

В мире науки

Спецвыпуск
www.sci-ru.org
8 2016



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



РЕСУРСЫ
ДЛЯ
БУДУЩЕГО



Темы спецвыпуска

ВВЕДЕНИЕ

Томский политехнический университет: производство пользы 2

Ректор ТПУ **Петр Чубик** о том, что ресурсоэффективность — это не термин, а мировоззрение

АРКТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сокровища шельфа 8

Наталья Лескова

Наступили времена, когда человечество вплотную подступило к освоению Арктики, а заодно столкнулось с целым рядом опасностей. О передовых комплексных исследованиях в российском секторе Арктики рассказывает первый проректор ТПУ профессор **Алексей Мазуров**

КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Земля в иллюминаторе 14

Валерий Чумаков

В томском Институте физики прочности и материаловедения СО РАН распечатывают на 3D-принтере спутники и создают не имеющее аналогов защитное покрытие для иллюминаторов

НЕФТЕДОБЫЧА

Как извлечь неизвлекаемое 22

Наталья Лескова

Западная Сибирь лидирует по количеству трудноизвлекаемых запасов нефти. Какие научные и технологические чудеса нужны для добычи этих богатств, объясняет директор Института природных ресурсов ТПУ **Андрей Дмитриев**

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Потому что без воды... 28

Наталья Лескова

Здоровье человечества напрямую зависит от того, какую воду оно пьет. Как, не сворачивая с пути научно-технического развития, сделать жизненно необходимую жидкость чистой и безопасной для здоровья?

ЭНЕРГЕТИКА

Экологичная и эффективная энергетика уже сегодня 34

Наталья Лескова

Можно ли создать новые экологически чистые и в то же время эффективные энергетические технологии, мы выяснили у директора Энергетического института ТПУ **Валерия Завьялова**

ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Территория тория 40

Валерий Чумаков

О важной роли ториевого топлива в энергетике будущего рассказывает профессор Физико-технического института ТПУ **Игорь Шаманин**



РОБОТОТЕХНИКА

Вкалывают роботы — счастлив человек 48

Валерий Чумаков

Доцент Института кибернетики ТПУ **Дмитрий Сонькин** — о том, какой смысл томские ученые вкладывают в понятие «робототехника»

ПРОМЫШЛЕННАЯ ТОМОГРАФИЯ

Увидеть то, что скрыто 54

Наталья Лескова

Чтобы предотвратить грандиозные аварии из-за крошечных незаметных дефектов, разработаны методы промышленной томографии. О них наша беседа с директором Института неразрушающего контроля **Валерием Бороковым**

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Университет редкостей 58

Валерий Чумаков

Томск — сердце региона, известного богатейшими запасами редких элементов. О достижениях ТПУ в деле переработки и использования важнейших из них — проректор по научной работе и инновациям профессор **Александр Дьяченко**

ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА

Мирный атом поставит диагноз и вылечит 66

Наталья Лескова

Ядерные технологии в ТПУ относятся к приоритетным направлениям исследований. Особая гордость — собственный ядерный реактор, в котором производятся оригинальные радиофармпрепараты

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Язык до Томска доведет 72

Валерий Чумаков

В недавно созданном центре RASA при ТПУ работают ведущие специалисты из самых авторитетных вузов и лабораторий мира. Смысл и цель деятельности центра разьясняет заместитель проректора по научной работе и инновациям **Роман Оствальд**



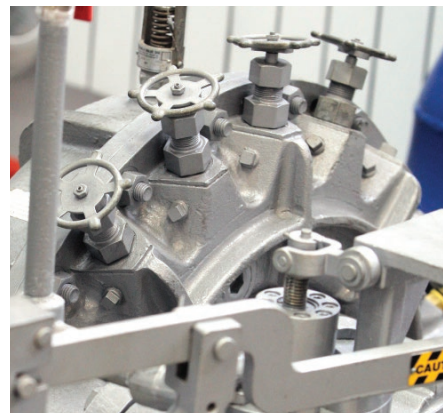
Важные коллеги, дорогие друзья! Нынешний год — особый для Томского политехнического университета. Прежде всего, год юбилейный — недавно мы все отметили 120-летие этого старейшего в зауральской части страны технического вуза. Созданный по инициативе великого химика Д.И. Менделеева и выдающегося государственного деятеля С.Ю. Витте институт за все годы своего существования подготовил блестящую плеяду ученых, конструкторов, инженеров, известных всему миру. Сегодня ТПУ — один из самых динамично развивающихся вузов России. Присвоение ему в 2009 г. статуса научно-исследовательского университета придало мощный импульс и фундаментальным исследованиям, и прикладным разработкам. Университет уверенно продвигается в мировых рейтингах и ставит перед собой амбициозные задачи. Поднят в космос спутник «Томск-ТПУ-120», ставший первым российским космическим аппаратом, созданным с использованием 3D-технологий студентами и сотрудниками ТПУ. Российская академия наук плодотворно сотрудничает с Томским политехническим университетом. В сентябре во время Международного форума по ресурсоэффективности нами совместно проводится многообещающая научная акция — Сибирская академическая неделя. Наша цель — организовать научные междисциплинарные команды из молодых ученых страны под руководством ведущих академиков РАН. Молодым ученым предстоит создать уникальные проекты в областях зеленой энергетики, робототехники и искусственного интеллекта, рационального использования природных ресурсов, других прорывных направлениях. Томский политехнический университет в этом смысле — пример для многих и по количеству талантливых молодых ученых, и по наличию инновационных направлений. Доказательство тому — спецвыпуск журнала «В мире науки», посвященный научным достижениям ТПУ, в котором представлена самая разнообразная тематика: от арктических исследований, нефтедобычи и редкоземельных элементов до атомной энергетики, ядерных и конвергентных технологий. В заключение хочу пожелать коллективу Томского политехнического университета продолжать держать эту высокую планку, новых научных достижений, ярких открытий и крепкого здоровья!

Владимир Фортвов, президент Российской академии наук

Томский
политехнический
университет:

ПРОИЗВОДСТВО ПОЛЬЗЫ

Приходит поколение
будущего. Сегодня мы ра-
ботаем на него, для него,
вместе с ним, а потом оно
будет работать и на себя,
и на нас, и на страну,
и на человечество



Ректор ТПУ Петр Савельевич Чубик о том, что ресурсоэффективность — это не термин, а мировоззрение

В начале было Слово

У христиан есть такая притча. Трех каменщиков спросили, что они делают. Первый сказал: «Я кладу кирпичи». Второй: «Я зарабатываю деньги, чтобы прокормить свою семью». Третий же ответил: «Я строю храм, который простоит тысячу лет». Сотрудники нашего университета тоже «кладут кирпичи» — читают лекции, проводят научные эксперименты, разрабатывают новые технологии, но в широком смысле все они строят храм — храм науки и образования. Ему, правда, пока не тысяча лет, но 120 лет — возраст тоже почтенный. ТПУ изначально создавался как вуз политехнического типа, этакий «многоконфессиональный храм». Сегодня, например, мы ведем обучение и исследования по таким разным направлениям, как ядерная физика, геология и нефтегазовое дело, биотехнологии, машиностроение, химия, энергетика и т.д.

Когда в 2009 г. мы как участники федерального конкурса приступили к разработке программы развития ТПУ как национального исследовательского университета, возник вопрос: какое общее содержание, какую «религию» мы хотим исповедовать в нашем «храме»? Что может объединить в общий вектор развития разные направления научно-образовательной деятельности? Мы долго спорили, провели десяток мозговых штурмов, и однажды эта общая основа была найдена: все наши наиболее перспективные разработки, образовательные программы так или иначе завязаны на проблематике эффективного использования ресурсов, то есть ресурсоэффективности. И мы тогда же, в 2009 г., сформулировали наш «символ веры», нашу миссию: «Повышать конкурентоспособность страны, обеспечивая подготовку инженерной элиты, генерацию новых знаний, инновационных идей и создание ресурсоэффективных технологий». Нам удалось предугадать тренды, которые несколько позже в полной мере проявились

в мировой научно-образовательной повестке, да и политико-экономической тоже. Так, Стратегический план повышения ресурсоэффективности Европейская комиссия утвердила в 2011 г., а в 2013 г. в нашей стране стартовала программа повышения конкурентоспособности ведущих российских вузов (*программа вхождения к 2020 г. пяти российских университетов в сотню лучших вузов мира. — Примеч. ред.*).

Дешево и не сердито

Что такое ресурсоэффективность? Своим студентам я всегда говорю: эффективно — это значит быстрее, лучше (качественнее), дешевле. Есть, как известно, пять основных видов ресурсов: материальные, финансовые, трудовые, временные и информационные. Ресурсоэффективность — это возможность получения более быстрого, качественного и дешевого результата при меньших затратах ресурсов. Когда-то считалось, что в такой постановке задача не решается, тут «либо — либо»: либо лучше (качественнее), либо дешевле, потому что «хорошее дешевым не бывает». Этот вывод точно иллюстрируется известным примером американского математика Джорджа Данцига. Когда появились первые мощные компьютеры, он заложил в машину данные о калорийности и стоимости различных продуктов и попытался найти самое дешевое меню с суточной нормой калорийности. Компьютер выдал следующий результат: «Пейте ежедневно по 18 литров уксуса».

Сегодня же мир стереоскопичнее, сложнее. Нет простых схем и формул. Многие современные технологии позволяют получить более качественный и дешевый продукт с большей скоростью и при этом с меньшими ресурсными затратами.

Для наглядности приведу следующий пример. В советское время в Томской области было построено несколько крупных тепличных хозяйств,

В России идея ресурсоэффективности пока не так востребована. Поэтому на единицу продукции мы тратим ресурсов в два–три раза больше, чем в Европе

обогревавшихся, что называется, дармовым теплом от атомных станций Сибирского химического комбината. Когда страна вступила в рыночные отношения, выяснилось, что тепловая и электрическая энергия вовсе не дармовая, теплицы пришлось закрыть, потому что каждый огурец или помидор, выращенный в них, получался «золотым» из-за высоких затрат на энерго- и теплоносители. Но несколько лет назад рядом с Томском снова появилось большое тепличное хозяйство, и работает оно вполне рентабельно. Его возглавляет выпускница Томского политеха. Там сегодня другие технологии, другой расход энергоресурсов, там даже свет абсолютно другой. Ведь если правильно управлять его интенсивностью и другими параметрами, можно при тех же затратах достичь спелости овощей и зелени в полтора-два раза быстрее. Только светом — без каких-либо удобрений и химии.

Именно на разработку такого рода технологий Томский политехнический университет и делает ставку. Конечно, в нашей стране, изобилующей природными ресурсами, идея ресурсоэффективности не так востребована, как в той же Европе. В результате на единицу продукции мы тратим

ресурсов в два-три раза больше по сравнению с передовыми странами. В связи с этим себестоимость нашей продукции выше, и в конкурентной борьбе за рынок мы нередко проигрываем. Поэтому у нас нет иного выхода, нежели научиться эффективно использовать ресурсы и внедрять ресурсоэффективные технологии.

ТПУ ставит перед собой цель стать одним из ведущих мировых научно-образовательных центров по ресурсоэффективным технологиям. В вузе накоплен приличный потенциал разработок и исследований в этой области. Расскажу о некоторых из них.

Космическое материаловедение

Космическое — название достаточно условное. Просто космос — очень агрессивная среда: высокая радиация, огромный диапазон температур и т.д. Если мы создали что-то, работающее в космосе, значит это будет работать и в любых других сложных условиях, в частности в Арктике, в океанских глубинах.

Космическим материаловедением мы занимаемся совместно с Томским институтом физики прочности и материаловедения РАН. Его научный руководитель академик В.Е. Панин и директор член-корреспондент РАН С.Г. Псахье уже много лет заведуют у нас кафедрами, входят в ученый совет ТПУ. Мы работаем над композиционными материалами, над уникальными материалами с двойным армированием, над 3D-технологиями получения изделий из них, в том числе в условиях космоса. Не так давно запустили 3D-спутник, сегодня он находится на борту Международной космической станции и во время ближайшего выхода российских космонавтов в открытый космос отправится бороздить просторы Вселенной.

Перед главным зданием Томского политехнического университета



Губернатор Томской области, председатель Наблюдательного совета ТПУ С.А. Жвачкин на праздновании 120-летия университета

Для космоса важны не только материалы, но и покрытия. В этой области у нас тоже много уникальных разработок. В АО «Информационные спутниковые системы им. академика М.Ф. Решетнева» покрытия по технологии ТПУ наносят на все спутники системы ГЛОНАСС. Построен отдельный цех, где работают шесть наших установок. Эти покрытия защищают бортовую аппаратуру от солнечной радиации, от перегрева, значительно увеличивая ресурс работы спутников. В прошлом году совместно с Институтом физики прочности и материаловедения РАН наши ученые разработали прозрачные покрытия на иллюминаторы космических летательных аппаратов, в том числе МКС, которые защищают их от микрометеороидов (космической пыли). Разработка уже выходит на стадию испытаний. Такого никто еще не делал, включая американцев.

Промышленная томография, неразрушающий контроль

Технологии и разработки в области неразрушающего контроля — это наша фирменная тема. Среди российских университетов нет более продвинутых в этой области, чем ТПУ. Сегодня мы работаем над технологиями получения томографических изображений с одновременным или разновременным использованием различных видов источников излучения: радиационного, ультразвукового, теплового. Эти политеховские технологии уже используются для контроля качества сварных швов корпусов космических ракет и самолетов, труб магистральных газопроводов, крупногабаритных промышленных изделий. Инспекционно-досмотровые комплексы, созданные на базе бетатронов — самых маленьких в мире электронных ускорителей, разработанных в ТПУ, — сегодня действуют в нескольких странах мира, использовались на зимней Олимпиаде в Сочи. Идет работа над усовершенствованием наших бетатронов, созданием микротомографов, в том числе для лабораторных животных.

Ядерные технологии для медицины

В ТПУ действует единственный в азиатской части страны университетский исследовательский ядерный реактор. Помимо фундаментальных исследований в области ядерной физики, ученые



Ректор ТПУ П.С. Чубик

вуза решают на нем и вполне прикладные задачи, в частности производят радиофармпрепараты для диагностики онкологических, кардиологических и других заболеваний. Счет пациентов, обследованных и диагностированных с использованием наших препаратов, уже идет на миллионы. Мы активно продвигаемся сегодня в область тераностики — медицинских технологий, позволяющих одновременно диагностировать и лечить заболевание. Рассчитываем в ближайшее время запустить в серию производство медицинских бетатронов.

Экоэнергетика

Это экологически чистое производство энергии с большим КПД из традиционных энергоносителей. ТПУ при поддержке ПАО «Интер РАО» разрабатывает технологии газификации угля, которые позволяют получать больше энергии при меньших выбросах CO_2 . Иными словами, мы делаем то, что обеспечивает соблюдение нашей страной Парижского соглашения. Занимаемся мы и твердооксидными топливными элементами для водородной энергетики, работающей на синтез-газе — продукте газификации угля.

Трудноизвлекаемые природные ресурсы

Горно-геологическая школа — одна из старейших научных школ Томского политехнического. Ее основатель — Владимир Афанасьевич Обручев, академик, один из первых лауреатов Ленинской премии, автор не только множества научных трудов, но и научно-фантастических романов «Земля Санникова», «Плутония» и др. Он был первым деканом горного отделения нашего вуза. Ученик Обручева Михаил Антонович Усов стал первым сибирским академиком, ученик Усова Каныш

Имантаевич Сатпаев — первым президентом Академии наук Казахстана. Такие мощные корни позволили создать школу, из рядов которой вышли более 350 первооткрывателей месторождений полезных ископаемых. Таким образом, благополучие России как сырьевой державы в немалой степени строится на результатах труда наших выпускников и сотрудников, разведавших для страны многие месторождения нефти, газа, урана, золота, меди, железа и других полезных ископаемых.

Эти природные ресурсы потому и называются исчерпаемыми, что рано или поздно заканчиваются. Сегодня многие традиционные месторождения углеводородов находятся в стадии падающей добычи, поэтому на повестке дня разработка новых современных технологий поисков и разведки нетрадиционных, в том числе сланцевых месторождений нефти и газа. ТПУ имеет в этой области и опыт, и хорошую базу — как научную, так и образовательную. В частности, с 2001 г. мы совместно с Университетом Хериота — Уатта (Эдинбург,

Ресурсоэффективность — это культура, которая прививается воспитанием и образованием. Мы готовим в своих стенах специалистов, способных развивать ее и пропагандировать на самых разных участках

Великобритания) готовим и геологов-нефтяников, и специалистов по разработке (построению гидродинамических моделей) нефтяных и газовых месторождений. Это уникальные специалисты. Российские и зарубежные нефтегазовые компании расхватывают их как горячие пирожки.

Сейчас мы запускаем еще одну магистерскую программу — по подготовке специалистов для разработки шельфовых месторождений.

В научном плане ученые ТПУ совместно с Институтом проблем морских технологий Дальневосточного отделения РАН и зарубежными коллегами в запланированной на третий квартал текущего года экспедиции будут с помощью подводного робота исследовать на арктическом шельфе скопления газогидратов.

В Хакасии у ТПУ есть Центр учебных геологических практик — уникальная природная лаборатория. Рискну сказать, что такого геологического полигона нет больше ни у кого в нашей стране.

Системы управления и телекоммуникации

Этим занимаются многие, но мы нашли свою нишу — системы управления подвижными и труднодоступными объектами, в том числе групповыми. Труднодоступными объектами могут быть, например, метеостанции, расположенные в Арктике, куда просто не наедешься. Подвижные и удаленные объекты — это, скажем, те же подводные роботы в морских глубинах или рой малых спутников в космосе. С ними нужно поддерживать связь, ими нужно управлять, получать от них сигналы и снимки. Наши разработки позволяют это делать, что подтверждается двумя премиями Правительства Российской Федерации в области науки и техники, полученных учеными ТПУ, в том числе одна — молодыми.

Начни с себя

Ресурсоэффективность — это культура, и как любая культура она прививается воспитанием и образованием. Ставя перед собой цель стать ведущим научно-образовательным центром в области ресурсоэффективных технологий, мы не ограничиваемся только сферой научных исследований и прикладных разработок. Мы готовим в своих стенах таких специалистов — инженеров, управленцев, исследователей, — которые со студенческой скамьи становятся активными сторонниками идеологии ресурсоэффективности, способны развивать ее и пропагандировать на самых разных участках — от производства до общественного прищипа. Начинаем даже не с первокурсников. У ТПУ есть два детских сада, их воспитанникам в игровой форме уже даются начальные знания по ресурсоэффективности. При вузе есть лицей для одаренных старшеклассников, который признан одной из лучших школ в России. Ученики 10-х и 11-х классов совместно с преподавателями из ТПУ уже становятся авторами и соавторами оригинальных разработок — тоже по тематике ресурсоэффективности. Мы ввели обязательный курс «Ресурсоэффективность» в учебные программы бакалавриата, написали первое в стране учебное пособие «Основы ресурсоэффективности».

Сам университет, называя себя центром ресурсоэффективности, стремится стать образцом в эффективном использовании имеющихся у него ресурсов. Мы разработали программу развития ресурсоэффективности до 2018 г., в которой, в частности, ставим задачу превратить университетский кампус в энергоэффективный комплекс. Практически все наши общежития, которым по 50–70 лет, прошли санацию, и сегодня уровень энергопотребления в них снизился на 15%. Ежегодно ремонт комнат и мест общественного пользования в общежитиях выполняется самими



Председатель Международного научного совета ТПУ нобелевский лауреат Дан Шехтман на лекции



В.В. Путин в Международной научно-образовательной лаборатории неразрушающего контроля ТПУ

студентами в составе студенческого строительного отряда. Это не только экономически выгодно, но и обеспечивает высокую сохранность отремонтированного: сделанное своими руками оберегается особо.

В кадровой и финансовой сфере в ТПУ тоже произошла «ресурсоэффективная революция». Два года назад все сотрудники вуза были переведены на эффективный контракт — одними из первых в стране. Оплата труда не как процесса, а как результата уже принесла ощутимые плюсы: существенно выросли публикационная активность, цитируемость, результативность работы со студентами, аспирантами и др.

ТПУ стремится стать центром по популяризации и распространению идеологии ресурсоэффективности, ее научной проработке. Совместно с всемирно известным издательством «Эльзевир» мы начали выпуск журнала *Resource-Efficient Technology (REFFIT)*, первого международного научного издания на английском языке, специализирующегося на ресурсоэффективных технологиях. Надеемся, в перспективе этот журнал займет достойную нишу в мировой научной периодике. В сентябре ТПУ совместно с Российской академией наук проводит в Томске международный Форум ресурсоэффективности. Сейчас идет подготовительная работа, и, судя по количеству откликов на наши приглашения принять в нем участие,

тематика форума вызывает живой интерес среди ученых, промышленников, политиков России и других стран мира.

Благо и выгода

В русском языке есть хорошее слово «польза». У него два смысла — «благо» и «выгода». Так вот, ресурсоэффективность — это такое использование ресурсов, которое приносит выгоду (или прибыль) и в то же время направлено на благо человека и общества. Это двуединство представляется мне ключевым условием в формуле ресурсоэффективности. Мы делаем и то и другое. Благо — для человека и общества, выгода — для университета. Можно сказать, Томский политехнический университет — это университет по производству пользы для человечества.

Я прекрасно понимаю, что мы в самом начале долгого пути. Привычка к расточительству, наше извечное упование на авось и «так было всегда» — все это изменить, переделать очень непросто. Мы сами за шесть-семь лет продвинулись в своих внутренних изменениях не так далеко, как хотелось бы. Но что внушает оптимизм? Сегодня в университете приходит новое поколение ученых и преподавателей, инженеров и менеджеров. Это так называемое поколение Y, оно выросло уже в иных социально-экономических условиях — беспрепятственного доступа к обширной информации, оно совершенно другое. И сегодняшние наши студенты уже совсем другие. Идеи ресурсоэффективности им не кажутся второстепенными. Приходит поколение будущего. Сегодня мы работаем на него, для него, вместе с ним, а потом оно будет работать и на себя, и на нас, и на страну, и на человечество. ■

С О К Р О В

Северный полюс — это словосочетание всегда символизировало самые дальние и холодные земли, добраться до которых могут лишь настоящие герои. А чтобы жить там, осваивать их — об этом невозможно было даже помыслить. Однако наступили времена, когда человечество вплотную подступило к исследованию Арктики, а заодно столкнулось с целым рядом опасностей. Об этом — наш разговор с **Алексеем Карповичем Мазуровым**, первым проректором Томского политехнического университета, профессором кафедры геологии и разведки полезных ископаемых.

— Алексей Карпович, для чего нам все это нужно — ведь это далеко, трудно и рискованно?

— Сегодня ни для кого не секрет, что в Арктике находятся огромные запасы углеводородов, базовых соединений органической химии. Без них человечество существовать уже не может. Пропан-бутановая смесь и метан используются как ценное газовое топливо. Значительную долю в моторном и ракетном

топливе составляют жидкие углеводороды. Их, а также производные метана применяют в качестве растворителей. Твердые углеводороды используют для получения каучука, пластмасс, средств для мытья, в пищевой промышленности, электротехнике и радиотехнике. Углеводороды применяются в атомной энергетике как замедлители и теплоносители для атомных реакторов. Они используются



ИЩА



ШЕЛЬФА

также как рабочая среда в химических реакторах. Все это есть в Арктике. Но прежде чем это освоить и использовать, нужно сначала изучить, причем комплексно. Я имею в виду климат, морское дно, породы, из которых сложен шельф. И самое главное — обнаружить эти месторождения. Все мы знаем, что в Арктике они есть, но она огромная, а месторождение — это некая точка, и ее нужно найти.

Другой важный аспект — освоение гигантских залежей газовых гидратов. Согласно оценкам, опубликованным в одном из выпусков журнала *Marine Geology*, запасы углеводородов в форме морских газовых гидратов превышают все известные запасы нефти, природного газа и угля примерно в 200 раз! Причем значительная часть этих неосвоенных энергетических запасов располагается на российском шельфе — материковом склоне. Как известно, самый широкий и мелководный шельф Мирового океана находится в морях Восточной Арктики, именно здесь сохранилась основная часть подводной мерзлоты, которая контролирует сохранность огромных запасов гидратов.



Для исследования всех этих процессов в прошлом году мы выполнили две экспедиции, в нынешнем также запланировали две. Если прошлогодние были зимними, когда мы бурили с припайного льда, то в этом году у нас все экспедиции летние. Первая — июльская, по изучению транспорта органического и неорганического углерода наземного происхождения в системе «река Обь — Карское море». Второй вопрос, который мы будем детально изучать, — выбросы метана из донных осадков морей Восточной Арктики в водную толщу, а также влияние рек на те процессы, которые происходят в море Лаптевых.

— **Какова тематика этой экспедиции?**

— Акцент будет сделан на изучении состояния подводной мерзлоты и количественной оценке выбросов метана из донных отложений морей Восточной Арктики в атмосферу. Очень важно понять, в каком количестве газогидраты, которые образовались тысячи и миллионы лет назад, выбрасываются в современную атмосферу. Несколько миллионов лет метан пребывал в законсервированном, внешне похожем на лед виде, а сейчас вдруг начал деградировать, распадаться. Все это существенно влияет на климат, и не только на него. Мы производим бурение, а для этого надо четко знать, сколько и где метана выделяется.

— **А что за аппарат вы разработали?**

— Томский политехнический университет совместно с Дальневосточным академическим институтом создает необитаемый подводный аппарат, с помощью которого мы будем проводить свои исследования в сентябре. В июле во Владивостоке состоялись испытания этого аппарата, и прошли они успешно. Потом мы загрузим его на исследовательское судно и будем погружать на дно, чтобы получить детальную информацию о размерах пузырей и скорости их выброса из дна в воду.

— **На какую глубину будет спускаться аппарат?**

— Глубина не очень большая. Море Лаптевых, шельфовая зона, которую мы обследуем, имеет глубину до 100 м, а в среднем — 50–80 м. Аппарат может погружаться и на километры, но нам это здесь не нужно. Он оснащен датчиками, с помощью которых будут измеряться содержание метана в воде, температура, соленость и другие факторы, влияющие на формирование климата. Мы поставили перед разработчиками задачу, чтобы он



На борту единственного в мире научного ледокола «Оден» ученые ТПУ исследовали моря Восточной Арктики

как можно дольше мог работать в автономном режиме. У него будут «глаза» — видеокамеры, «уши», «руки»... Нам очень важно, чтобы он не просто измерил содержание метана, а показал нам его поток в динамике, измерил скорость его движения. У нас разработаны программы, с помощью которых мы можем по количеству выделяемых пузырьков определить, насколько поток интенсивен. Теми способами, которые мы до этого использовали, мы могли наблюдать пузырьковые потоки в преде-

Крайне важно заниматься исследованиями состояния подводной мерзлоты, ведь при бурении глубоких скважин для добычи нефти и газа можно попасть в слой гидратов, что может привести к аварии с серьезными последствиями

лах нескольких часов, сейчас это будет на порядок больше, то есть наш аппарат будет «ходить» около дна на то расстояние, которое нам нужно, и передавать наработанные данные. Таким образом, мы значительно увеличиваем площадь отбора и сокращаем время на изучение каждого квадратного километра.

— **За последнее время у вас были публикации в авторитетных научных журналах, в том числе Nature Geoscience.**



В плавучей лаборатории исследователи изучали, как сибирские реки влияют на изменения климата

это естественный колебательный процесс и ничего катастрофического, связанного с техногенной деятельностью человека, не происходит. Скорее наоборот, сейчас мы переживаем цикл, связанный с некоторым похолоданием. Вы знакомы с его работами?

— Да, знаком. Климатический цикл — это примерно 100 тыс. лет. В процессе этих циклов происходят колебания в ту или иную сторону: после ледниковых периодов уровень моря повышается примерно на 100–120 м, а после наступления нового периода похолодания опускается на то же расстояние. Если следовать

— Да, в этой работе мы выполнили консервативную оценку выброса пузырькового метана из морей Восточной Арктики в атмосферу, эта величина была оценена в 18 млн т метана в год, что примерно в два-три раза больше, чем ранее считали для всего Мирового океана.

— Значит, скорость деградации газогидратов влияет на изменение климата. А что же влияет на газогидраты?

— По этому поводу ведутся споры, единого мнения до сих пор нет. Для того чтобы газогидраты были стабильны, нужна низкая температура либо повышенное давление, а лучше, когда и то и другое вместе. Сегодня море наступает на сушу. Когда, например, в ледниковую эпоху уровень моря опускался и на месте шельфа была тундра, там господствовали минусовые температуры (среднегодовая — до 20° С). Сейчас, когда туда пришло море, они стали плюсовыми. Причем температура постепенно растет: была, например, на два градуса выше нуля, теперь на четыре и т.д. И газогидраты начинают дестабилизироваться вследствие деградации подводной мерзлоты. Таким образом, чем больше и дольше море наступает на сушу, тем более интенсивно происходит деградация гидратов. Однако, подчеркну, это гипотеза, которую нам еще предстоит доказать.

— Иначе говоря, поверхность Мирового океана растет?

— Получается, что да, если современное потепление будет продолжаться.

— В свое время я брала интервью у Андрея Петровича Капицы, когда он руководил кафедрой природопользования в МГУ. Тогда все носилось с идеей глобального потепления. Он был одним из немногих, кто говорил, что никакого глобального потепления нет, на самом деле

данным расчетам, сейчас как раз должно идти глобальное похолодание. Андрей Петрович был совершенно прав.

— Однако мы этого не наблюдаем. В чем дело?

— Оказывается, этот цикл немножко сдвинулся, или сломался — как вам больше нравится. Почему? Вот это очень интересный вопрос. Думаю, за ответ на него дадут Нобелевскую премию.



SWERUS-С3 стала одной из самых масштабных и продолжительных международных научных экспедиций в Арктику за последние годы

Деградация подводной мерзлоты, дестабилизация газогидратов и наступление моря вносят свой вклад в современные изменения климата

— Ну а вы как думаете? Почему это произошло?

