



**МЕГАПРОЕКТ
ВЕКА –
ЭТО ТОЛЬКО НАЧАЛО**



12–13 мая 2014 г. состоялся пресс-тур на строящийся экспериментальный термоядерный реактор ITER. Два дня внимание мировой научной общественности было приковано к исследовательскому ядерному центру Кадараш на юге Франции. Самый грандиозный проект XXI в. постепенно набирает обороты. Мы попросили помочь нам разобраться во всех тонкостях и прокомментировать сегодняшнюю ситуацию заместителя генерального директора Международной организации ITER и директора токамака Александра Борисовича Алексева



Все новое и неизвестное пугает. У многих еще свежи воспоминания о Фукусиме, а словосочетание «ядерный реактор» у людей особо впечатлительных вызывает по меньшей мере дискомфорт. Особенно если такой реактор где-то рядом. А поскольку всем известно, что термоядерная бомба во много раз страшнее просто ядерной, то и термоядерный реактор в понимании обывателя ассоциируется едва ли не с концом света. И стоит ли удивляться, что вдоль шоссе, ведущего к ядерному центру Кадараш, на скале красуется огромная надпись, выведенная белой краской: *Non a ITER* («Нет проекту ITER»).

Чтобы проект с изначально отрицательной репутацией перестал хотя бы пугать непросвещенную публику, а в идеале получил широкую поддержку, эту публику необходимо образовывать. В современном мире никто не может справиться с этой задачей лучше, чем средства массовой информации. И в *ITER* это прекрасно понимают: уже стало хорошей традицией каждой весной собирать журналистов со всего мира на пресс-тур, чтобы, во-первых, показать безопасность новых технологий,

во-вторых, продемонстрировать прогресс в воплощении самого смелого и амбициозного научно-технологического проекта нынешнего столетия, в-третьих, подробно рассказать обо всех аспектах этой мегаустановки — от общечеловеческих и экологических до высокотехнологических. Тогда и простым людям не придется рисковать жизнью, рисуя на скалах всякие надписи.

Нынешний пресс-тур оказался предельно насыщенным. Журналисты получили возможность своими глазами увидеть строящийся объект, а также побывать на заводе в Тулоне, где производят компоненты для будущего реактора.

Почему термояд?

В основе ядерной реакции лежит расщепление тяжелых ядер (например, урана) с помощью нейтрона. В термоядерной реакции все происходит в обратном порядке: легкие ядра изотопов водорода (дейтерия и трития) на огромной скорости сталкиваются друг с другом, образуя более тяжелое ядро гелия и один свободный нейтрон, при этом высвобождается колоссальное количество энергии. Если совсем просто, то ядерная реакция — это реакция деления, а термоядерная реакция — реакция синтеза. И в этом отличии кроется ответ на все вопросы, включая самый главный: почему термояд?

Начнем с самого начала — с топлива. Для обычного ядерного реактора требуются тонны радиоактивного урана и его изотопов. Это неизбежно влечет за собой создание целой отрасли — уранодобывающей. Все это вместе, во-первых, дорого, во-вторых, небезопасно. Для термоядерного реактора требуется всего около 30 г изотопов водорода — дейтерия и трития. А в любой момент времени



Государственные флаги сторон-участниц Проекта ITER и Международной организации ITER (слева)

Как получить термоядерный синтез

внутри вакуумной камеры находится меньше одного грамма топлива! Дейтерий у нас имеется в неограниченном количестве в морской воде, а тритий добывается из лития, недостатка в котором тоже мы не испытываем.

«Уникальность прежде всего состоит в том, что это термоядерный проект, — рассказывает Александр Алексеев. — Это не атомная электростанция, это не реакция деления, это реакция синтеза. Это та реакция, которая протекает на Солнце и на других звездах, благодаря которой существует жизнь во Вселенной и на Земле. И если мы сможем освоить эту реакцию в мирных целях, тогда человечество получит неисчерпаемый источник энергии. Топлива для этой реакции в морской воде хватит даже не на тысячелетия, а на миллионы лет».

