГ ПАНЧЕНКО, PANCHENKO_OV@SPBSTU.RU, +7 (921) 946-86-99



КИСЛОРОД В ГАЛАКТИКЕ: ПОЙМАЙ МЕНЯ, ЕСЛИ СМОЖЕШЬ

Долгое время считалось, что кислород может покинуть галактику. Гипотеза выглядела странной, немного сомнительной. Ученые Политеха доказали, что это не так.

Текст: Максимилиан Васильев

Галактика – это гравитационно-связанная система звезд, звездных скоплений. Общее количество галактик в той части Вселенной, что мы можем наблюдать, точно не известно. В 1990-х годах, на основании наблюдений космического телескопа «Хаббл», считалось, что всего существует около 100 миллиардов галактик. В 2016 году предполагаемое число галактик увеличили до двух триллионов. Год только начался, но уже по данным, полученным космическим аппаратом New Horizons, предполагаемое число галактик было вновь уменьшено до нескольких сотен миллиардов. Так что их изучение – увлекательное занятие. Впрочем, про нашу обитаемую галактику мы знаем чуть больше.

Наша планета находится в галактике Млечный путь. То, что мы привыкли называть космосом, находится внутри галактики. Космос или, как правильнее его называть – космическое пространство, это в основном пустые участки Вселенной, которые лежат вне границ атмосфер небесных тел. Но космическое пространство не является абсолютно пустым: оно состоит из межзвездного вещества, в основном это молекулы водорода, кислорода в малых количествах, и другие составляющие. Молекулы или атомы, имеющие электрический заряд, называются ионы. Они встречаются повсеместно, во всех агрегатных состояниях вещества: в газах, жидкостях, кристаллах, плазме. Изучение межзвездных газов – один из аспектов нашего знакомства с космосом.

Особенная история приключилась с кислородом. Когда американские ученые с высокой точностью измерили скорость межзвездного атомарного кислорода, результат заставил лучшие умы призадуматься: по расчетам орбитального рентгеновского телескопа Chandra выяснилось, что скорость атомарного кислорода около 340 км/сек., что существенно больше скорости движения других межзвездных газов. А значит, кислород может покинуть галактику? Гипотеза выглядела странной, немного сомнительной, а потому европейские ученые в коллаборации с учеными СПбПУ провели корректировку вычислений. Вопрос исследователей был: что же заставляет ионы кислорода так торопиться?

Ошибка была найдена в значении рентгеновских линий, в четвертом знаке после запятой. У каждого иона есть рентгеновские спектры. В изучении многозарядных ионов было открыто свыше четырехсот спектральных линий. В эксперименте использовалась электронно-лучевая ионная ловушка. Скорректировав значение, ученые выяснили, что скорость атомарного кислорода изменилась на 240 км/сек., то есть скорость атомарного кислорода оказалась в районе 100 км/сек., что вполне нормально для межзвездного газа. А значит, никакой «утечки» быть не может. «Мы подправили значения всех рентгеновских линий в атомарном кислороде в четвертой значащей цифре, – пояснил главный научный сотрудник отделения Центра перспективных исследований СПбПУ Владимир Анатольевич Ерохин. – Некоторые могут подумать, что четвертый знак – это мелочь и неинтересно, однако мы видим, что даже такая маленькая ошибка может привести к серьезным астрофизическим проблемам. Именно из таких результатов складывается научный прогресс. Шаг за шагом мы избавляемся от ошибок».

Научный прогресс – это результат кропотливых исследований, в которых даже четвертый знак после запятой имеет значение. Исправление ошибок, внимание к деталям, привычка подвергать сомнению даже самые авторитетные расчеты – вот черты настоящих ученых, каждым действием приближающих нас к истинному знанию о галактике. **L**

ВСЕЛЕНСКИЕ ЗАБЛУЖДЕНИЯ

Ученым свойственно ошибаться. Но и признавать ошибки тоже. Рассказываем о самых больших заблуждениях ученых в изучении Вселенной.

Химия Солнца

В 1842 г. известный социолог Огюст Конт заявил со всей ответственностью, что человечеству никогда не удастся узнать химический состав звезд и Солнца. «Мы понимаем, как определить их форму, расстояния до них, их массу и их движения, но мы никогда не сможем ничего узнать об их химическом и минералогическом составе», – писал Конт. Но уже меньше чем через 20 лет немецкий ученый Гусав Кигхов опубликовал исследование, доказывающее, что можно изучать далекие объекты, не прикасаясь к ним. Это были исследования света, положившие начало спектральному анализу, открывшему новую эпоху в развитии науки. При помощи спектрального анализа был обнаружен химический элемент гелий. Его идентифицировали в 1868 г. одновременно во Франции и в Германии во время наблюдения за затмением Солнца.

Вдохновленные гелием ученые с особым рвением начали изучать излучения спектра, стремясь обнаружить еще не известные элементы. Так были найдены короний на Солнце и небулий в планетарных туманностях. Но, в отличие от гелия, короний и небулий постоянно ускользали от ученых. Загадку этих элементов сумели разгадать только в 30-х годах XX века. Оказалось, что это линии вполне обычных водорода, кислорода, железа и никеля, просто излучающих необычный спектр в необычных условиях. Так был развеян миф о коронии и небулии.

Лингвистическая ошибка

В 1877 г. случилось редкое астрономическое явление – противостояние Марса. Изучая приблизившийся к Земле Марс через телескоп, итальянский астроном Джованни Скиапарелли обнаружил странные длинные линии, образующие сложную сеть по всей планете между 60° северной и 60° южной широты. После, когда об открытии стало известно широкой публике, выяснилось, что подобные образования видят и многие другие ученые. Он назвал их canali – что на итальянском обозначает просто «каналы» или «линии». Но в английском переводе слово звучало как channels – «искусственно прорытый канал». Так возник миф о высокоразвитой цивилизации на Марсе. Миф этот прожил довольно долго, был дополнен идеями о наличии на Марсе атмосферы, растительности и много чего еще. Ошибку обнаружил в 1907 г. британский ученый Альфред Уоллес, который доказал, что поверхность Марса значительно холоднее, чем считалось раньше, и никакой растительности или воды там быть не может. Окончательно вопрос с каналами решился в 1965 г., когда американский космический аппарат «Маринер-4» передал на Землю снимки поверхности Марса.

До Большого взрыва ничего не было

Вселенная расширялась и остывала в течение миллиардов лет – в прошлом все было намного горячее и плотнее, и если мы отмотаем время дальше, то в конце концов достигнем точек бесконечной плотности. Теоретически это было реализовано еще в 1920-х годах такими космологами, как Александр Фридман и Жорж Леметр, последний назвал

это состояние «первичным атомом», из которого все возникло.

Когда в 1960-х годах ученые обнаружили остаточное излучение, которое образовалось в результате расширения Вселенной, предположения о Большом взрыве подтвердились. Космологи пытались пойти дальше и выяснить, как выглядела Вселенная до катаклизма. Многие из них считают, что она появилась из сингулярности – точки, в которой как раз-таки и возникли пространство и время, которые мы знаем. Только эта картина не совсем верна.

Ученые из Оксфордского университета построили компьютерную модель Вселенной и изучили, как выглядела начальная точка Большого взрыва. И, по их мнению, это была не сингулярность. Они отметили, что ткань пространства-времени не прекращала существовать за точкой Большого взрыва – она просто была зеркальной.

Сколько вам лет, госпожа Вселенная?

