

ВСТРЕЧИ В РЕДАКЦИИ

Коммунист № 1 (Январь) 1976
АТОМ И СОЦИАЛИЗМ

В проекте ЦК КПСС к XXV съезду Коммунистической партии Советского Союза «Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы» одним из важнейших направлений развития научных исследований в области естественных и технических наук определено развитие теоретических и экспериментальных исследований в области ядерной физики, физики плазмы, твердого тела и других направлениях познания «в целях ускорения научно-технического прогресса, в особенности развития атомной энергетики, совершенствования существующих и разработки новых способов преобразования энергии, создания и широкого внедрения принципиально новой техники».

В редакции журнала «Коммунист» состоялась встреча с руководителями Института атомной энергии имени И. В. Курчатова. В этом научном учреждении около тридцати лет назад была осуществлена первая в СССР самоподдерживающаяся ядерная цепная реакция. Директор института трижды Герой Социалистического Труда, член ЦК КПСС, президент АН СССР академик АНАТОЛИЙ ПЕТРОВИЧ АЛЕКСАНДРОВ, его заместители — Герой Социалистического Труда академик ИСААК КОНСТАНТИНОВИЧ КИКОИН, академик ЕВГЕНИЙ ПАВЛОВИЧ ВЕЛИХОВ и доктор химических наук ВАЛЕРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ ЛЕГАСОВ, секретарь парткома института доктор физико-математических наук НИКОЛАЙ СЕРГЕЕВИЧ БАБАЕВ рассказали о делах и планах своего коллектива. Ниже публикуется запись состоявшейся беседы.

А. АЛЕКСАНДРОВ:

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГЕТИКИ

Фундаментом экономического могущества страны, дальнейшего роста благосостояния народа служит тяжелая индустрия. Ведущей отраслью ее является энергетика. Быстрорастущая энерговооруженность общества — одна из основ научно-технического прогресса. Коммунистическая партия Советского Союза всегда уделяла ей огромное внимание. Достаточно вспомнить ленинский план ГОЭЛРО, строительство мощных тепловых и гидроэлектростанций.

Проблемы энергетики вызывают повышенный интерес в мире. И это не случайно. От решения их во многом зависят рост производительности труда во всех областях промышленности, сельского хозяйства и транспорта, появление качественно новых технологических процессов, увеличение энерговооруженности быта.

Производство электрической энергии на всей планете неуклонно расширяется. В среднем оно удваивается каждое десятилетие. И совершенно очевидно, что в предвидимом будущем не хватит известных природных энергоресурсов, утилизируемых традиционными методами техники. Да, если бы энергетические возможности человечества ограничились лишь теми средствами, которые оно знало в первой половине XX столетия, то уже ныне живущее поколение стало бы свидетелем серьезного энергетического кризиса.

Темпы роста потребления энергии настолько велики, что в отдельных районах мира ископаемое топливо уже стало весьма дефицитным. Почти повсюду в странах Запада повышается стоимость нефти, газа и угля, что, в свою очередь, приводит к возрастанию цен на всю продукцию.

Наша страна располагает огромными запасами минерального топлива. Однако только примерно 20 процентов этих ресурсов падает на территорию Европейской части СССР, где сосредоточено около 75 процентов потребителей электроэнергии. Прогнозные расчеты показывают, что здесь в перспективе — с учетом значительно перемещения производительных сил в восточные районы страны — по-прежнему

будет потребляться подавляющая часть энергии. Поэтому неизбежно возникает необходимость наряду с транспортированием энергии из восточных районов СССР развивать атомную энергетику в западных районах Союза.

Помнится, что еще 20 лет назад, когда только начала работать первая в мире советская атомная станция мощностью всего 5 тысяч киловатт, многие считали, что атомная энергия — это, в общем, скорее забава ученых и инженеров и вряд ли найдется когда-либо широкое применение, вряд ли будет конкурентоспособной с энергетикой на обычном топливе — нефти, газе и угле. Теперь так не думают. Сегодня в 16 странах мира действует более ста атомных электростанций общей мощностью примерно 40 миллионов киловатт.