— Наша точка зрения такова: деградация подводной мерзлоты, дестабилизация газогидратов, продолжающееся наступление моря вносят свой вклад в современные изменения климата. Для количественной оценки этого вклада нужно продолжить массированные исследования арктических морей на постоянной основе. Это очень дорого, но необходимо для всего человечества.

— Мы много говорили о второй, сентябрьской экспедиции, но ничего не сказали об июльской — на Обь.

— Обь — великая сибирская река, и взялись мы за нее не случайно. Потепление в море происходит из-за того, что в него вливаются такие крупные реки, как Лена, Обь, Енисей, несущие огромное количество теплой пресной воды. Они понижают соленость, температура моря начинает увеличиваться, подводная мерзлота деградирует.

— Но ведь все эти реки несут свои воды в море далеко не первый год. Почему же потепление началось именно сейчас?

— Потепление и началось не сейчас, а как минимум 15 тыс. лет назад. Именно поэтому мы видим сейчас его последствия.

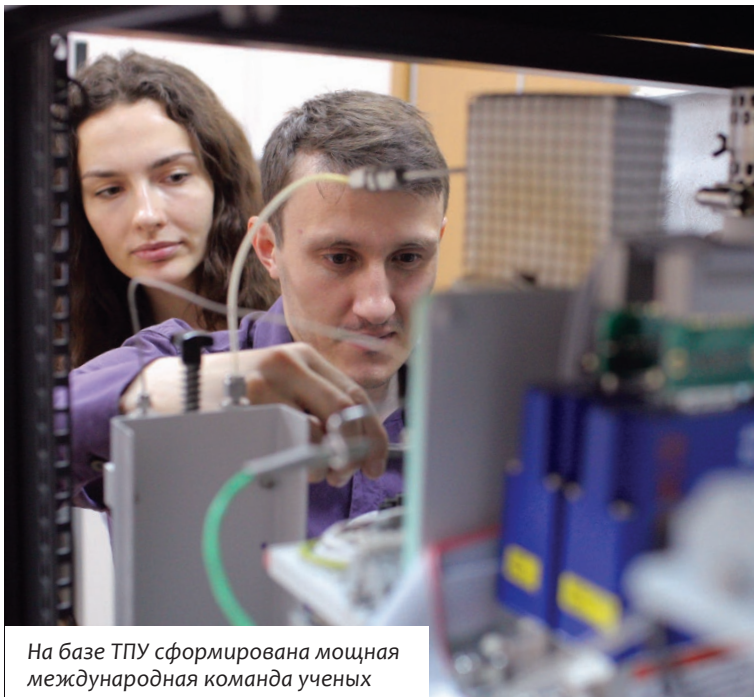
— Это чисто исследовательская работа или она имеет какое-то прикладное значение?

— Мы считаем, что она с самого начала имела прикладное значение, потому что следующая ступень — постановка платформы и бурение, добыча важнейших полезных ископаемых, а это напрямую связано с нашей сегодняшней жизнью. То есть это не чистая наука, хотя фундаментальная наука здесь крайне важна.

— Кто участвует в этих экспедициях?

— Эти экспедиции будут межведомственными. Сейчас много говорят, что нужно объединяться, и здесь участвует несколько структур. Не только наш Томский политехнический, но и академия наук — Тихоокеанский океанологический институт Дальневосточного отделения РАН, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН под руководством заместителя директора института Леопольда Исаевича Лобковского, МГУ, Стокгольмский университет... У нас очень много молодых ученых — аспирантов, кандидатов наук, есть и доктор. Возрастной диапазон довольно широкий. Если говорить о морской экспедиции, то осуществлять ее будем на известном научно-исследовательском судне «Академик Лаврентьев». Для речной экспедиции зафрахтован теплоход в Салехарде, на котором мы разместили свои лаборатории, можно сказать, начали разнообразную исследовательскую технику.

— Случались ли у вас неожиданные находки, встречи?



На базе ТПУ сформирована мощная международная команда ученых



В ТПУ была открыта лаборатория по изучению Арктики

— Встречи — если только с белыми медведями. Неожиданными их назвать довольно трудно. Они всегда близко подходят к судну вместе с медвежатами. Молва приписывает им агрессивность, но на самом деле они очень любопытны и ведут себя мирно. А вообще важно помнить, что мы исследуем не столько дно морское, сколько затопленную часть суши, шельф. Это наша часть континента, его продолжение. Мы это доказали. Кстати, вот вам живая демонстрация того, как море может наступать на сушу. Именно поэтому там так неглубоко. И когда мы изучаем дно, то находим не океанические, а континентальные осадки. Это территория, где раньше могли жить люди, обитать древние организмы, поэтому находки, имеющие археологическую и палеонтологическую ценность, вполне возможны.

Игорь Петрович Семилетов, доктор геолого-минералогических наук, профессор ТПУ, член-корреспондент РАН:

— Гидраты, кроме самоценности в качестве потенциального углеводородного сырья ближайшего будущего, представляют собой фактор геоэкологической опасности. При дестабилизации гидратов происходит образование газа (в основном метана), что приводит к увеличению исходного объема твердой фазы примерно в 150–170 раз, а это взрыв. При бурении глубоких скважин для добычи нефти и газа можно попасть в слой гидратов, что может привести к аварии с серьезными последствиями. Поэтому крайне важно заниматься комплексными исследованиями состояния подводной мерзлоты. Именно поэтому мы используем междисциплинарный подход, привлекаем к работе самых разных специалистов.



Первый проректор ТПУ А.К. Мазуров

Наталья Евгеньевна Шахова, доктор геолого-минералогических наук, профессор Института природных ресурсов ТПУ:

— Процесс бурного выделения метана в атмосферу впервые заметили наши сотрудники. Зная, что метан — второй по значимости (после двуокиси углерода) парниковый газ, мы предположили, что вследствие деградации подводной мерзлоты и гидратов в атмосферу могут поступать значительные его количества. Эта гипотеза была выдвинута и опубликована нами в журнале *Science* в 2010 г. Она оказалась верной. Для развития этих исследований при поддержке Правительства РФ мы совместно с профессором И.П. Семилетовым создали международную лабораторию по исследованию арктических морей и проводим ряд важных научных исследований — в том числе арктического климата и тех процессов, которые на него влияют. ■



Профессор ТПУ И.П. Семилетов (справа) во время арктической экспедиции SWERUS-C3

Беседовала Наталья Лескова



Земля

в иллюминаторе

Космический аппарат постоянно бомбардируют высокоскоростные мелкие частицы. Таких микрочастиц очень много, под их воздействием стекло иллюминатора постепенно покрывается микрократерами и теряет прозрачность.

Р

оссийские космические аппараты прекрасно работают в самых экстремальных условиях, а разнообразные приборы наблюдают за Землей через прочные оптически прозрачные иллюминаторы. Казалось бы, при чем здесь Томский политехнический университет?

В отличие от ТПУ Институт физики прочности и материаловедения (ИФПМ) СО РАН находится не в центре Томска, а на его зеленой окраине. Однако такая удаленность вовсе не кажется недостатком, поскольку этот микрорайон, расположенный в восточной части города, называется Томский Академгородок. Здесь, на территории 200 гектаров, что несколько меньше территории, занимаемой в Москве парком Горького, кроме жилых объектов расположились семь серьезных институтов СО РАН плюс комплекс Особой экономической зоны технико-внедренческого типа «Томск». Все, что имеет отношение к науке, здесь рядом: заезжаешь за граничную стелу, и почти сразу слева оказывается Особая зона, справа — ИФПМ.

Нужные нам лаборатории расположены в подвале. До них мы добираемся по длинным петляющим коридорам. По сторонам даже не двери, а ворота, подобные цеховым. Все сделано очень основательно и капитально, хотя чему удивляться? Как-никак институт прочности.

В конце нашего подземного путешествия — просторная лаборатория Центра перспективных исследований «Многоуровневое динамическое моделирование материалов и конструкций» ТПУ. Помещение уставлено компьютерами, шкафами и физическими приборами пока непонятного назначения.

— У нас созданы сетевые центры и лаборатории, в которых вместе работают представители РКК «Энергия», ученые ИФПМ и специалисты Томского политехнического университета, — рассказал нам директор ИФВТ **Алексей Николаевич Яковлев**. — Такое сетевое взаимодействие позволяет достичь синергетического эффекта: на базе фундаментальных научных исследований разрабатываются технологии, одновременно решаются и прикладные,



Директор Института физики высоких технологий ТПУ А.Н. Яковлев

и производственные задачи. Главное направление работы — многоуровневое динамическое моделирование материалов и конструкций. Разрабатывается новый материал, на основании его характеристик создается 3D-модель изделия, на которой прогнозируется работа агрегата. Модель виртуально испытывают на различные нагрузки, которые могут возникать в процессе эксплуатации.

— **Перегрузки, вибрация, тепловое воздействие, удары.**

— Да, причем такие виртуальные испытания могут проводиться сразу по нескольким параметрам, то есть учитывается система воздействия внешних факторов. Испытания позволяют найти слабые элементы конструкции. После их доработки проводятся уже испытания натурные.

— **Разве можно на Земле испытать на гарантированную работоспособность то, что должно работать в космосе?**

— У нас есть оборудование, которое позволяет часть внешних воздействий симитировать в натурных испытаниях. Их цель — определить на более серьезном и приближенном к реальности уровне, где есть несоответствие, какой элемент конструкции слабый. В результате делаем заключение: здесь конструкцию нужно переделать либо заменить материал.

Полет не наяву

Совместно учеными ТПУ и ИФПМ для натурных испытаний используется уникальный мобильный трехкомпонентный лазерный сканирующий доплеровский вибромметр, или, говоря проще, 3D-лазерный вибромметр. С его помощью можно проводить виртуальные испытания компонентов космических аппаратов, автомобилей, станков, самолетов, морских судов и т.д. Неполладки и слабые места в деталях он определяет по частоте колебаний, которая считывается и передается на компьютер с помощью лазерного луча. С использованием такого 3D-лазерного вибромметра можно точно определять вибрацию всех деталей уже на этапе проектирования конструкции. На этом оборудовании ученые и конструкторы будут решать первоочередные задачи для космоса, авиа-, машиностроения. Что особенно удобно, лазерный вибромметр может работать с крупными объектами. Причем для проверки ракету или судовой двигатель совсем не обязательно привозить в Томск. Достаточно смоделировать компьютерного «двойника» и переслать по электронным сетям в ТПУ. Дальнейшую работу сотрудники центра выполняют сами.

Подробно о деятельности Центра перспективных исследований «Многоуровневое динамическое моделирование материалов и конструкций» ТПУ нам рассказал ведущий научный сотрудник лаборатории механики структурно неоднородных сред ИФПМ **Игорь Юрьевич Смолин**.

— При создании образцов авиационно-космической техники испытания —

наиболее ответственный этап, на котором можно понять, насколько изделие соответствует предъявляемым требованиям. Большое значение имеют прочностные характеристики, чтобы образец не сломался, не разрушился. Наиболее часто встречающийся вид воздействия — вибрация, возникающая, например, при старте ракеты. Традиционно проводятся физические испытания с помощью операционного воздействия на вибростенде. Но сегодня технологии шагнули вперед и появилась возможность производить многие операции с помощью компьютера. При этом растут доля моделирования, точность расчетов, развивается математический аппарат.

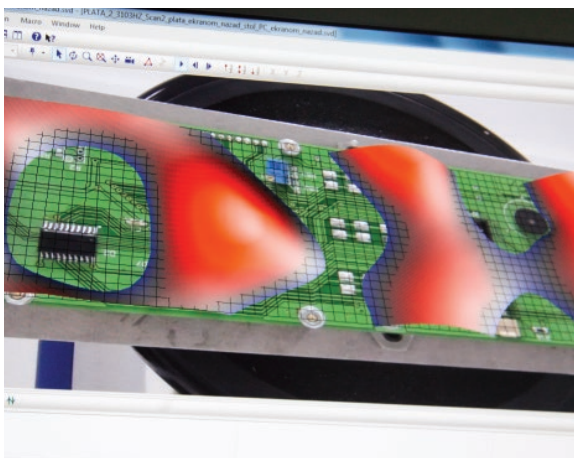
— **Такие компьютерные испытания экономически более целесообразны?**

— Разумеется. Когда поставлена цель создать какой-то прототип, все просто: создали, испытали, запустили. Но когда речь идет о серийных изделиях с незначительными модификациями, вполне целесообразно заменить натурные испытания компьютерным моделированием. Допустим, мы добавили несколько приборов на спутник, после чего нам уже не надо испытывать весь комплекс: просто просчитали, получили результат «все нормально» — и можем реализовать. Деньги сэкономили, и немалые.

— **Разве у нас можно без натурных испытаний?**

— К сожалению, пока нет. Пока в нашей стране есть требования, ГОСТы, внутренние стандарты, которые требуют натурных испытаний при любых, даже самых незначительных изменениях. За рубежом с этим проще, там компьютерное моделирование используют значительно чаще.

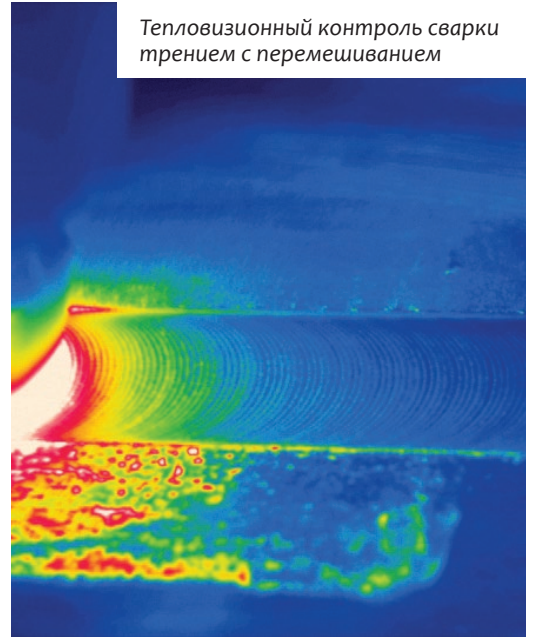
Мы проводим многоуровневое динамическое моделирование материалов и конструкций. Сейчас



Центр перспективных исследований «Многоуровневое динамическое моделирование материалов и конструкций»



Комплекс неразрушающего контроля качества соединений, полученных методом сварки трением с перемешиванием



Тепловизионный контроль сварки трением с перемешиванием

развивается идея создания конструкции от материала. Современные материалы в основном композиционные, у каждого из них своя структура. Поэтому сейчас мы говорим: «Какой нам нужен материал, такой и сделаем». Включим туда композиты, металлокерамику, создадим новый материал так, чтобы он подходил именно для этой конструкции, для этой детали, для этой задачи. Это тоже тренд, в этом направлении движется развитие науки и техники.

— **Но что подразумевает многоуровневое моделирование?**

— Для того чтобы создать конструкцию, нужно понять, как ведет себя материал на разных уровнях, от самого низкого — атомарного и молекулярного — до общей структуры самой конструкции, включений. Это особенно характерно для композиционных материалов. «Многоуровневость» мы поставили в названии процесса на первое место и считаем одной из собственных разработок. Эти исследования этапные, потому что заложить всю структуру материала в компьютер очень сложно, слишком велик объем информации. Процесс идет с наращиванием масштаба. Сначала проводятся подробные исследования на нижнем уровне, затем на все более высоком, и так до уровня конструкции.

— **Наиболее «рисковые» и опасные участки — стыки и соединения?**

— Разумеется. В конструкции могут использоваться разные материалы и типы соединения: сварные, традиционные клепочные и т.д. Для динамических колебаний важно так называемое демпфирование, при котором идет потеря энергии. При многоуровневом подходе учитываются соединения материалов непосредственно в композитах,

соединение элементов конструкций, а затем уже сама конструкция.

— **Какие виды воздействий можно опробовать на математической модели?**

— Разные. Вибрационный, так называемые случайные нагрузки, ударные. Последние для космических аппаратов возникают на этапе стыковки или при отстреливании ступеней ракеты. Такие воздействия тоже приводят к опасным последствиям.

— **Что-то из того, что вы испытывали, уже летает?**

— Наноспутник «Томск-ТПУ-120». Его доставили на борт Международной космической станции в целостности и сохранности. Для новых спутников корпуса разрабатываются тоже с учетом динамического моделирования. Это уникальный комплекс.

— **Бывает такое, что математическая модель показывает одно, а натурные испытания — другое?**

— Естественно, бывает. Если абсолютно все сойдется, это будет странно. Мы должны верифицировать модели в соответствии с экспериментом. Даются специальные критерии, которым модель должна соответствовать. Точно один в один совпадения никогда не бывает. На то и компьютерные технологии, чтобы посчитать и исключить эти риски. Надо понимать, что компьютерное моделирование годится не только для космических приложений. Подобные вещи используются и в автомобильной промышленности. В Германии уже давным-давно отошли от натуральных испытаний. Раньше как было: создается автомобиль, для него сначала делают сотни кузовов, их испытывают в аэродинамической трубе, на краш-тестах

и т.д. Сейчас все происходит в основном при помощи компьютерного моделирования. Это ускоряет и удешевляет процедуру, позволяет более точно все воспроизвести, спрогнозировать поведение конструкции.

Варить, смешивая

В соседнем помещении уложен на бок кусок то ли большой трубы, то ли маленькой ракеты. По его внутренней поверхности не спеша бродит некое сложное и явно роботизированное устройство. Это единственный в стране диагностический комплекс, предназначенный для контроля сварки швов крупных деталей ракет и других космических аппаратов. Система разработана Институтом физики высоких технологий ТПУ. Про нее и про новые виды сварки нам рассказал И.Ю. Смолин.

— Вот пример успешной кооперации вузовской, академической науки и потенциала промышленных предприятий. Началось все с того, что в РКК «Энергия» решили внедрять на корпусных деталях сварку трением с перемешиванием. На этом корпусе есть и шов обычной аргонно-дуговой сварки, и шов сварки трением с перемешиванием. Поскольку последняя происходит без плавления, за счет пластификации материала и перемешивания его в пластичном состоянии, ее дефекты не имеют ничего общего с теми, которые получаются при плавлении. У РКК не было системы контроля, им нужен был комплекс диагностики. Основным условием было использование больших корпусных изделий, диаметром 4–5 м.

— **Здесь я вижу диаметр поменьше.**

— Здесь 2 м, но это образец. Вообще, сварка трением с перемешиванием — очень качественный и перспективный вид сварки. Таким способом можно сваривать разные сплавы, например алюминиевые, не свариваемые обычным аргонно-дуговым методом. Преимуществ много, но есть нюанс — высокая чувствительность к режимам, их соблюдение имеет большее значение, чем при обычной сварке. Заказчику нужна была надежная система контроля. «Энергия» получила от нас технологии для контроля таких сварных соединений на корпусных изделиях. ТПУ поставил головной образец комплекса диагностики еще в прошлом году, когда закончилась работа над этим проектом.

На нашем образце алюминий толщиной 35 мм. Обычными способами его соединить сложно, а по технологии в РКК предусматривается очень толстая сварка. У них сейчас есть программа по разработке новых модулей для МКС. Там они проводят сварку панелей толщиной 35 мм, потом их вглубь фрезеруют и получают вафельную ячеистую структуру с ребрами усиления и с толщиной стенки местами до 2 мм.

— **С одной стороны, очень легкая, с другой — очень прочная.**

— Да. Прочность очень высокая. По шву ползает робот, который определяет его качество, диагностирует дефекты. Он состоит из управляющего блока и подвижной конструкции, которая крепится вдоль шва на направляющей на вакуумных присосках. Едет, сканирует шов, записывает результаты в базу. Дефектоскопист анализирует результаты, формирует протокол исследований. Можно дать длинную направляющую и все это дело замкнуть.

— **Возвращаясь к удивительной сварке: откуда она пошла?**

— В России впервые она была внедрена на «Сеспеле» — это чебоксарское предприятие, которое делает автомобильные цистерны. Мы (ТПУ, ИФПМ и «Сеспель») подали совместный проект по ФЦП и выиграли его. Пока изучали эту сварку, поняли, что надо двигаться дальше, можно варить несвариваемое. Перешли на сплавы, которые обычными методами не свариваются, добавили ультразвуковое воздействие. Мощный ультразвук в процессе

В космическом иллюминаторе три стекла. Они разного диаметра, несут разные функции, но первое, наружное, постоянно подвергается ударам микрометеороидов

дополнительно пластифицирует материал. Теперь свариваем с высокой прочностью и материалы несвариваемые либо считающиеся плохо свариваемыми. Результатом стала разработка технологии сварки трением с перемешиванием с ультразвуковым воздействием.

— **Какой экономический эффект может дать такая технология?**

— Мы этими расчетами пока не занимались, но на предприятии, с которым мы сотрудничаем, естественно, все это рассчитывали. Сначала, конечно, это требует больших вложений в оборудование. А затем дает значительный экономический эффект, поскольку такая сварка быстрее, качественнее, без расходных материалов, без газа и требует меньших человеческих усилий. Да и скорость сварки значительно выше.

Земля в иллюминаторе

Чуть дальше по коридору находится еще одна просторная лаборатория — материаловедения покрытий и нанотехнологий. Здесь тоже работают с космическими материалами, только значительно



Стенд для экспериментальных исследований технологических режимов сварки трением с перемешиванием с ультразвуковым воздействием

более тонкими и прозрачными, чем алюминиевая стенка толщиной 35 мм. Собственно, толщина наносимых здесь покрытий не превышает нескольких микрон, а покрывают ими не что-нибудь, а стекла космических иллюминаторов. О работе лаборатории нам рассказал ее заведующий, профессор кафедры физики высоких технологий в машиностроении ТПУ **Виктор Петрович Сергеев**.

— Если позволите, я начну с конца. В космическом иллюминаторе на самом деле три стекла. Они разного диаметра, несут разные функции, но первое, наружное, постоянно подвергается ударам микрометеороидов. Наше покрытие этим ударам противодействует.

В.П. Сергеев показывает два фото: иллюминатора с покрытием и без него. На втором вся поверхность, подобно лунному диску, испещрена кратерами: большими, средними, маленькими, малюсенькими и крошечными. Их так много, что разглядеть за ними что-то важное почти нереально. На втором — тот же иллюминатор, только уже с покрытием. На нем из всего множества выбоин осталось штук десять — те, что были большими, только тут они превратились в крошечные.

— На сегодня конструкторская документация на эти покрытые стекла разработана и передана в РКК «Энергия» для включения в общую конструкторскую документацию нового российского космического корабля «Федерация», испытания которого намечены на 2020 г. В ЦНИИМаш все лабораторные испытания должны закончиться к концу этого года. После документацию передадут на завод, где изготовят опытные образцы для летных испытаний.

— **Работа близится к концу. Сколько времени она длилась?**

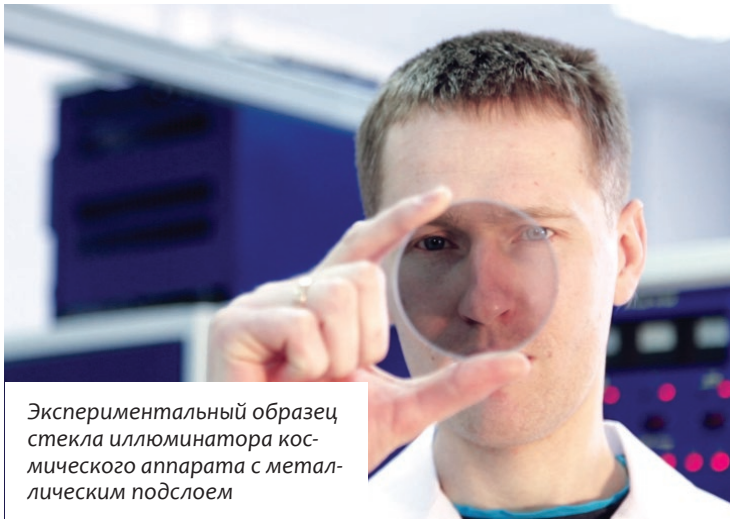
— Это длинная история. Мы занимаемся защитными покрытиями еще с 1980-х гг. Наш конек — оптически прозрачные покрытия для эксплуатации в экстремальных условиях. Сверхтвердые, износостойкие, радиозащитные... У нас много разработок для разных отраслей. Важно, что покрытия именно прозрачные, потому что иллюминатор служит не просто для того, чтобы космонавты смотрели в космос или на Землю. Через иллюминаторы ведутся постоянные оптические измерения.

— **То есть, скажем, светимость Солнца измеряется через иллюминатор?**

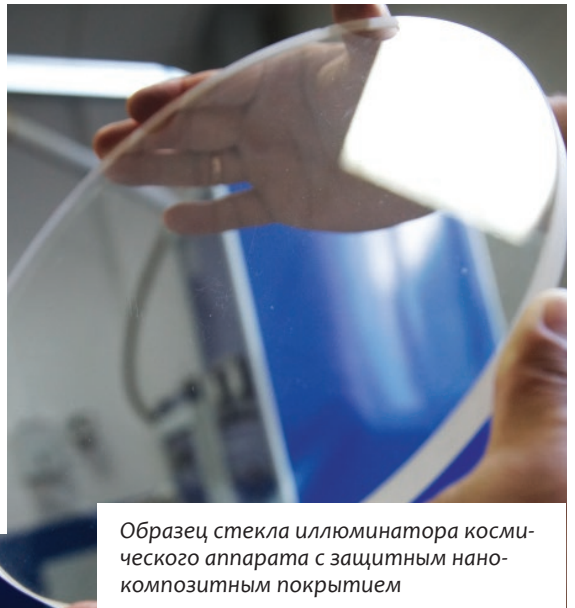
— Конечно. У американцев другой принцип, у них приборы выставляются наружу, а у нас работают изнутри, через иллюминаторы. Микрометеороидов на орбите МКС тучи, они, как пыль, все время бьют по стеклам. Если в темное время смотреть в иллюминатор, впечатление такое, будто плазма светится. Все время идет бомбардировка высокоскоростными мелкими частицами. Их средняя скорость выше третьей космической — 20–30 км/с. Таких микрочастиц очень много, под их воздействием стекло постепенно покрывается микрократерами и теряет прозрачность. Дальше иллюминатор уже, по сути, не работает. Космонавты могут что-то разглядеть, но приборы уже нет. А наше покрытие эти иллюминаторы защищает.

— **За счет чего?**

— Во-первых, покрытие это многослойное, многокомпонентное, градиентное. Во-вторых, оно нанокомпозитное и лучше проводит тепло. В-третьих, оно сверхтвердое и сверхупругое. Из-за многослойности идет рассеяние нормального удара частицы по горизонтали. Слои отражают, рассеивают на границе грубую энергию удара. Кроме того,



Экспериментальный образец стекла иллюминатора космического аппарата с металлическим подслоем



Образец стекла иллюминатора космического аппарата с защитным нанокompозитным покрытием

из-за повышенной теплопроводности покрытие эффективно рассеивает тепловую энергию. Поэтому наше покрытие полностью отсеивает мелкие частицы.

— **Но в космосе, если я правильно понимаю, большее значение имеет не размер частицы, а ее импульс.**

— Большинство частиц с достаточно высокими импульсами полностью отсеиваются. Только редкие крупные могут образовать кратер на поверхности нашего иллюминатора. Но такие единичные повреждения практически не влияют на оптические свойства. Таким образом, наше покрытие значительно увеличивает долговечность иллюминатора.

— **Американцы тоже защищают свои иллюминаторы?**

— Конечно, но такого у них нет. Здесь мы их переигорали.

— **Если в наш иллюминатор стукнет несколько раз что-то большое, есть возможность нанести это покрытие в космосе?**

— Это следующий этап работы — восстановление в космосе. Планируются работы и по ослаблению воздействия от ударов крупных метеороидов, чтобы глубина кратеров была ремонтпригодной и не влияла на изгибную прочность, чтобы иллюминатор не разрушался.

— **Как это будет? Вышли и кисточкой нанесли покрытие?**

— Ну, не совсем так. Это будут специальные приборы, магнетроны, ионные источники, для предварительной обработки и нанесения покрытия. Но с ними будут работать непосредственно космонавты. Аппарат будет приставляться к иллюминатору и в автоматическом режиме его обрабатывать. А космонавт будет прибор монтировать, включать, выключать и демонтировать.

— **Можно сравнить удар космическим метеороидом с пулевым попаданием?**

— Нельзя. Это удар принципиально другой. Все то, что летает на Земле, это максимум 1,5–2 км/с. А у космических метеороидов 7–8 км/с — нижний предел. Таких скоростей для испытаний в земных условиях мы можем достичь только при разгоне частиц в легкогазовых пушках, какие и используем. Сейчас готовим космический эксперимент на МКС: проектируем кассеты с нашими стеклами, которые космонавты вынесут в открытый космос. Вот это и будут испытания в реальных условиях при средней скорости частиц порядка 20–25 км/с. При таких воздействиях получаются совершенно другие кратеры и выявляются истинные механизмы работы материалов. Здесь на Земле ничего подобного нет.

— **Меня как автомобилиста давно волнует вопрос: неужели нельзя сделать такое автомобильное стекло, чтобы на нем вода и грязь не задерживались, а сами бы моментально стекали, без помощи дворников?**

— Можно, и такие покрытия существуют, только они пока еще очень дорого стоят. Это так называемые гидрофобные покрытия. В наших лабораториях мы работаем над подобными углеводородными покрытиями, которые позволяют избавиться от космической грязи. На орбите стекла иллюминаторов не только подвергаются эрозии из-за воздействия микрометеороидов и космического мусора, но и покрываются пленкой из углеводородных соединений.

— **В случае с солнечными батареями это приводит к снижению работоспособности?**

— Да, поверхность фотоэлемента затягивается пленкой. Она очень прилипчивая, и избавиться от нее ее крайне сложно. Мы как раз и решаем задачу, как сделать так, чтобы грязь не прилипла, а скатывалась. Над этой проблемой работает

целый отдел в РКК «Энергия», мы с ними сотрудничаем совместно с ТПУ и ИФПМ.

