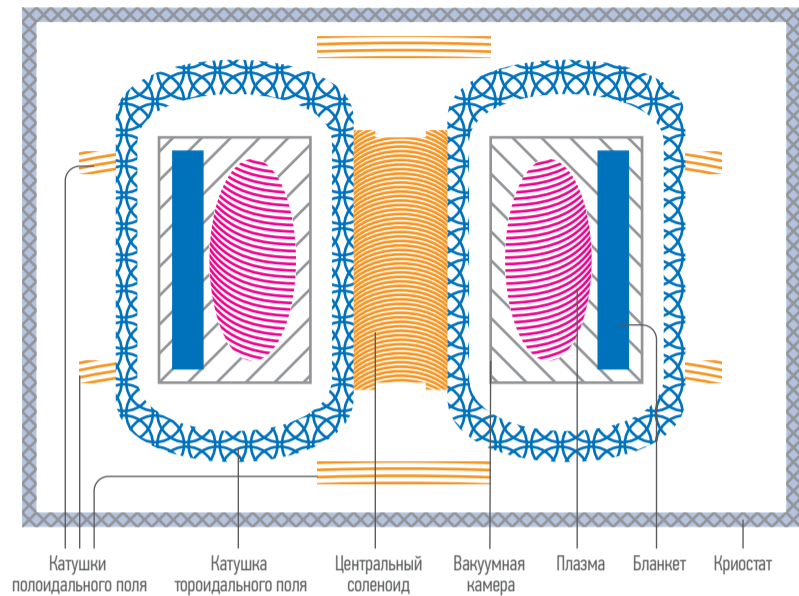


# Синтез прорывных технологий

В «РОСАТОМЕ» ВСЕРЬЕЗ ЗАДУМАЛИСЬ НАД СОЗДАНИЕМ ГИБРИДНОГО РЕАКТОРА.



Катушки пологоидального поля, Катушка тороидального поля, Центральный соленоид, Вакуумная камера, Плазма, Бланкет, Криостат

## демонстрационный вариант гибридного реактора

Первую плазму международный экспериментальный реактор ИТЭР, как известно, даст не раньше 2020 года. Понадобятся еще десятилетия, чтобы вывести термояд на промышленный уровень и сделать этот источник энергии коммерчески выгодным. Можно ли сократить время ожидания? Российские ученые, работающие в проекте ИТЭР, уверенно говорят да. Нужно лишь объединить термоядерный синтез с классической ядерной реакцией деления, то есть создать гибридный реактор.

«Что такое гибриды? По сути, это синтез двух технологических платформ», – говорит директор проектного центра ИТЭР «Росатома» Анатолий Красильников. Такой реактор будет состоять из термоядерной части – токамака, который служит источником нейтронов высоких энергий и позволяет значительно увеличить эффективность его «обычной» части – ядерной.

В ИТЭР вся энергия, 500 МВт, будет создаваться в плазме. Взаимодействующая с ней первая стенка должна взять энергию на себя, выдержав температуру плазмы в сотни миллионов градусов. То есть нужна эффективная система охлаждения. Этот вопрос решен, но на грани технологических возможностей. «А теперь подумайте, что произойдет, если повысить мощность реактора до 1 ГВт? Таких материалов еще не придумано, – объясняет Анатолий Красильников и добавляет: – Прелесть гибрида, в том, что вам не нужно весь гигавайт производить внутри плазмы, достаточно 100 МВт». Меньше энергия плазмы – меньше нагрузка на первую стенку. Многократное размножение нейтронов произойдет уже в делящемся материале.

В качестве теплоносителя с делящимся топливом в подкритическом реакторе у гибрида можно использовать жидкую соль, считают в Курчатовском институте. По словам президента НИЦ «Курчатовский институт» академика РАН Евгения Велихова, такой теплоноситель можно непрерывно прокачивать, и, самое главное, в реакторе не будет никаких радиоактивных веществ кроме урана-238 или тория (см. справку).

Сегодня во всем мире акцент переносится с чистого термояда на гибриды.

Например, довольно серьезно темой интересуется КНР. На правительственном уровне почти принято решение о выделении 4 млрд долларов для создания установки-прототипа. Не исключено, что в термоядерной части за основу китайцы возьмут чертежи и разработки ИТЭР. Имея членство в этом проекте, китайцы, так же как и все его участники, имеют полную возможность воспользоваться всеми наработками и ноу-хау. Этот путь самый логичный. «Ведь уже подсчитаны электромагнитные и тепловые нагрузки для всех узлов», – говорит Красильников.