Успешная разработка проблемы использования атомной энергии в нашей стране стала возможной в результате политики Коммунистической партии Советского Союза. Благодаря заботе партии о росте материальной и духовной культуры народа наша наука располагает могучим научным потенциалом — большой армией высококвалифицированных ученых, инженеров и техников, в распоряжении которых — богатый арсенал современных технических средств, позволяющих осуществлять труднейшие исследования фундаментальных законов природы, решать сложнейшие технические проблемы современности.

Как известно, практическая возможность высвобождения атомной энергии стала ясной после открытия в 1939 году реакции деления урана под действием нейтронов. В то же время обрисовались и необычайные трудности данной задачи. К сожалению, события второй мировой войны стимулировали решение ее в военных целях. И наша страна, социальной природе которой органически присущ миролюбивый характер, вынуждена была также создавать ядерное оружие для ликвидации угрозы со стороны агрессивных империалистических государств.

Однако это не заслоняло в деятельности советских ученых стремления к мирному использованию ядерной энергии. Уже в трудные годы войны КПСС и Советское правительство приняли все необходимые меры для решения атомной проблемы. Для этой цели была создана мощная техническая и промышленная база, был организован ряд новых научных учреждений для решения широкого круга задач: Институт атомной энергии, Институт теоретической и экспериментальной физики и другие. Научное руководство всеми работами возглавил академик И. В. Курчатов. К ним были привлечены ученые различных специальностей. Многие физические, физико-химические, химические институты АН СССР и отраслевые институты многих министерств участвовали в этом важном деле. Весь огромный комплекс сложнейших задач по изучению ядерных реакций, развитию теории ядра, нейтронной физики, теории реакторов на тепловых и быстрых нейтронах и других решался на высоком научном уровне и в короткие сроки. Выдающимся достижением советских физиков явилось сооружение и пуск в декабре 1946 года первого атомного уран-графитового реактора в нашей стране, всего через четыре года после начала работ. Была налажена уранодобывающая промышленность, организовано беспрецедентное производство разделения изотопов урана и извлечения плутония, построены специальные металлургические заводы, разработаны и пущены в ход промышленные реакторы для получения делящихся материалов.

Так закладывались основы атомной энергетики. Были осуществлены поисковые разработки по всем основным направлениям энергетических реакторов: по реакторам с графитовым замедлителем и гелиевым охлаждением, с водой под давлением и с замедлителем в обычной воде, с обычной кипящей водой, с графитовым замедлителем и теплосъемом водой под давлением. По решению партии и правительства развернулось строительство в городе Обнинске опытной атомной электростанции промышленного типа. Эта первая в мире АЭС была сдана в эксплуатацию 27 июня 1954 года. Пуск ее имел огромное историческое значение. Всему человечеству была продемонстрирована возможность мирного применения энергии атома — энергии, ставшей к тому времени в сознании многих людей символом разрушения, символом слов «Хиросима» и «Нагасаки». А через

три года (1957 год) со стапелей сошло первое в мире гражданское надводное атомное судно — ледокол «Ленин». Все это — выражение созидательных устремлений Советского Союза в использовании ядерной энергии.

Эксплуатация первой АЭС, результаты которой были доведены до сведения международной общественности в 1955 году на Первой международной конференции по мирному использованию атомной энергии в Женеве, показала перспективность такого рода станций, их надежность и безопасность. Значительные достижения наших и зарубежных ученых и конструкторов в создании специальных конструктивных материалов, в разработке теории и конструкции реакторов расширили число возможных типов энергетических реакторов, позволили осуществлять ту широкую программу развития ядерной энергетики, которая сейчас претворяется в жизнь.