Эдвин Хаббл – один из основоположников современной астрономии. Именно он доказал, что окружающий мир не ограничивается Млечным путем, что наша галактика является крохотной частью невообразимо огромной Вселенной, которая к тому же постоянно расширяется. Заслуги Хаббла перед современной наукой просто неоценимы, однако, по крайней мере, в одном великий ученый был неправ: в 1929 г., пытаясь вычислить возраст Вселенной, астроном пришел к выводу, что она появилась около 2 млрд лет назад.

Однако всего через несколько лет физики рассчитали примерный возраст Земли – от 3 до 5 млрд лет, так что Хаббл пришлось признать ошибочность своих расчетов.

ПОКОРЕНИЕ КОСМОСА: «ПОЛЕТ НОРМАЛЬНЫЙ»!

60 лет назад Юрий Гагарин впервые отправился в космос. Этому предшествовали десятилетия исследований, множество изобретений, открытий и, увы, разочарований и неудач. Что же происходит сейчас в космических программах разных стран, какие амбиции двигают человечеством и могут ли они быть реализованы?

Текст: Анна Конева

Взгляд в небо

Нам, людям, летать хотелось всегда. Начиная с Икара, а может, и раньше. Неслучайно фантастика в литературе и кино – один из самых востребованных жанров. Но не только в фильмах космические корабли бороздят просторы Вселенной, в реальной жизни мы умеем и знаем все больше и больше, полеты в космос уже стали почти обыденностью и вот-вот турагентства начнут предлагать эти туры как часть программ для отпуска.

В истории покорения космоса было много событий, но главными можно считать три: запуск первого искусственного спутника Земли 4 октября 1957 года, первый полет человека в космос 12 апреля 1961 года, и наконец, высадка людей на Луну 20 июля 1969 года.

Космонавтика начала активно развиваться после Второй мировой войны. Техническими инновациями, которые сделали возможным освоение космоса, стали разработки баллистических ра-

pxhere

кет, в первую очередь немецких «Фау-2» и ряда других. До Второй мировой войны ракеты летали недалеко и невысоко, задачей было создание нового поколения вооружения. Этим занимался военный конструктор Вернер фон Браун. После войны страны-победительницы обнаружили в Германии много интересных технических разработок, в том числе и ракетных. Были захвачены и техника, и документация, и инженеры, которые вели разработки. Исследования, начатые немцами инженерами, продолжались и в СССР, и в США. Фон Браун «достался» американцам. Несмотря на нацистское прошлое, он со временем получил гражданство США и возглавил там и пилотируемую, и лунную космические программы. Кто знает, как было бы, если Вернер фон Браун попал в СССР и работал бы вместе с Сергеем Павловичем Королёвым! Но фон Браун и Королёв оказались по разные стороны океана, и, можно сказать, что именно конкуренция двух этих талантливых конструкторов и задала вектор развития мировой космонавтики.

Амбиции военные и почти мирные

Вообще, развитие космонавтики многим обязано именно военным амбициям и гонке вооружений. Вернер фон Браун, которого по праву называют отцом американской космонавтики, вошел в историю благодаря двум изобретениям: смертоносному оружию – немецкой управляемой ракете «Фау-2» и ракете-носителю «Сатурн-5», которая в конце концов позволила американцам высадиться на Луну. Неизвестно, знал ли фон Браун о Королёве, но точно с ним конкурировал. После успешного запуска советского спутника и первой неудачи американцев именно разработки фон Брауна позволили вывести на орбиту спутник и включили США в космическую гонку. Кстати, президент Дуайт Эйзенхауэр изначально возражал против того, чтобы немецкое оружие служило для запуска спутника на орбиту. Но, похоже, наука и техника оказались выше политики, и американский спутник полетел.

В Советском Союзе космические разработки тоже шли рука об руку с военными. Так, важным техническим рывком стало создание межконтинентальной баллистической ракеты. Этой идеей

инженеры озадачились в 50-е годы, для СССР создание так называемого «ракетно-ядерного щита» было одним из способов противостоять американской угрозе. Разработка многоступенчатых баллистических ракет позволила выйти в космос и решать новые задачи.

В СССР космические программы развивались благодаря таланту и настойчивости С.П. Королёва. Первым полетел в космос не созданный под руководством академика Келдыша полторатонный аппарат, содержащий множество научных приборов, а так называемый «ПС» – простейший спутник. Задачи он выполнял, можно сказать, идеологическую – закрепить первенство СССР в космосе, и символическую, ведь сигналы спутника могли принимать все радиолюбители мира. Так 4 октября 1957 года была открыта новая, космическая эра.

ИЗ ХИМИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ МЫ ВЫЖАЛИ ВСЕ, ЧТО МОГЛИ: ЕСЛИ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ЕГО, ПОЛЕТ ДО МАРСА ЗАЙМЕТ ПОРЯДКА 200 ДНЕЙ, А ЕЩЕ РАБОТА ТАМ И ПОЛЕТ ОБРАТНО. НЕВОЗМОЖНО СНАРЯДИТЬ КОРАБЛЬ ВСЕМ НЕОБХОДИМЫМ НА ТАКОЙ СРОК.

Советские многоступенчатые ракеты, самые мощные в мире, дали возможность запустить в космос тяжелые корабли, но если говорить о пилотируемой космонавтике, то задачей было не только запустить, но и успешно вернуть корабль. Так что параллельно велись изыскания в направлении разработки тормозных установок, систем управления, систем жизнеобеспечения. Результатом стало триумфальное «Поехали!» Юрия Гагарина. Сейчас сложно представить, какие чувства вызвало это событие! А ведь этот полет стал одновременно и осуществлением давней мечты человечества, и символом победы социализма, и просто удивительным актом мужества.

ПОЛИТЕХ: ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ КОСМОСА

Подводя итоги развития космонавтики, как это принято делать в юбилей, можно сказать, что главное достижение человечества в том, что люди научились жить и работать на околоземной орбите, это стало безопасным и почти рутинным, экипажи МКС сменяют один другой и космонавты летают на работу в штатном режиме. Но до сих пор человечеству не удалось улететь далеко от Земли. Мы по-прежнему кружим вокруг нее, а сейчас лишь заново прокладываем путь к Луне и лишь нацеливаемся на полеты к Марсу и Венере. Связано это с развитием техники. Из химического двигателя мы выжали все, что могли: если использовать его, полет до Марса займет порядка 200 дней, а еще работа там и полет обратно. Невозможно снарядить корабль всем необходимым на такой срок, да и в условиях космической радиации такой полет просто небезопасен. Так что пока не появится принципиально новый тип двигателя, маловероятно, что мы улетим дальше Марса. Однако хочется верить, что научные разработки и эксперименты уже скоро откроют нам и эти, и более дальние перспективы. И тогда мы встретимся с новыми тайнами за пределами Земли.

Развитию космических программ сейчас способствует не только международная конкуренция, научные и конструкторские разработки и государственная политика, но и тот факт, что уже выросло новое поколение ученых и конструкторов, взгляд которых на новые технологические перспективы отличается.