Второй момент — безопасность. В обычных ядерных реакторах охлаждение — ключевой момент и, соответственно, пункт максимальной уязвимости. Аварии на АЭС, как правило, становятся следствием проблем в системе охлаждения. Кроме того, в случае возникновения аварийной ситуации необходимо моментально остановить цепную реакцию деления ядер. В противном случае процесс выходит из-под контроля, реактор «идет вразнос», происходят расплавление активной зоны и взрыв, после которого обширные территории получают высокую дозу радиоактивного заражения. В термоядерном реакторе охлаждение вообще не выступает фактором безопасности. Как раз наоборот: значительные усилия требуются именно для поддержания стабильности плазмы (т.е. высокой температуры), а в случае сбоя процесс затухает сам собой, естественным образом.

Александр Алексеев продолжает мысль: «Люди воспринимают обычно следующим образом: ядерная — страшно, а термоядерная — еще страшнее. Но это совсем не так, потому что топлива мизерное количество. Опасность заражения сведена к минимуму. Что еще важно? Что для поддержания термоядерной реакции нужны определенные условия. Создать эти условия не так просто. Поэтому, если вдруг что-то пойдет не так, то это кончится тем, что реакция просто-напросто прекратится. Она сама себя заглушит. Система имеет внутренне присущее ей свойство безопасности, состоящее в том, что она самозаглушаемая, в отличие от атомной электростанции».

По сути, вся задача сводится к удержанию минимального количества радиоактивного материала в ограниченном пространстве и предотвращению его распространения. С учетом многоступенчатой системы защиты вакуумной камеры и большого количества сопутствующего оборудования задача эта представляется вполне решаемой. Главное — термоядерная реакция должна быть управляемой и контролируемой.

«Неуправляемая термоядерная реакция протекает в водородной бомбе, — продолжает Алексеев. — Чтобы она стала возможной, нужны температура, давление, т.е. определенные условия. В водородной бомбе это создается с помощью взрыва маленькой атомной бомбы. Ясно, что такой способ получения энергии вряд ли сработает. Нужны миллионы градусов, определенный объем и определенное давление. Одна из возможностей

Для запуска процесса синтеза требуется небольшое количество газообразного топлива, состоящего из равных частей изотопов водорода — дейтерия и трития, которые впрыскиваются в вакуумную камеру. Воздействуя на эту смесь мощным электрическим током, мы превращаем ее в плазму: электроны отделяются от ядра, и разреженная смесь становится токопроводящей средой. Электрический ток, циркулирующий в плазме, еще больше нагревает ее, и этот прогрессирующий процесс доводит температуру плазмы до 10 млн °С. Однако нужны дополнительные усилия, чтобы преодолеть этот предел. В реакторе *ITER* применяются два вспомогательных метода: воздействие радиочастотными микроволнами и впрыскивание высокоэнергетических частиц, передающих свою энергию плазме. Каждый из этих методов сам по себе способен довести температуру плазмы до требуемых значений. Поскольку *ITER* — экспериментальная установка, на нем будут апробированы оба метода, чтобы выяснить, какой из них лучше использовать для будущих промышленных термоядерных реакторов.

создания нужных условий — это система с магнитным удержанием плазмы. Миллионы градусов никакие материалы не выдержат, поэтому плазма удерживается с помощью магнитных полей вдали от стенок вакуумной камеры или внутрикамерных элементов. Там создаются нужные условия, впрыскивается топливо и начинается протекать реакция синтеза. При этом выделяются нейтроны. Эти нейтроны в конечном счете греют воду, и эта вода дальше поступает на генераторы. Вот такая принципиальная схема».

Третий фактор — экологичность. Тонны отработанного ядерного топлива обычных ядерных реакторов требуют захоронения или переработки. От этого никуда не деться, и это наносит колоссальный вред окружающей среде. В случае термоядерного реактора такая проблема отсутствует по определению. При работе в штатном режиме радиационное излучение, воздействующее на персонал, в тысячи раз ниже естественного радиационного фона. В худшем случае — пожаре на тритиевом производстве — радиационное воздействие на население в районе реактора все равно окажется ниже естественного радиационного фона.