У солнечных батарей на орбите довольно низкий ресурс, его требуется увеличить как минимум в два раза. За рубежом та же проблема. Обычно фотоэлектрические преобразователи батареи защищают радиационно стойкими покровными стеклами, что утяжеляет конструкцию. Мы же наносим легкие покрытия — в несколько стадий несколько слоев, и каждый несет свою функцию. Структура покрытия сложная. Но после космическая пыль на элементы уже не осаждается.

В скором времени РКК, ТПУ и ИФПМ планируют совместно открыть в Томском Академгородке участок по противометеороидным покрытиям. Стекла для иллюминаторов всех космических кораблей российского, а может и не только российского производства будут обрабатываться в Томске. На участке площадью 150–200 м² будет установлен комплекс технологического и испытательного оборудования, который станет частью большого сетевого распределенного инженерингового центра для решения актуальных задач космической отрасли в кооперации ТПУ и ИФПМ СО РАН. Заведующий кафедрой



Делегация ТПУ на космодроме Байконур в рамках мероприятий по отправке наноспутника «Томск-ТПУ-120» на МКС


физики высоких технологий в машиностроении ТПУ, директор ИФПМ СО РАН Сергей Григорьевич Псахье подытожил: «За последние годы нам удалось совершить настоящий прорыв. И если раньше работа с предприятиями космической отрасли в Томске имела периодический характер, то сегодня это система, и на ТПУ лежит ответственная роль ее координатора».

Беседовал Валерий Чумаков

Спутник действительно летает уже несколько месяцев. Правда, пока не в открытом космосе, а на борту МКС. «Томск-ТПУ-120» — первый российский космический аппарат, созданный с использованием 3D-технологий и уникальных материалов. Он относится к классу наноспутников и имеет размеры 30 × 11 × 11 см. Аппарат разработан в Научно-образовательном центре «Современные производственные технологии» ТПУ совместно с Ракетно-космической корпорацией «Энергия» и ИФПМ. На орбиту его отправили как раз для испытания материалов, использованных при его сборке. Различные датчики спутника фиксируют и передают на Землю данные о температуре на борту, на платах и батареях, параметры электронных компонентов. В открытый космос «Томск-ТПУ-120» планируют запустить буквально с руки во время ближайшего выхода российских космонавтов. Число 120 в названии — не порядковый номер модели, а напоминание о юбилее университета. В день его рождения 11 мая спутник передал на Землю поздравление, записанное на 11 языках: русском, английском, немецком, французском, португальском, китайском, арабском, татарском, казахском, хинди и испанском.



Космонавт Ю.И. Маленченко с наноспутником «Томск-ТПУ-120» на МКС

The image shows an oil field at sunset. In the foreground, there are large, dark pipes and valves, some with red handwheels. In the background, several pumpjacks are visible, their long arms and counterweights silhouetted against the bright orange and yellow sky. The overall scene is industrial and captures the end of a day in an oil-producing region.

Основная часть мировых запасов трудноизвлекаемой нефти находится в Томской и Тюменской областях. Это сотни километров. Колоссальное богатство. И не зря Ломоносов говорил, что российское могущество будет прирастать Сибирью

НЕФТЕДОБЫЧА

Как извлечь НЕИЗВЛЕКАЕМОЕ





Нефть — одно из самых ценных полезных ископаемых, ее не зря называют черным золотом. В мировой топливно-энергетической промышленности она занимает первое место. Однако существующие методы нефтедобычи годятся далеко не всегда. Есть так называемые трудноизвлекаемые запасы нефти, которые по количеству не уступают традиционным. Безусловный лидер в этом отношении — Западная Сибирь. Об этом наш разговор с директором Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета **Андреем Юрьевичем Дмитриевым**.

— Тематика трудноизвлекаемых запасов широко позиционируется во всем мире. Связано это с тем, что в некоторых регионах запасы нефти начинают иссякать. Нашей стране, к счастью, до этого еще далеко, однако вопрос о том, сколько у нас трудноизвлекаемых запасов и как их в случае необходимости извлечь, должен волновать уже сейчас. Это как хлеб: он есть, и хорошо, но если завтра его не будет, что мы будем есть? Значит, надо позаботиться заранее, чтобы была картошка. Так и с нефтью. Все это важно, потому что экономика страны держится в первую очередь на энергоносителях. Для того чтобы все это развивалось, надо искать новые запасы, месторождения. Разведанные месторождения не безграничны. На сегодня крупных месторождений, таких как, например, Самотлор, где просто пробурили скважину и небольшими затратами получили нефть, практически уже нет. Поэтому серьезные ставки делаются на Арктику, где сосредоточены огромные запасы углеводородов. Но это очень большие затраты на инфраструктуру, потому что на текущий момент ее нет.

Есть и другой вариант — уже существующие нефтедобывающие комплексы Сибири, где такая инфраструктура существует, но, оказывается, помимо «легкой» нефти в этих районах есть так называемые низкопроницаемые коллекторы, когда традиционные технологии извлечения нефти не работают. Причем их очень много. Основная часть мировых запасов трудноизвлекаемой нефти находится в Томской и Тюменской областях. Это сотни километров. Колоссальное богатство, и не зря Ломоносов говорил, что российское могущество будет прирастать Сибирью.

— **Но получить ее не так-то просто?**

— Непросто. Эта нефть находится в поровом пространстве. Представьте: когда мы моем посуду, то наливаем жидкость для мытья на губку и она сосредоточивается в порах, а когда мы эту губку сжимаем, жидкость выходит наружу. Теперь представим, что губка сделана из каменистых пород. Сколько их ни жми, нефть оттуда не выйдет. Значит, нужны технологии извлечения жидкости из таких низкопроницаемых поровых пространств, где эта нефть сосредоточена. Причем эти пространства крошечные, с проницаемостью нанодарси. На сегодня эффективных и дешевых технологий нет.

По капле нефти, как по анализу крови, можно рассказать о ней целую историю. Анализируя нефть, можно узнать историю планеты. Она — как кровь Земли, исследовать ее — целая наука

— **Но какие-то технологии все же существуют?**

— В этом направлении, безусловно, продвинулись иностранные компании тех стран, где такая нефть нужна уже сегодня. Стандартная технология — так называемый гидравлический разрыв пласта, когда бурится горизонтальная скважина, туда закачивается огромное количество



Директор института природных ресурсов ТПУ А.Ю. Дмитриев

жидкости, которое ломает горную породу, и какое-то время оттуда может вытекать углеводород. Но это дорогое удовольствие.

— А что у нас?

— Мы сейчас находимся на стадии, когда нужно понять, где такая нефть сосредоточена, сколько ее там находится. И потом уже переходить к технологиям, потому что внедрять их можно, только зная местоположение этих трудноизвлекаемых запасов, так называемой сланцевой нефти. Есть запасы, сосредоточенные еще глубже, чем мы сейчас бурим. Это глубина до 5 тыс. м, так называемый палеозой, в то время как сейчас мы бурим до 3 тыс. м. Как добуриться на такую глубину? Есть такое понятие, как несовместимые условия бурения, когда можно пробурить до определенной глубины без особых проблем, а потом скважина осыпается или происходит другой сбой — и весь буровой раствор уходит в горную породу. Нужны технологии бурения не универсальные, а подходящие для этой конкретной местности. Чтобы понять, какие условия у нас существуют, мы и проводим сейчас свои исследования. Наш Институт природных ресурсов работает совместно с проектным институтом «ТомскНИПИнефть» при поддержке администрации Томской области и компании «Газпромнефть», а также дочерних предприятий компании

«Роснефть». На ближайшую перспективу наши задачи — это поиск и определение количества такой нефти. Для Томской области нефтегазовая отрасль — градообразующая. Однако объемы добычи в последние годы падают.

— Почему?

— Потому что запасы иссякают. На нынешний день коэффициент извлечения нефти — порядка 30–35% в разведанных месторождениях. Еще 65% нефти и газа остаются в земле.

— Хорошо, вот вы найдете все эти запасы, посчитаете, сколько их. А дальше что делать будете?

— Будем на керновом материале изучать, какой способ их добычи оптимален. Прежде чем бурить эксплуатационные скважины, берутся разведочные материалы, образцы горной породы на этих глубинах, а уже затем разрабатывается технология извлечения. Конечно, мы думаем над этими темами. Есть наработки. В этом направлении мы уже лет 15 работаем с Университетом Хериота — Уатта в Шотландии, сотрудничаем по образовательным проектам. Там разработана технология водогазового воздействия. Может быть, нам подойдет воздействие поверхностно-активными веществами и мы будем работать с нашими химическими кафедрами, которые достаточно хорошо вооружены. А вообще нефть — она как вода в реке: в одной чистая и прозрачная, в другой мутная и теплая, и двух одинаковых не бывает. У нас есть профессор Иван Васильевич Гончаров, он может по капле нефти, как по анализу крови, рассказать о ней целую историю. Каждая нефть имеет свою специфику, как судьба человека. Анализируя нефть, можно узнать историю планеты. Нефть — как кровь Земли, исследовать ее — целая наука. Но это следующий этап.

— Вы работаете над этой проблемой уже три года. Каков результат?

— За эти годы мы создали одну из лучших в стране, а может быть и в мире, лабораторий по исследованию этих коллекторов. Думаю, в течение нынешнего и следующего года мы сможем точно сказать, где эти запасы сосредоточены.

— Чем объясняется заинтересованность региональной власти в этом вопросе — только ли экономической выгодой?

— Не только. Тут важен человеческий фактор, решение проблемы моногородов. Огромное количество людей сосредоточено на этих территориях, где многие годы велась нефтедобыча, там созданы все условия для их жизни и работы. Необходима государственная поддержка, чтобы эти люди не потеряли работу. Ведь это профессионалы высокого класса. Большой плюс — то, что не надо создавать инфраструктуру заново, она существует, ее просто модернизируют под другие условия.



Центр подготовки и переподготовки специалистов нефтегазового дела ТПУ

— В американском блокбастере «Армагеддон» бурильщики взорвали астероид и спасли Землю. Смотрели этот фильм?

— А как же. У нас в Томске есть Институт физики высоких технологий, вот они летают в космос, печатают свои спутники на 3D-принтере. А у нас есть идея полететь в космос, напечатать по дороге буровую установку и бурить скважины на Марсе, исследовать Красную планету, погрузиться на большую глубину. Может, там, под грунтом, мы найдем Аэлиту. То есть не везти буровую с собой, как в «Армагеддоне», а напечатать ее прямо там. Мы сделаем круче, чем они. Шутки шутками, а может быть, когда-нибудь получится?

Марат Рамисович Камартдинов, директор Центра подготовки и переподготовки специалистов нефтегазового дела ТПУ:

— Наш центр существует уже 15 лет. Его уникальность в том, что на его базе реализуется совместная программа подготовки специалистов нефтегазовой отрасли. Это совместный проект двух университетов: эдинбургского Университета Хериота — Уатта и Томского политехнического

университета. На нашей базе осуществляется подготовка специалистов по разработке месторождений — инженеров-разработчиков месторождений нефти и газа и нефтяных геологов.

Наша программа — комплексный подход к разработке месторождений. Разработка и добыча нефти — это очень серьезная мультидисциплинарная задача. Если геологов, которые должны найти нефть, разработчиков, специалистов по технологии добычи, буровиков рассматривать как отдельные звенья, то они вроде успешно работают, но когда мы пытаемся их стыковать, возникают неполадки. Геологи

не рассказали буровикам о чем-то важном, в итоге в бурении не был достигнут успех. Разработчики не учли ограничений по оборудованию — разработка неэффективна. Наши программы позволяют дать полный кругозор, когда наш слушатель знает всю цепочку событий и умеет эти знания

Сегодня слушатели делятся на команды из семи-восьми человек. Им дается небольшой участок реального месторождения, скважины, на котором они дистанционно с помощью специализированного ПО проводят все исследования

- Согласно данным Министерства природных ресурсов и экологии РФ, Россия обладает одним из наиболее значительных ресурсных потенциалов в мире. При наличии инновационных технологий мы можем извлечь 17,8 млрд т уже разведанной нефти. Перспективные запасы насчитывают еще 10,9 млрд т.
- У России наиболее крупные запасы нефти сланцевого типа в мире — 75 млрд баррелей, сланцевого газа — 7 трлн м³, что выводит нашу страну на девятое место по запасам этого вида топлива.

- В России подавляющая часть запасов относится к трудноизвлекаемым. Сегодня более 60% нефти и газа при разработке месторождения остаются в земле.
- Мировые запасы тяжелой нефти, битумов и нефтяных песков составляют более 800 млрд т.
- Доля трудноизвлекаемых запасов нефти в России превышает 50% (это нефть на глубинах более 4 тыс. м; в слабопроницаемых коллекторах; в зонах контакта нефти и воды, нефти и газа; содержащая высоковязкую нефть, сероводородные примеси и др.).

Лаборатория по исследованию керна ТПУ



применить. В этом плане они очень успешно реализовывают себя в нефтегазовых компаниях.

Второй важный момент — практическая ориентированность на выполнение задачи. Весь курс подготовки делится на две глобальные части: теоретическая часть, где изучают всю последовательность наук — от геологии до экономики, и практическая работа. Сегодня слушатели защищали так называемый групповой проект. Они делятся на команды из семи-восьми человек. Им дается небольшой участок реального месторождения, скважины, на котором они дистанционно с помощью специализированного программного обеспечения проводят все исследования. На примере этого месторождения слушатели осуществляют все расчеты.


Заключительный этап практической работы — защита проекта. Обычно она проходит успешно. Надо сказать, обучить таких специалистов довольно дорого. Оплачивают учебу спонсоры — нефтегазовые компании. Ясно, что бросать деньги на ветер они не будут. Мотивация на учебу очень

высока. Это элитные специалисты, крайне востребованные в отрасли. На весь проект им дается два месяца, хотя в институтах такая работа занимает не менее года. У нас на защитах присутствуют специалисты компаний «БашНИПИнефть», «РН-Няганьнефтегаз», «Томскнефть», «СИАМ», «Сургутнефтегаз», Тюменского нефтяного научного центра. Они смотрят, слушают и заодно выбирают тех, кого пригласят к себе в компанию. Как правило, с трудоустройством у наших выпускников проблем не бывает. ■

Беседовала Наталья Лескова

- По оценкам Управления энергетической информации США, доля сланца в американской газодобыче должна вырасти с сегодняшних 20% до 49% к 2035 г.
- С целью разработки и внедрения технологий по извлечению трудноизвлекаемых запасов нефти и газа сегодня в стране формируются специальные полигоны в Томской области, ХМАО, Татарстане. Полигонная отработка технологий должна способствовать росту добычи нефти и газа из нетрадиционных источников.

- Баженовская свита — горизонт горных пород, выявленных в центральной части Западной Сибири на глубинах 2,5–3 тыс. м. Эта группа пород распространена на территории около 1 млн км², при этом имеет сравнительно небольшую толщину — от 10 до 40 м. По смелым оценкам геологов, ресурсы нефти в пластах баженовской свиты только на территории Западной Сибири достигают 100–170 млрд т.



Потому что без воды...

Вода — это показатель многих процессов на нашей планете. Например, по составу воды можно предположить, есть ли в том или ином районе месторождение полезных ископаемых.

Вода — это фундаментальная составляющая земных биосистем, без нее жизнь не может существовать. Но есть одна важная оговорка: вода должна быть чистой. А вот с этим по мере развития технократической цивилизации возникает все больше проблем. Здоровье человечества напрямую зависит от того, какую воду оно пьет. Можно ли, не сворачивая с пути научно-технического развития, сделать жизненно необходимую жидкость чистой и безопасной для здоровья?

Степан Львович Шварцев, профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии ТПУ:

— Все живое состоит как минимум на 60% из воды. Мы с вами — на 70%: мозг на 90%, кровь на 95%, кости на 30–40%, мышечные ткани — на 50–60%, а в среднем — 70%. Интересно, что и на Земле вода тоже занимает 70% поверхности. Случайность это или нет — другой разговор.

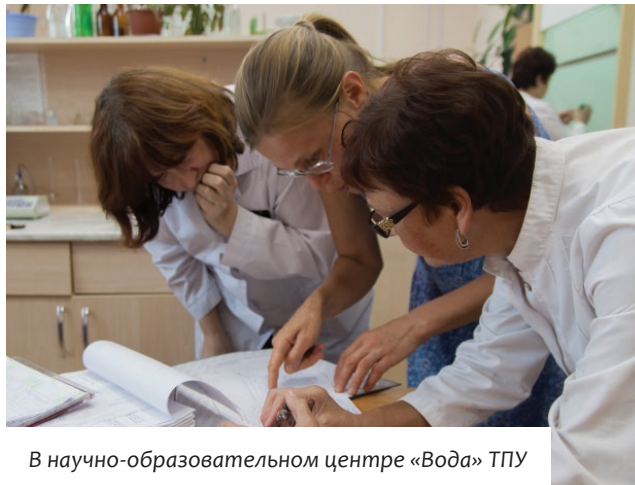
Казалось бы, вода — очень простое соединение, но она играет колоссальную роль

Альбина Анатольевна Хвацевская, руководитель научно-образовательного центра «Вода» ТПУ: — Мы занимаемся изучением состава воды и ее взаимосвязи с микрофлорой — в горной породе, в органическом веществе, наконец, в организме человека, который тоже, как известно, в значительной степени состоит из воды. Центр анализирует состояние воды и присутствующие в ней разные элементы. Если очень коротко, мы стараемся понять роль воды в создании окружающего мира. Тут много вопросов — и философских, и физических, и химических.

Одно из направлений, которыми занимается центр «Вода», — изучение состава и качества воды, которая используется для питья. Мы хотим показать людям, какая вода качественная, какую можно использовать для питья, какое качество воды приоритетно. Вода — это показатель многих процессов на нашей планете. Например, по составу воды можно предположить, есть ли в том или ином районе месторождение полезных ископаемых. Сейчас мы работаем с одной компанией по разведке золота.

Следующее направление — вода для различных бальнеологических целей, для лечения человека, используемая в медицине. Важно знать ее состав и качество. Есть новое направление, связанное с содержанием воды в организме человека. Для этого мы занялись изучением состава крови человека. У всех людей этот состав различается, двух абсолютно одинаковых нет. Поэтому и потребности

в формировании окружающего мира. Почти все на поверхности нашей планеты сформировано водой, даже минералы и большая часть горных пород. При этом роль воды в происхождении мира до сих пор глубоко не осмыслена. Это вредит науке, потому что без этого мы не можем понять суть многих явлений — от формирования земной коры до происхождения жизни. Сейчас, когда мы пытаемся выяснить, есть ли или была ли когда-нибудь жизнь, скажем, на Марсе, первым делом мы спрашиваем, а есть ли там вода.



В научно-образовательном центре «Вода» ТПУ

у всех людей разнятся. Одному нужен фтор, другому йод, а третьему все это противопоказано.

Вопрос, который сейчас стоит перед большинством нефтяных компаний, — вторичные продукты, которые образуются на сооружениях нефтегазодобычи. Они понижают нефтеотдачу. И это тоже зависит от того, какая вода окружает скважины, подается для поддержания пластового давления. Кто виноват и почему это произошло? Это связано с изменением состава воды, которая поднимается из глубин до тысячи километров и попадает на кислородную поверхность. Происходит процесс вторичного минералообразования.

Получается, что вода может быть не только полезной, но и агрессивна к различным конструкциям, сооружениям, зданиям, мостам и т.д. Прежде чем начать обустройство, строительство, проводятся инженерные изыскания. Сюда должны входить и обязательные исследования воды.

Основное отличие нашей лаборатории от всех прочих — комплексность. Мы не изучаем отдельно макро- и микрокомпоненты. Нас интересует взаимосвязанная структура в воде. У нас есть различные химико-аналитические методы, приборная база. Мы работаем с самыми разными структурами — от газовиков и нефтяников до центра гемодиализа Областной клинической больницы, которому для аппарата искусственной почки нужна очень чистая вода, и мы оцениваем ее качество.

Алексей Николаевич Яковлев, директор Института физики высоких технологий ТПУ:

— Наш институт небольшой, но по сути своей политехнический: у нас есть химические, оптические технологии, нано- и биотехнологии, машиностроение и материаловедение, космические технологии, в рамках которых мы на 3D-принтере изготовили малый спутник, находящийся сейчас на борту МКС. С водой у нас связано несколько направлений. Первое — это добыча подземной воды и подготовка ее для питьевых нужд. Мы создаем водоочистительные комплексы для получения питьевой воды, а также для технической воды, которая нужна многим крупным производствам.

С водой вообще существуют большие проблемы. Взять хотя бы наш сибирский регион, где, казалось бы, воды много. Но в ней присутствуют марганец и железо, причем в больших концентрациях. Пить ее можно только после соответствующей очистки. Все эти воды, как правило, подземные, хотя есть, конечно, и уникальные источники, из которых можно пить без всякой очистки. Но большей частью вода непригодна для питья.

Кипячением эту проблему не решить. Оно приводит к тому, что какие-то вещества выпадают в осадок, но чаще всего возникают органические соединения, которые остаются в воде, и избавиться от них простыми способами невозможно. Поэтому есть необходимость в очистных сооружениях.

Например, у нас есть мобильные очистные комплексы. Сегодня на рынке никто не предлагает решения, подобные нашим. Минимальный вариант такого комплекса — 50 см³ с ручным насосом. Его можно привезти на автомобиле, установить на даче, прокачать скважину и получить чистую питьевую воду. Для этого не нужно электричество, нужен только источник воды.

Следующая модификация — это уже наличие электроприводов и, соответственно, электрическая подача в систему воды. Эта установка немножко больше, она занимает примерно один кубометр

пространства. Это тоже мобильное устройство, которое можно установить в коттедж или дачный дом. Сейчас мы ищем промышленных партнеров. Рассматриваем вариант поставки таких комплексов для МЧС, поскольку проблема воды на выездных маршрутах для них стоит очень остро. Есть и другие мобильные комплексы, простые и эффективные, работающие на основе разработанных нами сорбентов. Это сменные картриджи, трубки со вставкой сорбента, через который происходит прокачка и очищение воды.

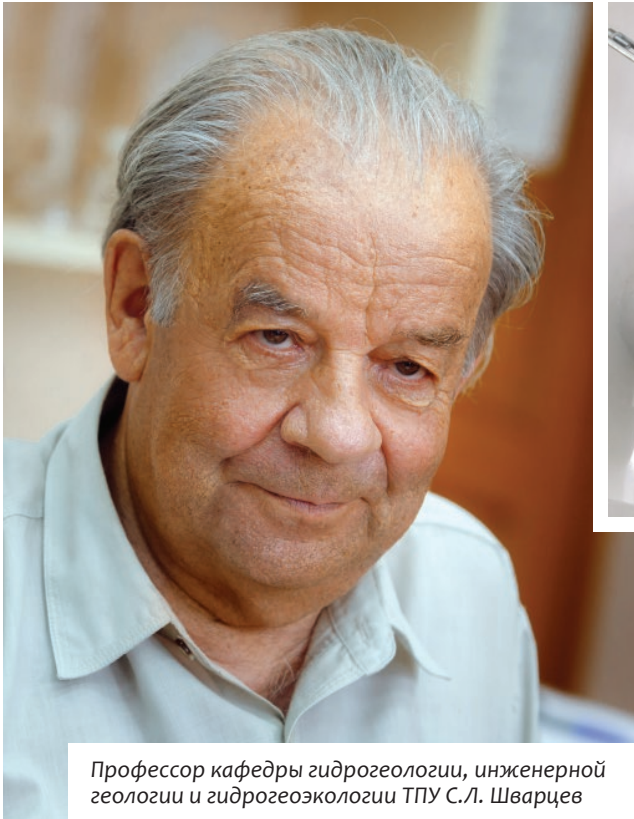
Третье направление — очистка хозяйственных стоков. Здесь задача в первую очередь экологическая. Ее мы решали в течение трех лет совместно со специалистами «Газпром трансгаз Томск», компании, выступающей заказчиком данных исследований. Это большие установки, которые фактически помещаются на линейные производственные площадки, где есть небольшое количество стоков. Сейчас водоочистной комплекс рассчитан примерно на 20 кубометров сточных вод в сутки. Мы очищаем такие жидкости до рыбохозяйственных требований, а эти требования гораздо выше тех, которые предъявляются к водопроводной воде.

— Можно ли таким образом очистить Байкал, который, как известно, сейчас погибает от загрязнения?

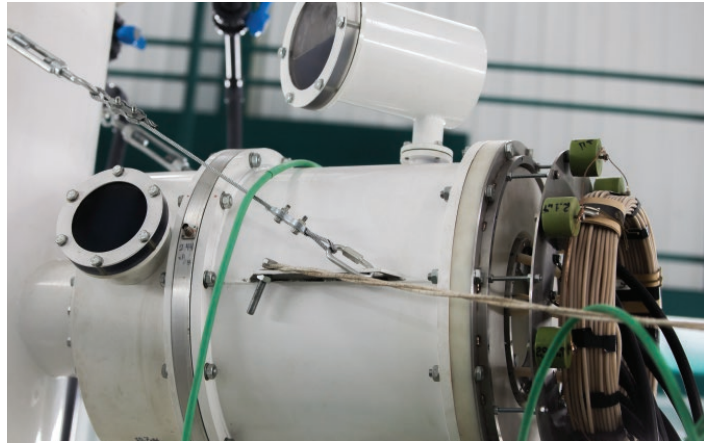
— Мы пока не пробовали решать эту задачу, но, думаю, если нас попросят с ней познакомиться, все возможно. Конечно, объем очищения там совсем другой, значительно больший. Но метод позволяет увеличивать объемы. Ноу-хау заключается в том, что используются радиационные методы очистки: пучок электронов направляется на водовоздушную смесь, активирует ее, и в результате этой активации через какое-то время происходят химические реакции, под действием радиации погибают все биологические структуры, которые есть в этой воде. А дальше все, что выпало в осадок, и все, что прореагировало, мы собираем обычными фильтрующими системами.

— Вы сказали, что методы очистки радиационные. Наверняка есть люди, которые этого боятся.

— Да, радиофобия у нас присутствует. Многие люди боятся всего, что связано со словом «радиация». У нас, например, есть технология стерилизации, основанная на радиационной методике. Мы работали с французскими компаниями. Когда узнали, что это так запросто можно применять, они очень заинтересовались и стали искать рынки сбыта у себя во Франции. И там столкнулись с радиофобией, хотя Франция — это страна с развитой атомной энергетикой. Причем французы очень гордятся тем, что в отличие от других стран Европы у них нет загрязнения за счет выбросов ТЭЦ и ГРЭС. У них чистый воздух и незагрязненная почва. А все равно боятся.



Профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии ТПУ С.Л. Шварцев



Импульсный высоковольтный трансформатор исследовательского комплекса радиационно-пучковой обработки

— Давайте скажем, почему не стоит этого бояться.

— Не стоит бояться, потому что здесь нет навешенной радиации. Мы используем импульсные источники излучения. Условно говоря, вы включили его в розетку, он выдает радиационное воздействие, выключили — этого радиационного воздействия нет, и остаточного его действия тоже быть не может. Действие радиации происходит только в тот момент, когда установка включена.

— А как же люди, которые на ней работают?

— У нас специально разработана физическая защита, которая помогает операторам не схватить дозу. За пределы бокса эти радиационные поля и излучения не выходят. Все достаточно безопасно. Тем не менее мы занимаемся разработкой автоматических систем управления, которые позволяют довести все это до технологий, работающих в автоматическом режиме, когда присутствие оператора нужно только в критических ситуациях или для сервисного обслуживания комплекса — в таких случаях установка находится в выключенном состоянии. Все эти технологии будут использованы в ближайшей перспективе.

— Слышала, сейчас вы проводите опытную эксплуатацию на реальном объекте?

— Да, у нас в Томской области в поселке Заварзино стоит такой объект «Трансгаза», который полноценно нарабатывается на ресурс на реальных стоках. Результат очень хороший.

— Но пить такую воду, наверное, все-таки нельзя? Она же сточная.

— Она очищается не для питьевых целей, но вообще-то пить ее можно. У нас в Томском политехе есть лаборатория, где нашу воду исследуют. Так вот, по всем показателям она даже чище, чем та, которую мы пьем дома из водопровода.

— А куда деваются вредные вещества, которые вы отфильтровали из этой воды?

— Вода идет на грунт, а все те вещества, которые находятся в сточных водах, должны быть где-то сконцентрированы. У нас есть концентратор, который их накапливает, и примерно раз в полгода их доставляют на полигон твердых бытовых отходов. Они не испаряются, просто высушиваются и запечатываются. Причем им присвоен низший класс опасности, так что бояться не стоит.

— А вы сами пьете воду, вами очищенную?

— Пьем в домашних условиях. Особенно те, у кого есть дачи и огороды. Вода отличная. А вообще уже более 150 наших установок работают на различных предприятиях — на объектах ЖКХ, «Газпрома». Есть немало положительных отзывов.

— Вы занимаетесь и другими вопросами, связанными с жизнеобеспечением на нашей планете. Например, выращиваете водоросли. Зачем?

— Над этой темой мы начали работать совсем недавно. Из школьного курса биологии мы знаем, что растениям нужен спектр излучения с определенной длиной волны. Иначе говоря, разведение растений в условиях защищенного грунта — это в том числе и светотехническая задача. У нас есть измерительные приборы, калиброванные на чувствительность человеческого глаза. А у растений иная чувствительность — они воспринимают излучение по-другому. Нас это заинтересовало, и мы стали изучать, как же смоделировать нужный для тех или иных целей спектр излучения. Раньше традиционно использовались газоразрядные источники

света, такие как люминесцентные и натриевые лампы. Но это обычно желто-зеленые области спектра, которые растениям как раз не нужны, либо спектры, удобные глазу человека. Растения же зеленый свет отражают, поэтому листва у них чаще всего зеленая. Мы смоделировали спектр излучений, который нужен микроводорослям и другим растениям. Это дает возможность создавать адаптивные системы для того, чтобы ускорить развитие растений, либо, наоборот, воздействовать на них так, чтобы они не размножались. Ведь есть водоемы, сильно загрязненные водорослями, и там дополнительный рост не нужен.