Процесс производства электроэнергии за счет деления тяжелых ядер сделался вполне конкурентоспособным с традиционным способом получения энергии в тех районах, где стоимость топлива повышена из-за расходов на его дальнюю транспортировку. Как правило, капитальные затраты на сооружение АЭС превышают вложения в обычные тепловые станции равной мощности. Однако удельные эксплуатационные расходы уже сегодня меньше и имеют тенденцию к дальнейшему сокращению. Кроме того, в связи с возможностью значительного увеличения единичной мощности блоков капитальные затраты на установленный киловатт АЭС снижаются быстрее, чем на ТЭС. Если первая, Обнинская, АЭС имела мощность 5 тысяч киловатт, то у первой очереди Сибирской АЭС, пущенной в 1958 году, она уже составляла 100 тысяч киловатт, у следующего блока этой станции — 200 тысяч киловатт, первый энергоблок Нововоронежской АЭС, вступившей в строй в 1964 году, обладал мощностью в 210 тысяч киловатт, а сооружаемый ныне пятый блок будет иметь мощность миллион киловатт, а мощность станции в целом достигнет 2,5 миллиона киловатт.

В канун XXV съезда КПСС пуском второго энергоблока завершено строительство первой очереди крупнейшей в мире Ленинградской атомной станции имени Владимира Ильича Ленина. Каждый блок ее имеет мощность 1 миллион киловатт — ни одна станция в мире не обладает столь мощными реакторами канального типа, как эта. Сегодня с распределительного устройства Ленинградской АЭС уже выдан десятый миллиард киловатт-часов электроэнергии. Такие же реакторы строятся и на других атомных электростанциях, в частности Чернобыльской, Курской, Смоленской.

В соответствии с планом развития народного хозяйства СССР в девятой пятилетке наша страна развернула широкую программу строительства атомных электростанций, прежде всего в Европейской части СССР.

Согласно проекту ЦК КПСС к XXV съезду Коммунистической партии Советского Союза «Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы», в электроэнергетике предусматривается обеспечить в 1980 году производство 1340—1380 миллиардов киловатт-часов электроэнергии; ввести в действие мощности на электростанциях в размере 67—70 миллионов киловатт, в том числе на атомных — 13—15 миллионов киловатт. В этом документе записано: «Предусмотреть опережающее развитие атомной энергетики в Европейской части СССР. Ускорить строительство и освоение реакторов на быстрых нейтронах. Приступить к подготовительным работам по использованию атомной энергии для целей теплофикации».

Введение атомных электростанций позволяет уменьшать загрязнение внешней среды.

Сегодня во всем мире энергетические установки выбрасывают в атмосферу ежегодно 200—250 миллионов тонн золы и около 60 миллионов тонн сернистого ангидрида. В перспективе до 2000 года эти выбросы могут возрасти соответственно до 1,5 миллиарда и 400 миллионов тонн. Атомные же электростанции не нуждаются в кислороде и не засоряют атмосферу золой, серой и другими продуктами сгорания. Это наиболее «чистые» станции.

Важный вопрос: не являются ли АЭС опасными с точки зрения радиоактивности? Многолетний опыт эксплуатации Нововоронежской АЭС показал, что концентрация радиоактивных аэрозолей в атмосферном воздухе в контролируемой зоне радиусом 50 километров находится на уровне фоновых значений. Доза облучения даже в зоне АЭС не превышает 1 процента допустимой дозы, установленной для персонала станции. На АЭС исключен сброс сточных вод, загрязненных радиоактивными веществами. Эти воды проходят очистку на специальных очистных сооружениях. Радиоактивные газы и аэрозоли также подвергаются специальной очистке перед выбросом в вентиляционную трубу. Такого рода мероприятия обеспечивают благоприятные радиационные условия как на самой АЭС, так и на окружающей местности. Следует сказать, что обеспечению безопасности АЭС уделяется все большее внимание. Рост атомной энергетики требует технически совершенного и надежного решения проблемы безопасного хранения радиоактивных отходов, и в нашей стране значительный объем работ ведется с этой целью. А вести их они должны с особой тщательностью и ответственностью, здесь необходимо широкое международное сотрудничество. Эта задача успешно решается.