«Термояд — это неисчерпаемый и чистый источник энергии, — подтверждает Александр Алексеев. — Атомная электростанция — это большой котел с топливом. В нашем же случае для реакции нужны граммы. Одновременно в токамаке в процессе работы будут находиться граммы топлива. Даже в случае какой-то совершенно непредвиденной аварии (самолет врежется, террористический акт, землетрясение) заражение окружающей среды минимальное. Конечно, будет активированный металл, но он не разлетится, а останется на месте. Самое страшное — это радиоактивное облако, которого здесь не будет».



Выделено красным: сейсмоустойчивый фундамент реакторного комплекса ITER

Вехи большого пути

Любопытно отметить, что сама идея термоядерного синтеза совсем не нова — ей уже более полувека. В 1951 г. Игорь Курчатов и Игорь Головин направили Лаврентию Берии письмо, в котором излагали идею создания магнитного термоядерного реактора. Еще в 1937 г. было доказано, что в водороде, нагретом до десятков миллионов градусов, должна происходить термоядерная реакция с образованием гелия, свободных нейтронов и значительным выделением энергии. В 1950 г. Андрей Сахаров и Игорь Тамм предложили концепцию разогрева плазмы и ее последующего удержания в трубе, «согнутой кольцом в виде баранки и обвитой по всей длине обмоткой, создающей в трубе магнитное поле, параллельное стенкам трубы». Эти великие ученые на десятилетия опередили свое время, поскольку слишком мало было известно

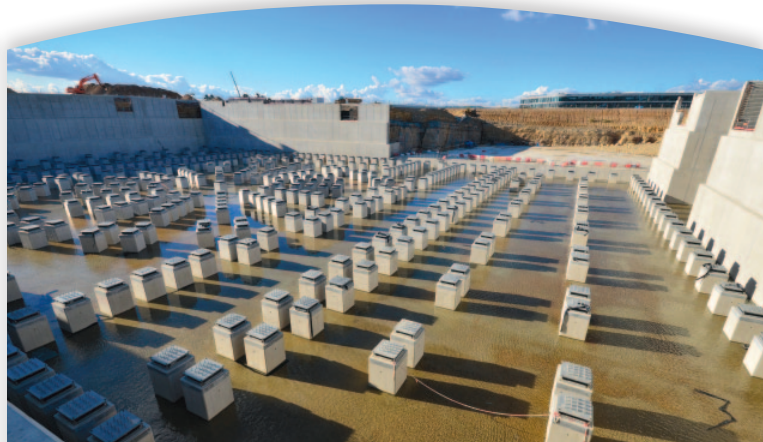
о поведении плазмы и пришлось создавать целую новую отрасль науки — физику плазмы. Как результат, в 1970-х гг. по всему миру, словно грибы после дождя, стали вырастать экспериментальные токамаки: теперь весь мир знал это слово, которое произошло от русского «тороидальная камера с магнитными катушками».

Истинным началом термоядерной эры можно считать середину 1980-х гг. прошлого века. В 1985 г. академик Евгений Велихов предложил Михаилу Горбачеву обсудить с президентом Франции Франсуа Миттераном идею создания термоядерного реактора. Миттеран подключил Рейгана, и уже через год было принято совместное решение о проектировании ITER.

По разным причинам, в том числе и политическим, согласование проекта заняло почти два десятилетия. Наконец 21 ноября 2006 г. состоялось историческое



Основание площадки для хранения компонентов будущей установки



В основание реакторного фундамента для безопасности его эксплуатации заложены 493 антисейсмические колонны

событие: в Елисейском дворце семь сторон подписали соглашение о строительстве первого в мире термоядерного реактора *ITER* во Франции.

Подготовительные работы заняли еще полтора года, и в марте 2008 г. начались расчистка и выравнивание территории. На эту трудоемкую процедуру ушел год, в течение которого было перемещено 2,5 млн м³ грунта.

В 2010 г. начались работы по котловану. Через год была залита первая бетонная плита. Особое внимание уделялось сейсмической защите токамака. Для этого на бетонной плите были установлены 493 специальные антисейсмические подушки. Такая подушка представляет собой смонтированную на бетонной тумбе многослойную конструкцию-«бутерброд» 18 см толщиной и 90 см длиной и шириной. Нижний и верхний слои — стальные плитки, между которых заключены шесть слоев неопрена. Высота подушки вместе с тумбой — 180 см. В случае землетрясения эти подушки смогут в значительной степени погасить сейсмическую волну, обеспечивая сохранность токамака.