*Гибридный реактор будет состоять из термоядерной части – токамака, который служит источником нейтронов высоких энергий и позволяет увеличить эффективность его «обычной» части – ядерной*

К формированию программы по гибриду приступил и «Росатом». «Наметки уже есть, – говорит директор Института физики токамаков Энглен Азизов. – И наши работы будут развиваться последовательно». Пока, по его словам, в России очень слабая экспериментальная база по термоядерному синтезу. Наиболее крупной отечественной установкой, Т-10, около 40 лет – она исчерпала не только моральный, но и физический ресурс и скоро будет выведена из эксплуатации. Но уже сейчас в Санкт-Петербурге стартует создание ее «преемника» – Т-15. Запуск запланирован на 2016 год. Назначение двойное, говорит Азизов. Во-первых, конечно, максимальная экспериментальная поддержка работ, которые будут проводиться на ИТЭР, ведь там остается нерешенной масса проблем. Ну и во-вторых, токамак послужит прототипом термоядерного источника нейтронов для гибрида. Коллегу поддерживает и Анатолий Красильников: «Чтобы освоить все технологии ИТЭР и двигаться по гибриду направлению, своя программа нам просто необходима». Заниматься только ИТЭР, по его словам, это как балансировать на одной ноге.

## Основные параметры плазмы

Мощность синтеза D+T	5-10 МВт
Мощность деления $U^{238}$ , $Th^{232}$	<150 МВт
Наработка $Pu^{239}$ , $U^{233}$	85 кг/год
Потребление T	275 г/год
Потребляемая мощность	60 МВт
Энергия термоядерного нейтрона	14,06 МэВ
Нейтронная нагрузка (14 МэВ)	0,2 МВт/м <sup>2</sup>
Размер криостата	4-10 м

Вопрос в том, когда может появиться прототип. По мнению директора проектного центра ИТЭР, если будет принято принципиальное решение и найдется достаточное финансирование, на создание установки потребуются около 10 лет. Если заняться гибридом уже сейчас, то заработать он сможет примерно в те же сроки, что и ИТЭР. «Но у гибрида абсолютно точно больше шансов дойти до практического применения, чем у чистого термояда», – уверен Анатолий Красильников.

Будет ли потенциальная новинка конкурировать с реактором на

## КОММЕНТАРИЙ



### Вячеслав Першуков, директор блока по управлению инновациями «Росатома»:

– Примерно четыре месяца назад наши физические институты начали подготовку программы гибридного реактора. Идут дискуссии. Я всячески поддерживаю проект, ведь все крупные страны мира уже занимаются гибридом в том или ином виде. Считаю, что за год «Росатом» вместе с Академией наук и Курчатовским институтом сформируют полный пакет – с графиками, с пониманием объемов работ и бюджета, с обозначенными результатами. Но белых пятен очень много. Что использовать в качестве естественного источника нейтронов? Есть вариант с токамаком, есть с ускорителями. Токмак, как я понимаю, дает самые «дешевые» нейтроны, но нужна определенная плотность и спектр. Пока не совсем понятно, что будет собой представлять подкритический реактор. Сейчас речь идет о жидкосольевом реакторе в быстром спектре. Которого, добавляю, еще нет в природе. Его создание – долгий и сложный путь. К тому же остаются вопросы переработки изотопов, формирующихся при делении. Для промышленного использования эта проблема не изучалась в полном объеме. Все это, разумеется, не означает, что надо закрывать проект замкнутого цикла «Прорыв» – там-то уже многие технологии и процессы отработаны. А вот по гибриду все новое.

## СПРАВКА

Гибридный реактор сочетает в себе две технологии – расщепления и синтеза. Ключевой элемент конструкции – термоядерный реактор, производящий в результате синтеза огромное количество нейтронов высоких энергий. Ими предполагается обстреливать делящееся вещество, которое можно разместить на внутренней поверхности оболочки термоядерного реактора. Быстрые термоядерные нейтроны расщепляют ядерное топливо, в результате чего высвобождается энергия.

Термоядерная водородно-гелиевая часть гибридного реактора гипотетически имеет более простую конструкцию, чем у ИТЭР, потому что производство быстрых нейтронов не требует от установки большой мощности. Подкритический реактор мог бы работать не на уране, а на тории. Торий не только дешевле, его еще и значительно больше: запасы этого элемента на нашей планете в пять раз превосходят запасы урана. Теплоносителем с делящимся топливом могла бы стать жидкая соль, которая может работать при высоких температурах, оставаясь при этом при низком давлении. Процесс расщепления топлива в гибриде гораздо чище и экологичнее, чем в современных реакторах на тепловых нейтронах – образуется намного меньше долгоживущих высокорadioактивных отходов.