В 2020 году Политех включился в реализацию проекта, целью которого является стимулирование интереса школьников и студентов к науке, инновациям и предпринимательству. Конкурс «ИнтЭРА 2021» по направлению «Космические технологии» должен показать таланты студентов и молодых ученых. Ключевыми направлениями проекта стали искусственный интеллект, космические и морские технологии, технологии беспроводной связи, управление беспилотными аппаратами. Профессор Высшей школы прикладной физики и космических технологий СПбПУ Сергей Борисович Макаров говорит о том, как важно работать с талантливой молодежью: «Для успешной реализации космической программы необходимо, прежде всего, вовлечь в нее высокотехнологичные компании, создать пространство (коворкинг) внутри Политеха для работы с выпускниками «Сириуса» и вообще с талантливой молодежью, открыть преакселерационную программу по подготовке заявок на конкурс, разработать в университете и запустить на орбиту нано- и фемтоспутники, организовать стажировки на предприятиях-партнерах».



Ученые СПбПУ ведут много перспективных исследований, которые могут стать важными для космической программы. Это, к примеру, исследования в области гамма-астрономии, которая является одной из наиболее перспективных и малоизученных областей изучения процессов экстремального выделения энергии в источниках космического излучения. Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций (ИФНиТ) СПбПУ под руководством доктора физико-математических наук, профессора кафедры «Космические исследования» Александра Всеволодовича Блинова разработал новое поколение детекторов для регистрации гамма-излучения космических источников. На кафедре «Квантовая физика» разработан малогабаритный бортовой квантовый стандарт частоты для спутниковых систем. Кафедра «Телематика» и Институт компьютерных наук и технологий (ИКНТ) трудятся над разработкой сетевых технологий удаленного управления группировкой киберфизических объектов с борта пилотируемой орбитальной станции. В Политехническом университете также ведутся прикладные разработки, которые включены в российскую космическую программу. Так, инженеры СПбПУ планируют отправить четыре наноспутника в космос в 2021-2022 годах, в частности, для осуществления мониторинга различных акваторий.

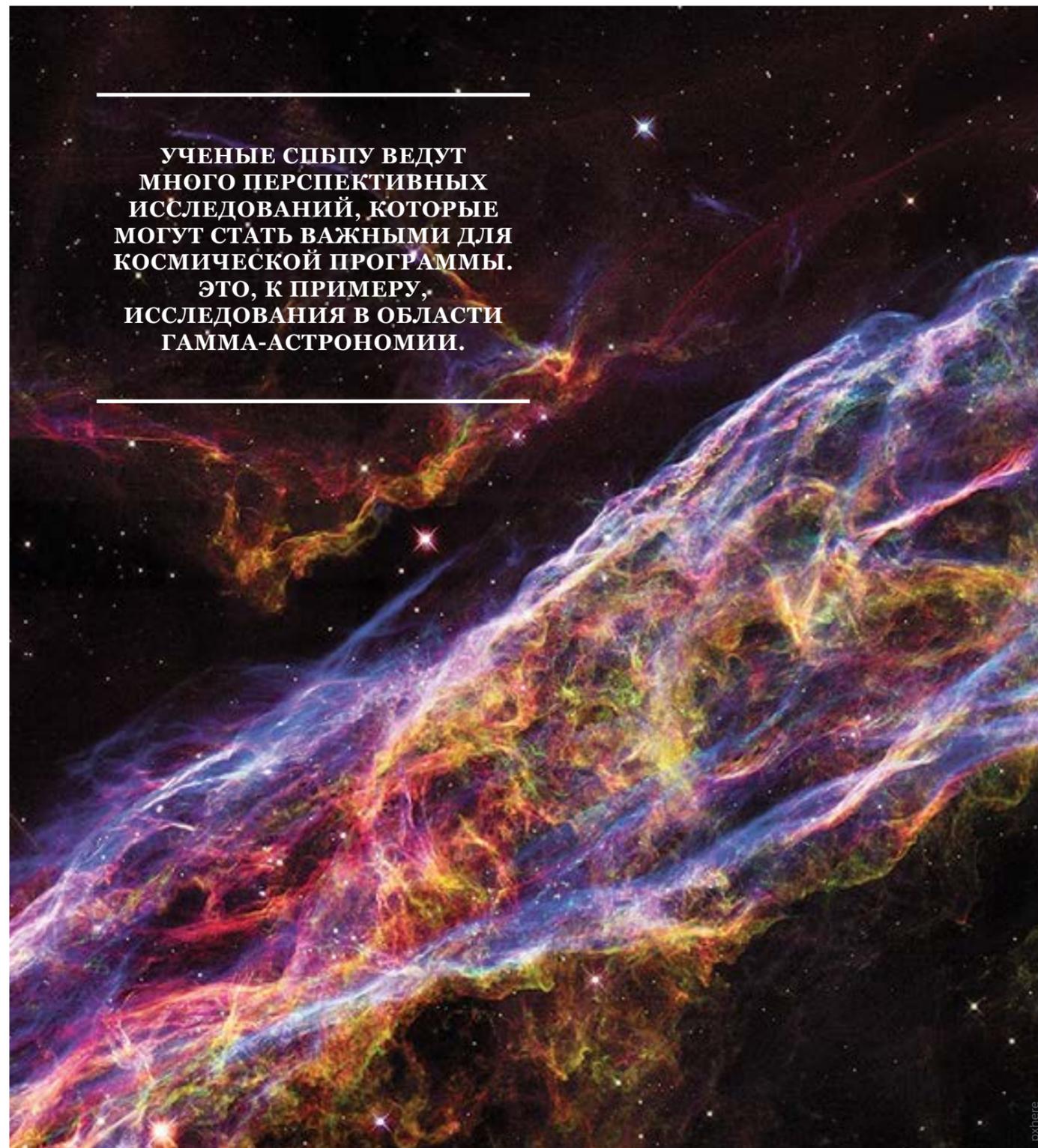
Эти и другие инновационные разработки позволяют говорить о том, что, несмотря на период стагнации в исследованиях космоса, сейчас российская космонавтика нацелена на развитие, а тесное сотрудничество образования и науки позволяет смотреть в будущее с оптимизмом.

Первым пилотируемым кораблем стал «Восток-1» – на таком отправился в космос Юрий Гагарин. Эти корабли разрабатывались ОКБ-1 под управлением С.П. Королёва. Особенность их в том, что корабль был малогабаритным – одноместным, а длительность полета – до семи суток. Уже в 1964 году в космос были отправлены многоместные корабли «Восход», причем внутри космонавты могли находиться без скафандров. А спустя всего год после первого полета «Восхода», 18 марта 1965 года, космонавты вышли в открытый космос.

Для США успехи советской космической программы стали серьезным вызовом. Вернер фон Браун убеждал и убедил президента Кеннеди в необходимости усиления лунной программы. Разработки ракеты «Сатурн-5» позволили американцам достичь Луны, правда, на пару лет позже, чем планировал Браун. 20 июля 1969 года корабль «Аполлон-11» совершил посадку на Луне, а фраза Нила Армстронга «Это всего один шаг для человека, но гигантский скачок для человечества» стала мемом того времени.

История покорения космоса не была историей одних лишь успехов. Для американцев чередой неудач оборачивались первые попытки запуска спутников, для СССР такой неудачей стала лунная программа, инженерам так и не удалось создать сверхтяжелый носитель для доставки космонавтов на Луну, все образцы потерпели аварии. 3 июля 1969 года, всего за пару недель до американцев, на космодроме Байконур взорвалась сразу после старта громадина-ракета Н-1, на которую возлагались надежды советской космонавтики. Она плашмя упала на стартовый ствол, разрушила и поворотную башню и даже подземные помещения. Но, пожалуй, самой серьезной была авария на Байконуре 24 октября 1960 года. Тогда при подготовке к запуску боевой межконтинентальной ракеты Р-16 произошел взрыв, унесший жизни более 70 человек, в том числе маршала Митрофана Неделина. По его имени эту катастрофу до сих пор называют «неделинской». Происшествие породило много слухов и мифов, впрочем, не только оно одно. Мифологизация космической отрасли была неизбежным следствием секретности работ, связанных с разработкой ракетно-космических систем. В условиях острого противостояния СССР и США во время холодной войны, в том числе в сфере идеологии,

**УЧЕНЫЕ СПЕШУ ВЕДУТ
МНОГО ПЕРСПЕКТИВНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ, КОТОРЫЕ
МОГУТ СТАТЬ ВАЖНЫМИ ДЛЯ
КОСМИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ.
ЭТО, К ПРИМЕРУ,
ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ
ГАММА-АСТРОНОМИИ.**



это привело к появлению различных фантастических теорий, которые многими стали восприниматься как истинные события.