Сейчас производится подготовка арматуры и начинается заливка второй бетонной плиты, которая будет покоиться на антисейсмических подушках. Попутно начался процесс возведения стен здания токамака. Построено административное здание, заканчивается сооружение ряда обслуживающих построек. В данный момент на объекте трудятся порядка 250 рабочих. К концу года их количество вырастет до 1 тыс., а в пиковый период строительства — в 2015–2016 гг. — более 2,5 тыс. человек будут задействованы одновременно.

Уже к лету 2014 г. в расположение *ITER* поступят первые компоненты для самого токамака. Непосредственно монтаж реактора планируется начать в 2015 г. Этот процесс продлится четыре года, и в 2019 г. установка будет введена в эксплуатацию. Первая плазма запланирована на 2021–2023 г., а начало полноценного функционирования реактора — на 2025 г. Основная цель на данном этапе — убедиться в том, что термоядерный синтез может стать эффективным источником энергии. Однако *ITER* преследует и научные цели: изучить физику плазмы

ITER в цифрах

- ★ Количество участников проекта — 7 (Евросоюз, Индия, Китай, Корея, Россия, США, Япония)
- ★ Количество стран-участниц — 35
- ★ Количество штатных сотрудников — 500
- ★ Площадь комплекса — 42 га
- ★ Количество зданий в комплексе — 39
- ★ Потребляемая мощность — 50 МВт
- ★ Выделяемая мощность — 500 МВт
- ★ Высота токамака — 29 м (9-этажное здание)
- ★ Диаметр токамака — 28,6 м
- ★ Вес установки — 23 тыс. т
- ★ Количество основных подсистем токамака — 15
- ★ Количество компонентов — 1 млн
- ★ Количество деталей — 10 млн
- ★ Диаметр вакуумной камеры: внешний — 19,4 м, внутренний — 11,3 м
- ★ Сила тока плазмы в вакуумной камере — 15 млн А
- ★ Давление в вакуумной камере — в 10 млрд раз ниже атмосферного
- ★ Температура плазмы внутри вакуумной камеры — 100–300 млн °С (в 10–20 раз выше, чем в солнечном ядре)
- ★ Индукция магнитного поля — 5,3 Тл (более чем в 100 млн раз сильнее магнитного поля Земли)

в условиях реактора, а также найти способы усовершенствования технологий термоядерного синтеза.

В 2035 г. начнется строительство первого прототипа термоядерной электростанции — реактора *DEMO*, который должен быть запущен в 2045 г. По проекту он сможет производить уже от 2 до 4 ГВт электроэнергии. И, наконец, на 2055 г. намечен запуск первой в мире промышленной термоядерной электростанции.



В декабре 2013 г. было начато бетонирование и армирование плиты основания реакторного комплекса. Работы продлятся девять месяцев



Завершение подготовки фундамента реакторного комплекса ITER

Кто за что отвечает

- ★ Вклад Евросоюза составляет 45%, включая возведение практически всех зданий комплекса. На остальных участников приходится приблизительно по 9%.
- ★ Фидеры (кабельные соединения) и корректирующие катушки — Китай
- ★ Тороидальные катушки — ЕС и Япония
- ★ Полоидальные катушки — ЕС и Россия
- ★ Центральный соленоид — США
- ★ Дивертор — ЕС, Россия, Япония
- ★ Бланкет — Китай, ЕС, Корея, Россия
- ★ Вакуумная камера — ЕС, Корея, Россия
- ★ Теплозащитный экран — Корея
- ★ Криостат — Индия