В СССР разработаны научно обоснованные нормы и правила ядерной и радиационной безопасности при проектировании, строительстве и эксплуатации атомных электростанций, созданы органы надзора за безопасностью АЭС.

Атомная энергетика в нашей стране развивается по пути создания крупных реакторов на тепловых нейтронах. Подавляющее большинство АЭС (более 90 процентов мощностей) введено в действие, а также строится и проектируется со сроками ввода до 1980—1990 годов на основе первоначальных разработок нашего института и под его научным руководством. Крупными сериями у нас производятся корпусные водо-водяные реакторы с электрической мощностью 440 мегаватт и создаются реакторы мощностью 1 тысяча мегаватт. Строятся серийно также уран-графитовые реакторы канального типа мощностью 1 тысяча мегаватт, и создаются реакторы этого типа мощностью 1,5—2 и более тысяч мегаватт.

Как показывают прогнозы, мировые ресурсы дешевого урана могут быть исчерпаны к концу нашего века, если не будут найдены более рациональные и экономичные методы использования ядерного топлива. Современные тепловые реакторы могут использовать не более 1—2 процентов потенциально заключенной в урановом топливе энергии. Большая часть урана оказывается в виде вещества, которое непригодно для современных реакторов на тепловых нейтронах. Это говорит о том, что данные реакторы при всей своей сегодняшней экономической целесообразности и эффективности далеко еще не исчерпывают возможностей, заложенных в ядерном горючем. И это, естественно, не может не заботить наших ученых. Решение, которое мы реализуем, — создание реакторов-размножителей на быстрых нейтронах, решающих проблему самообеспечения ядерным топливом. Создание совершенных реакторов на быстрых нейтронах, эксплуатируемых совместно с реакторами на тепловых нейтронах, повысит энерговыработку с тонны природного урана в 20—30 раз. Поэтому в «Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы» указывается на необходимость ускорения строительства и освоения реакторов на быстрых нейтронах.

Коренное повышение эффективности сжигания ядерного топлива в реакторах делает экономически выгодными те урановые ресурсы, которые сейчас не имеют промышленного значения, например, уран, растворенный в воде океанов. Возможности атомной энергетики станут практически неограниченными. Она явится величайшим благом для человечества, позволит решить целый ряд острых проблем экономики и научно-технического прогресса.

Огромные ресурсы ядерной энергетики и ограниченность запасов обычного топлива ставят перед нами задачу использования ядерной энергетики не только для производства электроэнергии, но и для экономии обычного горючего — нефти, газа, угля, в других сферах потребления — в металлургии, химии, производстве промышленного и бытового тепла и т. д.

Разумеется, в ближайшей перспективе неизбежно придется продолжать использование нефти и газа в энергетических целях. Нефтепродукты особенно трудно заменить на автономном транспорте — автомобильном и авиационном. Впоследствии, возможно, значительная часть средств транспорта будет потреблять в виде топлива водород, не загрязняющий атмосферу и централизованно получаемый, — особенно если удастся осуществить мечту теоретиков и получить достаточно устойчивый металлический водород. Получение дешевого водорода — одна из важнейших перспектив ядерной энергетики.