Сейчас, в эпоху вседоступности информации, фантомов и интригующих теорий снова стало больше, но все же не так много, как во времена строгой секретности. Интернет, и правда, стал не только источником информации и общения, но и катализатором разнообразных мифов. Так что, читая очередные «космические байки» или «страшилки», стоит информацию перепроверить. Сегодняшние страшилки и байки, как и прежние, реагируют на реальные события в мире. Тем более что информации стало все-таки намного больше. Что же сейчас происходит на космической арене?

Россия, Китай, США – соревнование или соперничество?

Расстановку сил в космосе определяют сейчас три державы: США, Россия и Китай. Интересно, что космонавтика в Китае возникла примерно в то же время, что и в других странах – в 1957 году, а всего годом позже был построен китайский космодром Цзюцюань. Китайцы, начиная с 1970 года, запускали спутники, мирные и нет, развивали собственное ракетостроение, сотрудничали с СССР (не забываем о политическом режиме!). А вот китайские космонавты летают в космос только с 2003 года. Китай во многом следовал за СССР, но сегодня китайская космонавтика не просто вырывается вперед, но и делает самостоятельные открытия и исследования. Китайцы первыми посадили зонд на обратной стороне Луны, отправили экспедицию к Марсу (это происходит прямо сейчас), разрабатывают лунную программу и уделяют много внимания военному покорению космоса. По сути, усилия этих трех держав определяют то, что будет происходить в космосе в ближайшие 15–20 лет. Однако оценивать перспективы следует с осторожностью, сегодня и расстановка сил, и технологические инновации могут многое поменять.

В Америке основные усилия сосредоточены на разведывательных программах, а пилотируемая космонавтика все больше передается частному бизнесу. Это эффективная стратегия. Компания Илона Маска SpaceX очень много делает для развития пилотируемых программ. И даже если ничего не выйдет из заявленного им марсианского проекта, роль Маска в развитии космоса сегодня нельзя недооценивать. При этом Маск не только удачливый бизнесмен, но и талантливый конструктор. В отличие от многих, у него техническое образование, и в своей компании он является главным инженером. У Маска уже есть конкурент: основатель Amazon Джефф Безос представил стратегию своей космической программы Blue Origin, в которой он декларирует необходимость вернуться на Луну и покорить Солнечную систему. Как известно, конкуренция – лучший двигатель прогресса, так что, похоже, покорение космоса ожидает новый виток активности.

Илон Маск и Джефф Безос правы, для современной космонавтики наиболее важными сегодня становятся исследования, связанные с освоением Луны, Марса, Венеры. Можно увидеть, что и американцы, и китайцы направляют свой интерес к спутнику Земли и ближайшим планетам. И это не воплощение фантазий кинематографистов о переселении на Марс или жизни на Луне, за этим интересом стоит не фантазия и не абстрактная теория. Как поясняет академик Железняков, Луна – хорошая экспериментальная база для исследования глубокого космоса, технических испытаний, наблюдений. Например, астрофизическая лаборатория на обратной стороне Луны позволит заглянуть в космос дальше, чем мы могли до сих пор. Также Луна рассматривается как своеобразная «житница» для человечества: не исключено, что мы найдем некие природные ископаемые, и, возможно, когда ресурсы Земли иссякнут, именно Луна станет нам опорой. Поэтому достижения китайцев и амбиции американцев, действительно, важны, и именно поэтому наша страна тоже вновь говорит о возобновлении лунной программы. Сейчас, после 45-летнего перерыва возобновляется российская программа изучения Луны автономными космическими станциями. Возможно, в 2024–2025 годах появятся новые ракеты, новый пилотируемый корабль.



ВЫПУСКНИКИ ПОЛИТЕХА

В СПбПУ учились многие известные люди, чей вклад в развитие исследований космоса буквально неопределим.

Виктор Иванович Кузнецов – выдающийся ученый и конструктор в области прикладной механики и автоматического управления, один из первых создателей ракетно-космической техники в СССР. Гироскопические приборы и системы управления, в разработке которых он принял участие, стали базовыми при создании таких систем для ракетных и космических комплексов. Под руководством Кузнецова разработаны гироскопические командные приборы систем управления баллистических ракет Р-1, Р-2, Р-5, межконтинентальной баллистической ракеты Р-7, Р-14, Р-16, Р-36, УР-100 и их многочисленных модификаций, а также большого количества космических ракет-носителей и различных космических аппаратов. Именно гироскопы, разработанные Кузнецовым, стояли на ракетах, выведших в космос первый спутник Земли и космический ко-

рабль «Восток-1» с первым космонавтом Юрием Гагариным. Дважды Герой Социалистического Труда. Лауреат Ленинской премии.

Юрий Васильевич Кондратюк (настоящее имя – Александр Игнатьевич Шаргей) – советский ученый, один из основоположников теоретической космонавтики. Считается, что именно он в начале XX века рассчитал оптимальную траекторию полета к Луне, и эти расчеты в дальнейшем были использованы NASA в лунной программе «Аполлон».

Илья Давыдович Усыскин – физик, участник полета на стратостате «Осоавиахим-1» (ОАХ-1). Стратонавтам ОАХ-1 предстояло получить новые сведения о физическом состоянии верхних слоев атмосферы, химическом составе воздуха, природе космических лучей, интенсивности космического излучения, величине напряженности магнитного поля Земли в стратосфере. Стратостат достиг рекордной высоты – 21 946 м, однако полет завершился катастрофой. Все три члена экипажа погибли. Илья Давыдович Усыскин посмертно награжден орденом Ленина.

Марк Лазаревич Галлай – летчик-испытатель, Герой СССР. Всего за годы работы освоил 125 типов летательных аппаратов. В 1960 году стал тем самым человеком, кто готовил первый космический отряд для полета в космос. Марк Галлай, осуществляя индивидуальные занятия, очень тщательно разбирал все вводные. Когда Юрий Гагарин вернулся из первого полета, он сказал Марку Галлаю: «Марк Лазаревич, все было в точности так, как вы мне расписали. Будто бы вы там уже побывали до меня». Знаменитое Гагаринское «Поехали» по одной из версий также связано с М. Галлаем. Марк Лазаревич перед пуском тренажера спрашивал будущих космонавтов – «К полету готов? Ну, тогда – поехали!».

Анатолий Аркадьевич Благодоров – крупный специалист в области механики, автоматизированных систем, артиллерийского и стрелкового вооружения, ракетной и космической техники. Вместе с С.П. Королёвым и В.И. Яздовским руководил запуском первой специальной вертикально стартующей ракеты с исследовательской аппаратурой и двумя животными на борту (1951 г.). В 1960-м

группе ученых и инженеров, в их числе – академику Благодорову, за подготовку и осуществление запусков высотных геофизических и метеорологических ракет присуждена высшая научная награда – Ленинская премия. Начиная с запуска первого спутника Земли, Благодоров был неутомимым пропагандистом космических достижений нашей страны. Был представителем от СССР в «КОСПАР» – Комитете по космическим исследованиям (в него входили представители 36 стран), а с 1959 г. – вице-президентом этой международной организации.