Однако Александр Алексеев предпочитает не заглядывать так далеко в будущее и не торопится обсуждать экономическую выгоду от термоядерного реактора: «На данный момент так вопрос не ставится, потому что подобных реакторов еще не существует. Цель *ITER* — продемонстрировать осуществимость термоядерной реакции в промышленных масштабах. Если *ITER* покажет, что термояд работает, тогда дальше речь будет идти о создании термоядерной электростанции, которая, безусловно, будет намного проще, чем *ITER*. *ITER* — это экспериментальная установка с множеством диагностики, большим количеством возможностей для разных исследований. Термоядерная электростанция должна быть проще, надежнее, долговечнее. Здесь будут вставать вопросы стоимости. Пока принципиальное преимущество термояда — в его неисчерпаемости. Изначально эта энергия будет весьма дорогой, но постепенно, с развитием технологий, цена будет снижаться. Автомобиль был тоже очень дорогим. Но здесь есть еще один важный момент. Как только *ITER* продемонстрирует, что термояд работает, я абсолютно

уверен, что из частного сектора пойдет много инвестиций. Это будет вторая революция термояда. Первая была, когда в Советском Союзе предложили концепцию токамака, которая позволила на порядки повысить параметры установки. Тогда была эйфория, что сейчас мы все и получим. К сожалению, все оказалось намного сложнее. Но, тем не менее, токамак строится, процесс идет. Примерно в 2021–2023 гг. мы должны получить первую плазму».

Освоение технологий

Изначальная сложность проекта сразу предопределила тот факт, что одной стране его не потянуть ни финансово, ни технологически. Однако разделение труда между всеми участниками — только полдела. Скорее, именно такая интернационализация и дробление проекта привели к новым трудностям, которые придется преодолевать. Различные части даже одного модуля изготавливаются в разных странах. Везде свои критерии качества, финансовые и политические ситуации. Немалую роль играет и климат, если мы вспомним, что температура — серьезный фактор, влияющий на размер, особенно металлоконструкций. Кроме того, гигантские модули надо где-то хранить — а они могут деформироваться и под собственным весом в зависимости от условий и срока хранения. Так, магнитная система *ITER* включает в себя 18 тороидальных катушек, центральный соленоид, состоящий из шести модулей, шесть полоидальных катушек, девять пар корректировочных катушек, 31 фидер. Все эти подсистемы производятся в разных странах. Более того, в разных катушках индуктивности используются разные сверхпроводники: в тороидальных — ниобиево-оловянные, в полоидальных — ниобиево-титановые. Первые производят Россия, Китай, ЕС, Япония, Корея и США, последние — Китай, ЕС и Россия. Как это все вместе будет «уживаться»?

Назначение полоидальных катушек — не допускать контакта плазмы со стенками реактора, т.е. они вносят свой вклад в поддержание ее формы и стабильности. Система полоидальных катушек состоит из шести горизонтальных «блинов», окружающих тороидальную



Линия джекетирования кабелей тороидального поля. ОАО «ВНИИКП», г. Протвино, Россия



Здание для намотки катушек полоидального поля. ITER, Франция

магнитную структуру. Пять из них будут производиться на месте, и для намотки сверхпроводника построено отдельное здание 257 м в длину, 49 м в ширину и 20 м в высоту. Сегодня оно пустует, если не считать огромного круглого крана, задача которого — переносить готовые сегменты катушек.

Один из ключевых и наиболее технически сложных компонентов реактора — так называемый бланкет (англ. *blanket* — «одеяло, покрывало»), выстилающий вакуумную камеру изнутри. Его задача заключается в поглощении тепла плазмы и защите всего, что находится за пределами камеры. Но это только для *ITER*. В дальнейшем (в проекте *DEMO* и промышленных реакторах) бланкет кроме выполнения перечисленных функций должен будет обращать поглощенное тепло в электроэнергию. Дополнительно в состав бланкета будет введен литий, который при столкновении с нейтроном образует тритий — таким образом, термоядерное топливо будет самовоспроизводиться в процессе работы реактора. Сам бланкет состоит из множества сегментов, расположенных по кругу. Каждый сегмент, в свою очередь, состоит из 18 модулей, а всего токамак содержит 440 таких модулей. Каждый модуль имеет два слоя: первую стенку и защитный блок. Как следует из названия, первая стенка обращена внутрь вакуумной камеры и принимает на себя, образно говоря, первый удар. Панели первой стенки делятся на две категории в зависимости от расположения в сегменте: одни рассчитаны на нормальный тепловой поток 2 МВ/м^2 , другие — на расширенный поток $4,7 \text{ МВ/м}^2$. И снова разные части модулей производят в разных странах, и все части этого пазла должны в конечном итоге сложиться в одну четкую идеально подогнанную картину. Самое удивительное то, что при таких циклопических масштабах проекта и гигантских размерах отдельных компонентов точность изготовления не должна превышать долей миллиметра: для локальных модулей допуск составляет 0,05 мм, а для системы в целом — 0,2 мм.

