

*Кассета  
дивертора  
на рисунке  
и в цехе*

Кандидат  
физико-математических наук  
**С.М.Комаров**

# ITER сияет впереди

В то время как ведущие физики-термоядерщики обсуждают особенности поведения плазмы, способы укрощения той или иной моды колебаний ее шнура в реакторе, политики вступили в завершающую схватку за право построить в своей стране рукотворное Солнце. И игра, право же, стоит свеч: столь грандиозное строительство объекта, целиком представляющего собой образец новой технологии, дает огромный импульс развитию промышленности страны-хозяина.

История ITERa (Международного термоядерного экспериментального реактора) начинается в ноябре 1985 года, когда недавно избранный Генеральный секретарь ЦК КПСС М.С.Горбачев на переговорах в Женеве предложил президенту США Р.Рейгану, а потом и президенту Франции Ф.Миттерану начать совместные работы по созданию термоядерного реактора. В 1991–1992 годах это предложение наконец начало воплощаться в чертежах. По замыслу ученых и политиков ITER окажется первым термоядерным реактором, который выдаст больше энергии, чем потребит. Для этого планируется удерживать горячую плазму сначала хотя бы шесть секунд, а потом увеличить это время до четырехсот. В результате, потребляя только на разогрев плазмы 50 МВт мощности от соседней ядерной электростанции (а всего реактору для работы потребуется 120 МВт энергии, ITER станет выдавать 500 МВт. Сначала было четверо претендентов. После ожесточенной борьбы их осталось двое: Франция и Япония.

«В связи с оскудением природных ресурсов наступило время для того, чтобы принять все меры и обеспечить будущие поколения людей надежным источником энергии. Проект ITER — наша главная надежда обрести такой источник», — говорит Клод Энере, которая участвовала в одной из экспедиций на Международной космической станции, а ныне возглавляет Министерство исследований и новых технологий в правительстве Франции. «Мы считаем, что лучшее место для ITERa — окрестности прованского города Кадараш, — заяв-



ляет представитель французской Комиссии по атомной энергии Жан-Мишель Баттеро. — В Кадараше уже есть исследовательский центр, где с 1988 года работает сверхпроводящий токамак «Тора Супра». Там же расположен исследовательский ядерный реактор, поставляющий ему энергию. Кроме того, местные власти готовы вложить 450 миллионов евро в этот проект. А что касается мощных электростанций, которые нужны для нагрева плазмы, то их в нашей стране предостаточно».

«Экспериментальный реактор нужно строить, конечно же, в Японии, в местечке Рокассо на северном побережье Хонсю, — отвечает ему Тосихидэ Цунемэцу, директор департамента Японского института исследований в области атомной энергетики. — Японской промышленностью уже неоднократно приходилось иметь дело с изготовлением огромных деталей на сверхточных станках. У нас имеется большой опыт в обращении с тритием и найдены надежные способы его транспортировки в рамках существующих договоренностей о нераспространении ядерного оружия. В целом же Рокассо — прекрасное место с мягким климатом, хорошими геологическими параметрами и мощным снабжением энергией от близлежащих ядерных электростанций. А отработанную воду контура охлаждения можно сбрасывать либо в расположенное рядом море, либо в озеро Такахоко. Даже если мы сбросим в море 3,5 ГВт тепла, температура воды вырастет не более чем на один градус, и это не повредит морским обитателям. Кроме того, по морю проще доставлять огромные конструкции реактора, а в Рокассо есть порт». — «У нас в Марселе тоже есть порт, а для доставки конструкций всего-то надо перестроить несколько мостов по дороге на Кадараш. Зато у нас, в Провансе, никогда не было замлетрясений, не то что на Хонсю», — парирует Баттеро.

Общий вклад России в проект ITER составляет 17%, а в строительство реактора мы хотим вложить 10% из полного бюджета