— **Такие, как Байкал, где пышным цветом цветела ядовитая водоросль спиригира?**

— С помощью наших технологий можно бороться с таким нежелательным ростом. Второе — мы пришли к выводу, что нужно делать биокультиваторы, которые помогут выращивать микроводоросль хлореллу. Эту продукцию используют в качестве удобрения для растений, их полива, а также как ценные пищевые добавки для корма скота и птицы. А потом мы выяснили, что некоторые водоросли могут быть полезны и для человека. Есть такая водоросль — спирулина, которую активно используют в качестве биологически активной добавки (БАД). Она крайне полезна, потому что содержит все необходимые человеку микроэлементы, которые усваиваются лучше, чем мясо рыбы или птицы. Сейчас мы работаем над тем, чтобы разрабатывать так называемые бытовые культиваторы, которые каждый желающий сможет держать у себя дома. Скажем, налил туда стакан или два воды — и наутро готов экологически чистый и полезный растительный завтрак.

— **А что это за теплицы находятся в вашем институте?**

— Мы разрабатываем адаптивные облучательные системы для тепличных хозяйств. Растение в своем биоритме ориентируется на продолжительность дня, на спектральный состав. Наши исследования позволяют определить промежутки времени, в который каждому конкретному



Лаборатория кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии ТПУ

растению требуется тот или иной спектральный состав. Мы обманываем растение и заставляем его расти и плодоносить быстрее. Сейчас мы ориентируемся на огурцы, помидоры, салат. С нашими партнерами из сельхозотраслей мы уже получаем замечательные результаты: в прошлом году, заменив обычные светильники на предложенные нами светодиодные системы (это, по сути, просто белый свет), мы получили увеличение эффективности роста в два раза. Кроме того, это экономия по электроэнергии в два с половиной раза. То есть это значительно дешевле и эффективнее, чем привычные способы выращивания растений.

— **Насколько я поняла, ваш институт собирается накормить и напоить человечество.**

— Да, если говорить о дальней перспективе — планы именно такие.

Михаил Борисович Хаскельберг, заместитель руководителя проекта «Импульс», ведущий инженер лаборатории № 12:

— Мы занимаемся в том числе разработкой оборудования для производства ультрадисперсных, или нанодисперсных порошков. Мы научились использовать электрический разряд для очистки воды. Способ очень простой, он подобен природному процессу очистки воды. Можно сказать, мы подсмотрели и украли этот прием у матушки-природы. Было это так. Мы летели в командировку на самолете и оказались над грозовым фронтом, над облаками. Пришла идея: если природа использует разряды молний для самоочистки, почему бы и нам так не попробовать?

Что такое гроза? Происходит разряд молнии, в котором вырабатываются активные частицы атомарного кислорода, гидроксильные радикалы, озон и др. Дальше это все падает вниз, на землю, там фильтруется и попадает в подземные источники. Потом мы это пьем и нахваливаем. Другое дело, что в земле все это тоже может загрязняться, но это особый разговор. Именно такую систему мы и построили. Мы организуем поток в виде мелких капель, которые в специальной вертикальной колонне падают вниз, по дороге насыщаясь кислородом. Мы знаем, что разряд в воде зажечь нельзя, это известно из пятого класса физики, потому что вода — проводник. Но на коротких импульсах вода становится диэлектриком, значит, можно зажечь разряд на потоке воды, что мы и проделали. Мы выстроили специальную электродную систему, где в отличие от природных условий происходит не однократный пробой, а постоянный процесс.

Наш разряд низкоэнергетичный. Мощность, которая требуется на обработку одного кубометра воды, равна всего-навсего 50 Вт. Это ресурсоэффективная технология в полном смысле слова. Видите, горит обычная, довольно тусклая лампочка? Этой электроэнергии достаточно, чтобы эффективно



Микропузырьковый реактор экспериментальной установки для обессоливания воды



Частотный импульсный источник сильноточных электронных пучков Astra-M

очищать тысячу литров воды. В отличие от обычных сухих озонаторов, при использовании которых нужно осушать воздух, создавать давление, ставить очень точное оборудование, налаживать систему транспортировки озона, здесь это не требуется, потому что система самонастраивающаяся и вырабатывает ровно столько, сколько нужно.

Вторая часть нашей работы — разработка сорбирующих материалов. Способов очистки воды очень много, и сорбенты сейчас изготавливает весь мир. Поэтому здесь мы не пионеры. Однако мы разработали очень доступный и дешевый сорбент — наверное, по этим качествам лидирующий. Наши сорбенты очень хорошо удаляют высокотоксичные тяжелые металлы: мышьяк, ртуть, свинец, хром, цинк и т.д. Раньше эффективных методов удаления этих веществ из воды просто не было. Есть очень дорогие фильтры, которые чистят, но не дочищают. Наши же очищают идеально. Они прошли лабораторные испытания, показавшие очень высокую эффективность. Ценность такого сорбента еще и в том, что он буквально лежит у нас под ногами. Для его получения мы берем кирпич, песок, можно бурый, некачественный, отходы строительного производства. То есть из вещей никому вроде бы не нужных, которые вообще ничего не стоят, мы можем сделать бесценную систему очистки воды.

Роман Владимирович Сазонов, старший научный сотрудник лаборатории пучково-плазменных технологий ТПУ:

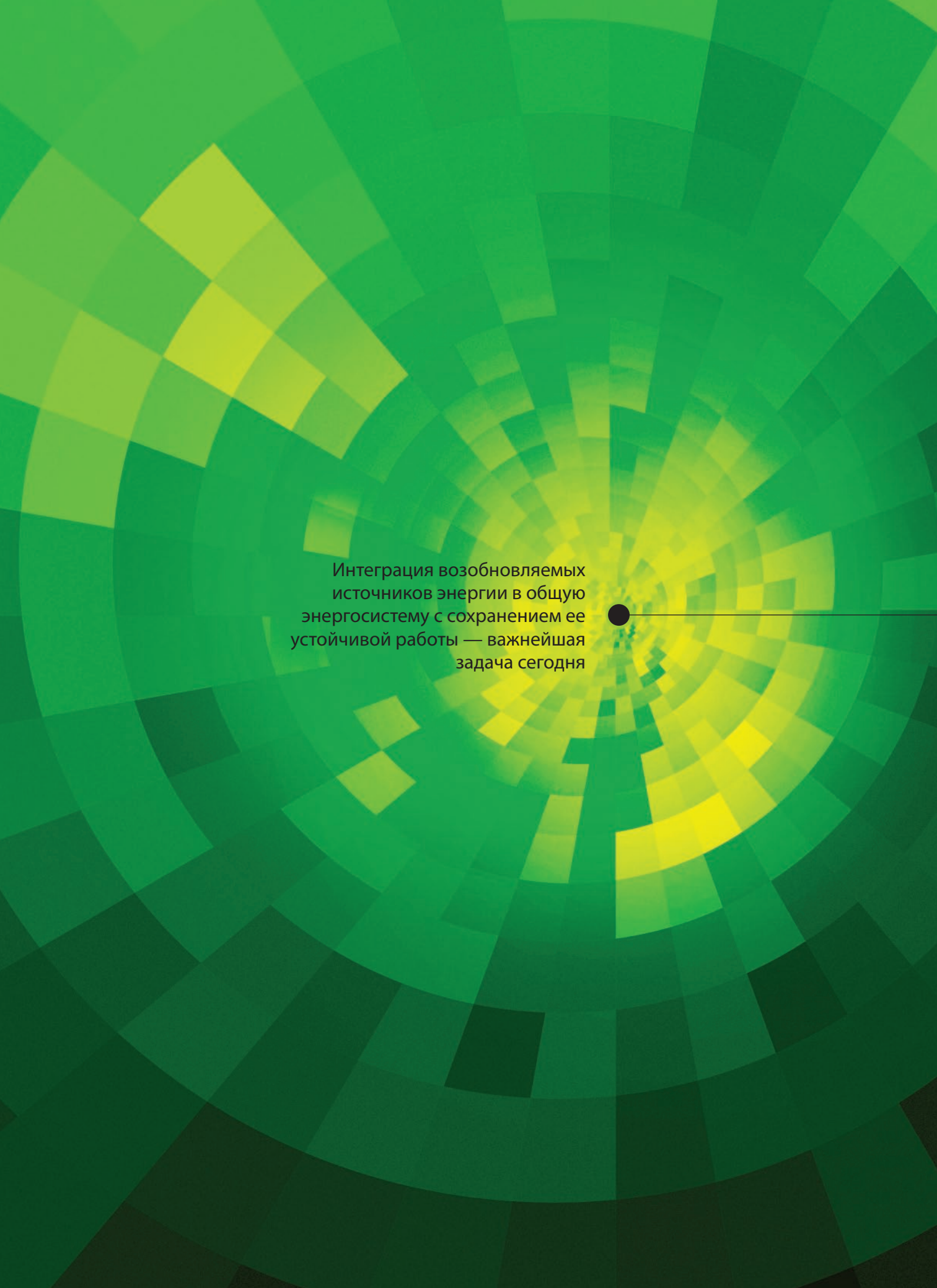
— Мы находимся в экспериментальной лаборатории по очистке и обеззараживанию хозяйственно-бытовых сточных вод. Здесь — сердце нашей технологии, импульсно-электронный ускоритель. Это наша собственная разработка, на нее у нас есть патент. Пучок направлен вниз, а навстречу ему направлен сток в виде водовоздушной смеси,

уже прошедшей первичную и вторичную механическую обработку. Дальше происходит самое интересное. Электроны, попадая в каплю воды, вызывают радиолит. В результате в стоке воды мы имеем активные частицы, *ОН*-радикалы, гидратированные электроны, атомарный кислород, которые сами по себе химически активны и начинают вступать в реакции с теми примесями, которые содержатся в стоке.

Вторая фаза: под действием электронного пучка вся микробиология гибнет. Последняя стадия — еще одна дополнительная механическая очистка. Проведена большая научно-исследовательская работа. Сейчас у нас разработан комплекс, который находится на стадии промышленной эксплуатации на одном из объектов «Газпрома». Он дооснащен узлами и агрегатами. Требования, предъявляемые заказчиком к этому комплексу, были довольно жесткими. Например, заказчик требовал безлюдную, мобильную технологию. Мы со всеми задачами успешно справились. Теперь наша цель — довести этот комплекс до промышленного внедрения.

Чем хорош этот комплекс? Во-первых, беспрецедентный уровень очистки стока. Мы уже получили всю нормативную документацию, согласно которой отработанный сток можно сливать в любой водоем. Второе — это альтернатива стандартному биологическому методу очистки, у которого очень много недостатков, в том числе непригодность к суровым климатическим условиям. Например, на Дальнем Востоке и в Сибири, где климат не позволяет работать с ним эффективно, надо подогревать котел, а это довольно сложно и энергоемко. Сейчас мы работаем над увеличением производительности этого комплекса, чтобы он мог очищать значительно большие объемы воды. ■

Беседовала Наталья Лескова



Интеграция возобновляемых
источников энергии в общую
энергосистему с сохранением ее
устойчивой работы — важнейшая
задача сегодня

Экологичная
и эффективная

ЭНЕР- ГЕТИ- КА

уже сегодня

цивилизация начала развиваться, когда человек научился добывать огонь, у которого он грелся и готовил пищу. С тех пор энергетика претерпела множество изменений. Люди научились преобразовывать первичную, природную энергию во вторичную — электрическую, тепловую, ядерную. Помимо новых возможностей это принесло серьезную экологическую опасность для всего человечества. Можно ли создать новые экологически чистые и в то же время эффективные энергетические технологии, мы выяснили у директора Энергетического института Томского политехнического университета **Валерия Михайловича Завьялова.**



Директор Энергетического института ТПУ доктор технических наук, профессор В.М. Завьялов

— Валерий Михайлович, здание вашего института выглядит весьма нестандартно — его украшают солнечные батареи, а во дворе стоят какие-то хитрые генераторы. Это часть вашей программы по созданию зеленой энергетики?

— Именно так. Экологические аспекты энергетики — важное направление нашей работы, поддержанное Министерством образования и науки РФ как одна из прорывных научно-образовательных программ Томского политехнического университета. В первую очередь мы рассматриваем вопросы, связанные со снижением негативного влияния энергетики на изменение климата. В декабре прошлого года было принято Парижское соглашение, связанное с влиянием жизнедеятельности человека на такого рода процессы. В первую очередь это касается именно энергетики. Я бы выделил несколько основных направлений, которые у нас интенсивно развиваются и уже приносят свои плоды.

Одно из направлений — вопросы, связанные с возобновляемой энергетикой, которая в Европе сейчас очень интенсивно интегрируется в общие энергосистемы. Министерство энергетики РФ также поддерживает развитие этого направления. Строятся большие мощности на Алтае, на Урале,

в других регионах, есть проекты и в Крыму. Мы стараемся найти ответы на такие вопросы, как, например, эффективное локальное использование нескольких возобновляемых источников энергии — ветровых, солнечных накопителей.

Другой важный вопрос — интеграция возобновляемых источников энергии в общую энергосистему с сохранением ее устойчивой работы. Дело в том, что такая энергия во многом зависит от природных факторов. С одной стороны, надо максимально использовать возобновляемую энергию, с другой — при необходимости восполнять ее традиционными энергоносителями. Например, у нас в Сибири на постоянную солнечную энергию особых надежд нет.

Еще одно направление, активно развивающееся в институте, — вопросы, связанные с преобразованием углеводородов. В первую очередь, это уголь — один из основных источников парниковых газов, оказывающих активное воздействие на окружающую среду. У нас ведутся интересные работы. Один из наиболее крупных проектов — разработка технологии газификации твердых видов топлива. Это процесс, когда уголь, торф, другое твердое топливо не сжигаются напрямую, а производится несколько циклов путем преобразования твердого топлива в синтез-газ. В этой технологической цепочке ведется очистка от вредных окислов серы, азота, других выбросов. Дальнейшая наша работа — преобразо-

На территории ТЭЦ-3 в Томске монтируется уникальная установка комплексных испытаний газификации твердого топлива промышленного уровня, которая в перспективе будет подключена к энергоблоку действующей электростанции

вание синтез-газов в водород с отделением углекислого газа. Получение водорода — это дополнительное, очень востребованное направление в водородной энергетике.

— Вы активно ведете экспериментальные работы. Расскажите о самых интересных результатах.

— Сейчас на территории ТЭЦ-3 в городе Томске в процессе монтажа находится уникальная установка комплексных испытаний газификации твердого топлива промышленного уровня, которая в перспективе будет подключена к энергоблоку реально действующей электростанции. В конце года мы должны провести первые опытные испытания. Затем она будет использоваться для отработки режимов и научной работы, кроме того, предполагается, что эта установка будет интегрирована в энергоблок, то есть будет приносить прибыль компании в рамках выработки электро- и тепловой энергии.

В будущем мы планируем развивать еще одно важное направление — блок водородной энергетики, где будут комплекс преобразования твердого топлива, выработка, синтез и накопление водорода, а затем его утилизация на топливных элементах, которые при окислении водорода напрямую вырабатывают электрическую энергию без каких-либо вредных выбросов. На выходе получаются только вода и электричество — это как раз та самая чистая, зеленая энергетика, к которой мы и стремимся.

— Насколько это близкое будущее — зеленая энергетика?

— Я бы сказал, это не будущее, а уже настоящее. Многие европейские страны, например Германия, отказываются от угольной энергетики. Сейчас у них запущена программа отказа от ядерной энергетики, хотя ее иногда относят к чистой, потому что она не дает выбросов парниковых газов. И все-таки они не сочли ее безвредной.

— А у нас?

— Думаю, и у нас это не за горами. В рамках Парижского соглашения мы взяли на себя обязательства по снижению выбросов парниковых газов



Создание органоугольного топлива

до 75% от показателей 1990 г. Это накладывает большую ответственность, в том числе и по продвижению этих технологий.

— Значит, есть шанс, что мы не задохнемся?

— Вопрос не столько в том, задохнемся мы или нет, сколько в том, что наш климат глобально изменится, температура на планете повышается, и мы должны противопоставить этому процессу новые, экологически безвредные технологии.

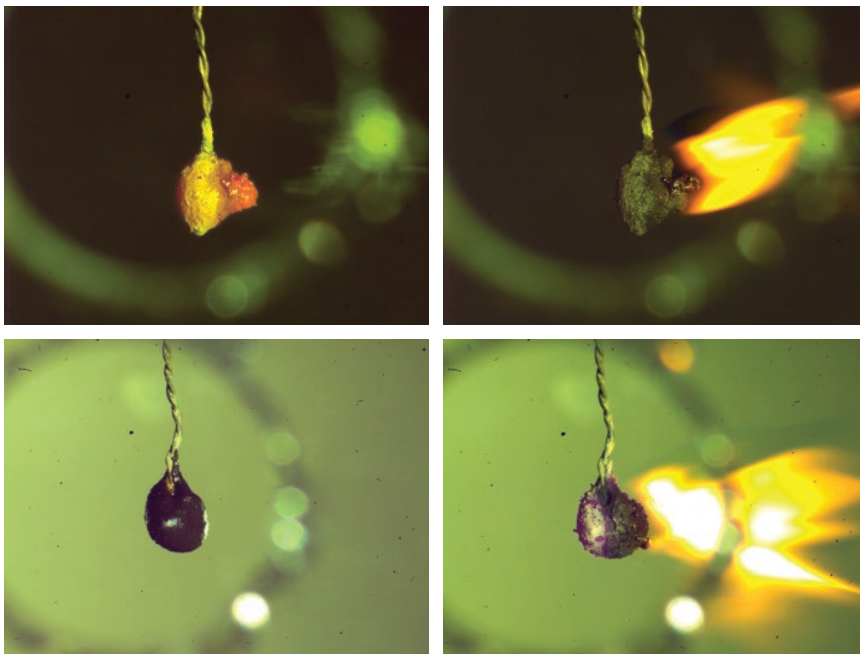
Борис Владимирович Лукутин, профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий ТПУ:

— В нашей лаборатории трудятся молодые сотрудники, аспиранты, магистранты. У нас есть совместная с Кассельским университетом в Германии магистерская программа «Возобновляемые источники энергии», которая существует уже десять лет. Мы стараемся во всем соответствовать мировым стандартам.

Однако вот что важно. Если мы хотим, чтобы наша энергетика стала зеленой, нужны более совершенные возобновляемые установки. Мало того, нужно переделывать саму электроэнергетическую систему. А это большие затраты. Государство на это идет неохотно, во многом его деятельность не соответствует экологическим интересам. Здесь



Доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий Б.В. Лукутин



Стадии процесса газификации капли водоугольной суспензии

роль университета как образовательного учреждения очень велика. Мы готовим специалистов именно в этой области, людей с экологическим мышлением. Верю, что они изменят мир к лучшему.

Владимир Евгеньевич Губин, заместитель директора Энергетического института по научной работе, доцент кафедры атомных и тепловых электрических станций, кандидат технических наук:

— Наша лаборатория интересна тем, что ранее здесь находился машинный зал действующей тепловой электростанции, располагались реальные установки, турбины, и мы сохранили некоторые из них в качестве экспонатов. От этого источника осуществлялось снабжение электрической и тепловой энергией объектов Томского политехнического института и близлежащих территорий. Сейчас эту функцию мы не выполняем, мы занимаемся другим — подготовкой специалистов в области энергетики и проведением фундаментальных и прикладных исследований в сфере производства энергии. Однако для нас эта преемственность очень важна.

Если говорить о зеленой энергетике, мы сейчас реализуем масштабный и очень важный проект — внедрение на действующих объектах энергетической экологичных технологий газификации твердых видов топлива. В рамках этого проекта на территории Томской ТЭЦ-3 мы сооружаем

ем с водой. Надо испытать эти технологии, отработать режимы и подготовить для индустриального партнера техническое задание на изготовление промышленного образца.

Мы создаем здесь собственную уникальную специализированную научно-исследовательскую лабораторию газификаций твердого топлива. У нас появились тесные научные контакты с новосибир-

опытно-промышленные образцы двух установок разных технологий газификации — прямоточный вихревой и горновой способы. У нас есть очень мощные партнеры — компания «Компомаш-ТЭК», которая занимается изготовлением оборудования, а также признанный эксперт в области энергетики — Всероссийский теплотехнический институт. Индустриальным партнером, осуществляющим софинансирование федеральной целевой программы, в рамках которой реализуется проект, стал фонд «Энергия без границ». Наша задача — создать эти два образца совершенно разных технологий.

Одна технология — это газификация мелких фракций угля. Вторая — это газификация водоугольной суспензии, когда мы уголь особым образом смешива-

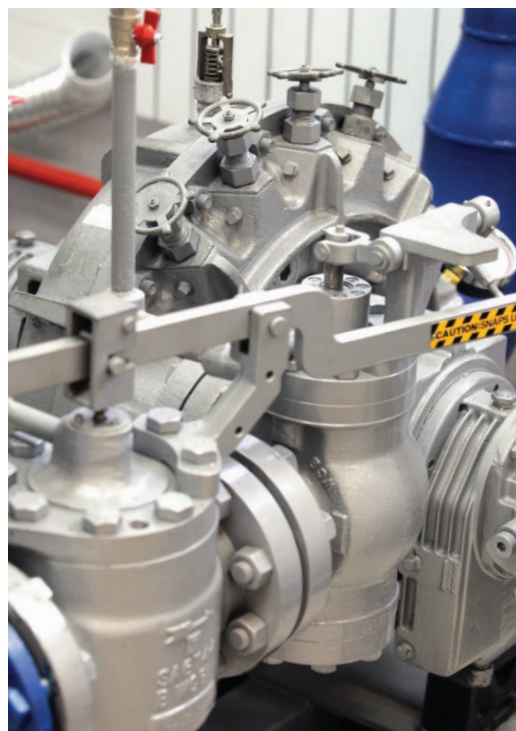
Более 40% тепловой электрической энергии в мире производится на угле, который опаснее всех других видов топлива с точки зрения вредных выбросов. Один из вариантов решения проблемы — органоводоугольные топливные композиции

ским Институтом катализа РАН. Они тоже заинтересовались этой темой. Наши сегодняшние методики моделирования экспериментов позволяют многократно увеличить интенсивность исследований и подобрать самые эффективные каталитические агенты.

В настоящее время монтируется и в ближайшее время начнет свою работу уникальный объект на ТЭЦ. Это стенд комплексных испытаний,



Научный руководитель ЭНИН по направлению «перспективные технологии газификации твердых видов топлива» В.Е. Губин



на котором будут проведены промышленные испытания опытных образцов, — объект промышленного уровня, где каждая установка расходует 6–8 т топлива в час с получением синтез-газа в количестве до 25 тыс. м³. Методики испытаний готовы. Установка будет превращать низкокачественный уголь в калорийный синтез-газ. Он высокоэкологичен, без вредных примесей, его можно без опаски сжигать в котле. Есть идеи, как извлекать из него водород, чтобы получить экологически чистое сжиженное топливо. Этим мы убиваем двух зайцев: расширяем спектр используемых видов топлива, вовлекая в энергетический баланс низкие его сорта, и улучшаем экологию, используя в процессе получения энергии экологичный синтез-газ.

Павел Александрович Стрижак, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией моделирования процессов теплопереноса:

— Более 40% тепловой электрической энергии в мире производится на угле. При этом именно уголь опаснее всех других видов топлива с точки зрения вредных выбросов. Один из вариантов решения проблемы — так называемые органоводоугольные топливные композиции, которыми мы и занимаемся. Мы решаем сразу несколько проблем: снижаем выбросы вредных газов в атмосферу, уменьшаем парниковый эффект и добиваемся очень высокой экономической эффективности за счет того, что используем отходы нефтепереработки в качестве компонентов, которые

интенсифицируют горение водоугольной смеси. С этой целью мы разработали новый тип установки — первую в мире камеру сгорания, изготовленную из кварцевого стекла, — для того чтобы регистрировать, как у нас протекают режимы горения органоводоугольных видов топлива.

Есть и другая, более мощная установка. В ней основной акцент сделан на низкотемпературном режиме зажигания топлива — примерно 600–700° С. Проводя свои эксперименты, мы ищем оптимум между тремя основными проблемами, тремя «э» — экологией, экономикой и энергетикой. Мы ставим цель выиграть в трех этих направлениях, найти оптимум для разных видов топлива и условий сжигания.

Кроме того, мы разработали экспериментальную установку, на которой проводим исследования испарения неоднородных капель топлива либо каких-либо суспензий. За счет того, что мы нагреваем в муфельной печи высокие температуры, происходит интенсивный нагрев, что приводит к взрыву этих капель. С точки зрения энергетики это большой выплеск энергии и увеличение площади поверхности испарения этой капли. Такие же условия можно обеспечить при подводе энергии от локальных источников нагрева. Эта идея и соответствующая разработка вошли в топ лучших изобретений Российской академии наук за нынешний год. Сейчас мы используем эту идею для тушения пожаров, когда, наоборот, происходит интенсивное поглощение энергии. ■

Беседовала Наталья Лескова

Территория **ТОРИЯ**



Х

отя знаменитый шведский химик Йенс Якоб Берцелиус и назвал открытый им в 1828 г. металл в честь скандинавского бога грома и молнии Тора, вряд ли он предполагал, какую важную роль в спасении человечества от энергетического голода ему определяют томские ученые. Нам же об этом рассказал заведующий кафедрой технической физики Физико-технического института ТПУ профессор **Игорь Владимирович Шаманин**.

— Когда вы начали заниматься торием?

— Работы по торию в Томском политехническом университете были начаты 20 лет назад, в 1996–1997 гг.

— Неужели в середине 1990-х гг. вы получили государственный заказ?

— Нет, от государства тогда чего-то добиться было нереально. Вели исследования по собственной инициативе. Некоторое время работали совместно с Германией, у которой в этой сфере уже был накоплен опыт. Потом в Германии с ядерной энергетикой все стало плохо, они отказались от исследований в этом направлении. Мы же занимаемся ториевыми работами до сих пор.

— Но уже с государственного вклада и при поддержке?

СПРАВКА

В 1980–1990-х гг. значительное место в исследованиях занимал ториевый вариант высокотемпературного ядерного топлива. В конце 1990-х гг. профессором И.В. Шаманиным в тесном сотрудничестве с немецкой группой исследователей, занимавшейся высокотемпературными реакторными установками, в Юлихском исследовательском центре (Германия) были получены первые теоретико-расчетные результаты, указывающие на принципиальные отличия физики торий-плутониевого топлива от уранового топлива. Начиная с 2000 г. работы по ториевому топливу ведутся в ТПУ самостоятельно, в Германии работы прекращены в связи с позицией правительства по ядерной энергетике.

— Здесь все не так просто. Сегодня есть два основных взгляда на будущее энергетики, две концепции. Первая — замкнутый топливный цикл с использованием реакторов на быстрых нейтронах.

— Проект «Прорыв» «Росатома»?

— Совершенно верно. По нему пять лет назад было принято положительное решение. По другой концепции — с открытым топливным ядерным циклом на основе тория — не было. Хотя вопрос, какая из концепций более привлекательна, дискуссионный. Мы работаем и живем в условиях рыночной экономики. Если первая концепция поддерживается, там есть финансовые потоки, у людей есть зарплата, то по второй исследования проводятся по собственной инициативе.

— Я не думал, что исследования в области ядерной энергетики настолько дешевы, что их можно вести без серьезной поддержки.

— Нет, конечно, какая-то поддержка есть. Большею частью это гранты на проведение фундаментальных исследований. Периодически обозначают свой интерес к теме флагманы отечественной науки, например Курчатовский институт. Но даже если помощи совсем не будет, мы все равно не бросим торий, потому что дело стоящее.

— Настанет время, и в мире поймут вашу правоту?

— Торий показывает все свои преимущества и в физике, и в экономике. Это прекрасный воспроизводящий сырьевой нуклид (*неделяющийся изотоп, из которого получается делящийся — Примеч. ред.*) и в открытом, и в замкнутом цикле. Все это мы знаем, это наш хлеб.

Преимущества использования ториевого топлива	
Экономические выгоды	Безопасность
Производство электроэнергии с высоким (до 50%) КПД, обеспечивающим низкую себестоимость киловатт-часа	Не нарабатываются плутоний и трансураниевые элементы, излишки плутония оружейной кондиции утилизируются
Внедрение атомной энергетики в сферу промышленного теплоснабжения, потребляющего более 40% органического топлива	Разрушение реактора не может вызвать неконтролируемую цепную реакцию
Производство экологически чистого водородного топлива из природного газа	Повышение энергетической безопасности страны
В России уже сегодня есть достаточно знаний и опыта для того, чтобы технически реализовать использование ториевого топлива в открытом топливном цикле	

Бег с препятствиями

— В основе всей ядерной энергетики лежит процесс деления ядер и радиационного захвата ядрами нейтрона. Про нейтрон все слышали.

— Ну да, тяжелая элементарная частица, не имеющая электрического заряда.

— Лет 20–30 назад нас пугали нейтронной бомбой. Нейтронное оружие уже давно есть, просто им уже не пугают. Нейтрон — одна из основных элементарных частиц, входящих в состав ядра. По нейтронной физике написано много книг. Иногда говорят об элементарных частицах с большими или малыми энергиями. Про нейтроны тоже можно сказать, что у них бывают большие и малые энергии.

Грубое сравнение, но нейтрон можно уподобить спортсмену-бегуну. Существует такая сложная дисциплина: бег с препятствиями. Есть дистанция, есть барьеры, есть бегун — нейтрон. Это исходное состояние. При больших энергиях нейтрон ведет себя как частица, а при малых — как волна. Нейтрон теряет свою энергию порциями.

Теперь смотрите: дистанция, барьеры, бегун-нейтрон. Перепрыгнул первый барьер — потерял порцию энергии. Сколько потерял, зависит от бегуна. Если потерял больше, чем надо, следующий барьер он не перепрыгнет, если меньше — врежется в него. Ему нужно рассчитать потери энергии, чтобы пройти всю дистанцию.

В нейтронной физике есть целый раздел — резонансное поглощение нейтронов. Это и есть дорожка с препятствиями. Каждый из барьеров — это резонанс. Только в нейтронной физике барьеры не равноудалены, как в спорте, один стоит поближе, другой — подальше.

— Как попало или по каким-то правилам?