Всего в *ITER* поступит примерно 1 млн компонентов, в составе которых в общей сложности 10 млн деталей. И на каждую такую деталь, независимо от размера,

будет подробное досье, по которому можно узнать о ней абсолютно все: кто и когда ее выпустил, серийный номер, технические характеристики, состав, размеры, историю, текущий статус и т.д. Более того, каждую деталь планируется оснастить радиометкой, в которой будет содержаться вся информация о ней, и можно будет в любой момент считывать ее удаленным способом.

Однако, несмотря на всю сложность и уникальность проекта в целом, Александр Алексеев считает, что ничего принципиально нового здесь изобретено не было: «На мой взгляд, нет чего-то такого, что было бы совершенно новым и не имелось в других странах в той или иной степени. Производство сверхпроводника есть в Корее, в Японии, в США и в Европе. Да, наши проводники очень качественные, но сказать, что это уникально, нельзя. Мы делаем катушку полоидального поля *PF-1*. Таких катушек шесть, остальные пять делает Европа. Тоже нельзя сказать, что это нечто исключительное. Другое дело, что мы сейчас по плану-графику впереди всех по готовности производить эту катушку. За верхние патрубки вакуумной камеры отвечает Россия, а средние и нижние делает Корея. Это очень сложные элементы — большие, металлические, массивные, со сваркой, с очень высокими требованиями по точностям. Это все уникально, но не так, чтобы кто-то другой этого не мог делать».

Возникает вопрос: если *ITER* докажет свою состоятельность, почему нельзя будет его использовать для получения электроэнергии? Разве не дороже будет с нуля строить *DEMO*? «Это будет очень дорогая электростанция, — отвечает Алексеев, — потому что в *ITER* много лишнего — того, что на самом деле для электростанции не нужно. В *ITER* сначала будет очень большая программа по исследованию плазмы, а затем уже перейдут к *DT-operation*. Здесь очень много вкладывается в технологию. Крайне много вещей, которых ученые не знают. Всегда есть некоторые неопределенности, поэтому стараются заложиться в чем-то, предусмотреть какие-то дополнительные системы. Для *DEMO* не нужно будет столько дорогой диагностики, сколько сейчас есть в *ITER* и которая усложняет много систем».



Прототип гиротрона для *ITER* (слева), испытательный стенд (справа). ИГФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия



Бассейн для охлаждающей жидкости реактора. *ITER*, Франция



! Справка

Павел Борисович Алейников

В 2009 г. окончил МФТИ по специальности «Прикладная математика и физика». В июне 2012 г. получил степень кандидата физико-математических наук.

✓ С 2007 г. работал в НИЦ «Курчатовский институт»

инженером (лаборатория симуляторов плазменных процессов в Институте физики токамаков).

✓ С 2010 по 2012 г. преподавал в МФТИ.

✓ В *ITER* попал в декабре 2012 г. по совместной программе Княжества Монако и *ITER*.

✓ Сфера научных интересов: физика плазмы, физика токамака, быстрые частицы в плазме токамака, убегающие электроны.

Ожидаемые сюрпризы

Предусмотреть все действительно невозможно. И кто знает, какие еще сюрпризы нас ждут после запуска реактора. Поэтому задача физиков — не просто нейтрализовать подобные сюрпризы, но и по возможности обратить их на пользу.

Об одном таком явлении мы беседуем с физиком-исследователем **Павлом Алейниковым**.

— Каждый физик, наверное, ожидает каких-то интересных результатов в своей области. В частности, в *ITER* есть возможности, связанные с убегающими электронами. У токамака есть такое свойство, что при срывах, и вообще в разных режимах могут появляться пучки релятивистских электронов. В *ITER* ожидается, что пучки будут мощными настолько, что мы должны о них заботиться отдельно. Я работаю над тем, чтобы понять, когда и как они образуются, какого свойства и что с ними делать, как их возможно предотвратить или контролировать. Это будет первая машина, в которой появляется большое количество убегающих электронов.

