



# Энергия

## ПОД НОГАМИ

Член-корреспондент РАН

**С.В. Алексеенко:**

«Петротермальной энергии достаточно,  
чтобы навсегда обеспечить человечество»



а столе у члена-корреспондента РАН **Сергея Владимировича Алексеенко**, директора Института теплофизики СО РАН, лежит странной формы обгоревший камень, похожий на метеорит. «Что это?» — спрашиваю, прикасаясь к его темному блестящему боку. «Это козел», — с улыбкой отвечает мой собеседник. Оказывается, так называют твердый угольный шлак, который забивает подовое отверстие камеры сгорания при охлаждении стекающего по стенкам топки жидкого шлака. Его отделяют и выбрасывают. Но этот получился красивый — жалко. Хотя дело не только в красоте. С.В. Алексеенко и его коллеги придумали целый ряд новых способов решения энергетических проблем человечества, и этот камень — побочный продукт реализации таких идей, ставший чем-то вроде музейного экспоната. И подобных чудо-экспонатов в институте множество.

**— Сергей Владимирович, чем же занимается ваш институт?**

— Институт теплофизики, как следует из названия, занимается проблемами теплообмена. Мы выполняем исследования, которые касаются процессов переноса энергии, импульса, вещества. Процессы переноса есть везде. Поэтому у нас профиль широкий и теплофизические исследования всегда востребованы. Институт был создан в 1957 г. в числе первых в Сибирском отделении РАН. Это вообще первый в мире специализированный институт по теплофизике. Основное приложение нашей науки и наши разработки связаны с энергетикой.

**— До меня дошли слухи, что вы предлагаете использовать самую дармовую энергию, которая в буквальном смысле находится у нас под ногами.**

— Да, совершенно верно. Сейчас это одна из основных наших идей. Удивительно, что в мире об этом мало кто знает. Многие говорят о геотермальной энергии, подразумевая горячую воду. Она есть у нас на Камчатке, на Кавказе. В действительности ее очень мало, поэтому в прогнозах ей отводится незначительный процент. Но есть еще одна составляющая геотермальной энергии — так называемое глубинное тепло. Соответствующий раздел энергетике называется петротермальной энергетикой. Имеется в виду тепло сухих пород, то есть это не вода. Сухие породы находятся на глубинах от 3 до 10 км, и это та глубина, которую сегодня



Так называемый козел, угольный шлак, который забивает топку при неверно выбранных режимах работы

технически возможно осваивать. Откуда в Земле берутся запасы тепла? Мы знаем, что ядро имеет температуру 4700° С. Теперь представьте, какова теплоемкость всей Земли. И поэтому можно считать, что такого тепла неограниченно много. Мой тезис — петротермальной энергии достаточно, чтобы навсегда обеспечить человечество.

**— Откуда это известно?**

— Имеется хороший опыт, прежде всего у американцев, и понятно почему. Дело в том, что существует громадная территория в США, весь Дикий Запад: Калифорния, Невада, Орегон, Юта,

Член-корреспондент  
РАН С.В. Алексеев



Аризона, — где горячие породы очень близко подходят к поверхности Земли. На глубине 10 км во многих местах температура больше 350° С. Представляете, 350 градусов Цельсия? Именно поэтому особое внимание уделяется этой проблеме. Именитому Массачусетскому технологическому институту было дано поручение провести всесторонний анализ, который показал, что это самый перспективный вид энергии во всех отношениях. В том числе по экологии, поскольку у вас нет выбросов CO<sub>2</sub>, вы просто из земли берете готовое тепло. Но самое главное — было посчитано, на сколько лет хватит американцам доступного глубинного тепла. Оказалось, что на 50 тыс. лет. Аналогичное подземное тепло есть и в других регионах, и его запасы столь велики, что фактически мы можем говорить о том, что человечеству его хватит навсегда. Это такая же природная энергия, как ветер или Солнце, но в отличие от них ее поступление никак не зависит от погоды. Правда, не везде горячие породы подходят близко к поверхности, где-то надо бурить глубже. Бывает, что достаточно бурить и на 4 км, если там температура, например, 250° С. А 4 км — это не проблема: сейчас стандартные нефтегазовые скважины достигают 5 км.

— **Как же можно добывать это тепло?**

— Схема очень простая. Бурятся две скважины: одна подающая, а другая принимающая — эксплуатационная. Между скважинами должны быть

проницаемые породы, чтобы вода прошла. Здесь так: их либо нужно найти (такое бывает редко), либо искусственно создавать. Методы создания искусственной проницаемости давно существуют — например, путем гидроразрыва пласта. Если подать воду под высоким давлением, раза в два больше гидростатического, то появятся искусственные трещины. Фиксируя их так называемым пропантом (типа обычного песка), формируют проницаемые пласты. Подобный метод освоен нефтяниками для повышения нефтеотдачи скважин. И так, через одну скважину подается холодная вода, а через другую вытекает горячая вода (или пар) вот с этими 350° С. При такой температуре обычная тепловая станция может работать с достаточно высоким КПД. Даже не нужно изобретать новое оборудование.