— Там все строго и четко. У каждого ядра барьеры расставлены по-своему. И высота барьеров разная. Нам надо научиться управлять потерями

энергии нейтрона, чтобы он контролируемым образом перескакивал барьеры либо по нашему усмотрению на четвертом или пятом спотыкался и исчезал, превратившись в волну (очень грубо говоря).

— Разве такое управление возможно?

— Возможно. Есть свойства ядер, против которых не пойдешь. В спорте можно изменять концентрацию кислорода, которым дышит бегун, в ядерной физике можно управлять свойствами среды, в которой движется частица.

У тория заряд ядра — 90, атомная масса — 232. Так называемое четно-четное ядро. Все четно-четные ядра — сильные резонансные поглотители. У каждого из резонансных поглотителей своя дорожка с барьерами, у которых разное удаление друг от друга и разная высота. Были проведены полномасштабные 3D-эксперименты на суперкомпьютере.

В Национальном исследовательском Томском политехническом университете (ТПУ) с 2013 г. ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию ториевой ядерно-энергетической установки IV поколения. Инициатива ТПУ была поддержана НИЦ «Курчатовский институт», АО «ОКБМ Африкантов» и закреплена соглашениями о научно-техническом сотрудничестве.

В результате на сегодня в ТПУ разработаны:

- состав ториевого топлива;
- конфигурация топливных элементов и активной зоны реакторной установки, работающей без подпитки свежим топливом и без частичных перестановок топливных блоков более восьми лет; топливная композиция включает торий и плутоний оружейной кондиции;
- естественно-научные основы технологии получения ультрадисперсных порошков на основе оксидов тория и плутония, которые предназначены для изготовления ядерного топлива нового поколения, имеющего дополнительный барьер безопасности.

Потребовалось 15 часов процессорного времени, чтобы получить нужные цифры. Выяснилось, что, если смешать торий с плутонием и с замедлителем графитом, такое сочетание дает возможность работать в сверхдлинной кампании.

— **Это как?**

— Тут уже можно говорить про экономику и реакторные установки. Сейчас ядерные установки работают по привычной программе: загрузили топливо, через 272 эффективных суток установка останавливается, чтобы переставить топливо. Совсем выгоревшее извлечь и подгрузить свежее. Торий с плутонием позволяют это делать раз в восемь лет, а можно и реже. Но восемь лет — гарантированно. Это последний результат, который мы получили, он опубликован в трех профильных журналах.

— **Экспериментально подтвержден?**

— На текущий момент это доказано не только на микроуровне — на уровне ядер. Мы работаем над компоновкой реакторной установки: из чего она будет состоять, что даст.

— **Для такого топлива нужен особый реактор?**

— Нет. Мы здесь инженеры-физики, физику знаем на университетском уровне и строить вечный двигатель никогда себе не позволим. Мы исходим из реалий. Где торий хорош? В реакторных установках с графитом. Про графит в свое время зря забыли.

— **Причина веская: реактор на четвертом блоке Чернобыльской АЭС был графитовым.**

— После этого словосочетание «ядерная энергетика» стало ругательным и графит объявили ничемным. Но это уникальный материал, температура его плавления 3700° С. Если нет кислорода, он работает при такой температуре вполне уверенно.

Водород животворящий

— **К чему может привести развитие ториевой ядерной энергетики?**

— Ториевое топливо с длительными бесперегрузочными кампаниями делает более реальной перспективу создания малогабаритных ядерных энергетических установок. Можно сделать ториевую мобильную АЭС на гусеничном ходу, например. Загрузил на заводе топливом, своим ходом доставил на дальний рудник, карьер или в городок, для жизнеобеспечения которого раньше приходилось ежегодно доставлять сотни тонн угля, — и как минимум восемь лет она там у вас работает.

— **В одном из ядерных институтов мне сказали, что программы создания мобильных ядерных реакторов тормозятся тем, что на каждый нужно не менее 600 человек охраны.**

— Правильно, но это касается мобильных реакторов, где используется традиционное высокообогащенное ядерное топливо, которое можно использовать для создания ядерного оружия. Здесь этого нет. Торий — не высокообогащенный материал,

На ториевом топливе можно сделать мобильную АЭС, доставить ее на дальний рудник, карьер или в городок — и как минимум восемь лет она там у вас работает

ВОДОРОДНАЯ ЭКОНОМИКА

Сегодня углеводородное сырье — основной энергетический ресурс мировой экономики. Однако у экономики, основанной на сжигании углеводородов, есть ряд недостатков, связанных с их ограниченным запасом, сильной зависимостью от геополитических факторов, загрязнением окружающей среды, техногенными катастрофами, высокой себестоимостью энергоносителей и др. Значительная часть добываемых углеводородов расходуется для получения тепла, которое используется в энергоемких высокотемпературных технологических процессах, а также в качестве топлива различных транспортных средств.

Ядерная энергетика представляет собой альтернативное решение: в ряде стран доля ядерной энергетики в производстве электроэнергии уже достигает десятков процентов. Другим перспективным стратегическим направлением технического прогресса мирового сообщества можно назвать переход на широкое использование водорода как эффективного, экологически чистого источника энергии. Прогнозные оценки мировой потребности водорода составят в 2050 г. 200–300 млн т в год, а к 2100 г. масштабы рынка водорода составят 800–1000 млн т в год.

Новое направление ядерной энергетики — использование высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов для обеспечения энергоемких технологических процессов и выработки водорода — предоставит практически неисчерпаемый источник водорода. Это внесет должный вклад в глобальную энергетическую безопасность, в укрепление здоровья, улучшение благосостояния и условий жизни для всех людей. Снизится влияние геополитических факторов, могут быть преодолены последствия региональной неравномерности обеспеченности энергоресурсами, уменьшится роль потребления энергоносителей, влияющих на изменение климата на планете. С учетом того, что развитие водородной энергетики меняет экономический уклад общества, это направление инновационного развития получило более общее определение — водородная экономика.

как и уран-238. По нашим законам они входят в число ядерных материалов, но очень и очень низкого класса. При создании системы защиты и контроля по сравнению с другими у них минимальные требования.

— **А максимальные?**

— К плутонию.

— **Но вы сказали, что у вас и плутоний используется.**

— В самом начале цикла требуется немного обогащенного урана-235 или плутония-239, но это так называемый запал. Дальше система выходит в равновесный режим. Ториевая энергетика в части использования плутония-239 как раз уменьшает общее количество уже наработанного плутония на планете. Мы снижаем угрозу, поскольку можем в качестве запала использовать плутоний оружейный, приготовленный к утилизации, он там будет выжигаться.

Еще одна самостоятельная серьезная ветка развития — водородная энергетика. Она может привести к новому пониманию энергетического оснащения и безопасности.

— **Про водород сейчас часто говорят, что это топливо будущего.**

— Реакторная установка для нашего топлива должна быть высокотемпературной графитовой. Поскольку она высокотемпературная, сам бог велел ее сделать многоцелевой. Это не просто электричество, а электричество в газотурбинном цикле с КПД до 70%. А высокие температуры позволяют проводить генерацию водорода.

— **Электролизом, с помощью того же произведенного электричества?**

— Нет, без использования электричества. Берем природный газ, загоняем в теплообменник, где по первому контуру циркулирует гелий.

СПРАВКА

В настоящее время в ФТИ сформировались компетенции по следующим направлениям развития ядерно-водородной энергетике:

- использование и создание ядерных и специальных неядерных материалов и в области конструкционных материалов, применяемых для эксплуатации в условиях высокого температурного и радиационного воздействия;
- моделирование и автоматизация технологических процессов генерации энергии высокотемпературного ядерного реактора и сопутствующего оборудования;
- утилизация радиоактивных отходов и решение проблемы нераспространения ядерных материалов;
- создание промышленной технологии получения жидкого водорода и топливных водородных элементов; разработка энергетических установок, работающих на водородном топливе.

Из природного газа вперемешку с паром мы получаем так называемый энергетический газ. Он делится на две части: СО и молекулярный водород. Просчитана экономика такой реакторной установки: цена полученного водорода заметно ниже, чем в электролизерах. В промышленных масштабах мы можем получать водород только на мощных ядерных реакторах.

— **Почему раньше на АЭС водородом не занимались?**

— На обычных АЭС это не так эффективно, как на высокотемпературных. Хотя сама идея атомной водородной энергетике отнюдь не нова и принадлежит не нам. Первым ее высказал академик В.А. Легасов. Когда она была озвучена, о высокотемпературных реакторах уже немного говорили, но про торий никто не вспоминал. Сейчас, когда внимательно посмотрели на нейтронную физику, на торий, выяснилось, что высокотемпературная ядерная установка на нем получается очень красивой.

— **А как к вашим работам относятся нефтяные компании, для которых водородная энергетика вполне может стать могильщиком?**

— Нормально относятся. Я вхожу в состав комитета конгресса по атомно-водородной энергетике в Сарове. В первый раз конгресс прошел в 2006 г. Там были представители и от ядерной энергетике, и от оружейного комплекса, и от энергетике. Были и автопроизводители, поскольку автоконцепты и даже ходовые автомобили с водородным топливом — уже реальность.

Водородная энергетика уже случилась. Если говорить о ракетной технике, водород используется в шаттлах, в мощных ракетах-носителях «Энергия». Но пока это дорого, поскольку весь водород электролизный. И для наших добытчиков углеводородов это не смерть, а вторая жизнь. Ведь водород у нас получается не из воды, а из природного газа, который добывают как раз они.

— **Кто из атомщиков вас поддерживает?**

— НИЦ «Курчатовский институт», Институт ядерной физики СО РАН. Мы нашли полное понимание у специалистов нижегородского ОКБМ им. И.И. Африкантова, главного проектировщика российских реакторов. Они даже уже сделали наброски по оборудованию второго контура, который в их варианте позволяет не только генерировать водород, но и организовать глубокую переработку нефти.

— **То есть крекинг-процесс на ядерном топливе?**

— Причем в нем за счет сверхвысоких температур можно будет использовать не только нефть, но ипутные газы, которые сегодня просто сжигаются.

— **Но проект «Прорыв» — ваш конкурент?**

— Не будем вникать в наши научные и околонучные споры, согласия и разногласия. Мы участвуем в этом проекте сразу по нескольким направлениям.

Первое: у нас есть кафедра химической технологии, которая занимается разработками замкнутых ядерных топливных циклов. Это проблемы рециклирования топлива, разделения и очистки от продуктов деления.

Вторая проблема, которой мы занимаемся в области «Прорыва», — подготовка специалистов по управлению ядерными реакторами на быстрых нейтронах. Подобных кафедр сейчас не так много.

Третье: у нас существует договор, связанный с созданием автоматических систем управления такими реакторами и технологическими процессами при рециклировании. Мы здесь работаем. Есть финансирование, соответственно, мы от этого не отказываемся.

Техника без опасности

— По производству топлива из урана у нас уже давно построены и действуют огромные комбинаты. При переходе на торий все придется начинать заново?

— С торием ситуация несколько проще, чем с ураном. Торий-232 — моноизотоп, его обогащать не надо, он сразу готов к работе. Сам торий-232 не делится нейтронами, это сырьевой нуклид. Делится уран-233, а он получается из тория прямо в реакторной установке. Там получается и там же сгорает. Через некоторое время после запуска образование урана-233 из тория и скорость его деления выравниваются и реакторная установка приходит в равновесие.

— В аварийной ситуации сколько времени потребуется на остановку?

— Ядерщики никогда не говорят «остановка реактора». Остановка — это место, где останавливаются автобусы. В реакторе это называется «останов». На останов любого реактора требуются секунды. Кнопку нажали — и все. Гораздо сложнее процесс перехода с одной мощности на другую. Если говорить не про останов, а про переход из базового режима в диспетчерский, когда оператору говорят: «Вы должны выдавать на-гора 20 тыс. м³ водорода в час». Это одна мощность, на которой работает реактор. Если нужно перейти на 10 тыс. м³, это другая мощность. Такой переход во всех реакторных установках требует определенного времени.

— Какая разница, выключить или на другую мощность перейти?

— В нейтронной физике при переходе с одного уровня мощности на другой возникают ксенонные колебания, накапливается элемент ксенон. Ториевая установка высокотемпературная, газоохлаждаемая и работает не в привычном термодинамическом цикле, где есть вода и пар, а в газотурбинном цикле, когда в первом контуре стоит газовая турбина, которую вращает гелий. Они гораздо маневреннее. Если стоит паровая турбина, для ее

перевода на другую скорость вращения нужно выполнить очень много технологических операций. Возле атомных станций всегда есть пруды-охладители, градирни.

При уменьшении мощности на АЭС пар, который вращает турбину, надо выбрасывать в окружающую среду. В газотурбинном цикле этого делать не надо. И нет затрат времени на фазовое превращение воды в пар с надкритическими и сверхкритическими парами — сухой пар. Здесь просто есть гелий, инертный газ. В этом плане у тория масса преимуществ. Самый главный плюс — в его топливном цикле практически отсутствуют тяжелые трансурановые и трансплутониевые элементы.

— Даже при взрыве реактора конечное загрязнение будет в разы ниже в сравнении с урановым?

Единственная возможность предельно обезопасить ныне действующие АЭС — перевести их через модернизацию на использование тория. Ториевый реактор способен обеспечить высокую ядерную безопасность

— Урановый ядерный реактор теоретически не может взорваться, как атомная бомба. Современная АЭС гипотетически выдержит падение крупного самолета. Если при этом произойдет разрушение приводов поглощающих стержней, системы управления и защиты, может произойти только тепловой взрыв. Ториевый же реактор по своей внутренней физической сути не способен привести к ядерному взрыву. Его можно разрушить до основания, дорого заплатить за загрязнение зала, территории станции, но он никогда не разрушится подобно чернобыльскому. Так что одна из возможностей предельно обезопасить ныне действующие АЭС — перевести их через модернизацию на использование тория. Ториевый реактор способен обеспечить высокую ядерную безопасность.

— У вас уже есть проект высокотемпературного графитового водородопроизводящего реактора на тории?

— Мы, Физико-технический институт, или весь Томский политехнический университет, имеем лицензию на проектирование и изготовление узлов

для собственной реакторной установки ИРТ-Т. Лицензии на проектирование реакторной установки, которая пойдет в серию на производство, у нас нет, и никто нам ее не даст. Для такой цели есть ОКБМ им. И.И. Африкантова. Мы занимаемся ядерной физикой, нейтронной физикой. Мы разработали концепт реакторной установки, подготовили техническое задание на проектирование. Согласно закону об использовании атомной энергии, мы можем передать его в ОКБМ. Если в «Росатоме» скажут: «Проектируйте», они должны это быстро сделать. Времени прошло много, мы уже 20 лет работаем над торием. Есть множество публикаций в серьезных журналах по ядерной физике: по свойствам тория, по сравнению его свойств со свойствами урана-238, его поведению в паре с плутонием, с ураном. Вплоть до того что мы уже предложили конструкцию унифицированного топливного блока.

До конца этого года мы получим топливную таблетку, в которой не будет урана и плутония, но в ней будут графит и торий

— Модульная конструкция?

— Почти. Хочешь установку на 60 МВт — в ней будет 100 типовых блоков. Хочешь больше потенциального тепла, электроэнергии, завезем 400 блоков, сделаем установку на 150 МВт.

Доходы от отходов

— Но запасов тория у нас на жизнь хватит?

— Его жечь не пережечь: это тринадцатый по распространенности элемент в мире. Если взять территорию России, даже только разведанных запасов хватает для того, чтобы говорить об энергетике на базе ториевых установок. Есть наши любимые туганские пески, которые все разрабатывают и никак не могут разработать. Это богатый источник тория. Вообще торий — обязательная составляющая минерального сырья, в котором содержатся редкоземельные элементы. Если мы добываем редкоземельный элемент, ториевый концентрат образуется в виде отходов с нулевой балансовой стоимостью.

— Иначе говоря — в виде мусора.

— Даже несколько хуже, чем мусора. Этот концентрат надо опять закопать, поскольку он немножко подсвечивает. В рассеянном виде он дает естественный фон, а в концентрированном уже фонит сильнее. Поэтому просто выбросить его

нельзя, надо утилизировать. Вот мы и предлагаем утилизировать его всем на благо в ядерном реакторе.

— Торий добыли, что дальше?

— До конца этого года при поддержке Министерства промышленности и торговли мы получим топливную таблетку. В ней не будет урана и плутония, поскольку у нас нет лицензии на работу с этими материалами, но в ней будут графит и торий. Мы ее поместим в наш реактор, облучим и посмотрим, какое там происходит накопление урана и других продуктов.

— Не может быть, чтобы у проекта были одни только плюсы.

— На сегодня у тория обозначен один основной недостаток. В природной смеси содержится практически 100% тория-232. Но там есть почти $1,5 \times 10^{-8}\%$ тория-228. У 232-го полураспад происходит около 14 млрд лет.

— Сравнимо с возрастом Вселенной.

— Грубо говоря, он стабильный. А у 228-го период полураспада по альфа-распаду на уровне двух лет. При его распаде в конце концов образуется хвост жестких гамма-излучателей. Это полоний, свинец, висмут, таллий. Энергия гамма-излучения, которая сопровождает их распад, велика. Если мы положим концентрат тория на депозит, со временем хранилище начнет светить, поскольку 228-й распадается. Но радиохимики РАН, которые занимаются этим вопросом и с которыми мы плотно контактируем, говорят, что проблем нет. У них есть химические методы чистки ториевого концентрата.

— По уму, не нужно давать ториевому концентрату отлеживаться два года. Его нужно сразу перерабатывать в топливо и помещать в активную зону.

— Других недостатков у тория нет, одни преимущества. По механике, по технологичным свойствам он очень хорош. Прекрасно обрабатывается, ковкий, пластичный.

— На Западе торием тоже наверняка кто-то занимается?

— Как я уже говорил, приличный опыт был в Германии. В городах Юлих и Хамм стояли прототипы реакторов на основе тория AVR и THTR 300 соответственно. AVR — экспериментальная АЭС, на которой был испытан принцип действия высокотемпературного реактора с гранулированным топливом. После этого в Хамме в 1988 г. была запущена АЭС THTR 300 мощностью около 300 МВт. THTR расшифровывалось как *Thorium-Hochtemperaturreaktor*, высокотемпературный ториевый реактор. В нем были очень красивые шарообразные твэлы. Его заглушили в 1988 г.

— После аварии в Чернобыле.

— К 2000 г. в Германии свернули все работы по торию. Сегодня впереди планеты всей традиционно Китайская Народная Республика. На торий

ЧТО СДЕЛАНО

1 В 2014–2015 гг. Министерство промышленности и торговли РФ профинансировало научно-исследовательские работы «Обоснование возможности использования торийсодержащих материалов в ядерных энергетических установках малой мощности с длительным временем работы без перегрузки ядерного топлива». Были проанализированы различные типы ЯЭУ с точки зрения использования в открытом ториевом цикле. Наибольший интерес представляет проект малого модульного ядерного реактора, обладающего свойствами транспортабельности. Выбран оптимальный вариант концепции ядерного топливного цикла, ориентированный на малую ядерную энергетику и создание мобильной установки. Найдены конфигурации и сочетания материалов и видов топлива. Доказана возможность создания реакторной установки малой мощности, работающей на ториевом топливе и не требующей подпитки ядерным топливом в течение восьми лет и более. Установка предназначена для использования в составе атомных энерго-технологических комплексов, в том числе для первичной переработки тяжелой нефти, газификации угля и производства водорода.

2 По заказу Министерства промышленности и торговли ФТИ совместно с АО «Сибирский химический комбинат» разработал технологию отечественного производства бериллия, включающего цикл утилизации и обогащения бериллиевого сырья и глубокую переработку бериллиевого концентрата до оксида бериллия или металлического бериллия. Производство бериллия основано на отечественном сырье. Решается задача импортозамещения посредством обеспечения российских потребителей отечественным оксидом бериллия и повышение конкурентоспособности металлургической отрасли России.

3 В рамках государственной программы «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» ФТИ выполнил исследование по проблемам добычи тория из редкоземельного сырья и его рационального использования в атомных

энергетических установках малой мощности. Разработаны концепция ториевого ядерно-топливного цикла, ориентированного на малую энергетику и создание мобильных энергетических установок мощностью до 10 МВт, а также программы и методики исследовательских испытаний физико-химических свойств торийсодержащих полупродуктов и отходов переработки комплексных редкоземельных руд.

4 В рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 гг.» выполнена работа по теме «Разработка автоматизированной системы контроля радиационной и экологической обстановки». Создана математическая модель работы автоматизированной системы экологического мониторинга (АСЭМ) Томской области, включая математическое описание работы датчиков, каналов передачи, подсистемы анализа ситуации, с целью определения топологии и структуры АСЭМ, разработан и предложен проект технического задания на проведение ОКР.

5 Реализован проект модернизации уникальной научной установки (УНУ) — исследовательский ядерный реактор ИРТ-Т. Проект развития УНУ был поддержан Министерством образования и науки России в рамках Федеральной целевой программы в 2014–2015 гг. Это позволило существенно повысить экспериментальные возможности реакторной установки в области радиационного материаловедения и создать уникальные методики исследования свойств материалов и приборов в условиях нейтронного и сопутствующего гамма-излучения.

Поиск путей решения возникающих научно-технических и инженерных задач ведется на базе кафедр «Техническая физика», «Физико-энергетические установки», «Электроника и автоматика физических установок», «Химические технологии редких и рассеянных материалов», «Общая физика», «Экспериментальная физика» учебно-научного центра «Исследовательский ядерный реактор».

они давным-давно обратили внимание. В Индии к торию повышенный интерес, поскольку там самые большие его запасы. В Штатах о наших работах знают. Тут ничего секретного нет.

— Предположим, что принято положительное решение по вашему реактору. К какому году мы могли бы ожидать запуска первого экспериментального?

— По инициативе Томского политехнического университета приказом по Министерству промышленности и торговли уже создана межведомственная рабочая группа по ториевой реакторной установке четвертого поколения. Председатель — первый заместитель министра промышленности и торговли Г.С. Никитин. План мероприятий начиная со старта и заканчивая первой

опытно-демонстрационной установкой нами разработан. Он рассчитан на 13 лет.

— Немало.

— Смотря с чем сравнивать. Если с послевоенной атомной гонкой, когда Сибирский химический комбинат был построен от первого колышка до первой продукции за два с половиной года, то много. Но тогда это была жизненная необходимость. Сейчас бы мы два с половиной года только согласовывали проект со всеми надзорными и контролирующими инстанциями. Поэтому 13 лет — это реалистичный прогноз. Главное — не тянуть. Чтобы к 2030 г. подарить человечеству новый энергоресурс, начинать надо уже сейчас. ■

Беседовал Валерий Чумаков



Робототехника —
это попытка
человека
разгрузить себя
и возложить свои
функции на машину

Вкалывают роботы — счастливы человек

С 11 по 15 июля 2016 г. во Владивостоке на специальном морском полигоне проводились испытания автономного необитаемого подводного аппарата, или, проще говоря, подводного робота «Платформа», изготовленного по заказу Томского политехнического университета. В ходе испытаний проверялись системы связи, управления, навигации, ходовые системы и т.д. После «тест-драйва» аппарат был погружен на судно «Академик Лаврентьев», которое покинуло Владивосток. О том, какой смысл томские ученые вкладывают в понятие «робототехника», мы попросили рассказать доцента кафедры информатики и проектирования систем Института кибернетики ТПУ **Дмитрия Михайловича Сонькина.**

— Роботы и кибернетика — всегда интересно. Чем вы можете поразить широкую публику?

— Наша цель — не поразить, а продвинуться. В рамках концепции по развитию университета у нас сформирована стратегическая академическая единица «системы управления и телекоммуникации». Ее составной частью выступает развитие телекоммуникационных систем и технологий в области робототехники промышленной и морской. Этими направлениями Институт кибернетики занимается на протяжении всей своей истории. Это технологии, связанные с обработкой данных, с разработкой алгоритмов, телекоммуникационных и информационных систем.

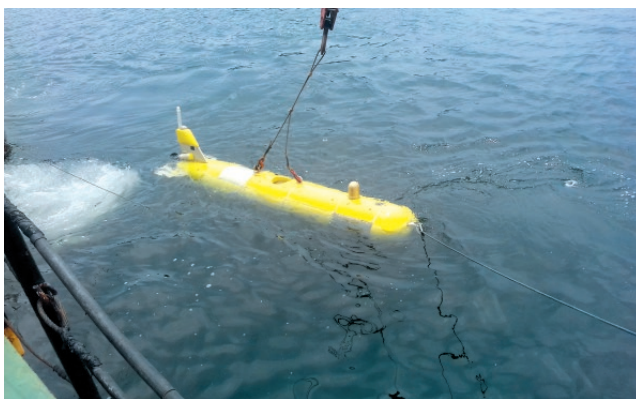
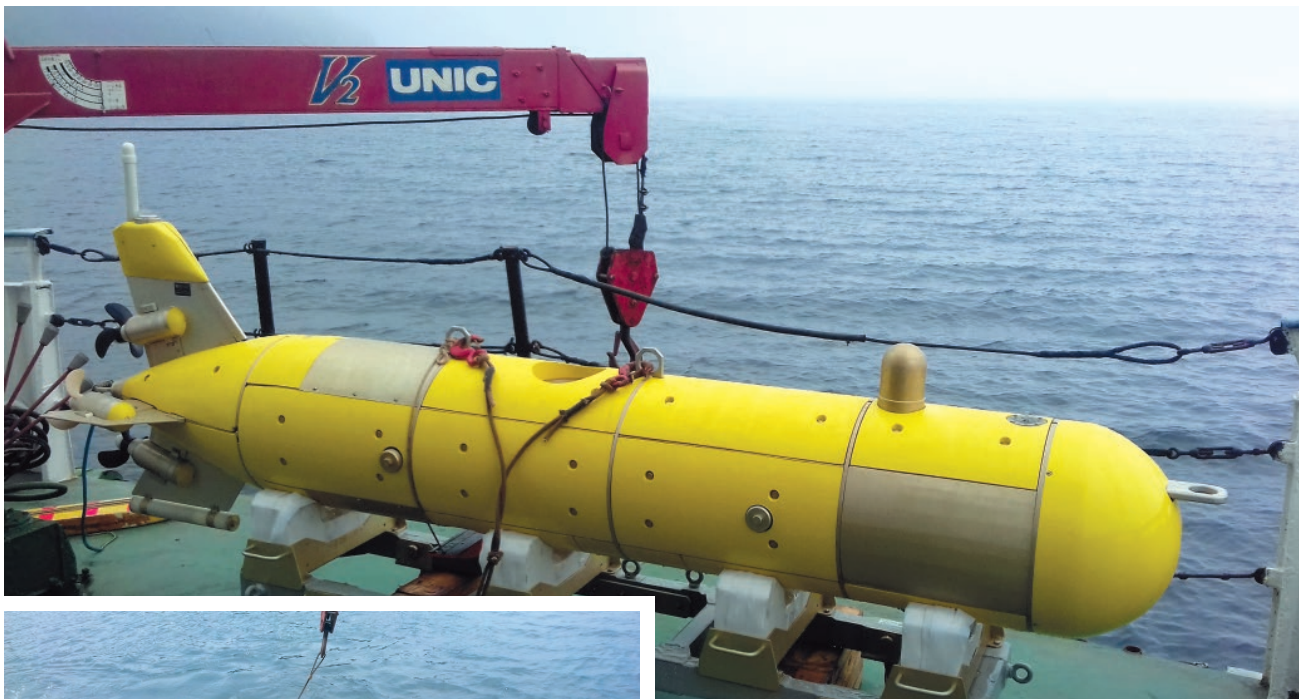
Опускаемся на дно

— Наиболее интересная разработка — распределенная информационно-телекоммуникационная система мониторинга арктического шельфа с применением автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА). Это комплексный проект, в котором также принимают участие наши партнеры: Институт проблем морских

технологий (ИПМТ), Тихоокеанский океанологический институт (ТОИ), Южный федеральный университет (ЮФУ) и ряд других вузов и институтов. Наша задача — комплексное использование общих разработок и построение системы на основе облачных технологий. Речь идет об алгоритмах управления АНПА. Мы работаем над бортовыми измерительными комплексами и подсистемами связи для таких автономных аппаратов. Сам подводный аппарат по нашему заказу и в тесном взаимодействии с нами разрабатывают наши партнеры из Института проблем морских технологий. Сейчас они как раз проводят приемку и морские испытания.

— И в каком море будут испытывать?

— С 25 сентября по конец октября этого года планируется арктическая экспедиция на Восточно-Сибирском море. Будет выполняться целый ряд задач, связанных с экологическим и климатическим мониторингом шельфа, в том числе с использованием разработанных нами технических решений. Надеемся, натурные эксперименты дадут массу материала для дальнейшей работы.



АНПА «Платформа» на палубе судна во время проведения испытаний (вверху); спуск на воду АНПА «Платформа» (слева)

Отдельное направление — разработка информационно-телекоммуникационных систем и аппаратно-программных комплексов. Здесь есть тематика, связанная с геоинформационными системами, с автоматизацией нефтегазового комплекса. У нас много прикладных направлений: информационные, телекоммуникационные системы, обработка данных.

— **Что могут ваши роботы?**

— Мы не занимаемся их разработкой, мы работаем на стыке направлений. Робототехника включает в себя широкий спектр задач. Робот укомплектован целым перечнем составных частей. Вот ими-то мы и занимаемся. Измерительные комплексы, датчики давления, температуры, элементного состава воды, а также автоматизация процессов. Бортовые вычислительные комплексы — та электроника, которая должна обеспечивать работу автомата. Это значит — телекоммуникационные платы, платы для управления передачи данных. Мы разрабатываем отдельные куски, фрагменты.

— **Химический анализ они могут провести?**

— Да. Приспособленные для этой цели газоанализаторы — наша работа. В этом году на базе ТПУ

открылась лаборатория промышленной робототехники при участии одного из мировых лидеров рынка промышленной робототехники, компании *KUKA Robotics*. Здесь планируется не только исследовательский, но и образовательный процесс. Нужно привлекать студентов по многим направлениям: программирование роботов, апробация новых алгоритмов по групповому взаимодействию и т.д. Соответственно, происходит подготовка кадров. Робототехника сейчас активно проникает в промышленность, и наши специалисты должны быть хорошо подготовлены, понимать технологию работы на всех этапах начиная с построения информационно-телекоммуникационной системы для обеспечения взаимодействия робототехнических комплексов и заканчивая непосредственно программированием роботов для решения прикладных задач на производстве.