Тарас Николаевич Соколов – специалист в области автоматизированных систем управления. Под руководством Т. Н. Соколова была создана система измерения траекторных параметров искусственных спутников Земли и пилотируемых аппаратов; разработана оригинальная элементная база отличающаяся исключительной надёжностью (база послужила основой создания цифровых вычислительных машин «Кварц», «Темп» и др. для указанной системы). Организатор, руководитель и главный конструктор Опытного-конструкторского бюро при ЛПИ

(ОКБ «Импульс»), главный конструктор автоматизированной системы управления Ракетными войсками стратегического назначения (1961–1979). Руководил работами по созданию научной, технической, технологической, производственной, организационной базы и первого поколения основной автоматизированной системы боевого управления РВСН (1969).

Евгений Иванович Юревич – ученый в области робототехники и систем управления, основатель и первый директор Центрального научно-исследовательского института робототехники и технической кибернетики (ЦНИИ РТК), участвовал в работах по космической тематике. Под его руководством созданы десятки типов мобильных роботов для работы в экстремальных условиях. В частности, Е.И. Юревич руководил работами по созданию высотомера для автоматических межпланетных станций серии «Луна» (система «Квант»), системы ручной стыковки пилотируемых кораблей (система «АРС»), системы бортовых манипуляторов орбитального корабля «Буря» (система «Аист») и мн. др.

Семён Ариевич Косберг – инженер, эксперт в области авиационных и ракетных двигателей. После войны Семён Косберг вместе с Сергеем Королёвым занимались разработкой жидкостных ракетных двигателей. За выдающиеся заслуги в обеспечении первого в мире полета человека в космическое пространство Косбергу присвоено звание Героя Социалистического Труда. После в КБ Косберга спроектировали и произвели новую более мощную ракету, которая позволила совершить полет космических зондов к Марсу и Венере, и орбитальных космических кораблей с двумя и тремя людьми. Эти двигатели позволили осуществить первый выход человека в открытый космос и стыковку на орбите.

Эти и многие другие выпускники Политеха были авторами самых передовых и инновационных идей, которые стремительно двигали отечественную науку вперед и открывали для нас космическое пространство. Во многом благодаря открытиям этих выдающихся людей мы стали первыми в космосе.



Александр Железняков

«МЫ БЫЛИ ПЕРВЫМИ И ОСТАНЕМСЯ ИМИ НАВСЕГДА»

Академик Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, выпускник Политехнического университета, инженер и писатель рассуждает об освоении космического пространства:

«Стремление преодолеть земное притяжение и отправиться к звездам у человека появилось давно. Я бы даже сказал, что оно было у людей всегда. Об этом думали еще наши далекие пращуры, жившие в пещерах. Со страхом и восхищением взирали они на птиц, летевших навстречу солнцу, и желали отправиться вслед за ними. Судя по всему, желание побывать в других мирах (даже не зная о существовании этих самых миров) было у них столь сильным, что последующие поколения впитали его буквально с молоком матери.

Так родилась мечта о полетах в космос.

Однако потребовалось несколько тысяч лет, чтобы человек обрел необходимые знания и подошел к тому рубежу, когда мечта стала приобретать вполне определенные контуры. И еще века прошли, прежде чем эти очертания стали воплощаться в конкретные идеи и замыслы. И всего несколько десятилетий ушло на то, чтобы грезы наших предков стали реальностью нашей жизни.

Мы бросили вызов природе и вырвались на просторы Вселенной, оставили свои следы «на пыльных тропинках далеких планет» (пусть только одной, пусть не такой далекой, но все же!), открыли для себя будущее, без конца и без края.

Космическая эра человечества началась 4 октября 1957 года в 22 часа 28 минут 34 секунды по московскому времени, когда с затерянного в казахстанских степях полигона Тюра-Там (ныне всемирно известного как космодром Байконур) стартовала межконтинентальная баллистическая ракета Р-7 с первым в мире искусственным спутником Земли. Через несколько десятков минут с его борта на Землю ушли знаменитые ныне на весь мир сигналы «бип-бип-бип». А еще через несколько часов «мир взорвался», мгновенно осознав, что произошло нечто невероятное, фантастическое, что история сделала выбор, разделив время на то, что было ДО и что наступит ПОСЛЕ.

Прорыв в космос был столь бурным, что уже через месяц на околоземную орбиту отправили первое живое существо, собаку Лайку. К сожалению, для нее это было путешествие в один конец – на тот момент мы еще не умели что-либо возвращать на Землю из космоса. Но эта жертва была не напрасной, как не напрасными были и другие жертвы космической эры (а они, увы, были).

В мае 1958 года на околоземную орбиту отправился третий советский спутник, ставший первой в мире космической обсерваторией. Потом была первая искусственная планета «Мечта», «Луна-2», упавшая на поверхность Луны, первые фотографии обратной, не доступной для человеческого взора стороны Луны, первые аппараты, вернувшиеся с орбиты на родную планету, первые автоматические станции, стартовавшие в сторону Венеры и Марса, и, конечно

же, первый человек, побывавший в космосе. Наш человек! Наш Юрий Гагарин!

В конце 1950-х – начале 1960-х годов почти все, что происходило в космосе, сопровождалось эпитетом «первый». Впрочем, это неудивительно. Так бывает всегда, когда происходит какая-либо революция. Революция в умах, в сердцах, в душах, в науке, в технике, в жизни.

Удивительно и отраднo другое: большинство этих пионерских достижений появились благодаря отечественным ученым и инженерам. Мы стремились быть первыми. И были первыми. И, как сказал герой фильма «Укрощение огня», останемся ими навсегда.

Темпы освоения космического пространства в первое десятилетие космической эры, действительно, впечатляют и поражают. Каждый новый старт был настоящим гигантским скачком, поражающим воображение и заставлявшим мечтать о новых вершинах, которые, как тогда казалось, будут покорены в самое ближайшее время. Например, главный конструктор ракетно-космических систем Сергей Павлович Королёв вполне серьезно говорил о том, что «скоро люди будут летать в космос по профсоюзным путевкам».

По профсоюзным или каким-либо другим, но...

В марте 1966 года в Вашингтоне прошел семинар, посвященный прогнозу на будущее. Несколько сот специалистов, в числе которых было два десятка лауреатов Нобелевской премии, попытались взглянуть на то, какой будет космическая техника через 35 лет, в 2001 году. Чего там только не напропорчили мэтры науки и техники: и огромные орбитальные заводы, и лунные базы, и регулярные полеты на Марс и обратно, и ядерные двигатели, и массовый космический туризм, и многое другое.

Согласно их предположениям, стоимость трехдневного путешествия на околоземную орбиту должна была составить всего 10 тысяч долларов, а полет на Луну и обратно – чуть более 100 тысяч долларов. Сравните с сегодняшней стоимостью десятидневного полета в космос для «богатеньких Буратино» – более 50 миллионов долларов, и вы поймете, насколько ошиблись участники семинара в своих прогнозах. И не только в том, что касается туризма. Но и в других вопросах.