— **А если не 350 градусов, а меньше?**

— Тоже есть подходы. Например, бинарные циклы. Между прочим, Институт теплофизики первым в мире создал бинарную геотермальную станцию на Камчатке. «Бинарный» означает «состоящий из двух частей». Через первый контур прокачивается геотермальная вода из скважины. Если она не очень горячая, например всего 80° С, то не будет кипеть при обычных условиях. Тогда че-

**Запасы глубинного тепла столь велики, что человечеству его хватит навсегда. Это такая же природная энергия, как ветер или Солнце, но в отличие от них ее поступление никак не зависит от погоды**

рез теплообменник тепло передается во второй контур, где циркулирует уже не вода, а легкокипящая жидкость, например фреон или жидкие углеводороды — пентан, изобутан. Термодинамический цикл на таких теплоносителях называется органическим циклом Ренкина. Соответственно, требуется специальная турбина. Бинарная станция на Камчатке (Паратунская ГеоЭС) функционировала в начале 1970-х гг., затем ее закрыли, но до сих пор на нее ссылаются во всем мире. Недавно было решено возобновить деятельность по бинарным циклам на Паужетской ГеоЭС. Это будет первый в России бинарный цикл. Он принципиально важен

не только потому, что представляет собой одну из самых перспективных энергетических технологий, но и потому, что бинарный цикл можно использовать повсеместно в районах, где нет других источников энергии, например в Арктике, или где есть сбросное тепло предприятий. Для примера: в Томской области температура подземных горячих вод достигает 85° С. Такая температура вполне подходит для того, чтобы генерировать электрическую энергию.

— **Давайте немного пофантазируем и заглянем в будущее человечества, когда мы станем осваивать другие планеты, как предсказывал Циолковский. Можно ли будет использовать там этот способ получения электроэнергии?**

— Очень кстати вы упомянули Циолковского, потому что он как раз и был тем человеком, который еще в 1897 г. впервые предложил использовать глубинное тепло для обеспечения энергией. Да, это вполне возможно, если у планеты, которую будут осваивать люди, существуют горячее ядро, как у Марса, например. Но сегодня на первый план выходят другие актуальные задачи, в частности связанные с бурением и геофизическим мониторингом. Так, затраты на бурение составляют до 60% капзатрат при добыче глубинной энергии. Поэтому крайне важно развивать дешевые и скоростные способы бурения. На данный момент можно сделать выводы, что петротермальная энергетика — это реальность, а не фантастика. Опять сошлемся на планы США: к 2050 г. достичь 10% от всей установленной электрической мощности за счет глубинного тепла. Представляете? Это колоссальная цифра.

— **А как же остальные способы получения энергии? Они себя изжили?**

— Надеяться только на традиционные способы получения энергии из органического топлива уже нельзя. Так, угля, запасы которого максимальны, по оценкам хватит примерно на 700–800 лет. А вообще всех запасов органического топлива, включая газогидраты и уран для реакторов на быстрых нейтронах, будет достаточно при сегодняшнем потреблении на 3 тыс. лет. Но ближайшие перспективы — это, несомненно, разработка эффективных способов переработки и использования органического топлива. Для природного газа это парогазовые установки с максимально высоким КПД более 60%, которые массово вводятся во всем мире, а у нас их всего лишь несколько единиц. Для угля необходимо развивать методы глубокой переработки, такие как газификация и пиролиз с получением горючего синтез-газа и множества



В лаборатории интенсификации процессов теплообмена изучаются возможности повышения эффективности теплообмена за счет миниатюризации устройств

других полезных продуктов, что означает комплексное использование органического сырья.

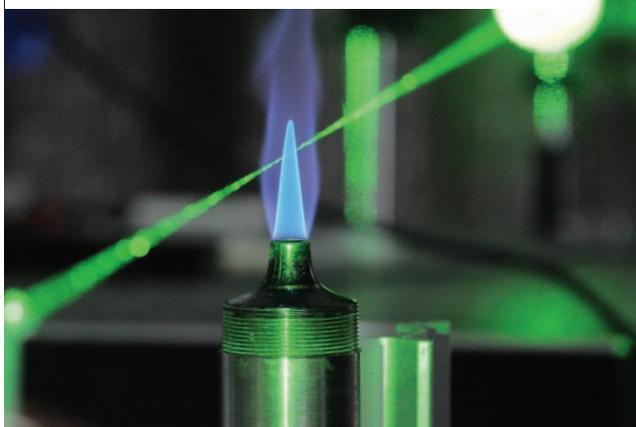
А вот более дальняя перспектива — это, конечно, солнечная энергия и глубинное тепло. При этом действовать нужно уже сегодня, потому что отставание недопустимо. Параллельно необходимо заниматься разработкой методов хранения энергии. Ведь многие возобновляемые источники имеют периодическое действие. Поэтому важны и топливные элементы, имеющие на сегодня максимальную эффективность. А явное преимущество геотермальных источников заключается в возможности непрерывного производства энергии.