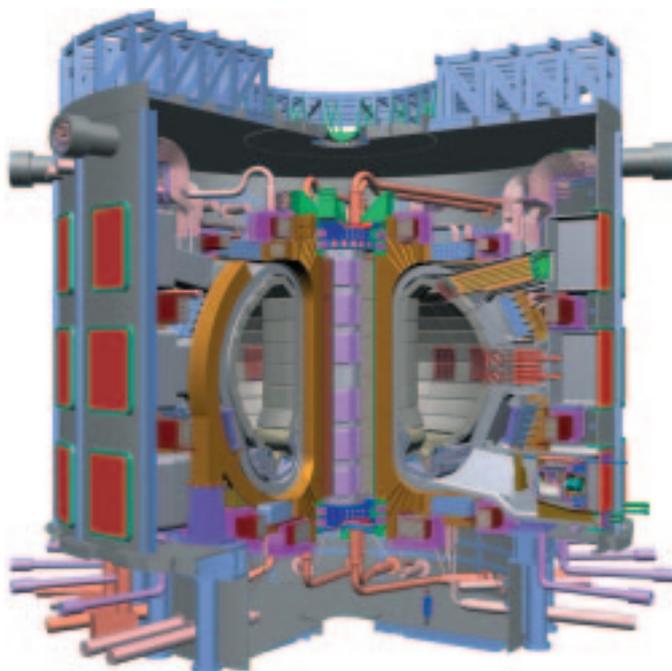


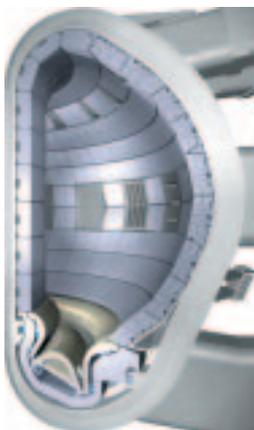
Схема ITER



РЕСУРСЫ

та в 4,8 миллиарда евро. Это гораздо меньше, чем у европейцев или японцев. Однако нашим ученым есть что предложить в совместный проект. Например, технологии изготовления сверхпроводящих магнитов, без которых нельзя удержать плазму, или конструкция дивертора — системы, через которую полученная в результате термоядерной реакции энергия выводится из системы. В числе отечественных приоритетов также оболочка для первой стенки реакционной камеры. Ее будут делать из самого легкого металла, бериллия, уникальные технологии обработки которого созданы нашими учеными за время выполнения космической и ядерной программ.

Как и положено токамаку, ITER состоит из канала, где циркулирует плазма, магнитов, создающих поле, и систем нагрева плазмы. К этому прилагаются вакуумные насосы, постоянно от-



Секция центрального канала на рисунке и в цехе



качивающие газы и материал, испаренный стенками канала, и система доставки новых порций топлива по мере его выгорания. Общий диаметр реактора — 30 метров. Самые тяжелые его части — блоки канала размером 12х8х8 метров и весом по 600 тонн, а также детали магнитов весом от 200 до 450 тонн каждая. Для охлаждения всех систем реактор должен потреблять 33 тысячи кубометров воды в день.

По замыслу ученых, в канал помещают разреженный газ, водород с добавками топлива — дейтерия и трития. Его нагревают, превращают в плазму, а затем начинают сжимать и нагревать дальше всеми доступными методами. Собственно, именно эффективность нагрева плазмы — самый большой вопрос управляемого термоядерного синтеза; чем выше температура, тем труднее идет нагрев. Когда температура и плотность плазмы достигнут критических значений, начинается реакция между дейтерием и тритием. В результате ее получаются фотоны, нейтроны и ядра гелия; их-то кинетическая энергия и представляет собой энергию термоядерной реакции. Первые из этих частиц летят во все стороны и нагревают внутреннюю стенку канала. Вторые, будучи тяжелыми, но не обладая электрическим зарядом, тоже легко покидают плазму и передают свою энергию главным образом дивертору. Тепло с нагретых стенок снимают с помощью воды и далее направляют на производство электрической энергии.

Казалось бы, внутреннюю стенку канала надо облицовывать тугоплавким вольфрамом, но его тяжелые атомы, попав в плазму даже в мизерном количестве, способны все испортить. Легкий графит, выдерживающий колоссальную температуру (плавится выше 4000°C) тоже не подходит — он слишком хрупок и способен внезапно растрескаться. Кроме того, углерод отлично реагирует с тритием, давая радиоактивные углеводороды. Как бы тот ни было, а облицовывать внутреннюю стенку решили пластинками из легчайшего конструкционного материала — бериллия, элемента таблицы Д.И.Менделеева с номером 4. После принятия такого решения материаловедами проекта приобрели дополнительную головную боль: мало того, что бериллий очень плохо поддается механической обработке, так еще и его испарения (а стенка канала из-за высокой температуры обязательно будет испаряться) чрезвычайно ядовиты. Пыль бериллия и его оксида приводит к страшной легочной болезни — бериллиозу. Чтобы избежать попадания этой пыли из реактора в окружающую среду придется строить сложную систему вентиляции. Кстати тритий, способный просочиться сквозь стенку и загрязнить воду в контуре охлаждения, тоже вызывает немало беспокойства.

Гелий — тоже неприятный продукт реакции. Как известно каждому специалисту по ядерной энергетике, он вызывает радиационное распухание: быстрые альфа-частицы, влетев внутрь металла, превращаются в молекулы