Наша задача — не пытаться изобрести велосипед и сделать нового промышленного робота, а в существующую «железку» вложить интеллект, который позволил бы эффективно, с нужной скоростью и качеством обеспечивать выполнение необходимых операций. В том числе это групповое взаимодействие, согласованность действий, что позволит экономить время и выполнять операции, которые в одиночном исполнении невозможны.

— **Хотите сказать, эти роботы будут общаться между собой и организовывать какие-то совместные действия?**

— Вопрос интересный. Здесь вырисовывается та же проблема, что была с базами данных в 1960–1970-е гг. Вся идеология их построения была проработана, не было технической возможности по созданию системы баз. Так же и с групповым управлением, в том числе для роботов. Идеология рушится в том, что касается взаимодействия, поскольку возможности будут реализовываться в зависимости от рабочей среды.

Что касается промышленных роботов, здесь особых проблем нет. Существуют высокоскоростные каналы передачи данных — и проводные, и беспроводные. Более востребованы прикладные алгоритмы, которые позволяли бы решать поставленную задачу.

А вот если мы говорим о морской робототехнике, специфика в этой области такова, что каналы связи медленные, взаимодействие ограничено и т.д. В рамках группового взаимодействия мы разрабатываем алгоритмы, адаптированные под низкоскоростные каналы, а новые технологии позволяют сочетать централизованное и децентрализованное групповое управление.

— Под подводным низкоскоростным каналом вы имеете в виду гидроакустику?

— Если объект находится на поверхности, можно использовать радио или спутниковый канал. Если он находится под водой, ничего кроме кабеля или гидроакустического канала, к сожалению, пока нет.

— Если роботы действуют автономно, общаются, то это подразумевает какие-то зачатки искусственного интеллекта?

— У любого термина есть множество толкований. В моем понимании искусственный интеллект и интеллект вообще — это то, что может развиваться само. Если заложен жесткий алгоритм, даже если он выполняется безукоризненно, это не искусственный интеллект. В наших изделиях присутствуют интеллектуальные адаптивные алгоритмы.

— Чем будут заниматься бригады роботов?

— Робототехника в целом — это попытка человека разгрузить себя и возложить свои функции на машину. Нашим разработкам свойственно то же самое. Зачем на каждый аппарат держать отдельного оператора, от действий которого будет зависеть результат, когда можно это поручить машине, и она будет

справляться сама? Технологии, которыми мы занимаемся, направлены на то, чтобы максимально автоматизировать и свести влияние человека в оперативной работе к минимуму. Безусловно, в перспективе робототехнические технологии будут применяться все более активно. Это и освоение ресурсов, и транспортировка, и подводное строительство, и ликвидация чрезвычайных ситуаций.

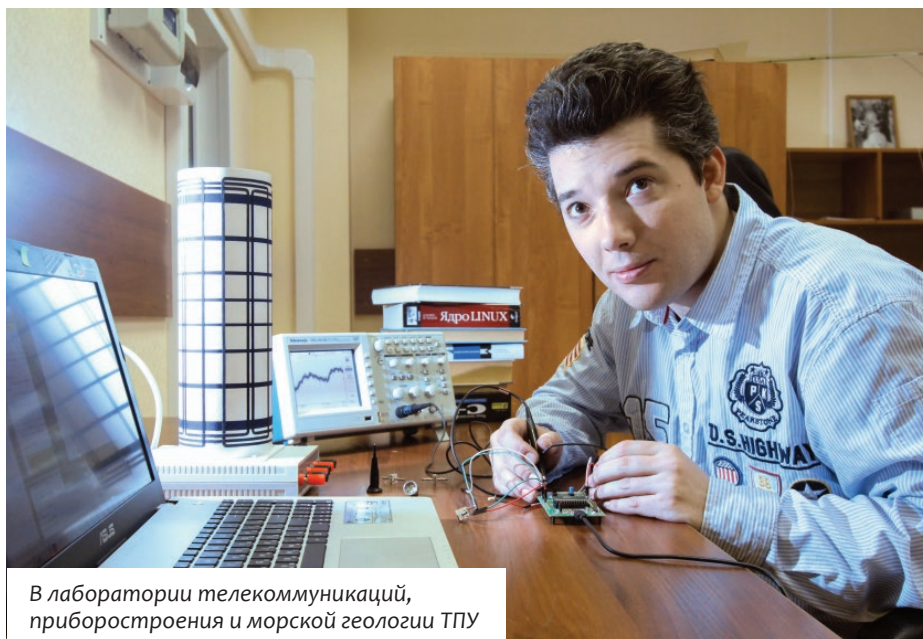
— Каких практических результатов вы добились?

Искусственный интеллект — это то, что может развиваться само. Если заложен жесткий алгоритм, даже если он выполняется безукоризненно, это не искусственный интеллект

— Морской робототехникой мы занимаемся только с 2014 г. За это малое время мы продвинулись в новом для нас направлении достаточно далеко. В этом году у нас будут практические работы, связанные с апробацией и верификацией всех наработок. Если все пойдет хорошо, в следующем году мы перейдем к практической апробации группового взаимодействия.

— На какие глубины и расстояния рассчитаны ваши разработки?

— Чем отличается глубина 300 м от 10 км? Для нас ничем. Электроника устанавливается



В лаборатории телекоммуникаций, приборостроения и морской геологии ТПУ

в защищенный корпус, для нее создаются тепличные условия. Хотя у нас есть разработки и для 300 м, и для 10 тыс. м.

Поднимаемся в космос

— Сейчас идет разговор о том, чтобы привлечь наш институт к созданию технологии группового управления малыми космическими аппаратами. В этом году у нас уже произведен запуск космического аппарата «Томск-ТПУ-120», распечатанного на 3D-принтере (*подробнее читайте в статье «Земля в иллюминаторе» на с. 14*). Это касается междуниверситетской кооперации. Сейчас идет формирование требований к разработке системы управления малыми космическими аппаратами и их гибкой переориентации в зависимости от конкретных целей.

Информационные технологии нужны везде. Физики знают физику процесса, но не могут выполнить подсчет, им нужна автоматизация. В случае с космосом и гидрокосмосом ситуация аналогичная. Мы разрабатываем базовые технологии, которые затем применяем в конкретной области: в глубине океана, под землей, в атмосфере, в космосе.

— **Но ведь разница между подводными и космическими технологиями немалая?**

— Принципиальная. На первый план выходят совершенно разные вещи — что ставить во главу функции по автономизации, чем жертвовать.

— **Все эти работы ведут к миниатюризации и подводных, и космических объектов, когда десятки малых автоматов легко делают то, что не мог сделать один гигант.**

— Мы уходим от гигантизма. Чем меньше размер, тем меньше нужно материала. Миниатюризация — следствие развития технологий и борьбы с лишними накладными расходами.

— **Какие основные задачи были вами решены?**

— Мы и ведем работу по прикладным задачам, и замахиваемся на решение фундаментальных. Прикладные — разработать датчик, анализатор. Разработали, есть в железе, пожалуйста. Улучшать его можно до бесконечности начиная с методов обработки полученных данных и заканчивая изменением самого сенсора и т.д.

Наша задача — опробовать и убедиться, что системы, которые мы делаем, работают, запустить их в промышленное производство и довести до конечного потребителя

Очень показателен пример университета по бетатрону. Он был разработан в середине прошлого века. Его из года в год модернизируют, уменьшают размеры, энергоемкость, наращивают мощность и т.д. Процесс бесконечен. Но он не может выполняться без фундаментальных работ по изучению характеристик прибора.

— **Что еще предстоит сделать?**

— Нам не интересен процесс разработки, мы прикладники. Поэтому нам хочется те системы, которые мы делаем, не просто опробовать и убедиться, что они работают, а запустить в промышленное производство, довести до конечного потребителя. Сейчас наша



Подводные датчики давления и температуры



Испытательный стенд датчиков

морская робототехника как раз находится на стадии перехода к практической апробации. Следующий шаг — внедрение в промышленность.

— **Скоро начнутся испытания подводного робота. В какой срок вы планируете разработку и испытание космических систем?**

— Если говорить об университете в целом, один спутник уже запущен, испытания пошли. Если говорить о нашем институте, сейчас требования только формируются. Когда эти спутники заложат в производство? Успеем или не успеем мы разработать для них полезную нагрузку? Если не успеем, надо ли нам будет ориентироваться на следующий спутник? Этот процесс достаточно трудоемкий, долгий, он не любит суеты. Надо постепенно ко всему подходить.

«Луноход-1», «Луноход-2» — знакомые названия? Мы разговаривали с оператором лунохода. Он рассказывал, что аппаратом очень тяжело управлять даже не столько физически, сколько психологически. Задержка сигнала до четырех минут, что-то сделал — и сидишь ждешь отчета о результате. Лимит связи, день и ночь сменяются, если не успел сделать что-то за отведенное время, приходится ждать следующего дня. Не две минуты потерял, а десять часов. А энергопитание у аппарата от солнечных батарей, не доведешь до какой-то точки или в тень заведешь — он отключится. Работать с такими задержками очень тяжело. Снимаю шляпу перед теми людьми: у них все получилось. Сейчас большую часть таких функций можно возлагать на автономные системы, что уже делается в NASA. Понятно, что есть операторы, которые контролируют действия, но очень многое, чтобы минимизировать задержки, уже отдается на откуп самому аппарату.

— **Откуда пришла идея автономизации подводных аппаратов?**

— Немного не так. Несколько лет назад в ТПУ были сформированы мегапроекты, одной из целей которых была организация взаимодействия внутри институтов. С одной стороны, чтобы исключить дублирование функций, с другой — чтобы достичь синергетического эффекта объединения ряда областей. Для нашего института был выбран мегапроект «Телекоммуникационные системы мониторинга и управления для автономных подводных роботов».

Есть идея, а есть практика. Та же морская робототехника начиналась с кооперации всех компетенций в этой сфере. Например, в университете есть наработки по материалам для морской робототехники. Они не обрастают водорослями при длительном плавании и т.д. Интересная тема?

— **Очень!**

— Но нужно же еще найти потребителя, понять, кто будет готов это купить. В итоге некоторые направления, даже те, в которых есть хорошие



Доцент ТПУ Д.М. Сонькин

компетенции, отпали за счет того, что существуют темы более перспективные и близкие к внедрению. Те же покрытия спутников перебили развитие некоторых направлений в подводной робототехнике. Потому что достигнуты реальные договоренности с «Роскосмосом» на их разработку, выделено финансирование. Надо заниматься тем, за что платят. Это как при игре в шахматы: прямых путей нет — обходим.

— **Разве на подводных роботов заказчиков нет? Разве они не интересны «Роснефти» или «Газпрому»?**

— Любые технологии хороши, когда вышли на массовый рынок. Тогда появляются заказчики. По морской робототехнике такого сейчас еще нет, но в течение ближайших пяти лет должно произойти. Тот, кто сейчас будет вкладывать деньги, в ближайшие пять-десять лет после того, как рынок станет массовым, получит основную прибыль и захватит значительную долю рынка. Мы идем в рамках государственной политики, принимаем участие в технологической инициативе Агентства стратегических инициатив *MariNet*. По этой линии нашли промышленных партнеров в лице «Транзаса». Участвуем сейчас с ними в разработке комплексной экологической системы мониторинга арктического шельфа. На текущий момент они — наши заказчики. А глобально мы параллельно с ними идем к массовому рынку. ■

Беседовал Валерий Чумаков

Увидеть то,
что скрыто



Мы все знаем слово «томография». Это методика, позволяющая без операции заглянуть внутрь человека и сделать «срезы» его внутренних органов. По этим картинкам опытный врач видит, что у пациента не в порядке. Оказывается, болеют не только люди, но еще и изделия, детали, узлы, конструкции. Крошечного дефекта, невидимого невооруженным глазом, может быть достаточно, чтобы произошел разрыв газопровода или потерпел крушение космический аппарат. Для того чтобы предотвратить такого рода неприятности, разработаны методы промышленной томографии. Об этом — наш разговор с директором Института неразрушающего контроля доктором технических наук **Валерием Николаевичем Бориковым**.



Сердце бетатрона — его ускорительная камера

— Наш институт молодой, он появился в 2010 г. Его предшественником был Научно-исследовательский институт интроскопии. Интроскопия — это процесс заглядывания внутрь изделий. И здесь используются методы неразрушающего контроля. Иначе говоря, мы не разрезаем изделия, как хирург, используя скальпель, а смотрим внутрь с помощью нашей аппаратуры.

— **Сейчас хирурги тоже все реже применяют скальпель, повсеместно используются эндоскопические методы.**

— Эндоскопия — это тоже неразрушающий визуальный метод контроля, и прибегают к нему, когда, например, необходимо посмотреть атомный реактор изнутри. А мы разрабатываем новые методы томографического контроля. В медицине используется магнитно-резонансная томография (МРТ) — способ исследования внутренних органов и тканей с использованием ядерного магнитного резонанса. Мы же используем для томографии рентгеновское, ультразвуковое и тепловое

излучение. Для рентгеновской промышленной томографии источник просвечивает объект мощным проникающим излучением, получается плоская картинка, как на флюорографии, и если объект вращать вдоль своей оси и снимать множество проекций, то можно реконструировать изображение и получить его внутреннее содержимое. Используя различные источники, можно реализовать рентгеновскую, ультразвуковую, тепловизионную и электромагнитную томографию.

— **В зависимости от задачи вы используете тот или иной вид томографии?**

— Да. Сейчас объекты достаточно сложные. Это совокупность различных материалов — от металлов до композитов. Сложность заключается в том, что все эти составные части, имеющие разную плотность, образуют единый объект контроля. И надо найти возможность увидеть все это изнутри, никак не повреждая объект. Рентгеновские источники излучения производит сам Институт неразрушающего контроля. Это знаменитые



Дефектоскопический комплекс для контроля газопровода «Сила Сибири»

бетатроны — циклические ускорители электронов, которые представляют собой маленькие коллайдеры. Лабораториями, которые занимаются разработкой бетатронов, руководят Михаил Михайлович Штейн, Валерий Алексеевич Касьянов и Максим Михайлович Рычков. В этих «коллайдерах» электроны циклически разгоняются, ударяются в мишени и получается мощное тормозное рентгеновское излучение. Прозрачная камера, внутри которой бегут такие электроны, — это «сердце» нашего бетатрона. Возникающее таким образом излучение можно использовать для интроскопии, то есть для контроля внутреннего содержания исследуемого объекта. С помощью бетатронной томографии можно досконально все посмотреть, вплоть до каждого винтика. А для того чтобы изделие больших габаритов и плотности можно было, как мы говорим, просветить, то есть посмотреть внутрь него, необходимо иметь достаточно мощные источники. Те источники, которые мы делаем, позволяют рассматривать предметы с толщиной 300 мм по стали с разрешением в 100 мкм.

— О каких объектах идет речь?

— Мы ориентированы в основном на изделия спецназначения. Это и военная техника, и изделия для предприятий «Роскосмоса», авиастроения, двигателестроения. Отличительные особенности этих объектов — их сложность и высокая степень ответственности. Нередко «Роскосмос» просит посмотреть качество своих изделий — нет ли дефектов, полостей, пузырей. Здесь очевидно, чем хороша томография. Если такое изделие разрежешь, то потом его уже нельзя использовать, а с помощью томографии можно посмотреть и предупредить внештатную ситуацию при эксплуатации космического аппарата. С помощью рентгеновского излучения можно увидеть, что находится в контейнере при инспекционном досмотровом контроле, узнать, есть ли там незадекларированные изделия. В этом вопросе у нас налажены хорошие партнерские взаимоотношения с китайскими, немецкими и американскими коллегами, которые приобретают наши бетатроны для этих целей.

— Томографы могут отличаться по мощности и по размеру?

— Да. У нас есть, например, микротомограф. Мы его создавали для того, чтобы контролировать детонационные шнуры. Когда взлетает ракета, у нее одна за другой отстыковываются ступени. Для их разъединения применяются пиропатроны и детонационные шнуры. И если они некачественные, разделения частей ракеты не произойдет. Мы разработали микротомограф, который позволяет посмотреть, что внутри таких изделий.

— Что сложнее — медицинская или промышленная томография?

— Сложнее промышленная. Все структуры человека достаточно большие, а здесь —

миллиметровые, даже микронные. Обнаружить такой крошечный дефект — задача не из легких. К тому же у человека обычно все повреждения типовые, предсказуемые, здесь же двух одинаковых не встретишь. Кроме того, плотность организма человека, какой бы орган вы ни взяли, приблизительно одинакова. Достаточно подобрать источник излучения, чтобы посмотреть весь объект. Промышленные же объекты состоят из разных материалов. Там и металл, и легкие компаунды, иногда даже легче воды. Разделить эти материалы по плотности гораздо сложнее. В то же время есть и много общего с организмом человека. Как при обнаружении камней в почках или признаков онкологии, мы можем найти в изделиях ненужные включения, камни или раковины. Так, например, мы осуществили контроль клапана весом 1,5 т для газопровода «Сила Сибири», произведенного Том-



Директор Института неразрушающего контроля ТПУ В.Н. Боровиков

ским электромеханическим заводом. Такое изделие не должно иметь дефектов, чтобы при подаче давления не произошел его разрыв.

Очень часто к нам стали обращаться строители, просят проверить качество бетона или других материалов. Ясно, что все хотят видеть свои дома прочными и долговечными. Вот принесли композитную балку, которая при определенной нагрузке сломалась. Просят указать, по какой причине это произошло, а дальше будут работать над увеличением ее прочности — может быть, будут использовать больше арматуры или возьмут для укрепления другой материал.

— Всегда ли удается найти причину неполадки?

— Чаще всего да, хотя она может быть и не связана с внутренними проблемами изделия. Тогда мы исключаем эту «патологию» и советуем искать в другом месте. По сути дела, томография — достаточно точная диагностика изделия. Думаю, за ней большое будущее.

Олег Абрекович Ахмеджанов, начальник производственно-экономического отдела ИНК:

— В последние месяцы мы вели интенсивные конструктивные переговоры с «Газпромом» и в рамках импортозамещения предложили им для контроля сварных соединений трубопроводов разработать и изготовить внутритрубный дефектоскоп. На нем установлен панорамный рентгеновский аппарат нашего производства. Над трубой расположена система перемещения детекторов, которая позволяет получать информацию в цифровом изображении. После проварки сварного соединения в режиме реального времени в течение 10–12 мин дефектоскописты будут видеть на экране монитора качество шва. Очевидно, что, если шов окажется некачественным, неминуема авария. Такие аварии могут принести серьезный экономический и экологический



Томографирование биологического объекта — исследование костной ткани

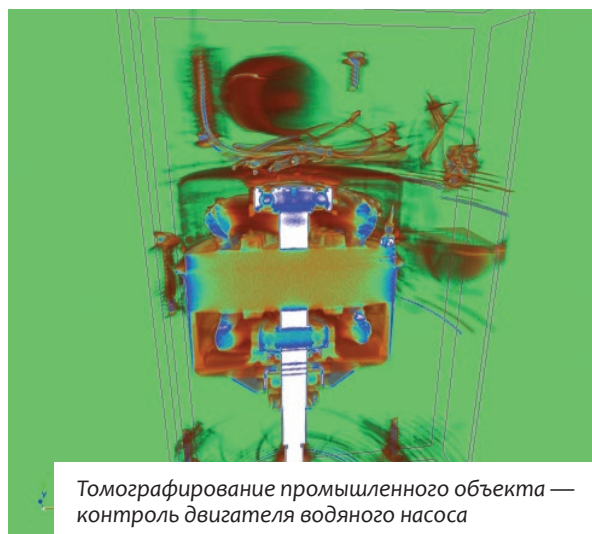
ущерб. Если же мы обнаружим такой неявный дефект, шов просто переварят. На сегодня такие системы представлены в основном зарубежными образцами. При этом всю систему контроля целиком не делает никто.

Мы предложили изготовить весь комплекс в полном составе силами и средствами Томского политехнического университета. В позапрошлом году мы выполнили для «Газпрома» договор по разработке дефектоскопического комплекса для диагностики сварных соединений труб через две стенки. На трубу надевалась специальная система, на одной ее стороне находился рентгеновский аппарат, а на другой — цифровая панель, которая позволяла видеть дефекты в режиме реального времени. Мы получали первый класс точности контроля. Однако эта система более эффективна для ремонта трубопроводов. Теперь же мы внедряем комплекс, необходимый при строительстве новых трубопроводов.

Владимир Платонович Вавилов, заведующий лабораторией теплового контроля, доктор технических наук, профессор:

— Слово «томография» переводится с греческого как «описание слоев» (*tomos* — «слой», *grapho* — «пишу»). Сейчас слово «томография» понимают как разделение объекта контроля по слоям и показ каждого слоя по отдельности. Еще говорят «срез». Мы все это знаем из медицины.

Томография в зависимости от характера излучения бывает разных видов, однако с математической точки зрения все они очень похожи. Наш институт уникален тем, что мы помимо традиционных видов томографии разрабатываем такие, которых нигде больше нет. Они основаны на других физике и математике. В частности, у нас в лаборатории родилась тепловая томография. В чем разница? Традиционные методы томографии ба-



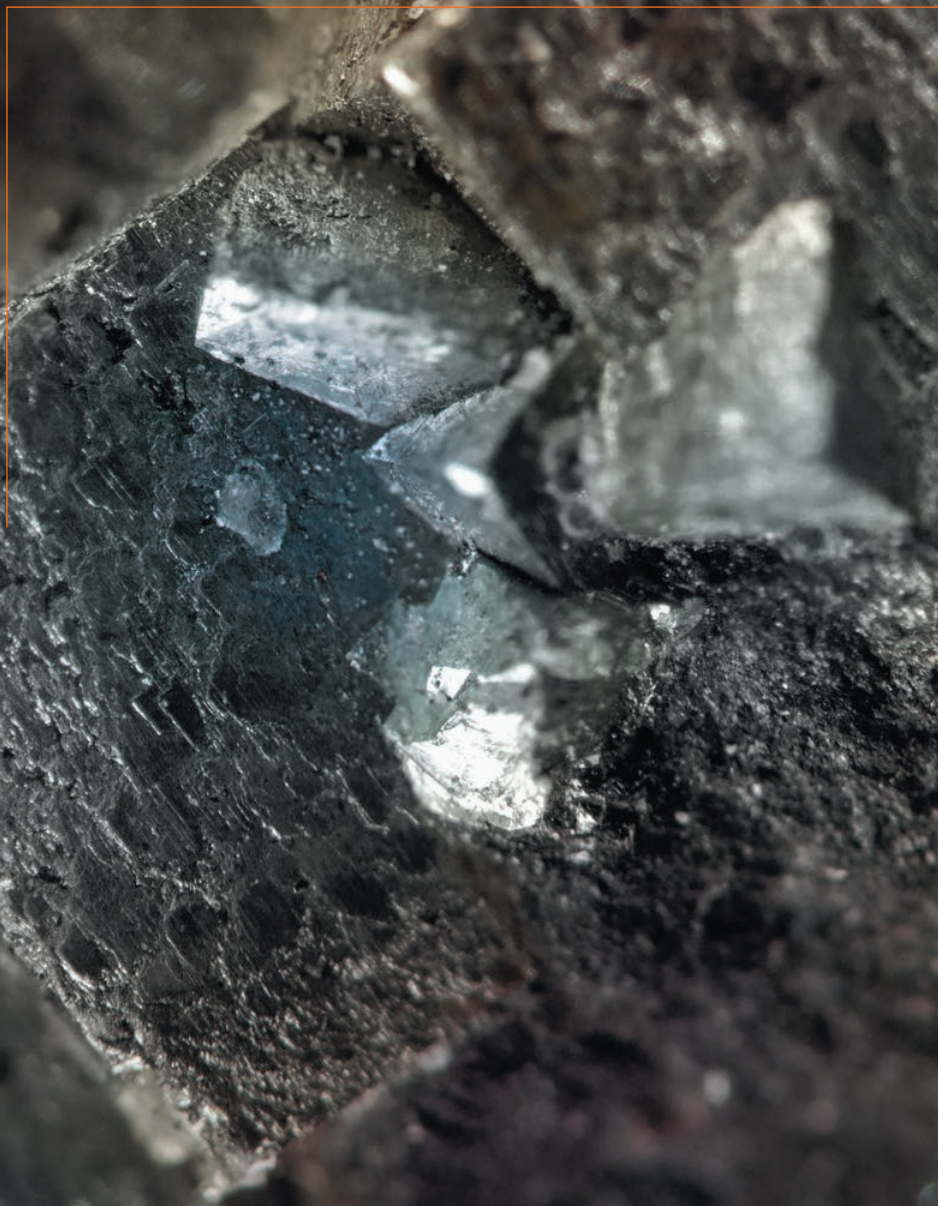
Томографирование промышленного объекта — контроль двигателя водяного насоса

зируются на том, что сквозь тело пропускаются некие частицы или волны, которые распространяются, как правило, прямолинейно. А наш метод основан на распространении тепловой энергии, которая излучается не прямолинейно, а диффузионно, во все стороны. Сейчас, когда начался бум композиционных материалов, наш метод оказался весьма востребованным, потому что для металлов, в отличие от рентгеновской томографии, он как раз непригоден. Наша специализация — различные композиты, сложные сочетания материалов. Известно, что практически все военные самолеты на 80% состоят из композита, гражданские — пока на 50%. Кстати, сам термин «тепловая томография» принадлежит нам, мы его придумали еще в 80-е гг. прошлого века, но тогда этот метод был не очень нужен. Сейчас же он переживает своеобразный ренессанс и, думаю, будет расти и развиваться. ■

Беседовала Наталья Лескова

Университет редкостей

В нашей стране
богатейшие запасы
металлов. Если бы
у нас были технологии,
мы бы заняли
ведущее положение
в экономике металлов



Томск — сердце Западной Сибири, региона, известного богатейшими запасами редких элементов. О достижениях Томского политехнического университета в деле переработки и использования важнейших из них нам рассказал проректор по научной работе и инновациям доктор технических наук, профессор **Александр Николаевич Дьяченко**.



— Впервые Томский политехнический университет (тогда еще институт) темой редкоземельных и редких элементов занялся в конце 1940-х гг. В 1949 г. в нескольких километрах от Томска, в Северске, началось строительство гиганта атомной промышленности — Сибирского химического комбината. Чтобы запустить это производство, необходима была подготовка кадров. С 1950 г. в Томском политехническом университете под эту задачу был открыт физико-технический факультет. Сейчас это Физико-технический институт, там велась и до сих пор ведется подготовка специалистов атомной промышленности.

Основное направление Сибирского химического комбината — обогащение урана, уранового ядерного топлива и наработка определенной базы для производства редких и редкоземельных металлов.

Редкие

— **Какие именно элементы были обнаружены?**

— Тогда же под Томском было открыто богатое месторождение редких и редкоземельных элементов. Это ильмениты, титановое сырье, циркониевое сырье, монацит — ториевое сырье. Направление развития Томской области в середине прошлого века планировалось как горнорудное. Это Туганское месторождение редких элементов, Бакчарское железорудное месторождение.

— **И что помешало?**

— Богатство. В 1960-е гг. у нас открыли нефтяные месторождения. Это были быстрые деньги в отличие от металлургии, требующей больших вложений и длительного срока окупаемости. И было принято совершенно правильное по тем временам решение о развитии области в направлении нефтедобычи. А редкие металлы отступили на второй план.

Но мы продолжали и продолжаем готовить специалистов по технологиям редкоземельных, редких элементов. Они успешно работают на Сибирском химическом комбинате, на Чепецком механическом заводе (где отливались урановые слитки), на предприятиях «Росатома» и золотодобывающего сектора.

Направление не очень активно, но развивалось примерно до 2010 г., когда Министерством промышленности и торговли была принята программа развития промышленности и повышения ее конкурентоспособности, общий объем финансирования программы из средств федерального бюджета — 1 трлн руб. В ней есть подпрограмма развития редких и редкоземельных элементов. На нее было выделено около 4 млрд руб. Томский политехнический университет выиграл один из грантов на разработку технологии получения бериллия и лития.

Легкие

— С тех пор мы активно занимаемся разработкой технологии получения бериллия. Начали тему не с нуля. Бериллий — удивительный элемент, его производство составляет всего 300 т в год. Это один из самых дорогих металлов, килограмм металлического бериллия стоит около \$1 тыс. Бериллий производится всего в трех странах: Казахстане, Соединенных Штатах Америки и Китае.

— **В России вообще не производили?**

— Нет, получали из Казахстана. Производство на Ульбинском металлургическом комбинате в Казахстане было в 1950-е гг. организовано по старой американской технологии и за время работы не менялось. Поэтому производство бериллия даже в позднем Советском Союзе уже было нерентабельно, а в связи с переходом атомных предприятий на коммерческие рельсы стало нерентабельным окончательно. Жить ему осталось недолго, по разным оценкам, два-три года, и производство бериллия в Казахстане прекратится.

— **По экономическим причинам?**

— Скорее по материальным. Пока комбинат существует на старых запасах. На Ульбинский металлургический завод в 1990-е гг. с территории России были вывезены все добытые запасы бериллиевых руд. Шел дележ советского имущества: что-то в Россию ввозили, что-то из России вывозили. В итоге Казахстан спокойно четверть века перерабатывал это сырье. Теперь оно заканчивается. Казахстан обратился к России за бериллиевым сырьем.

Когда российское правительство подняло эту тему, ТПУ привлекли к написанию технико-экономического обоснования производства бериллия. Мы занялись темой и вскрыли ужасающие факты: бериллиевое сырье не добывается в России 25 лет, все рудники остановлены, а на месторождениях вырос густой лес. Мы оказались в коллапсе. Было принято решение, что Казахстану сырье



Химико-металлургический завод Сибирского химического комбината (СХК)

больше поставлять не будем, а будем у себя строить собственное бериллиевое производство.