— Что это за явление — убегающие электроны?

— Есть такое свойство у релятивистского электрона, т.е. быстрого электрона, движущегося со скоростью, близкой к скорости света: сила трения, действующая на него со стороны плазмы, начиная с определенных значений, резко падает. И чем быстрее он движется, тем меньше сила трения. И это позволяет двигаться ему еще быстрее. Поэтому они называются убегающими. Как только электрон перешел через некоторый порог по начальной энергии, он уже не остановится. Второе базовое свойство убегающих электронов таково: если подобный электрон ударит по стоячему или медленному электрону, который находится в плазме, то, передав даже малую часть своей энергии, он разгонит его тоже до скорости

света. Таким образом, их будет два. Этот режим ускорения, так называемая лавина, реализуется в полной мере в *ITER* и до сих пор не наблюдался в полной мере в существующих установках. Именно это свойство — размножение электронов — обеспечивает большой ток. Над этим сейчас мы и трудимся — над моделированием и предсказанием физики развития лавины убегающих электронов и над тем, как ее контролировать и останавливать.

— Почему надо бороться с убегающими электронами, почему это плохо?

— Бороться надо прежде всего потому, что нужно предотвратить их попадание на стенку. Поскольку это релятивистские электроны, они ее могут повредить. В *ITER* есть такая теоретическая возможность в отличие от современных установок, где ток убегающих электронов заведомо недостаточен для того, чтобы повредить установку. Ученые стараются сейчас избегать экспериментов с убегающими электронами как раз именно потому, что они делают дырочки в стенках или причиняют вред. Поэтому мы должны предотвращать конвертирование магнитной энергии, заключенной в плазме, в убегающие электроны.

— И как предполагается бороться с этим?

— Для этого в *ITER* разрабатывается специальная система подавления срывов, потому что самые опасные убегающие электроны генерируются при срывах плазмы. Эта система представляет собой либо дополнительный газонапуск, либо пеллет-инжекцию, т.е. впрыскивание в пучок особых таблеток.

— Что может стать причиной такого срыва?

— На современных установках большое количество пусков, или пульсов, заканчиваются срывами. Это зачастую непредсказуемая вещь. В *ITER* сейчас закладывается много подсистем, в задачу которых входит именно избежание и контролирование срывов.

Мегалогистика

Доставка гигантских тяжелых конструкций — задача нетривиальная. Например, одна тороидальная катушка имеет габариты 16 x 9 м и весит 360 т. Сегмент вакуумной камеры весит 400 т и имеет размеры 12 на 9 м. Малая полоидальная катушка, которую изготавливает Россия (большие катушки слишком громоздки для транспортировки и будут производиться на месте), имеет 9,4 м в диаметре и весит 200 т. Как перевозить подобный груз? *ITER* находится в ста с лишним километрах от побережья, куда эти конструкции доставляются морем, и необходимо обеспечить транспортировку оборудования от порта до места назначения в целостности и сохранности, не причинив при этом вреда или даже дискомфорта местным жителям.

Для решения этой проблемы предлагалось проложить специальную трассу с использованием существующих магистралей, которые следовало адаптировать для транспортировки сверхтяжелых грузов. Там, где нет возможности использовать имеющиеся дороги, будут построены объезды. Помимо этого требовалось серьезное укрепление всех мостов, через которые пройдет трасса.

В сентябре 2013 г. состоялось первое испытание новой 104-километровой выделенной трассы повышенной прочности, которая была названа «дорогой жизни ITER». Гигантский 352-колесный трейлер длиной 46 м, шириной 9 м и высотой 11 м, груженный 800 т бетонных блоков, совершил испытательный рейс, который продолжался четверо суток. На всем протяжении — от побережья Средиземного моря до места расположения ITER — трейлер сопровождал конвой на случай внештатных ситуаций. В критических точках, таких как мосты, перекрестки и населенные пункты, производились замеры с целью оценить эффект от колоссальных нагрузок. В общей сложности более 100 человек приняли участие в этом испытании, и 20 сентября 2013 г. в 4:45 утра работники ITER овациями встретили первый прибывший к ним груз. Испытание прошло успешно. Теперь дело осталось за малым: проделать тот же путь еще около 200 раз, но уже не с балластом, а с реальным дорожным оборудованием.