Увы, но пришли другие времена. Отнюдь не романтические, а, скорее, прагматичные. Мы по-прежнему обживаем лишь околоземную орбиту. А полеты к другим планетам – исключение из правил, уникальные и яркие события, привносящие много нового в науку и технику, но не делающие погоды.

Обидно? Да, обидно.

Если вчера пели, что «мы – дети Галактики», то сегодня большинство говорит, что у нас есть много иных дел на Земле и наше желание (и наши возможности) летать в космос не более, чем ошибка, которую сделали предыдущие поколения. А все наши достижения в космонавтике – это лишь иллюзия.

С этим можно соглашаться или не соглашаться. Можно спорить или безоговорочно принять слова на веру. Но давайте признаемся, что это мнение сегодняшнего поколения. Уверен, что лет через 20-30 человечество будет рассуждать иначе. Как именно? Поживем – увидим.

Тем не менее космонавтика была и остается одной из немногих сфер деятельности людей, которая обречена на постоянное к себе внимание. Так было, так есть и так будет. Хотим мы этого или не хотим. Сопровитвляемся мы этому или способствуем всеобщему интересу. То, что сегодня темпы нашего проникновения в глубины Вселенной замедлились, совсем не означает изменение психологии человека. Или, не дай бог, его деградации как существа разумного. Просто нам приходится «жить по средствам». В тех рамках, которые определены природой, а не тех, которые мы сами для себя стремимся установить.

Пока только так. Как бы нам не хотелось воплотить в реальность мечты наших предков. Как бы нам не хотелось увидеть своими глазами иные миры. Как бы высока и притягательна не была наша конечная цель. Все это, несомненно, будет. Но не нам с вами это доведется увидеть. Нам бы понять то, что уже было...

Хорошо, что сегодня, когда мир стремительно меняется, когда земные проблемы часто заслоняют собой проблемы космические, мы не забываем о своем славном прошлом. Но хотелось бы видеть и будущее. Или, по крайней мере, знать, что оно есть. И что оно не менее значимо, чем то, что уже произошло. **L**

ПРЕОДОЛЕНИЕ БУДУЩЕГО: ГОТОВНОСТЬ К БЫСТРЫМ ИЗМЕНЕНИЯМ

Наука о мегатрендах, футурология, политическое прогнозирование, социотехнологическое воображаемое, управленческий консалтинг – все эти темы и направления научного поиска чрезвычайно популярны сегодня, все они изучают будущее. Дмитрий Попов рассказывает об одном из ключевых вопросов социальной философии – вопросе о будущем.

Начало 2021 года оказалось по-настоящему богатым на общественно-политические дискуссии и вопросы о сути происходящих событий, новых вызовах и уроках 2020 года. Очередное обсуждение проблем «исторического выбора России» и очередного «Заката Европы» (Похищение Европы 2.0, Константин Богомолов, 2021) или обсуждение не менее острых тем в продолжение вечного спора физиков и лириков, сторонников сциентизма и их мнимых или реальных противников (What Attacks on Science Get Wrong, Andrew Jewett, 2020). Большие дискуссии в научном сообществе или среди «прогрессивной общественности», с одной стороны, свидетельствуют о наличии больших вызовов, с другой – являются реакцией на недостаток современных форм познания окружающего мира,

кризис настоящего и неуверенность в будущем. Довольно часто эти споры приводят к глубокому переосмыслению действительности, к выработке новых истин и подходов, к формированию иного взгляда и иного будущего. Почему бы и нет, ведь в споре рождается истина, а дискуссия, даже основанная на конфликте ценностей, в любом случае дает возможность узнать нечто новое и интересное. Но в последнее время многие разговоры о будущем сводятся к вопросу о страхе будущего, настоящей футурофобии.

Данные дискуссии так или иначе подводят нас к разговору об одном из наиболее интересных вопросов в жизни каждого человека и социального института – вопросу о будущем, личном или институциональном, в этом удивительном, меняющемся мире.

Вопрос о будущем – один из ключевых вопросов социальной философии, и во многом определяется наличием треугольника выбора между прошлым, настоящим и будущим. Но именно прогнозирование, аналитические навыки и способность к сравнению – ожидание/реальность – делает нас людьми, порождает поиск нового, стремление к прогрессу и развитию, анализ действий и страх. Категория будущего выступает как одна из наиболее интересных тем целого комплекса социально-гуманитарных наук. Одни лишь названия тем и направлений научного поиска внушают уверенность в популярности данной проблематики: наука о мегатрендах, футурология, политическое прогнозирование, социотехнологическое воображаемое, управленческий консалтинг. Будущее – это вопрос, с которым сталкивается каждый человек и каждый институт. За вопросы будущего отвечает не только наука, но и религия, не только рациональное познание и самоанализ, но и эмоциональные переживания, мечтания. Но в целом мы знаем о будущем, таком желанном и таком пугающем, не так уж и много, а если подумать и взглянуть на прошедший год – то совсем чуть-чуть. Будущее представляется нам по-разному, от мечтаний о прогрессе и идеальном мире утопий, до мрачных эсхатологических картин ужасов грядущей экологической или технологической катастрофы, или послед-

ней войны. Каждый из нас задумывается о своем будущем, будущем семьи, профессиональной деятельности, научной области и даже судьбах Родины и человечества. Эти рассуждения могут стать основой для пира духа, или, наоборот, основой для депрессии, стать началом большой игры и приключения, или пониманием тщетности суеты и проигрыша в конкурентной борьбе. И чем дальше мы смотрим в будущее, тем сложнее нам становится его предсказать. Именно поэтому в современном мире вопросам будущего уделяется огромное внимание, да и вся наша жизнь, по сути, превращается в своеобразную борьбу за будущее – от рождения детей и выбора образовательной траектории до поиска себя в этом мире вечной гонки со временем на основе личной конкурентоспособности и картины желаемого будущего.

Готовность к будущему во многом видится в готовности к быстрым изменениям, способности к преодолению кризисов, в обладании знаниями, умениями и навыками адаптации, обучения и рациональном осмыслении окружающей реальности.

Взгляд на будущее как на совокупность глобальных процессов характерен для использования все более популярного термина «мегатренды» (Джон Нейсбит, Мегатренды, 1982) – крупномасштабные, долгосрочные процессы мирового развития, определяющие качественное содержание текущего этапа эволюции. Мегатренды привлекают не только любителей будущего, но и глобальных игроков международных отношений. Рассуждения о глобализации, технологической революции, демографических процессах, изменениях климата и роли женщин уже давно перешагнули рамки общественных и научных дискуссий и стали мощнейшими инструментами международных отношений и мировой политики. Примерами подобных проектов видения будущего применительно к 2035 году могут служить аналитические доклады американской службы разведки – Global Trends: The Paradox of Progress (NIC, 2017) и Европейского парламента – Global Trends to 2035 (EPRS, 2017). Многостраничные исследования представляют собой анализ тенденций начала XXI века, в которых описываются ключевые моменты, способные повлиять на развитие всего человечества, отдельных регионов и стран, глобальных социальных движений и отраслей глобальной экономики.