— **Руды у нас много?**

— Россия занимает одно из ведущих мест в мире по запасам бериллиевых руд. И руды у нас очень богатые. Это в основном Ермаковское и Малышевское месторождения, но там уже четверть века ничего не происходит, все закрыто, законсервировано, порушено и разворовано. А первым делом надо развивать, естественно, рудную базу, восстанавливать рудники. Будет развиваться рудная база, вслед за ней станет развиваться база металлургическая — производство металла.

Научная часть программы — разработка промышленной технологии — должна закончиться в этом году. Буквально через несколько дней я лечу в Москву в Минпромторг отчитываться о сделанном. До 2020 г. планируется создание бериллиевого производства на территории одного из действующих предприятий «Росатома».

— **Где именно, еще неизвестно?**

— Это будет либо Сибирский химкомбинат в Северске, либо Приаргунское производственное объединение в Краснокаменске. Стратегическое решение на уровне правительства уже принято, и после того как мы сдадим научно-техническую часть, откроется проектное финансирование и будет строиться само производство.

Во время Второй мировой войны немецкая промышленность использовала бериллиевую бронзу для производства пружин скорострельных авиационных пулеметов. Однако практически единственными ее поставщиками были США, которые, естественно, отказывались торговать с нацистами. Немецкие промышленники пошли на уловку: зарегистрировали на территории нейтральной Швейцарии несколько

подставных якобы часовых фирм, от имени которых закупили в Соединенных Штатах столько бериллиевой бронзы, что ее хватило бы на часовые пружины всему миру на несколько веков вперед. К счастью, немецкая хитрость была быстро разгадана и поставки прекратились. Но вплоть до конца войны Германия не оставляла попыток (иногда успешных) получить хотя бы малую партию стратегически важного сырья.

— **Построить меньше чем за три года? К чему такая спешка?**

— Наша цель — успеть занять нишу Ульбинского металлургического завода. Если мы вовремя не создадим свое бериллиевое производство, а Ульбинский завод свое закроет, естественно, образовавшуюся брешь тут же заполнят американцы или китайцы, а мы останемся без заказчиков и без своего бериллия.

— **Ну и что? Вы сами говорите, что развитие производства есть уже и в США, и в Китае. Последний наверняка продает его не так дорого. Зачем нам вкладываться в капитальное производство того, что можно купить за значительно меньшие деньги?**

— Покупка бериллия у американцев может быть связана с политическими проблемами. Китайцы тоже люди непростые, и дешевизна дешевизной, но стоит им почувствовать, что мы можем брать бериллий только у них, цена на него взлетит до астрономических высот.

— **Зачем отказывать Казахстану, с которым мы друзья и партнеры и по ЕАЭС, и по Таможенному союзу?**

— Союз союзом и дружба дружбой, а бизнес бизнесом. Зачем развивать промышленность в Казахстане, когда можно открыть производство у себя? Это первое. Второе: Казахстан не вкладывал деньги в свое производство, у них отстальные технологии, а производственные линии настолько старые, что там уже нерентабельно что-то делать. Бериллиевое производство этого завода дорабатывает свой ресурс. Легче построить новый завод, чем обновлять этот. Поскольку технологии созданы в России и россиянами, завод надо строить в России. Это и новые рабочие места, и бизнес, и выход на мировой рынок.

— **А Казахстан может купить технологии и обновить свое производство?**

— Конечно, только насколько это будет целесообразно в условиях отсутствия своих серьезных месторождений? Хотя производство бериллия — дело выгодное и перспективное, в стратегическом плане это серьезный металл.

— **Я не так много слышал о его использовании.**

— Тем не менее его используют, даже невзирая на дороговизну, весьма активно. 90% бериллия применяется в производстве так называемой бериллиевой бронзы, специального сплава, где в медь добавляется около 1% бериллия. Он применяются в двух направлениях: высокотокковые контакты и пружинные блоки.

— **Что такого серьезного может сделать 1%?**

— А вот может. В контактах и высоковольтных рубильниках 1% бериллия значительно уменьшает искроотдачу. В мощных рубильниках основная проблема состоит в следующем: когда его замыкают между контактами, может пройти мощная искра, он приваривается. В аварийной ситуации его

нужно срочно выключить, а рубильник приварился и не размыкается. Результат — авария, взрыв, пожар, техногенная катастрофа.

— **Деталь — копеечная, убытки — миллионные.**

— Совершенно верно, а бериллий снижает здесь риски в разы. Он многократно, в несколько раз повышает ресурс сжатия пружин и рессор. Добавка 0,5% бериллия в сталь позволяет изготовить пружины, которые остаются упругими до температуры красного каления. Эти пружины способны выдерживать миллиарды циклов значительной по величине нагрузки.

— **Это 90%, а оставшиеся 10% куда идут?**

— 10% бериллия применяется в виде чистого металла по специальному назначению. Это прежде всего атомная промышленность, включая ядерное оружие. В ядерных реакторах он применяется в качестве отражателя и замедлителя нейтронов. Второе — космическая техника: из металлического бериллия делают зеркала для отражения излучения из космоса. Но эти применения очень ограничены.

Добавка 0,5% бериллия в сталь многократно повышает ресурс сжатия пружин и рессор, а 1% бериллия значительно уменьшает искроотдачу в мощных рубильниках

В свое время в Советском Союзе была программа развития металлургии, согласно которой мы должны были занять первое место в мире сначала по выплавке алюминия, потом по титану, и далее по производству бериллия. Алюминий, титан и бериллий — легкие, очень удобные в обращении металлы. По алюминию мы заняли первое место — выпускаем 4 млн т в год, сейчас алюминий постепенно заменяет железо и медь. Везде алюминиевые конструкции, окна, двери, айфоны — и те из алюминия делаются.

Титановую промышленность мы тоже развили очень успешно. Самолеты марок «Аэробус» и «Боинг» делаются из российского титана. Российская компания ВСМПО-АВИСМА — крупнейший в мире производитель титана. Мы сами его, к сожалению, практически не используем, поскольку производим крайне мало гражданских самолетов.

— **А в отношении бериллия развить промышленность не смогли.**

— Не успели. Между тем бериллий имеет множество преимуществ как перед алюминием, так и перед титаном. Алюминий — металл легкий,



Завод разделения изотопов СХК

но очень мягкий, его можно применять не везде. Титан не такой мягкий, но и не такой легкий. А бериллий — и самый твердый, и самый легкий.

— **Легче алюминия?**

— Значительно легче. В полтора раза. Плотность титана при нормальных условиях — $4,5 \text{ г/см}^3$, алюминия — $2,7 \text{ г/см}^3$, а бериллия — $1,8 \text{ г/см}^3$. Просто для сравнения: плотность железа — $7,9 \text{ г/см}^3$, меди — почти 9 г/см^3 .

— **Разница в четыре-пять раз.**

— Когда-то планировалось, что в СССР из бериллия будет сделано почти все, что он заменит алюминий и титан. К сожалению, эти планы не дожили до реализации.

— **Но разве возможно производство бериллия в таких объемах? Вы сами сказали, что алюминия одни мы производим 4 млн т в год, а бериллия во всем мире — около 300 т.**

— Конечно, возможно, алюминий же производим. Сырьевая база позволяет, технологии уже позволяют. Весь вопрос в стоимости. Бериллий, как я уже сказал, сейчас стоит \$1 тыс. за килограмм, соответственно, самолет из него будет стоить астрономических денег. Но это вопрос развития технологий. В начале XX в., когда произвели первый промышленный алюминий, он стоил дороже золота. В Эрмитаже лежит ложечка из первого алюминия, ее подарили императору Николаю II, а он подарил Дмитрию Ивановичу Менделееву. Так вот эта ложечка стоила дороже золотой. Там же, в Эрмитаже, есть и подаренный Николаю II алюминиевый чайный набор. Технологии шагнули вперед, и супердорогой металл стал обычным.

— **Титан тоже был астрономически дорогим металлом.**

Ученые Томского политехнического университета разработали технологию получения стратегического металла — бериллия. Его производят всего в трех странах мира — США, Китае и Казахстане. Заказ на разработку отечественной технологии производства бериллия университет получил в 2013 г. от Министерства промышленности и торговли. В конце 2014 г. удалось впервые в России получить лабораторную партию этого металла. Благодаря технологии, разработанной в ТПУ, из концентрата возможно выделять не только металлический бериллий, но и, например, синтетический фторид кальция и оксид кремния. Сейчас технология получения бериллия отрабатывается на Сибирском химическом комбинате (Северск).

Бериллий в основном используют как легирующую добавку к различным сплавам. Добавка бериллия значительно повышает твердость и прочность сплавов, коррозионную устойчивость поверхностей изготовленных из этих сплавов изделий. В атомных реакторах из бериллия изготавливают отражатели нейтронов, его используют как замедлитель нейтронов. Применяется в производстве тормозов для аэрокосмической техники, тепловых экранов и систем наведения. С бериллием не может конкурировать практически ни один конструкционный материал. Конструкционные материалы на основе бериллия обладают одновременно и легкостью, и прочностью, и стойкостью к высоким температурам.



Центральная заводская лаборатория СХК

— Он и сейчас дорог, но уже вполне доступен. Самолеты из него делать можно, то же и с бериллием. Пройдет лет 20, и он станет таким же доступным, простым и удобным в применении металлом.

— **Но, насколько мне известно, бериллий страшно вреден, ядовит.**

— По токсикологии действительно оксид бериллия считается одним из самых токсичных веществ. Но сам металл абсолютно безвреден. Бериллиевая бронза — то же самое, из нее можно делать столовую посуду. При производстве в нашей стране алюминия мы выбрасываем в атмосферу около 100 тыс. т ядовитого фтороводорода. Так что производство алюминия тоже достаточно вредно.

— **Вредно любое химическое производство.**

— Мы принимали участие еще в становлении того же советского казахстанского металлургического бериллиевого производства. Когда ТПУ вошел в программу развития промышленности и редкоземельных металлов, мы предложили принципиально новую технологию, которая позволяет перерабатывать именно российские бериллиевые руды.

— **Наши чем-то отличаются от американских?**

— Конечно, и серьезно. Есть два вида руд — оксидные и фторидные. США и Китай используют в своих производствах оксидные руды, а в России они фторидные. В наших рудах очень много фтора, который мешает использовать классическую сернокислотную технологию. Одна из проблем производства на Ульбинском заводе заключается в том, что

там по старой американской технологии перерабатывают фторидную российскую руду. Экономика не выдерживает: бериллия на выходе получается мало, а отходов — много. Из-за этого у них такие большие проблемы. А мы разработали для наших руд оригинальную фторидную технологию, которая дает высокие экономические показатели. И новое производство на этой технологии будет в разы эффективнее.

Твердые

— По вольфраму ситуация примерно такая же, как с бериллием. Россия занимает одно из ведущих мест в мире по залежам вольфрамовых руд, а его производство у нас практически отсутствует. В год мы производим чуть больше 3 тыс. т, а Китай — 41 тыс. т.

Здесь ТПУ тоже работает не с нуля, поскольку мы уже много лет занимаемся темой редких элементов. 118-е постановление правительства подразумевает выделение 160 млн руб. финансовой поддержки на разработку современных технологий. Хорошая сумма, вполне достаточная, чтобы разрабатывать технологию.

— **За какой срок?**

— Деньги рассчитаны на два года. Наш партнер в этом направлении — недродобывающее перерабатывающее предприятие АО «Закаменск» в Забайкалье. Они добывают вольфрамовую руду, обогащают ее до содержания вольфрама около 50% и продают за границу, в основном в Китай. Там из концентрата руды делают металлический вольфрам и продают в том числе и нам.



Корпус Физико-технического института (ФТИ) ТПУ



Лаборатория кафедры химической технологии редких, рассеянных и радиоактивных элементов ФТИ ТПУ

— В виде лампочек с вольфрамовыми нитями?

— Конечно, и так, но сегодня это далеко не первое и даже не второе применение вольфрама. Тем более что лампочки накаливания достаточно быстро уходят в историю. Основное применение вольфрама — буровые установки и режущие инструменты. Вольфрам в отличие от бериллия — один из самых тяжелых металлов и самый твердый. Мы все иногда занимаемся ремонтом. Когда вы сверлите бетон, какое сверло используете?

— Победитовое.

— Верно, а победит — это сплав карбида вольфрама и кобальта в массовом соотношении 90 : 10. Победитовые наконечники — это все металлорежущие станки, вся металлообрабатывающая промышленность, вся станковая база, везде нужен вольфрам. Для любого бурильного оборудования: буровых вышек для нефти, различных геоходов, проходческих щитов и машин, — необходим вольфрам.

Но есть и проблема: несмотря на то что это самый твердый металл, вторичного рынка у него практически не существует. Сверло истирается, фреза истирается, наконечники бура истираются. Когда в метро бурят штольню, никто не будет собирать вольфрамовую крошку, весь вольфрам остается в грунте. А у нас вольфрам практически не производят по тем же причинам, что и бериллий.

В ТПУ разработали уникальную для России технологию получения паравольфрамата аммония. Это вещество используют для производства легирующих добавок к металлическим сплавам, которые придают им устойчивость к экстремально высоким температурам.

В 2014 г. ТПУ вместе с ЗАО «Закаменск» выиграли правительственный конкурс по постановлению № 218: предприятие получило субсидию от государства на развитие высокотехнологичного производства. В ТПУ не только улучшили существующую технологию получения вольфрамового концентрата, но и предложили выпускать более сложный продукт — паравольфраматы аммония, сырье для получения как оксида, так и металлического вольфрама, которые и добавляют в сплавы.

Ноу-хау ТПУ — использование ионно-обменных смол для отделения вольфрама от примесей (обычно используется метод экстракции с растворителями).

Технология, разработанная в Томском политехническом университете, обладает большей ресурсоэффективностью, чем имеющиеся аналоги. Например, соду, необходимую на первоначальном этапе производства, стало возможно возвращать в производство несколько раз. Это позволяет снизить себестоимость конечного продукта как минимум на 10%.

Есть еще один плюс: по технологии, разработанной ТПУ, в производственном цикле больше не используется взрывоопасный керосин, что делает ее безопасной.

Специалисты Томского политехнического университета уже собрали опытный стенд, воспроизводящий полный технологический цикл. Следующий этап — организация опытного производства на площадке университета. Третьим этапом, после отработки всех режимов, станет опытный участок уже на самом «Закаменске» в Бурятии.

— Технологии устарели?

— Разумеется. В технологии производства вольфрама много лет не вкладывались деньги. Они стали нерентабельны. За границей в этом плане шагнули далеко вперед. Вольфрам, который мы еще производим, настолько дорог, что его выгоднее привозить из того же Китая. Сейчас мы занялись этой проблемой, проект идет полным ходом. Бериллиевый проект в этом году завершается, над вольфрамовым еще год будем работать и в итоге должны выдать проектную документацию на производство 1 тыс. т вольфрама в год.

— Его тоже будете делать в Северске?

— Сейчас решается вопрос о месте постройки, будет ли это в Томске или в Забайкалье. Проблема строительства в Томске — логистика: везти сырье из Забайкалья недешево. Проблема строительства в Забайкалье — отсутствие кадров. Для любого производства нужны кадры, там с этим, к сожалению, проблема. Дикие места, рудники, очень сложно затащить туда народ.

— Раньше проблема решалась длинным рублем, таежной романтикой и обещаниями светлого будущего. А я еду за туманом, через четыре года здесь будет город-сад...

— Сейчас так не получается, люди на подъем тяжелы. Не то что из Москвы — из нашего Томска в Забайкалье почти никто не поедет. Сырье привезти легче. К концу следующего года мы отработаем технологию, выдадим проектную документацию и, надеюсь, проектировщики займутся строительством вольфрамового комбината.

Свои

— Но бериллием и вольфрамом список редких элементов не исчерпывается.

— Томский политехнический университет выиграл конкурс, грант в 100 млн руб., по поддержке инжиниринговых центров. Мы должны создать у себя научно-производственную базу в области прикладной химии и металлургии как раз в продолжение работ по бериллию, вольфраму и другим редким элементам. По сути, это новая лаборатория, где будут не пробирки, а полупромышленные аппараты, на которых отрабатываются металлургические технологии. Бериллий мы закончили, вольфрам заканчиваем, но впереди еще много полезных веществ и элементов таблицы Менделеева.

— Какие в первых рядах?

— Тот же алюминий.

— Вы же сказали, мы лидеры в его производстве?

— Мы занимаем первое место в мире по производству алюминия, но наш алюминий — самый дорогой в мире. Мы с него практически не получаем прибыли. Та же ситуация, как с бериллием в Казахстане. Рабочие коллективы, конечно, получают зарплату, но бизнес интересует прибыль,

а ее нет. Если это госпредприятие, это госбюджет, и госбюджету от производства алюминия мало что остается.

То же самое с нефтью. Мы добываем огромное количество нефти, но добываем за тысячи километров от потребителей и покупателей. Пока по трубопроводам она дойдет до границы с Европой, ее себестоимость становится запредельной. В Арабских Эмиратах просто: нефть добыл, тут же на танкер загрузил, в Америку отправил — все дешево. У нас тысячи километров труб, перекачек, насосных станций.

Инжиниринговый центр, по сути, — это химико-металлургическая лаборатория, которая будет заниматься не просто научными изысканиями, а разработкой или доведением до совершенства технологий, технико-экономическими обоснованиями, бизнес-планами. Все будет базироваться не просто на калькуляторных расчетах, а на апробации в опытно-промышленных установках.

— Будете создавать новые материалы?

— Мы не планируем, что там будут разрабатываться какие-то сверхновые экзотические материалы, это обычное металлургическое производство, основная цель исследований — снизить себестоимость переработки минерального сырья. Снижение затрат на производство и реализацию автоматически ведет к увеличению прибыли и повышению конкурентоспособности. Мы сможем демпинговать на мировом рынке металлов.

— Демпинговать нехорошо.

— Кто вам это сказал? Демпинг — нормальный прием нормальной экономической борьбы по завоеванию рынка. Одна из основ экономики. В нашей стране богатейшие запасы металлов, если бы у нас были технологии, дающие возможность демпинговать, мы бы заняли ведущее положение в экономике металлов. Сидим на таких богатствах, а технологии настолько дорогие, что мы этими богатствами не можем пользоваться.

— Центр будет создан на основе какой-то действующей лаборатории?

— На базе нескольких кафедр химической технологии Томского политехнического университета. Это кафедра химической технологии редких элементов, кафедра общей химической технологии, кафедра геологии и разведки полезных ископаемых. У нас в университете есть весь спектр специальностей: разведка, добыча, переработка, производство металлов. Все кафедры, которые работают с неорганическим сырьем, с минеральным сырьем, внесут в этот центр свой кадровый вклад.

— Когда планируется открытие?

— 15 июля в Москве прошло установочное совещание. Думаю, к 1 сентября все заработает. ■

Беседовал Валерий Чумаков

Мирный атом

ПОСТАВИТ ДИАГНОЗ
И ВЫЛЕЧИТ

Такие методы, как сцинтиграфия и компьютерная томография, существенно повышают эффективность лечения пациентов



Я

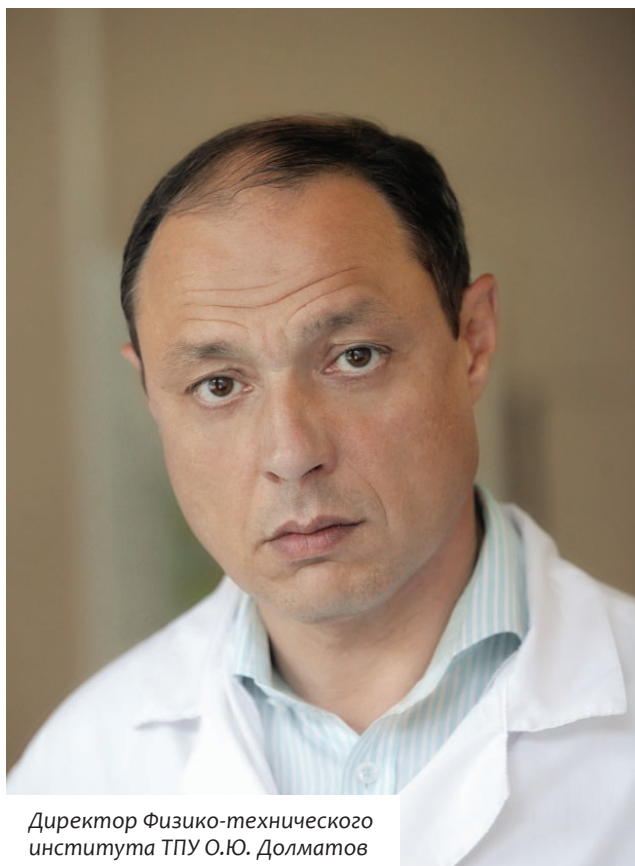
дерные технологии в Томском политехническом университете относятся к приоритетным направлениям исследований хотя бы потому, что с их помощью можно безопасно диагностировать рак и заболевания сердечно-сосудистой системы, а также успешно лечить многие ранее считавшиеся неизлечимыми онкологические заболевания. Особая гордость — собственный ядерный реактор, в котором производятся оригинальные радиофармпрепараты, единственный в России, действующий при вузе.

Олег Юрьевич Долматов, директор Физико-технического института (ФТИ) Томского политехнического университета:

— В настоящее время исследовательский ядерный реактор Томского политехнического университета — это единственный действующий реактор в системе Министерства образования и науки Российской Федерации.

Конечно же, одно из главных предназначений нашего реактора — образовательный процесс. Здесь ежегодно проходят обучение более 400 студентов Томского политехнического университета. Уникальные компетенции, полученные нашими студентами при обучении на действующей ядерной установке, позволяют им успешно работать после окончания вуза на многих предприятиях ядерного топливного цикла. Недаром ежегодно спрос на наших выпускников значительно превышает их количество.

Как известно, предназначение любого исследовательского реактора, в том числе и нашего, — получение мощных потоков нейтронного и гамма-излучения для использования в различных научных исследованиях. Сегодня на реакторе проводится большое число научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, среди них можно выделить ядерное легирование кремния, который используется в полупроводниковых приборах; получение изотопов технического



Директор Физико-технического института ТПУ О.Ю. Долматов



Генератор технеция-99т на основе облученного нейтронами молибдена-98

назначения, материаловедческие работы по изучению воздействия потоков излучения на материалы космической техники, машиностроения, радиоэлектроники и ряд других направлений. Но одна из главных задач, решаемых на площадке исследовательского ядерного реактора, — производство радиофармпрепаратов, столь важное для медицинских целей.

Виктор Сергеевич Скуридин, доктор технических наук, профессор, руководитель лаборатории по производству радиофармпрепаратов и генераторов технеция ФТИ:

— Начиная с 1985 г. мы производим препараты технеция, которые на протяжении более 30 лет поставляем в клиники города Томска и других регионов страны. Кроме того, мы разработали генераторы технеция. Это уникальная технология, которой до этого в России не было. Более 20 онкологических клиник от Южно-Сахалинска до Ульяновска получают эти генераторы, очень компактные и доступные для любого врача. Внешне они напоминают металлический термос. Путем несложных манипуляций можно получить препарат, жизненно необходимый многим онкобольным. Это диагностический препарат, с помощью которого можно посмотреть разные виды опухолей.

Коллектив у меня небольшой, всего 12 человек. Все мы занимаемся разработкой препаратов для кардиологии и онкологии — например,

лиофилизата с большим сроком годности для получения меченой технецием глюкозы, который будет поставляться в клиники, где проводится обследование больных. За последние четыре года мы разработали шесть радиофармпрепаратов, которые проходят доклинические исследования. Один из них дает просто замечательные результаты. Это нанокolloидный препарат на основе оксида алюминия, созданный впервые в медицинской практике. Никому в голову не приходило, что оксид алюминия, который используется во всех генераторах технеция в качестве сорбента для молибдена, может образовать прочную связь с технецием. А вот нам пришлось. И мы получили нанокolloид, меченный технецием, для обнаружения сторожевых лимфатических узлов, через

Меченный технецием нанокolloид служит для обнаружения сторожевых лимфатических узлов, через которые начинается лимфогенное метастазирование опухоли

которые начинается лимфогенное метастазирование опухоли. Этот препарат в виде стабильного, устойчивого реагента может быть незаменим как для онкологии, так и для кардиологии.

Еще мы разработали препарат диэтилдитиокарбамат для оценки кровоснабжения головного мозга. Он применяется при ранних признаках инсульта и других острых нарушениях мозгового

кровообращения, когда другими методами эта патология еще не обнаруживается.

Сейчас разрабатываем меченный технецием доксорубин. Он широко используется в онкологии для химиотерапии злокачественных новообразований. Однако более чем у 30% пациентов он оказывается неэффективным, в то время как его токсическое действие проявляется в полной мере. Мы задались вопросом: как узнать, кому он подходит, а кому нет? И пометили его технецием. Оказалось, что если меченный препарат в крошечной дозе ввести пациенту и он пойдет в опухоль, то сразу станет ясно, годится он ему или нет. Если нет, надо подбирать другой.

Результаты применения наших радиофармпрепаратов замечательны. Есть немало случаев, когда удавалось спасти жизнь пациенту. Скажем, один достаточно известный в Томске профессор физики был диагностирован с помощью наших препаратов на ранней стадии онкологического процесса, ему была проведена успешная операция, химиотерапия не потребовалась, он жив, здоров, работает. Я знаю десятки людей, которым удалось спасти жизнь с помощью препаратов, которые позволяют увидеть жизнеспособность сердечной мышцы. Скажем, у человека ишемическая болезнь сердца. Здоровая клетка копит препарат с одной скоростью, а больная — с другой, меньшей. И вот на сцинтиграмме сердце, пораженное ишемией. Вводим препарат и видим, какие участки сердца накапливают это вещество. Это показывает, какие клетки сердца еще жизнеспособны. Становится ясно, как лечить этого человека, требуется ли ему операция и какая именно. Такое исследование занимает всего полтора часа, а продлить жизнь может на долгие годы.

Согласно нашей статистике, более 400 тыс. больных за два истекших года было обследовано только с генераторами технеция. Ни один университет мира не решает столь глобальных задач. Причем мы не торгуем нейтронами, как большинство ядерных центров, мы занимаемся конкретным производством для практической медицины. В этом наша абсолютная уникальность.

Наше производство создавалось на реакторе в соответствии с системой *GMP* — это международные требования безопасности к выпускаемым медицинским препаратам, касающиеся чистоты воздуха, классности помещений. Скажем, для производства препаратов, вводимых внутривенно, нужен класс А. Если препарат проходит последующую стерилизацию — класс В. У нас класс В, это очень

высокий показатель чистоты. Мы делаем препараты для внутривенного введения, каждое утро машины отвозят их в клиники Томска, и каждый пациент может быть уверен в их стерильности и безопасности.

Евгений Лхамациренович Чойнзон, академик РАН, директор Томского НИИ онкологии, руководитель Томского национального исследовательского медицинского центра РАН:

— Сегодня медицина невозможна без мультидисциплинарных подходов в лечении. И если раньше мы занимались только хирургической практикой, а также химиотерапевтической и лучевой, то сегодня этот спектр заметно расширен. Мы проводим фотодинамическую терапию. Для того чтобы усилить эффект, проводимый лучевой терапией, нам надо обеспечить повышение температуры в самой опухоли. Необходимо также добиться снижения нежелательных эффектов в лучевой терапии, для чего применяются различные лазеры. Высокотехнологичная помощь должна быть обеспечена не только на всех этапах лечения, но и, самое главное, на этапах диагностики, мониторинга пациентов. Сегодня ПЭТ-технологии широко применяются в онкологической практике, но они имеются даже не во всех крупных институтах или онкологических диспансерах. А для того чтобы проводить мониторинг и оценивать эффективность лечения пациентов, такие методы, как сцинтиграфия, наложение ее на данные компьютерной томографии, имеют громадное значение. Разрабатывая тактику лечения, мы должны еще и определить объем выполняемой операции.

К сожалению, сегодня до 70% операций на зонах регионарного метастазирования выполняются без показаний. Это и экономические издержки,



Гамма-камера для проведения однофотонной эмиссионной компьютерной томографии



Над активной зоной исследовательского ядерного реактора ТПУ

и падение качества жизни пациентов. Поэтому очень важно обосновать необходимость той или иной операции. Сегодня мы научились объективно оценивать эту необходимость по отношению к трем локализациям — в случаях рака шейки матки, молочных желез и гортани. Благодаря совместным усилиям с Томским политехническим университетом, его сотрудниками, мы подошли к разработке пионерских препаратов, которые помогают диагностировать и лечить эти недуги. На сегодня получен товарный знак на один из таких диагностических препаратов, он называется «Алотех». Теперь нужен коммерческий промышленный партнер, который займется его производством для массового внедрения.

Владимир Иванович Чернов, заместитель директора НИИ онкологии по научной и инновационной деятельности, доктор медицинских наук, профессор:

— Наше сотрудничество с ТПУ имеет давнюю историю. Первая совместная разработка — таллий-199. В 1988 г. начались его клинические

испытания. Это совершенно оригинальный препарат для мировой ядерной медицины, до этого применялся таллий-201. Чем он нас не устроил? Во-первых, у таллия-201 в десять раз длиннее период полураспада, что обуславливало достаточно высокую лучевую нагрузку на пациентов. Во-вторых, это препарат, который можно получать только на очень мощных циклотронах с крайне длительным временем выделения. В Томском политехническом университете была разработана изящная технология безотходного производства таллия-199 на циклотроне средней мощности. Первоначально таллий-199 использовался для оценки коронарной перфузии в кардиологии. В настоящее время мы активно применяем его для диагностики злокачественных новообразований, стадирования процесса и оценки эффективности лечения.

Огромное практическое значение для клинической онкологии имеет сотрудничество с Томским политехническим университетом. Это в первую очередь разработка радиофармпрепаратов для выявления сторожевых лимфатических узлов, что представляет собой основу органосохраняющих операций в онкологии.