Плавильный котел

Впервые в истории нашей цивилизации один международный проект собрал под своей эгидой столь пеструю компанию: 500 человек из 35 стран, говорящие на 40 языках, и у каждого свои культура, традиции и стиль работы. Среди них физики, секретари, инженеры, бухгалтеры, администраторы.

Официальный язык ITER — английский, хотя родной он всего для 15% работников. Но одного лишь знания языка недостаточно. Если люди, говорящие на одном языке, нередко не понимают друг друга, то что можно сказать о тех, кто говорит на разных языках? Даже простая фраза, сказанная человеком из Японии, Китая, России, Америки и Индии, звучит совершенно по-разному. И, соответственно, по-разному может быть воспринята собеседником. Произношение, интонация, жестикация, мимика тоже имеют свои особенности. Дружеский жест, сделанный представителем одной культуры, может быть воспринят как угрожающий или враждебный представителем другой. Повышение голоса, считающееся нормальным эмоциональным окрасом в одной стране, недопустимо в другой и может считаться агрессивной. Даже переписка таит в себе сюрпризы: вступление и заключение к письму, которые считаются проявлением уважения к адресату, могут быть интерпретированы как фамильярность или бесцеремонность людьми другой культуры.

Однако, несмотря на все эти различия, люди учатся понимать друг друга, даже если для этого приходится подавить собственное эго. Пожалуй, единственная организация в мире, где столько представителей разных стран работают вместе, — это Организация Объединенных Наций. Но если в ООН каждый представитель «пиарит» свою страну, отстаивая ее интересы, порой в ущерб другим, и весьма часто тянет одеяло на себя, то в ITER картина противоположная: объединенные общей целью и полностью исключившие политику из взаимоотношений, люди совершенно по-другому начинают

! Справка

Александр Борисович Алексеев

Заместитель Генерального директора Международной организации ITER.

- ✓ В 1986 г. с отличием закончил ЛПИ им. М.И. Калинина (ныне Санкт-Петербургский государственный политехнический университет).
- ✓ Доктор технических наук, защитил диссертацию по теме «Постановка и решение задач механики при создании электромагнитной системы токамака».
- ✓ Работал в НИИЭФА им. Д.В. Ефремова.
- ✓ Начал работать по Проекту ITER со стадии эскизного проекта в 1988 г. С 2011 г. перешел работать в Международную организацию ITER, дошел от инженера до начальника лаборатории.
- ✓ Участвовал в создании российского сферического токамака ГЛОБУС-М, казахского материаловедческого токамака КТМ, корейского токамака KSTAR и европейского стелларатора W-7X.
- ✓ Сфера научных интересов: инженерные проблемы термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы.
- ✓ Автор более 60 научных публикаций.



воспринимать друг друга. Возможно, именно в этом и заключается главное достоинство и парадокс ITER: история показала, что мультикультурализм не работает в масштабе страны, но в рамках тесного сотрудничества и стремления совершенно разных людей к общей цели разве не может родиться такое исключение из правил? ITER — это, по сути, тот же плавильный котел, только нагрев в нем происходит, условно говоря, до температуры плазмы, которая в состоянии расплавить хотя бы часть барьеров, разделяющих народы. И тогда представители разных культур не только будут учиться понимать друг друга, но и смогут постоянно обогащать собственный опыт таким обменом.

Важно еще и то, что в ITER собрались не просто люди с улицы. Здесь сконцентрированы сливки научного сообщества со всего мира. И кому, как не им, делающим совместный прорыв в будущее, уметь находить друг с другом общий язык и преодолевать межкультурные барьеры? Пожалуй, можно говорить о рождении новой культуры — «итэровской». И если ITER служит прототипом термоядерного реактора будущего, то пусть и новая культура общения станет прототипом будущих отношений между людьми. Может, и на самом деле когда-нибудь сбудется мечта романтиков и идеалистов о мире во всем мире. ■

Подготовил Виктор Фридман