Андрей КОВАЛЕВСКИЙ,  
«Страна РОСАТОМ»

# Кадры будущего

ЧТО БЕСПОКОИТ РОССИЙСКИХ УЧАСТНИКОВ ПРОЕКТА ИТЭР? КАК ЭТО ОТРАЗИТСЯ НА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ТЕРМОЯДЕРНОЙ ПРОГРАММЕ? ОБ ЭТОМ В КОНЦЕ НОЯБРЯ ГОВОРИЛИ ЗА КРУГЛЫМ СТОЛОМ В НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ».

Как инициатор и значимый участник международного проекта ИТЭР Россия исполняет все свои обязательства, обеспечивая 10% поставок оборудования для реактора. Однако доля нашего персонала, задействованного в работах, значительно меньше – не дотягивает и до 6% от общего числа. Дело в том, что отечественные специалисты зачастую не могут пройти конкурсный отбор. Причина простая – дефицит опыта, считают отраслевые эксперты. Но как развивать перспективные технологические направления, не будучи в курсе деталей программ, подобных термояду? Ответ на этот вопрос научное сообщество атомной отрасли попыталось найти за круглым столом, организованным в рамках конференции «Проект ИТЭР – шаг в энергетику будущего».

## СТАТЬ СОУЧАСТНИКОМ

Отсутствие механизма подготовки специалистов в области управляемого термоядерного синтеза – преграда для россиян, желающих попасть на ИТЭР.

Профессор Новосибирского государственного технического университета Александр Хильченко, который занимается разработкой аппаратуры и систем автоматизации плазменного эксперимента в рамках проекта ИТЭР, делится опытом своей кафедры: «Целевой поддержки обучения кадров для ИТЭР просто не существует. Все базируется на энтузиазме, потому что я понимаю, что после себя должен оставить нормально работающий коллектив, который будет развиваться и который всегда будет на передовых рубежах в своей области». Под его началом в аспирантуре 10 человек – преподавая на 4-м курсе, профессор присматривается к студентам, заинтересовавшимся тематикой электрофизических установок и ускорителей. По его мнению, нужно привлекать людей к работам, связанным с ИТЭР, еще на стадии обучения. Это позволит молодежи не только получить уникальный опыт, но и стать «соучастниками», познакомиться с коллегами, с которыми впоследствии, возможно, придется не раз столкнуться. Если начать программу подготовки сейчас, то через пять – семь лет, после магистратуры, аспирантуры, отрасль получит готового специалиста, убежден Хильченко.

Завкафедрой «Физика плазмы» МИФИ Валерий Курнаев согласен, что подготовка специалистов мирового уровня начинается намного раньше аспирантуры. Так, на его кафедре действуют обучающие программы для школьников: «поработав» учеными, познакомившись с преподавателями, ребята в будущем, поступив в МИФИ, выбирают уже «родную» тему.

Директор ГНЦ РФ ТРИНИТИ Владимир Черковец считает, что нужно делать акцент на аспирантуре, а научные центры заточить под подготовку кадров для ИТЭР и других программ. Более того, он отмечает, что в России есть научные организации, которые могут обеспечить необходимую стажировку.

В ходе круглого стола даже предлагали обсудить с членами совета ИТЭР введение 9-процентной квоты на количество российских специалистов,



соизмеримую с нашим вкладом в проект. Таким образом можно решить основную проблему – конкурсное замещение вакансий. «При прочих равных наши специалисты часто выглядят неконкурентоспособными из-за отсутствия опыта работы на современных машинах. Такие установки

токамаков (Курчатовский институт) Сергея Коновалова. Он убежден, что один из сильнейших мотивов – увлеченность. Студенты, которые занимаются физикой, зачастую идеалисты.

В прошлом году для решения вопроса системной подготовки кадров был сформирован консорциум опорных

*Участники круглого стола предложили обсудить с членами совета ИТЭР введение 9-процентной квоты на количество российских специалистов, занятых в проекте, соизмеримую с вкладом России*

есть у других партнеров проекта. Что и определяет выбор в их пользу», – сетует Анатолий Красильников, директор проектного центра ИТЭР.

К слову, молодые специалисты, с которыми нам удалось поговорить, особо не горят желанием ехать в Кадараш. Причины те же: чтобы на ИТЭР допустили к науке, нужна базовая экспериментальная подготовка. В противном случае даже грамотный физик либо не пройдет конкурс, либо попадет на низкоквалифицированную должность. А это, согласитесь, неинтересно.