Вокруг каждой опухоли находится множество лимфатических узлов, однако отток лимфы, а следовательно и лимфогенное метастазирование, осуществляются через один или два узла, которые называются сторожевыми. Если их обнаружить и провести гистологическое исследование, можно безошибочно определить показания к проведению щадящих операций — они выполняются в тех случаях, когда в сторожевых узлах не находят опухолевых клеток. В тех случаях, когда сторожевые узлы поражены метастазом, прибегают к расширенному хирургическому вмешательству. К сожалению, сейчас в России такие калечащие операции часто проводят без показаний. Дело в том, что в России нет ни одного зарегистрированного препарата для диагностики сторожевых лимфатических узлов, хотя это давно входит в стандарты лечения всех развитых стран.

Несколько лет назад мы совместно с ТПУ занялись проблемой создания своего радиофармпрепарата. К тому времени мы знали все недостатки зарубежных препаратов. Во-первых, все они накапливаются в сторожевом лимфатическом узле всего лишь в 1–2% отведенной дозы, что затрудняет его визуализацию. Второй недостаток: после того как препарат попадает в сторожевой узел, он уходит в узлы второго и третьего порядков, что снижает специфичность диагностики.



Пульты исследовательского ядерного реактора ТПУ

Нам удалось создать препарат, который не накапливается в узлах второго и третьего порядков, а доходит только до сторожевого узла и оседает там. За счет этого в пять, шесть, а иногда и в десять раз больше накапливается в сторожевом узле по сравнению с зарубежными аналогами. Настолько эффективного препарата раньше не было. Патент на это изобретение получен, оно вошло в топ-100 лучших изобретений России.

Другое важнейшее направление — тераностика: терапия плюс диагностика, когда сначала мы оцениваем перспективность использования те-

появились препараты на основе антител для тераностического лечения такой распространенной онкопатологии, как рак предстательной железы. При этом в качестве тераностической пары используются галлий-68 и лютеций-177. Галлий-68 применяется для диагностики первичной опухоли и метастазов рака простаты, а препараты лютеция-177 показывают великолепные лечебные результаты.

Выполняя исследования в этом направлении, в качестве тераностической пары мы выбрали технеций-99m и рений-188. В настоящее время ведутся работы по созданию устройств для безотходного получения рения-188 на циклотронах. Серьезная проблема ядерной медицины — создание хелатов, молекул, позволяющих соединить антитела и радионуклиды. Группой ученых под руководством Мехмана Сулеймановича Юсубова, заведующего кафедрой технологии органических веществ и полимерных материалов Томского политехнического, создан оригинальный хелат, который позволяет получать радиофармпрепарат непосредственно в клинике. Его применение позволяет избежать многоступенчатого синтеза с многочисленными очистками, что упрощает использование этих технологий для врачей и пациентов.

Наше успешное сотрудничество с Томским политехническим дает основания смотреть в будущее с большим оптимизмом. ■

Огромное практическое значение для клинической онкологии имеет сотрудничество с ТПУ. Это в первую очередь разработка радиофармпрепаратов — основы органосохранных операций в онкологии

рапевтического агента, рассчитываем соответствующие дозы и предсказываем его эффективность, после чего вводим терапевтический препарат. Долгое время тераностика использовалась в основном для терапии рака щитовидной железы. Для этих целей используются йод-123 как диагностический инструмент и йод-131 как терапевтический. Этот метод прекрасно себя зарекомендовал. В настоящее время в Европе и США

Беседовала Наталья Лескова



Одна из задач, стоящих сегодня перед российскими вузами, — международная интеграция, обмен знаниями и опытом в области науки и образования

ЯЗЫК

до Томска доведет

В недавно созданном центре *RASA* при Томском политехническом университете работают ведущие специалисты из самых авторитетных институтов, университетов и лабораторий мира. Об этом нам рассказал заместитель проректора университета по научной работе и инновациям кандидат химических наук **Роман Вячеславович Оствальд**.



— **Красивая аббревиатура *RASA* созвучна слову «раса».**

— Связь есть, но не с расовой принадлежностью, а с языковой. *RASA*, *Russian-speaking Academic Science Association* — это независимая международная некоммерческая неправительственная ассоциация русскоговорящих ученых, работающих за рубежом. Цель деятельности *RASA* — обмен знаниями и опытом в области науки и образования. Как правило, эти ученые добились высокого статуса, возглавляют собственные исследовательские группы в ведущих зарубежных университетах и научных центрах. Ученые ассоциации *RASA*, с одной стороны, в отличие от иностранцев, понимают менталитет российских ученых и российские законы, с другой стороны, обладают знаниями, как нужно работать в лучших университетах мира, и активно делятся этими знаниями и опытом. Взаимодействие Томского политехнического университета с ассоциацией *RASA* позволяет приобрести новые контакты, выйти на партнеров, которых можно

привлечь для решения актуальных проблем и задач современной России. Одна из задач, стоящих сегодня перед российскими вузами, — глобальное увеличение их конкурентоспособности на международном уровне, их продвижение в международных рейтингах. Речь идет о Проекте 5–100, главный индикатор которого — вхождение как минимум пяти российских вузов в сотню лучших вузов мира к 2020 г. Честно говоря, без плодотворного сотрудничества с зарубежными коллегами, совместных исследований и работы над совместными проектами решить такую задачу очень сложно.

На наш взгляд, *RASA*-центры с привлечением ученых из ассоциации должны быть созданы во всех вузах Проекта 5–100. Сейчас в России три таких центра. Первый был учрежден в Санкт-Петербургском политехническом университете, второй в прошлом году в Томске на базе ТПУ. В конце прошлого года был открыт центр *RASA* с тремя лабораториями на базе Казанского федерального университета.



Заместитель проректора ТПУ по научной работе и инновациям Р.В. Оствальд

— А как создавался центр RASA в Томске?

— В создании центра RASA в Томске ключевую роль сыграла Елена Николаевна Аточина-Вассерман, томичка, выпускница СибМГУ, профессор Пенсильванского университета (США), входящего в элитную Лигу плюща. Елена в течение недели со своим коллегой из Рутгерского университета (США) ходила по всем подразделениям ТПУ, общалась, знакомилась с нашими учеными, их проектами и рабочими условиями. Это была очень интенсивная неделя, но это позволило ученым из RASA понять, какие проекты могут быть реализованы совместно с учеными ТПУ, какое существует оборудование, какие оснащенность и инфраструктура. Е.Н. Аточина-Вассерман уверена, что все открытия совершаются на неких стыках наук, как правило, совершенно неожиданно, но тем не менее именно эти стыки и дают те самые точки роста, где можно сделать что-то совершенно новое. Поэтому центр создавался именно как междисциплинарный многопрофильный проект, с привлечением физиков и медиков под одну крышу. Благодаря энергии Елены, ее личными контактами с учеными

и веру в проект уже через два месяца после ее визита в Томск приехал первый десант из восьми ученых США и Европы для встречи с учеными и студентами ТПУ, и все стало стремительно развиваться. Хочу также отметить, что без инициативы и энтузиазма наших сотрудников С.А. Байдали и Ю.Ш. Сиразитдиновой центр RASA было бы очень тяжело открыть. Год назад никто особенно не верил в перспективу такого сотрудничества. Но общими усилиями обеих сторон и при весомой поддержке ректора ТПУ Петра Савельевича Чубика был создан центр RASA как орган научного управления. Определенные инструменты и полномочия позволили наполнить лаборатории людьми, помочь с финансированием, оборудованием.

Великолепная шестерка

— Переходя от общего к конкретному: что сегодня представляет собой центр RASA в Томске?

— У нас серьезный замах по сравнению с другими вузами. В ТПУ было принято решение создать сразу шесть лабораторий: три физико-технологические и три биомедицинские. Из физико-технологических лабораторий первая нацелена на информационные технологии, работу с большими объемами данных: их обработку, визуализацию и т.д. Она так и называется — лаборатория обработки и анализа больших объемов данных.

— Big Data?

— Именно. Руководит лабораторией глава исследовательской группы по физическому программному обеспечению отделения физики Брукхейвенской национальной лаборатории (США) А.А. Климентов. Кроме того, он еще и координатор эксперимента распределенных вычислений ATLAS в CERN. Основное применение больших данных — фундаментальные исследования физики частиц высоких энергий, которыми занимается CERN. Это несколько проектов с вовлечением огромного числа ученых из различных стран. По этой тематике созданы лучшие в мире лаборатории. Весной Томский политехнический университет вошел в одну из технических коллабораций CERN, в дальнейшем мы планируем войти и в другие. В рамках работы этих коллективов издаются сотни серьезных статей в ведущих научных журналах, и, конечно же, вхождение в такие исследовательские

Есть история, не знаю, насколько она правдива. В Масачусетском технологическом институте на задворках стоял старый корпус, вроде промышленного ангара. Туда «ссылали» сотрудников, у кого не было своих площадей. Образовался некий винегрет из ученых: там и айтишники, и физики, и химики, и биологи, и гуманитарии; все работали по разным уголкам над своими проблемами. Но вмешался человеческий фактор,

и ученые стали общаться между собой и обсуждать свои проблемы. И в течение нескольких лет там родились ряд классных прорывных междисциплинарных проектов, в которых были завязаны и гуманитарии, и технологи, и биологи. Это принесло неплохие дивиденды. Вскоре от них пошли серьезные публикации с безумными индексами цитирования. Эта идея некоторым образом реализована и в нашем научном парке.

группы — само по себе большое достижение. При поддержке центра RASA трое наших молодых ученых уже год работают в CERN в разных проектах. Аспиранты ТПУ имеют очень хорошие перспективы для дальнейшей работы в этом мегапроекте мирового значения.

Вторая лаборатория — лаборатория дизайна медицинских изделий. Она также имеет отношение к IT-технологиям, но связана не с ядерной физикой, а с автоматизацией в медицине вообще и в хирургии в частности. Возглавляет ее президент RASA-USA профессор Гарвардской медицинской школы Н.В. Васильев. Он занимается исследованиями и практикой в области кардиохирургии — шунтированием, открытыми операциями на сердце, операциями на работающем сердце и т.д.

— **Как это связано с IT-технологиями?**

— Самым непосредственным. Есть известная американская компания *Intuitive Surgical Inc.*, которая производит роботов-хирургов *da Vinci*. Их выпущено уже несколько тысяч, и они стоят в сотнях клиник по всему миру. Используются *da Vinci* в том числе и для операций на сердце. Но чтобы оперировать сердце, его сначала нужно обездвигить. Сердце останавливают, подключают систему искусственной циркуляции крови, проводят операцию, а затем заново запускают.

— **А если не запустится?**

— Это самый рискованный этап. В идеале надо оперировать на работающем сердце, но это очень сложно. Сердце пульсирует, поэтому основная задача робототехники состоит в том, чтобы компенсировать пульсацию, синхронизировать движения робота с работой сердца и уже внутри синхронизации сделать управляющий импульс, который позволяет проводить операции.

— **Человек этого делать не может?**

— Думаю, нет: очень большая вероятность ошибки. Люфт движений минимальный, ошибка в миллиметр может стоить жизни пациента. У Н.В. Васильева есть наработки в этой части, и в рамках своей лаборатории он сотрудничает с *Intuitive Surgical*. Вместе они стараются сделать *da Vinci* еще более «умелым».

— **Мы подошли к третьей лаборатории.**

— Это лаборатория разработки источников электромагнитного излучения центра RASA в Томске. Она открыта на базе Физико-технического института ТПУ и связана с физикой частиц высоких энергий. Руководит ею профессор Колледжа Роял-Холлоуэй Лондонского университета П.В. Каратаев, наш выпускник. Его специализация — изучение и детекция быстрых частиц.

Как я уже сказал, еще три лаборатории работают по блоку медицины, биохимии и применения лекарственных форм в клинической практике. Лаборатория изучения механизмов нейротекции под руководством Д.Н. Аточина,



Руководитель лаборатории обработки и анализа больших объемов данных А.А. Климентов

профессора научно-исследовательского центра сердечно-сосудистой кардиологии Гарвардской медицинской школы (США), изучает нарушения мозгового кровообращения. Дмитрий как сотрудник RASA-центра в Томске активно сотрудничает с альма-матер — СибГМУ, с НИИ фармакологии, с Новосибирским Академгородком.

Лабораторию изучения механизмов сигнальной трансдукции в Томске возглавляет профессор Рутгерского университета шотландец Эндрю Гоу. Основная цель — изучение процессов и механизмов, связанных с иммунным ответом клетки на воспаление или другие патологические процессы. В этой лаборатории также работает директор нашего центра RASA в Томске Е.Н. Аточина-Вассерман, ассистент, профессор Пенсильванского университета. Елена изучает роль иммунных клеток в лечении редких генетических раковых заболеваний легких. К этой же лаборатории относится и В.В. Фокин, химик, входящий в десятку наиболее известных ученых, работающих по теме «клик-химия».

— **Что такое «клик-химия»?**

— Условно говоря, это когда при синтезе лекарственного соединения создаются условия, при которых реакция может произойти только в одном заданном направлении, образуя конкретное соединение. По принципу конструктора «Лего» — клик, и молекулы, как кирпичики, состыковались. В.В. Фокин использует принцип такого соединения молекул в химических реакциях, которые в том числе можно использовать для создания новых фармпрепаратов и их применения, например, для лечения заболеваний легких.

— **Туберкулеза?**

— Не только туберкулеза, но и онкологии, и пневмонии, и других заболеваний. В RASA-центре существует отдельный проект, связанный с туберкулезом. Туберкулез относится к растущему списку болезней, для которых существующие лекарства перестают действовать из-за достаточно быстрой эволюции микобактерии туберкулеза (палочки Коха). Необходимость быстрой, точной диагностики резистентного туберкулеза и новых эффективных противотуберкулезных препаратов признана общемировым приоритетом. Во многих странах уже создана международная сеть туберкулезных порталов. Через эти информационные порталы осуществляется сотрудничество медиков из разных стран для всестороннего научного и практического изучения резистентных форм туберкулеза.

— **Чтобы не терять времени и финансов на изобретение нового высокотехнологичного и весьма дорогостоящего велосипеда?**

— Совершенно верно. Ученые RASA-центра совместно с учеными Национальных институтов здоровья в США выдвинули идею создания одного из таких порталов в Томске — современного многопрофильного научного ресурса «Туберкулезный портал России». Цель программы — разработка новых методов диагностики резистентного туберкулеза и улучшение эффективности лекарственной терапии с использованием геномной информации. Это очень большой проект, и на данном этапе идет обсуждение сотрудничества с Сибирским государственным медицинским университетом, Институтом кибернетики ТПУ, НИИ медицинской генетики и Национальными институтами здоровья в США.

Еще один проект, который специалисты центра сейчас активно продвигают, посвящен доставке

лекарственных препаратов в легкие с помощью аэрозолей. Проблема в том, что капельки лекарственных форм ингаляционных препаратов большей частью оседают в верхних отделах легких, в то время как многие лекарственные препараты нужно доставить именно в нижние отделы легких. В том же направлении интересны и перспективны работы, которыми занимается профессор Энергетического института ТПУ П.А. Стрижак. Он разрабатывает математические модели оптимального распределения капель.

Центр RASA создавался как многопрофильный проект, с привлечением физиков и медиков. В ТПУ было принято решение создать сразу шесть лабораторий: три физико-технологические и три биомедицинские

— **Распределения в легких?**

— Как ни странно, нет. Одна из наиболее известных его работ связана с тушением лесных пожаров. Сегодня на горящий лес просто сбрасываются тонны воды, что ведет к большому перерасходу воды и низкой эффективности тушения пожара по сравнению с аэрозольным распылением водой. Основная идея П.А. Стрижака заключается в том, что делаются разные высоты сброса воды, каждой из которых соответствует свой размер капель.

Пока капля доходит до лесного пожара, она постепенно испаряется, поглотив необходимое для тушения количество тепла. Это позволяет наиболее эффективно использовать воду и ликвидировать пожары в разы быстрее.

Эта же идея может быть применена для аэрозольных препаратов в медицине: оптимальное распределение капелек, различные их размеры, подача с разной скоростью, чтобы лекарственный препарат максимально эффективно распределялся, достигая своей мишени в легких, что может существенно повлиять на ход и скорость лечения. Это еще один из примеров



Руководитель лаборатории дизайна медицинских изделий Н.В. Васильев



Руководитель лаборатории изучения механизмов сигнальной трансдукции Эндрю Гоу

результативного сотрудничества на стыке наук — как можно применить знания в физике в биомедицинских процессах.

Приведу еще один пример результативного сотрудничества Института неразрушающего контроля ТПУ с медиками. Когда его директор В.Н. Бориков и его сотрудники обсуждали перспективы совместных работ с учеными центра RASA в Томске, физиков ТПУ осенила идея, как помочь ученым в области биомедицины исследовать различные патологические процессы в мышцах в живом изображении. Так был разработан специальный томограф на базе созданного в ИНК ТПУ медицинского бетатрона. Бетатрон уже создан, работает и у него очень хорошая разрешающая способность.

— **У нас осталась неохваченной еще одна лаборатория.**

— Лабораторией новых механизмов доставки лекарств руководит Г.Б. Сухоруков, профессор, руководитель лаборатории биополимеров и биоорганических поверхностей школы инженерных наук и материаловедения Лондонского университета королевы Марии, экс-президент европейской секции RASA. В 2011 г. журнал *Forbes* включил его в топ-10 ведущих мировых ученых российского происхождения. Общая цель лаборатории — разработка интеллектуальных стратегий доставки лекарственных средств. Глеб Борисович с сотрудниками своей лабораторией в Томске разрабатывает новейшие технологии, позволяющие инкапсулировать лекарственные

препараты в микро- и наноупаковки, а также осуществлять их адресную доставку к конкретным мишеням. Г.Б. Сухоруков работает также над вопросом, как контролировать высвобождение различных лекарственных препаратов, чтобы они начинали свое действие в конкретное время и на конкретном участке тканей и органов.

— **Почти все ваши лаборатории как-то связаны со здоровьем.**

— Да, направлением работы трех из шести лабораторий центра RASA в Томске избрана именно трансляционная медицина. Это новое направление для ТПУ. Мы работаем совместно с нашими коллегами из других университетов и научных институтов, используя опыт Томского политехнического университета, кафедр биотехнологии и органической химии, физической и аналитической химии, технологии органических веществ и полимерных материалов, наноматериалов и нанотехнологий. Это работы наших профессоров М.С. Юсубова, А.Н. Пестрякова, Е.И. Коротковой, В.Д. Филимонова, О.Л. Хасанова, Р.А. Сурменева, С.И. Твердохлебова и многих других ученых — те компетенции, которыми на сегодня обладает ТПУ. В сотрудничестве с RASA мы можем их применить в новом направлении — транслировать в медицину.

Три этажа науки

— **А где располагается главный офис томского центра?**

— Он появился совсем недавно. В мае, на 120-й день рождения университета, в ТПУ был открыт трехэтажный технопарк. У нас его часто называют научным парком. На первом этаже находятся центр робототехники и центр космических исследований, связанный с нанесением покрытий и с созданием элементов для космических систем. Второй этаж — это центр 3D-печати, аддитивных технологий. На этом же этаже располагаются лаборатории центра RASA, где сосредоточены четыре лаборатории, три из которых связаны с биомедицинским блоком. В технопарке есть большой зал коллективного пользования, где установят типовое оборудование и будут проводить общие эксперименты, есть также и небольшие аудитории.

— **Чистая комната есть?**

— Обязательно. Планируется культуральная комната — для выращивания клеток. Отдельная комната будет предназначена для проведения операций на животных (мыши и крысы). Там же планируется создать комнату для содержания животных, с отдельными требованиями: хорошей вентиляцией, постоянным режимом температуры и влажности, а также контролируемым дневным светом.

— **Две оставшиеся лаборатории — на третьем этаже?**



Руководитель лаборатории изучения механизмов нейропротекции Д.Н. Аточин

— Нет. Третий этаж — это центр трудноизвлекаемых видов нефти и центр коллективного пользования по аналитической химии: шесть крупных блоков, один из которых отдан под тематику RASA. Две оставшиеся лаборатории RASA расположены в других корпусах ТПУ с учетом их специфики.

Коллаборация коллабораторов

— Еще одна важная цель центра RASA — компетенции, которые наши коллеги могут развить в наших аспирантах и магистрантах. Наши молодые ребята, которые под руководством ученых RASA защитят свои диссертации, затем продолжат свою научную карьеру в открытых лабораториях центра RASA и далее будут активно сотрудничать с учеными RASA как в ТПУ, так и в их зарубежных лабораториях.

— Примерно той же цели можно достичь и другим путем: не привлекая к нам дорогостоящих западных ученых, а отправляя наших студентов и магистрантов на обучение в эти самые центры.

— Конечно, но лучше совмещать оба этих подхода. В России работает программа «Глобальное образование», в рамках которой реализуется очень интересная модель. Есть перечень ведущих мировых вузов. Любой аспирант или магистрант может подать заявку на этот проект и выиграть стипендию, которая покрывает все расходы по обучению в одном из них. Но потом он обязан вернуться в Россию и проработать минимум три года в одном из ведущих вузов России, проводя исследования и передавая компетенции.

По этому же принципу в ТПУ есть система направления на стажировки. Сегодня у нас несколько человек подписали ученический договор и обучаются на *PhD* за рубежом. Кроме того

Наша задача здесь в России и конкретно в ТПУ — создать достойные условия для работы молодых ребят, получивших научные степени и, главное, опыт работы в успешных командах. Тогда и решение глобальной задачи, стоящей сегодня перед вузами, будет вполне возможно

еще несколько студентов уже прошли длительные стажировки в зарубежных лабораториях ученых из RASA-центра в США и Европе. По возвращении в университет на позиции постдоков, лидеров исследовательских групп эти студенты продолжат свои исследования уже здесь. Мы активно поддерживаем дальнейшую коллаборацию с тем университетом, где проходили обучение или стажировку, выездное участие в совместных проектах, программах, а также приглашение сюда зарубежных коллег.

— Про пресловутую утечку мозгов кто только не говорит сегодня...

— Не надо этого бояться. Международная мобильность — это нормальный процесс, который характерен для большинства развитых стран. В крупных лабораториях в ведущих университетах мира собраны все нации, народы и языки. Кто-то приезжает поработать временно, получить степень *PhD*, но на несколько лет он закреплен за конкретной лабораторией, имеет свое направление, он многому учится, но и его труд тоже развивает эту лабораторию. Это могучий стимул для профессора — собрать вокруг себя лучшие кадры, свою команду мечты и создать новую школу научного образования

А наша задача здесь в России и конкретно в Томском политехническом университете — создать достойные условия для работы этих молодых ребят, получивших научные степени и, главное, опыт работы в успешных командах. Тогда и решение глобальной задачи, стоящей сегодня перед вузами, будет вполне возможно.

Дмитрий Николаевич Аточин, заведующий лабораторией изучения механизмов нейротекции центра RASA в Томске, Гарвардская медицинская школа:

— Я довольно долгое время знал о существовании RASA, но не относился к этой организации серьезно. Мне казалось, там собрались люди, у которых есть лишнее время, чтобы иногда вместе собираться и обсуждать околонаучные проблемы по-русски из-за рубежа. В слово «околонаучные» я не вкладываю негативного смысла, это значит — не по теме конкретного научного направления, а о науке вообще: как она устроена, как администрируется, как быть, что делать, доколе и т.п.

Когда же меня два года назад пригласили на конференцию RASA в Бостоне, мое мнение начало меняться. Во-первых, я услышал сильные научные доклады. Во-вторых, я понял, что в RASA есть люди, по-настоящему желающие участвовать в научном взаимодействии с Россией. В-третьих, я увидел, что есть и ответный интерес из России. Ну а когда меня еще и пригласили приехать в родной Томск с докладом о своей научной деятельности, с перспективой организовать там свою лабораторию, стало еще интереснее. До этого у меня были подобные поездки в Россию, с лекциями и перспективами. Каждый раз было замечательно, но что-то не складывалось — то финансов не было, то административные неурядицы, то еще что-нибудь.

В этот раз все происходит нормально или, как сейчас модно говорить, «адекватно». Четкий, доступный и понятный менеджмент на всех уровнях. Довольно быстрые решения. Нормальные высшие руководители. Внятные бухгалтерия и требования. Конечно, есть и минусы, от которых отвыкают, работая за рубежом, в частности медленные поставки, усложненная процедура заказов, не всегда понятные бюрократические требования. Но работать можно и нужно. Кстати, и за границей есть свои проблемы, тоже есть над чем работать и что перенимать у других стран, в том числе и у нас. Это и эмоционально интересно, и практически полезно, причем всем. Нам, с нашим опытом работы за рубежом, который, надеюсь, не помешает; томским и российским коллегам, потому что мы свои, хоть и живем далеко, но думаем и говорим по-русски; нашим коллегам-иностранцам, потому что тем, кто едет с нами в Россию, на самом деле это интересно; науке — потому что она «умеет много гитик» и сближает миры; мне — потому что я очень люблю Томск и у меня там друзья, одноклассники, однокурсники, преподаватели, учителя, именно благодаря им уже удалось и удастся кое-что сделать, а предстоит еще больше. Мы прекрасно понимаем, что в России сейчас в науке не все так просто и около науки тоже. Ну и что? Дорогу осилит идущий. ■

Беседовал Валерий Чумаков



Центр RASA в Томске на открытии научного парка в ТПУ

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Наши партнеры:



PETER



SERVICE



Сибирское отделение РАН



ROSATOM



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



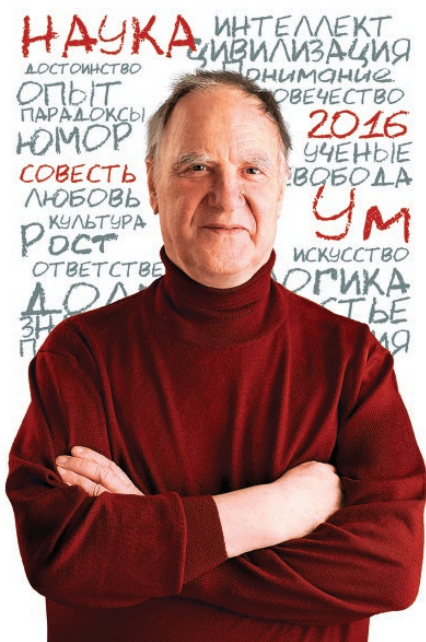
очевидное
невероятное



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия

Основатель и первый главный редактор
журнала «В мире науки / Scientific American»
профессор Сергей Петрович Капица



Учредитель и издатель:

Некоммерческое партнерство «Международное партнерство распространения научных знаний»

Главный редактор:

В.Е. Фортос

Первый заместитель главного редактора:

А.Л. Асеев

Заместитель главного редактора:

С.В. Попова

Ответственный секретарь:

О.И. Стрельцова

Зав. отделом иностранных материалов:

А.Ю. Мостинская

Шеф-редактор иностранных материалов:

В.Д. Ардаматская

Зав. отделом российских материалов:

О.Л. Беленицкая

Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

Обозреватели:

В.С. Губарев, Ф.С. Капица, В.Ю. Чумаков

Администратор редакции:

О.М. Горлова

Научные консультанты:

к.б.н. Д.Н. Аточин; проф. Е.Н. Аточина-Вассерман; О.А. Ахмеджанов;
д.т.н. В.Н. Борилов; д.т.н., проф. В.П. Вавилов; к.т.н. В.Е. Губин; к.т.н. А.Ю. Дмитриев;
к.т.н. О.Ю. Долматов; д.т.н., проф. А.Н. Дьяченко; д.т.н., проф. В.М. Завьялов;
М.Р. Камарудинов; д.т.н., проф. Б.В. Лукутин; д.г.-м.н., проф. А.К. Мазуров;
к.х.н. Р.В. Оствальд; чл.-корр. РАН, д.г.-м.н., проф. И.П. Семилетов; д.т.н. В.П. Сергеев;
д.т.н., проф. В.С. Скуридин; к.т.н. Д.М. Сонькин; д.ф.-м.н. П.А. Стрижак;
д.м.н., проф. В.И. Чернов; акад., д.м.н., проф. Е.Л. Чойнзонов; д.т.н. проф. П.С. Чубик;
д.ф.-м.н., проф. И.В. Шаманин; д.г.-м.н., проф. Н.Е. Шахова; к.ф.-м.н. А.Н. Яковлев

Над номером работали:

к.ф.н. Л.Г. Кирьянова, Н.Л. Лескова

Арт-директор:

Д.В. Левин

Верстка:

А.Р. Гукасян

Корректур:

Я.Т. Лебедева

Президент координационного совета НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.Е. Фортос

Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

С.В. Попова

Заместитель директора НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.К. Рыбникова

Финансовый директор:

Л.И. Гапоненко

Главный бухгалтер:

Е.Р. Мещерякова

Адрес редакции:

Москва, ул. Ленинские горы, 1, к. 46, офис 138;
тел./факс: 8 (495) 939-42-66; e-mail: info@sciam.ru; www.sciam.ru

Отпечатано:

в АО «ПК «ЭКСТРА М», 143405, Московская область, Красногорский р-н, г. Красногорск,
автодорога «Балтия», 23-й км, владение 1, д. 1
Заказ №9 16-08-00035

© В МИРЕ НАУКИ. Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати.

Свидетельство ПИ № ФС77-43636 от 18 января 2011 г.

Тираж: 12 500 экземпляров

Цена договорная

Авторские права НП «Международное партнерство распространения научных знаний».

© Все права защищены. Перепечатка текстов и иллюстраций только с письменного согласия редакции. При цитировании ссылка на «В мире науки» обязательна. Редакция не всегда разделяет точку зрения авторов и не несет ответственности за содержание рекламных материалов. Рукописи не рецензируются и не возвращаются.



При поддержке
Правительства
Москвы



МИНИСТЕРСТВО
ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ



ДЕПАРТАМЕНТ НАУКИ,
ПРОМЫШЛЕННОЙ
ПОЛИТИКИ
И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА
ГОРОДА МОСКВЫ



МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
М.В. ЛОМОНОСОВА

ВСЕРОССИЙСКИЙ ФЕСТИВАЛЬ НАУКИ

НАУКА +

МОСКВА

7-9 ОКТЯБРЯ

FESTIVALNAUKI.RU

ВХОД СВОБОДНЫЙ





ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия

<http://scientificrussia.ru>