— **Слышала, у вас есть предложения и по использованию отходов для энергетики.**

— Да, отходами тоже надо заниматься. Сейчас появилось новое понятие — «распределенная генерация», «малая энергетика». В России очень много отдаленных районов, где нет подходящих видов органического топлива. И поэтому нужно либо завозить их туда, либо использовать местное сырье, скажем, низкокачественный уголь или отходы древесины. В нашем институте предложено несколько технологий. Одна из них основана на сжигании так называемого микроуголя. Обычно уголь сжигается в виде пыли с частицами размером примерно 100 мкм. Все крупные котлы работают только на таком топливе. Мы предлагаем использовать более тонкий помол — до 40 мкм и даже меньше. Что это дает? Такой уголь горит почти как газ или жидкое топливо. А это означает, что мы можем заменять газ, абсолютно дефицитный в отдаленных районах. Здесь, конечно, идет разговор о малой энергетике. Достигается более высокий КПД, улучшается экология, снижаются габариты.

— **Но ведь мелкий уголь, насколько я знаю, взрывается подобно пороху.**

Для изучения структуры и свойств пламени и разработки эффективных методов управления процессами горения применяются методы бесконтактной лазерной диагностики



— Совершенно верно, и это первая проблема, связанная с опасностью. Вторая проблема состоит в том, что чем тоньше помол, тем больше энергозатраты. Так вот, первая проблема легко решается: устройство для помола необходимо размещать непосредственно перед горелкой, тогда нет нужды складировать микроуголь. А вторая проблема решается путем применения дезинтеграторов, позволяющих с высокой эффективностью осуществлять тонкий помол. Дезинтеграторы имеют очень простую конструкцию. Основные элементы — два диска с цилиндрическими «пальцами», которые вращаются в противоположном направлении, так, что «пальцы» проходят друг сквозь друга. Относительная скорость вращения составляет 6 тыс. оборотов в минуту. Здесь ломаться нечему. А результат — не только мелкий помол с низкими энергозатратами, но и механохимический эффект, вследствие которого увеличивается скорость реакций, а температура возгорания снижается. Из визуальных наблюдений следует, что механоактивированный уголь горит, как газ. А при сжигании частиц тех же размеров, но стандартного помола отчетливо видны треки медленно сгорающих частиц.

Возможно несколько применений. Первое — на котлах малой мощности можно заменять газ или мазут. Особенно это актуально при сжигании мазута: он дорог, труден для эксплуатации, особенно в холодном климате. Второе предложение — использовать для поджига и подсветки на крупных котлах, что уже успешно продемонстрировано на Беловской ГРЭС в Кузбассе. И третье — самое интересное предложение. Оказывается, если помол порядка 6 мкм, уголь можно сжигать в камерах сгорания для газовых турбин. Представляете,



В лаборатории низкотемпературной теплофизики создана уникальная фреоновая колонна для изучения процессов криогенного разделения газовых смесей

в газовых турбинах сжигать уголь! Были проведены испытания на нейтральных частицах — и никаких следов износа в течение нескольких тысяч часов эксплуатации. Весьма перспективно.

**— А зачем вы занимаетесь водоугольным топливом? Разве это не считается чем-то неперспективным? Ведь при сгорании воды теряется энергия на испарение.**

— Да, так считали. Но оказалось, что речь идет о 3–4% потери в КПД. Это совсем небольшая потеря при общем КПД 92% в сравнении со значениями 40–50%, характерными для большинства существующих угольных котельных малой энергетики

**В топливных элементах основной источник энергии — водород, при окислении которого происходит электрохимическая реакция на электродах. На сегодня это самые перспективные источники энергии в силу экологической чистоты и высокой эффективности**

и ЖКХ. А преимуществ куда больше. Водоугольное топливо можно доставлять по трубопроводам, а можно развозить, как жидкое топливо. Мы предлагаем именно последний вариант в качестве новой концепции. В итоге в котельной чистота, нет пыли, только бак для приема водоугольного топлива, да еще кавитатор для механоактивации. Мы впервые в мире разработали специализированный котел для сжигания водоугольной смеси. Главное достоинство — можно сжигать низкокачественные угли с зольностью до 30–40% и разнообразные

горючие отходы. А отходы углеобогащения — самая большая проблема угледобывающей промышленности в мире, обусловленная необходимостью хранить колоссальные объемы экологически опасных отходов. В котле осуществляется вихревой принцип сжигания с целью интенсификации теплообмена и достижения высокой степени однородности температур. Здесь используются высокие температуры и жидкое шлакоудаление. А жидкий шлак — всегда проблема, потому что чуть что, и он застыл. Как говорят энергетики, котел «закозлился». На первых испытаниях и у нас первый блин вышел комом. Получился этот оплавленный слиток, который теперь остался нам на память, — «козел». А сейчас мы придумали способ повысить температуру у сливного отверстия путем продувки горячими дымовыми газами. И теперь все проблемы решены — технология полностью готова для масштабного применения.