Насколько оказались сбывшимися указанные прогнозы? Критики говорят, что государственные деятели XXI века в вопросах будущего играют с судьбой по примеру своих исторических предшественников, обращавшихся к жрецам и предсказателям, искавшим откровения в текстах Сивиллы и Нострадамуса или явлениях природы. Но можно сказать и о том, что ведущие современные государства и надгосударственные объединения обладают мощнейшими возможностями по аналитической деятельности, а прогресс, связанный с обработкой больших данных (big data), и подключение специализированных аналитических центров (Think tanks), позволяет строить образы желаемого будущего и интерпретировать полученный результат в интересах заказчиков исследований. Утверждения о том, что никто не смог предсказать распад Советского Союза или ситуацию с коронавирусом в 2020 году, не опровергает наличие кризисных явлений, которые привели к подобному сценарию, и более того, сам факт наличия подобных сценариев полезнее отсутствия какой-либо интерпретации будущего в условиях глобальной нестабильности.

Обратите внимание на подобные глобальные исследования, подготовленные государствами, аналитическими центрами, международными институтами глобальной экономики и развития, ведущими консалтинговыми гигантами или международными рейтинговыми агентствами. Сам факт планирования будущего позволяет говорить о наличии планов и перспектив, места и роли указанных институтов и, самое главное, образа желаемого и достижимого будущего.

Иммануил Валлерстайн и Рэндалл Коллинз (Есть ли будущее у капитализма, 2015), затронули вопрос о будущем с точки зрения построения модели развития человечества и, в первую очередь, глобального Запада как в политической, так и в экономической сфере. Данная работа продолжает традицию недоверия к позитивному восприятию мира будущего, имеющую длительную историо-



pxhere

**ВЕДУЩИЕ СОВРЕМЕННЫЕ
ГОСУДАРСТВА И
НАДГОСУДАРСТВЕННЫЕ
ОБЪЕДИНЕНИЯ ОБЛАДАЮТ
МОЩНЕЙШИМИ
ВОЗМОЖНОСТЯМИ
ПО АНАЛИТИЧЕСКОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, А
ПРОГРЕСС, СВЯЗАННЫЙ С
ОБРАБОТКОЙ БОЛЬШИХ
ДАННЫХ (BIG DATA),
И ПОДКЛЮЧЕНИЕ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ
АНАЛИТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ
(THINK TANKS), ПОЗВОЛЯЕТ
СТРОИТЬ ОБРАЗЫ
ЖЕЛАЕМОГО БУДУЩЕГО
И ИНТЕРПРЕТИРОВАТЬ
ПОЛУЧЕННЫЙ РЕЗУЛЬТАТ
В ИНТЕРЕСАХ ЗАКАЗЧИКОВ
ИССЛЕДОВАНИЙ.**

графическую традицию прошлого века (от Освальда Шпенглера до Сэмюэля Хантингтона. По прогнозам экономистов, социологов, международников, глобальный мир в XXI веке войдет в фазу нестабильности и поиска выхода из многочисленных кризисов: экономических, международных, социальных, демографических. Прогресс, связанный с достижениями от внедрения новых технологий, ведет к фундаментальной коррекции социально-экономической структуры общества. Роботизация и компьютеризация экономики, внедрение новых технологий и нейронных сетей в производстве, управлении и сфере услуг не просто повышают эффективность производства, но и помещают в зону риска до половины трудоспособного населения ведущих развитых стран. Мы являемся свидетелями, когда человеческий труд замещается в самых разнообразных производственных процессах. Интересно, что вопрос о сжатии рынка труда на основе экономического развития и технологического прогресса не раз приводил к коренным изменениям социальной структуры общества и ключевым образом влиял на политические отношения. Из исторических примеров мы можем вспомнить: Англию XVI-XVII веков, где «овцы пожрали людей» (Огораживание),

МНОГИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ ПРОВОДЯТ АНАЛОГИЮ СОВРЕМЕННЫХ НАМ И БУДУЩИХ ПРОЦЕССОВ НА РЫНКЕ ТРУДА И ВОЗМОЖНЫХ ТРУДОВЫХ КОНФЛИКТОВ БУДУЩЕГО С ДВИЖЕНИЕМ ЛУДДИТОВ (РАЗРУШИТЕЛЕЙ МАШИН), КОТОРОЕ СТАЛО ОТВЕТОМ НА ЗАМЕНУ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ТРУДА ПЕРВЫМИ МАССОВЫМИ ОБРАЗЦАМИ МЕХАНИЧЕСКИХ СТАНКОВ И СТРАХОМ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ РЕМЕСЛЕННИКОВ ПЕРЕД ПОТЕРЕЙ РАБОЧЕГО МЕСТА, СНИЖЕНИЕМ ОПЛАТЫ ТРУДА И ЗАМЕНЫ НА БОЛЕЕ ДЕШЕВЫЙ ТРУД НЕКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ВЫХОДЦЕВ ИЗ ДЕРЕВНИ (В НАШЕМ СЛУЧАЕ – ГЛОБАЛЬНОЙ ИЛИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ).

а изобретение печатного станка стало базой для процессов Реформации, Просвещения, революций, национальных движений и создания политических идеологий. Многие исследователи проводят аналогию современных нам и будущих процессов на рынке труда и возможных трудовых конфликтов будущего с движением луддитов (разрушителей машин), которое стало ответом на замену человеческого труда первыми массовыми образцами механических станков и страхом квалифицированных ремесленников перед потерей рабочего места, снижением



оплаты труда и замены на более дешевый труд неквалифицированных выходцев из деревни (в нашем случае – глобальной или роботизированной). Чем не картина ожидаемого будущего в докладах на сессиях и разговорах в кулуарах экономических форумов Давоса, Санкт-Петербурга, Нью-Йорка? По итогам 2020 года, коренных изменений, связанных с пандемией и продолжающимся кризисом, в самое ближайшее время мы увидим новые публикации со стороны государств и центров аналитических исследований, посвященные новому рынку труда и новой экономике.

Готовы ли простые люди ответить на вызов со стороны строителей будущего, будь то гиганты цифровой индустрии или финансового сектора? Ответ на вызовы цифрового мира со стороны цифровой улицы уже виден в виде новых социальных движений, будь то совместная деятельность мелких инвесторов в самой несоциальной сфере – финансовой, например события начала этого года на американской фондовой бирже (пользователи онлайн-платформы Reddit решили наказать инвестфонды, январь 2021), или, наоборот, призывы к отписке в социальных сетях от лидеров мнений (призыв «Есть богатых» в социальной сети TikTok, февраль 2021). Подобные социальные движения, основанные на борьбе с предложенным настоящим, не являются чем-то новым, ведь борьба за социально-приемлемое будущее является вполне исторической, будь то религиозные движения древнего мира и античности, социально-религиозные движения Средневековья или политические движения Нового и Новейшего времени. Борьба за будущее четко прослеживается в религиозных движениях, политических идеологиях и неполитических движениях XX и XXI века, будь то глобальное экологическое движение, движения антиглобалистов или феминистическое, социальные и политические движения по всему миру.

Вопросы политического развития и модернизации (то есть политического будущего) и несогласие с будущим, предложенным политическими элитами населению (в первую очередь молодому поколению), играют заметную роль в политических процессах уже более десятилетия. Как примеры – «Арабская весна» (2010), современные нам политические процессы на постсоветском пространстве в России, кризисные события в США (BLM) и Европе (Франция, Желтые жилеты). С самого начала использования в научной литературе, публицистике и политической деятельности понятия «будущее» выявилась его теснейшая связь с такими категориями, как политическое развитие, политические режимы, политическая культура, демократизация, научно-технический прогресс, социальная и классовая стратификация. Теория и практика модернизации, особенно в условиях догоняющего или кризисного развития, выставляла высокие требования к эффективной политике, развитой экономике, сочетаемости культурных практик ради достижения конкурентоспособности политического режима и его выживания в будущем.