В запасе у человечества остается пока еще не освоенная возможность использования неограниченных термоядерных ресурсов, то есть энергии, выделяющейся при образовании более тяжелых атомных ядер из самых легких. Интересно, что само понятие термоядерной энергии возникло в связи с, казалось бы, не имеющей отношения к практике задачей — объяснением природы энергии звезд и Солнца. Однако вскоре эта астрофизическая теория была использована на Земле для создания мощнейшего оружия — термоядерной бомбы, а теперь на ее основе мы приближаемся к решению задачи вечного энергоснабжения человечества. По-видимому, появления первых объектов термоядерной энергетики на промышленной арене следует ожидать к концу нашего столетия. Это откроет перед человечеством необычайные горизонты, позволит восстанавливать ресурсы нашей планеты — как минеральные, так и органического происхождения, в частности пищевые. Ключом к решению задачи явится неограниченное энергоснабжение для извлечения минеральных ресурсов из бедных руд и наращивания производства синтетических продуктов. Ядерная и термоядерная энергетика потенциально способна решить эту задачу.

Работы в области новых видов энергии связаны с широкими фундаментальными — экспериментальными и теоретическими — исследованиями в области ядерной физики, физики твердого тела и молекулярной физики, физики плазмы, по ряду разделов химии и молекулярной биологии. Они-то и представляют предмет поисков и разработок нашего института. Кроме того, мы выполняем крупные работы прикладного характера. Большая их часть — по мере перехода из стадии научной в стадию инженерных разработок — осуществляется совместно с проектными организациями. В своих фундаментальных исследованиях мы используем уникальные установки, которые также создаются нами совместно с институтами различных отраслей промышленности и заводами. Таким образом, достижения Института атомной энергии — плод совместного труда ученых и производственников ряда научно-исследовательских организаций и предприятий. Коллективом нашего института внесен определяющий вклад в концепцию развития и обоснования структуры атомной энергетики до конца нынешнего столетия с учетом выхода сбалансированной по ядерному горючему энергетики в следующий период, длительностью в несколько столетий.

Е. ВЕЛИХОВ.

ПУТИ ТЕРМОЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Крупным достижением коллектива нашего института в девятой пятилетке явилось выполнение очередного цикла фундаментальных исследований в области физики плазмы, ведущихся с целью реализации управляемого термоядерного синтеза легких атомных ядер. Минувшим летом в нашем институте был осуществлен физический пуск крупнейшей в мире экспериментальной термоядерной установки «Токамак-10». Она предназначена для нагрева водорода до такой температуры,

которая имеет место в недрах Солнца — в десятки миллионов градусов, — и удержания нагретого вещества в течение продолжительного времени.

В нагретом до таких температур газе, состоящем из изотопов водорода, начинается так называемая термоядерная реакция, то есть слияние ядер изотопов водорода в более тяжелые ядра гелия. Этот процесс сопровождается выделением колоссальной энергии. Достаточно сказать, что при ядерном сжигании одного килограмма изотопов водорода выделяется в десять миллионов раз больше энергии, чем при сжигании одного килограмма угля.

Человечество испокон веков пользуется энергией природной термоядерной реакции, протекающей в недрах Солнца и поступающей на Землю в виде света. Овладение управляемой термоядерной реакцией в земных условиях даст человечеству новый практически неиссякаемый источник энергии.

Если в обычной атомной энергетике применяют реакции деления ядер, при которых ядро делится на части нейтронами и образуются новые нейтроны, то в термоядерной энергетике будет использоваться противоположный процесс — слияние легких ядер вместе с образованием более тяжелых ядер. В качестве топлива тут будут служить ядра изотопов водорода, в первую очередь дейтерия.

Энергии, которая содержится в них в скрытом виде, достаточно для нужд человечества в течение миллионов лет, даже при самом высоком возрастании потребности в ней.

Реакцию деления оказалось возможным осуществить потому, что нейтроны легко входят в ядра урана и вызывают их развал с освобождением громадной избыточной энергии и вылетом новых нейтронов, благодаря чему реакции продолжают.

Реакции же синтеза могут происходить только тогда, когда два ядра сближаются на расстоянии порядка 10^{-13} см. Чтобы сближение произошло, эти положительно заряженные частицы должны преодолеть взаимное электростатическое отталкивание, то есть обладать большой энергией. Это можно обеспечить, нагрев вещество до чрезвычайно высокой температуры, чтобы ядра обрели большую кинетическую энергию и смогли соединиться друг с другом, преодолевая электростатическое отталкивание.