## ДЕНЬГИ ИЛИ ИДЕЯ

Эксперты сходятся во мнении, что важное место в подготовке кадров занимают материальная мотивация и финансирование как таковое. «Учиться можно только тогда, когда перед вами ставится конкретная задача, и только при финансовой поддержке – всем надо жить, всем надо есть», – говорит заведующий кафедрой «Технология металлов» МЭИ Виктор Драгунов.

Завкафедрой «Физика и химия плазмы» МФТИ Константин Чукбар сетует, что сейчас человеку, который занимается физикой, сложно обеспечить семью – это проблема зарплаты и жилья. «На нашу кафедру плазменной энергетики идут лучшие студенты, а дальше мы их удержать не можем», – добавляет завкафедрой «Физика плазмы» МИФИ Валерий Курнаев.

Оптимистично на фоне этих заявлений выглядит мнение начальника лаборатории Института физики

вузов «Росатома». Участники круглого стола считают, что по аналогии нужно создать либо отдельный термоядерный консорциум, либо в рамках уже существующего организовать секцию и выделять под нее средства. «Такая форма взаимодействия вузов и академических институтов очень хороша, так как дает возможность по конкретной тематике и специальности готовить конкретных людей на собственной экспериментальной базе», – подводит итог Владимир Черковец.

Стоимость подготовки одного специалиста не так уж и велика – порядка 2 млн рублей в год. «Если возьмем 15 человек, то 30 млн достаточно. Часть суммы мы соберем через проект ИТЭР, и если бы нам выделили еще 20 млн, было бы прекрасно», – сказал Анатолий Красильников.

## КУПИТЬ И НЕ ПОЕХАТЬ

Сейчас ИТЭР скорее площадка для приобретения административного и инженерного опыта. Следующая часть проекта после запуска в 2020 году, будет намного интересней, так как позволит на работающей установке проводить практические исследования термоядерной плазмы и решать конкретные научные задачи.

И тут мы возвращаемся к главной проблеме. Специалистами мирового уровня станвятся, обучаясь на современных установках, иначе ни о каком лидерстве в этой области речи идти не может. К сожалению, оборудование, которым довольствуются наши

## СПРАВКА

ИТЭР – уникальный международный проект, направленный на строительство первого международного экспериментального термоядерного реактора. Это самая сложная технологическая система из ныне существующих на Земле. Построена установка будет на юге Франции, в городе Кадараш. Вклад участников в проект: Россия, Индия, Китай, Корея, США, Япония – по 9,09%, Европейский союз – 45%.

студенты, давно устарело. «Для подготовки высококлассного специалиста при прохождении отбора в ИТЭР стажировка на токамаке Т-11 М не конкурентоспособна по сравнению с тем же JET», – негодует Сергей Коновалов. Вырисовывается замкнутый круг. Чтобы развивать собственную термоядерную программу, России нужен опыт, а ИТЭР – отличный шанс его получить. Путь на ИТЭР лежит через конкурсный отбор, и по одному из его критериев наши специалисты, как уже говорилось выше, не проходят.

Анатолий Красильников настроен категорично: «Кто сделает следующий шаг к энергетике будущего? Только тот, у кого будут кадры, школы, ученые, заводы и так далее, чтобы повторить термояд у себя. А у кого этого не будет, тот купит билет, но никуда не поедет, хотя и заплатит 9%».

Все идеи участников круглого стола будут оформлены в виде предложения по созданию термоядерной программы в России и переданы руководству «Росатома». Остается надеяться, что программа будет подкреплена соответствующей системой подготовки кадров. Тогда будет кому использовать тот опыт, знания и технологии, которые даст ИТЭР. А если смотреть шире, то это позволит нашим специалистам самостоятельно строить термоядерные электростанции в России.

Иван МОРГУНОВ,  
«Страна РОСАТОМ»

## КОММЕНТАРИИ

**Григорий Немцев, младший научный сотрудник лаборатории проблем физики токамаков, ГНЦ РФ ТРИНИТИ:**

– Пока ИТЭР не построен, самой крупной установкой является токамак JET вблизи Оксфорда. У нас с британцами налажены хорошие научные контакты, есть ряд совместных интересных проектов, периодически мы туда ездим. Я лично – целых три раза. Принимал участие в реальных экспериментах и общался со специалистами. Это лучше, чем если бы меня сейчас пригласили в центральную команду ИТЭР, и я что-то там пытался делать.

**Дмитрий Глазунов, инженер-исследователь второй категории, НИИЭФА им. Ефремова:**

– По моим ощущениям, все, кто в России занимается термоядом, решают свои задачи здесь и на ИТЭР не рвутся. Конечно, когда реактор запустится, будет интересно поработать на такой солидной установке, но до этого еще по меньшей мере 10 лет, и неизвестно, что произойдет к тому времени.