— **А что это у вас за черная коробочка, похожая на губку для обуви?**

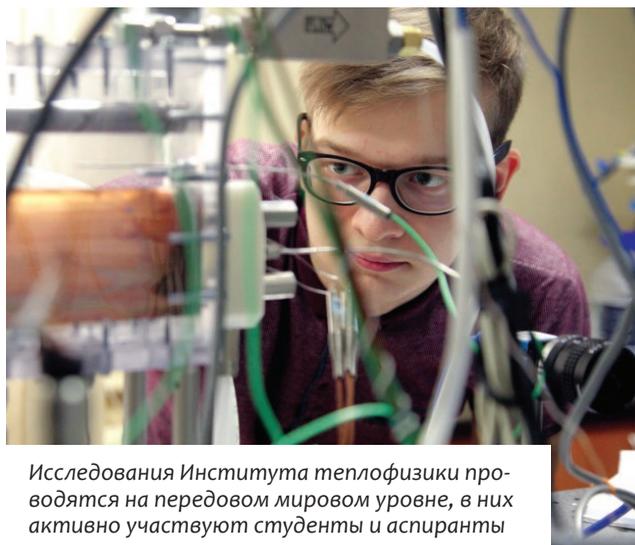
— Это топливный элемент, или электрохимический генератор. Принцип тот же, что и у любого аккумулятора или батарейки. Но здесь есть топливо, чем он и отличается от других электрохимических генераторов. Обычно в топливных элементах основной источник энергии — водород, при окислении которого происходит электрохимическая реакция на электродах. В результате генерируется электрическая энергия с высоким КПД, а единственный продукт — вода. На сегодня это самые перспективные источники энергии в силу экологической чистоты и высокой эффективности.

— **Но ведь водород тоже может взрываться...**

— Да, и это одна из самых актуальных проблем, особенно если дело коснется большой энергетики, где потребуются значительные объемы водорода. Тогда мы задумались: почему только водород? Ведь в таблице Менделеева есть энергоемкие металлы, в частности алюминий, а также некоторые неорганические вещества, например боргидриды — соединения бора с водородом. Одна из законченных разработок, в которой мы участвовали в рамках контракта с израильской компанией *More Energy*, как раз и представляет собой топливный элемент на боргидридах. Это безопасно и эффективно. Конструкция очень простая, но есть ноу-хау, конечно: два электрода, щелочной электролит, который используется в качестве переносчика заряда, вода и боргидрид. Вначале все компоненты находятся в трех изолированных маленьких герметичных емкостях.

— **Как это работает?**

— Открывается защитный элемент, нажимается крышка, все вещества поступают в свои камеры, и он начинает работать как электрохимический генератор. Этот топливный элемент может непрерывно подзаряжать мобильные телефоны



Исследования Института теплофизики проводятся на передовом мировом уровне, в них активно участвуют студенты и аспиранты

в течение суток. Конечно, пока не для энергетики. Но зато это первый в мире топливный элемент массового производства.

А в последнее время мы разрабатываем портативные топливные элементы на алюминии. Уже достигли мощности 100 Вт при рекордно высокой энергоемкости 300 Вт·ч/кг. Алюминий выступает одновременно и как топливо, и как анод. Получается простая и надежная конструкция. Воздушно-алюминиевый топливный элемент предлагается в качестве автономного источника энергии для многих приложений, включая условия Арктики. ■

Беседовала **Наталья Лескова**

## СПРАВКА

### Сергей Владимирович Алексеенко

- Директор Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН.
- Родился 30 мая 1950 г. в Славгороде (Алтайский край).
- Окончил физический факультет Новосибирского государственного университета (1972).
- **Спектр научных интересов:** развитие теплофизических основ создания современного энергетического и энергосберегающего оборудования, изучение процессов тепломассопереноса и гидродинамики в пленочных, закрученных и струйных течениях. В прикладном аспекте основные усилия направлены на задачи, связанные с созданием экологически чистой тепловой электростанции (моделирование точных процессов при сжигании газа, угля и жидкого топлива) и с разработкой нового типа устройств и методов для энергетики и энергосбережения, включая возобновляемые источники энергии.