Работы по термоядерному синтезу практически начались тогда, когда возникли первые идеи об удержании плазмы. Это было 25 лет назад. У истоков этих исследований стояли выдающиеся физики, привлеченные в эту область много талантливой молодежи. Первым тут должен быть назван академик И. В. Курчатов. Присущие ему размах и интуиция во многом определили широкий масштаб термоядерных исследований в СССР. До 1973 года эти исследования возглавлял академик Л. А. Арцимович, а школа академика М. А. Леонтовича обеспечила выработку соответствующих теоретических представлений и анализ огромного числа добытых фактов.

Советские физики-термоядерщики по праву заняли передовые позиции в мировой науке. Именно им принадлежат ключевые идеи и основополагающие опыты. В этих работах участвуют крупные коллективы ученых и инженеров Москвы, Ленинграда, Новосибирска, Харькова, Сухуми, а также ряда вузов страны. За четверть века была фактически создана новая область в физике — физика высокотемпературной плазмы, создан научный фундамент для продвижения вперед.

В нашей стране была предложена идея магнитного удержания плазмы. Если поместить плазму в сильное магнитное поле, созданное таким образом, чтобы силовые линии этого поля со всех сторон обволакивали ее, то можно получить клубок горячей плазмы, которая будет висеть в вакууме и не взаимодействовать со стенками сосуда, где она находится. После этого в течение двух десятилетий шла разработка конкретных методов осуществления подобной идеи. Ныне уже как будто проясняются контуры будущих термоядерных реакторов. «Горение» смеси дейтерия и трития будет протекать в форме либо медленного «пламени» (так называемые стационарные системы), либо повторяющихся взрывов умеренной мощ-

ности (импульсные системы). Для осуществления коротких импульсных процессов стали интенсивно использоваться новые способы очень быстрого выделения в малых объемах большого количества энергии. Я имею в виду лазеры, релятивистские электронные пучки и куммуляционный способ получения мегагауссных магнитных полей и давлений в миллионы атмосфер. Поиски в этих направлениях интенсивно развиваются. Они весьма перспективны.

Но их пока что опережают попытки создания стационарных (или квазистационарных) условий протекания реакции. Тут наиболее решительные поиски и разработки шли по так называемой программе «Токамак». Этот термин образован от сокращенного выражения «тороидальная камера в магнитном поле». Слово это впервые прозвучало со страниц советской печати и ныне стало международным, как и «спутник».

Поначалу на Западе к советской программе «Токамак» отнеслись с недоверием, а теперь работы по этой программе стали одним из главных направлений термоядерных исследований в США, Европе, Японии.

Установка типа «Токамак» устроена следующим образом. В тороидальной камере (пустом «бублике») создается плазма из впрыснутого газообразного тяжелого водорода (дейтерия) при сравнительно невысоком давлении. Эта камера надеда на ярмо трансформатора, и в ней индукционным путем создается кольцевой ток, который, ионизируя газ, образует плазму и удерживает ее от соприкосновения со стенками с помощью собственного магнитного поля. Удержание плазмы обеспечивается тем, что силовые линии магнитного поля направлены перпендикулярно току и охватывают плазменный виток. Кроме того, ток, протекая по плазме, нагревает ее.