Несоответствие образа желаемого будущего реальности служит основой для политических конфликтов и кризисов, приводит к политическим реформам или революциям. В глобальном масштабе политическая борьба за будущее разворачивается на основе ценностей глобального Запада и предложений на рынке будущего со стороны незападных обществ в локальном и региональном масштабах. В основе предложений лежат



ОТВЕТ НА ВЫЗОВЫ ЦИФРОВОГО МИРА СО СТОРОНЫ ЦИФРОВОЙ УЛИЦЫ УЖЕ ВИДЕН В ВИДЕ НОВЫХ СОЦИАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ, БУДЬ ТО СОВМЕСТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МЕЛКИХ ИНВЕТОРОВ В САМОЙ НЕСОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЕ – ФИНАНСОВОЙ, НАПРИМЕР СОБЫТИЯ НАЧАЛА ЭТОГО ГОДА НА АМЕРИКАНСКОЙ ФОНДОВОЙ БИРЖЕ (ПОЛЬЗОВАТЕЛИ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМЫ REDDIT РЕШИЛИ НАКАЗАТЬ ИНВЕСТФОНДЫ, ЯНВАРЬ 2021), ИЛИ, НАОБОРОТ, ПРИЗЫВЫ К ОТПИСКЕ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ ОТ ЛИДЕРОВ МНЕНИЙ (ПРИЗЫВ «ЕСТЬ БОГАТЫХ» В СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ ТИКТОК, ФЕВРАЛЬ 2021).

глобальные ценности и подходы к их трактовке, определению путей достижения и предлагаемых идеальных образов жизни. В условиях Глобальной информационной сети именно возможность создания контента, его распространения и продвижения определяет силу и мощь современных государств, а значит, и их влияние на население в масштабах всего человечества или отдельных целевых групп. Ставкой в этой игре выступает не только глобальное лидерство, но и получение поддержки со стороны наиболее ценных групп, общественное признание и формирование общественного мнения. Будущее государств, обществ и институтов определяют во многом их легитимность и вера людей в возможности успешной самореализации в предлагаемой данными социальными институтами картине планируемого мира и его совпадения с нашими мечтами.

Что может рассказать нам больше о будущем, чем наши собственные мечты о нем? Но интересный вопрос, готовы ли мы сами ответить на задачу простого социального планирования – будь то прогноз на три месяца или год, или три года (обычный горизонт планирования личного будущего). В условиях, когда меняется сама ткань мироздания, вопрос об индивидуальном будущем важен, как никогда. **L**

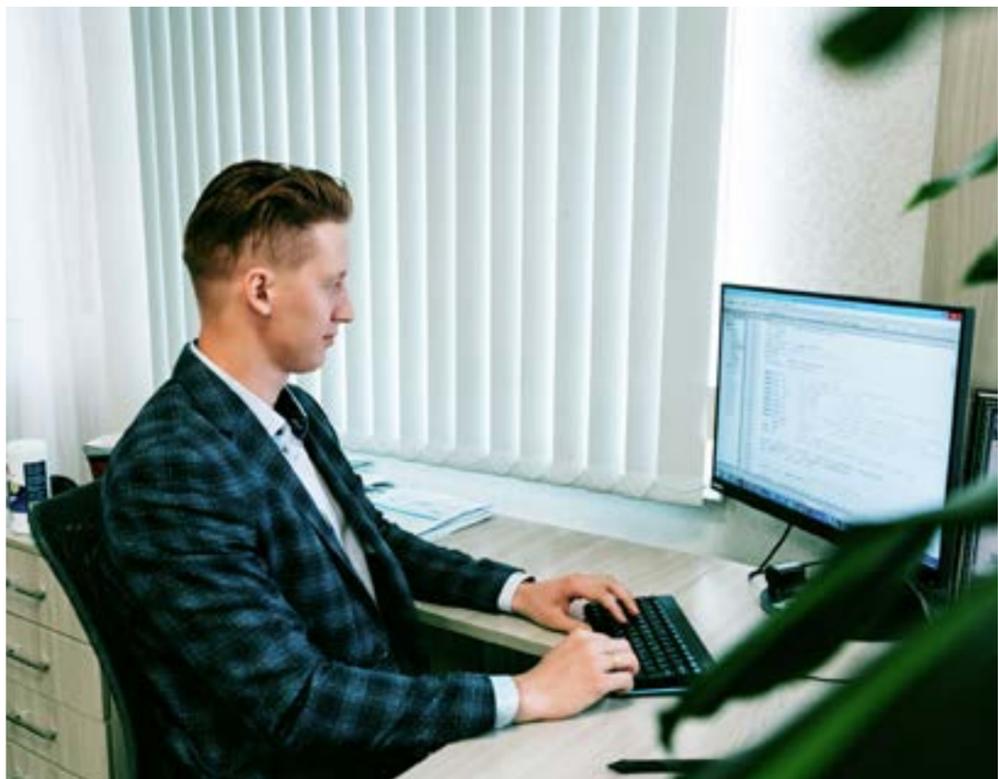
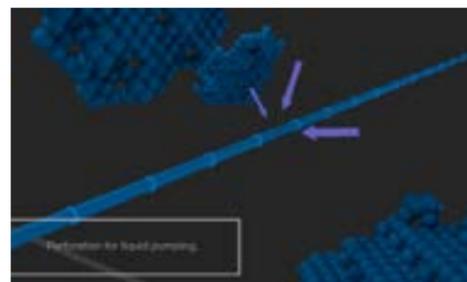
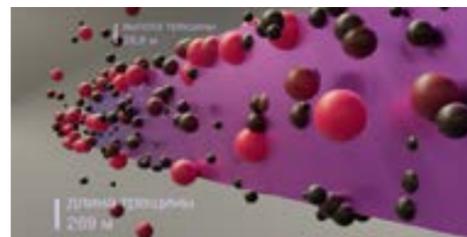
Научно-образовательный центр «Газпромнефть-Политех»

Научно-образовательный центр (НОЦ) «Газпромнефть-Политех» – один из ведущих инновационных центров СПбПУ. Образован в 2014 году в ходе сотрудничества Высшей школы теоретической механики и Научно-Технического Центра «Газпром нефти».

Сегодня центр является связующим звеном между Политехническим университетом и ПАО «Газпром нефть». Цели и задачи НОЦ заключаются в научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе, связанной с моделированием различных процессов в области нефтегазодобычи и разработкой программных и численных решений для нефте-газовой отрасли. В части образовательной деятельности НОЦ «Газпромнефть-Политех» подготавливает высококвалифицированных специалистов в рамках совместной с ПАО «Газпром нефть» магистерской программы «Математическое моделирование процессов нефтегазодобычи».

КОМАНДА НОЦ «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ПОЛИТЕХ» ВЫПОЛНЯЕТ РАБОТЫ ПО:

- моделированию процессов бурения
- моделированию гидроразрыва пласта
- моделированию механических свойств керна
- моделированию микросейсмике
- моделированию фильтрации
- машинному обучению
- моделированию транспорта нефти и газа
- наземному обустройству месторождений



КОНТАКТЫ:
hstm@spbstu.ru,
gpn.spbstu.ru



Эндаумент-фонд СПбПУ существует с 2012 года. За это время мы поддержали более 50 проектов, в том числе и направленные на развитие научно-исследовательской деятельности студентов и преподавателей Политеха.

Свой вклад в развитие Фонда внесли более 500 благотворителей. У вас тоже есть возможность стать меценатом.

Впишите свое имя в историю Политеха!