Итак, внутри тороидальной камеры образуется кольцевой плазменный шнур, по которому идет ток. Сам по себе такой плазменный виток с электрическим током неустойчив. Чтобы он обрел устойчивость, надо придать ему необходимую жесткость. Для этого на поверхность камеры надеваются катушки, создающие большое магнитное поле, напряженность которого во много раз превышает напряженность поля, создаваемого током, а силовые линии параллельны току в плазме. Это магнитное поле придает жесткость всему плазменному шнуру с протекающим по нему током. В течение длительного времени в Институте атомной энергии коллегив ученых под руководством академика Л. А. Арцимовича занимался получением все более горячей плазмы в устройствах такого типа. Пришлось столкнуться с большим числом практических трудностей. Шаг за шагом повышались параметры плазмы — увеличивалась плотность, температура и так называемое время удержания энергии. В результате усилий многих научно-исследовательских и конструкторских организаций, заводов была создана большая установка «Токамак-10». Это был сложный и смелый проект. Проект установки разработан НИИ электрофизической аппаратуры имени Д. В. Ефремова, а изготовило ее ленинградское электромашиностроительное объединение «Электросила» имени С. М. Кирова. В разработке и изготовлении отдельных элементов установки принимали участие Харьковский электромеханический завод, «Уралэлектротяжмаш», серпуховское научно-производственное объединение «Конденсатор» и другие предприятия Министерства электротехнической промышленности, предприятия и организации Министерства электронной промышленности, Министерства энергетики и электрификации СССР и других министерств и ведомств. Проект строительства комплекса был разработан ГИПРОНИИ АН СССР, а его сооружение осуществлено Главмоспромстроем. Монтаж и наладку установки вела организация союзного монтажного треста.

С вводом в строй установки «Токамак-10» советские ученые получили мощный инструмент для исследований термоядерного синтеза. Это — еще одно свидетельство большой заботы нашей партии и правительства о развитии отечественной науки.

«Токамак-10» является последней чисто экспериментальной термоядерной установкой, завершающей долговременную программу разработок и исследований,

проводимую в Институте атомной энергии. Результаты, полученные на ней, вместе с результатами, которых мы ждем от вновь создаваемых установок за рубежом, послужат достаточной базой для создания в начале 80-х годов первого демонстрационного термоядерного реактора-токамака.

Понятием «демонстрационный» обозначают установку с полномасштабной дейтериево-тритиевой плазмой с выделением энергии, примерно равной той, что затрачивается на разогрев газа до температуры «горения». Это будет рубеж перехода от этапа физических исследований к этапу технологическому. Чтобы достичь его, ученым и инженерам предстоит еще немало чисто технических трудностей, причем гораздо больших, чем те, которые пришлось преодолеть физикам и инженерам, создавшим первые атомные электростанции. Например, сверхмощная электромагнитная система будущего реактора должна быть сверхпроводящей. Она может быть создана на основе существующих сверхпроводников; но если будут открыты новые сверхпроводники, способные работать при более высоких температурах, то задача значительно упростится.

Необходимо решить и ряд других технических и технологических проблем: создать соответствующие материалы стенки реактора, выдерживающие огромные тепловые и нейтронные потоки; найти способы приготовления и восстановления горючего — дейтериево-тритиевой смеси, освоить очистку реагирующей высокотемпературной плазмы от примесей тяжелых элементов, отработать все конструктивные узлы и технологические системы на длительный (до десятка лет) ресурс работы и т. д.

Термоядерный реактор будет одним из самых «чистых» энергетических аппаратов: он не будет выделять в окружающую среду продукты сгорания; в нем не будут нарабатываться долгоживущие радиоактивные осколки, как в атомном реакторе, а наведенная нейтронами активность в стенках, во-первых, будет меньше, чем активность продуктов деления, и, во-вторых, будет зависеть от выбора материала стенки реактора. По всей вероятности, это будет самый безопасный для человека и природы объект. Он не потребует решения сколько-нибудь сложных проблем транспортировки топлива.

Пока еще ни в одном из экспериментов не получена полномасштабная термоядерная реакция, но на повестку дня уже поставлено проектирование испытательных или демонстрационных термоядерных реакторов, уже подготовлено несколько эскизных проектов крупных термоядерных установок на основе токамаков, имеющих масштаб испытательного реактора. Согласно проекту демонстрационного реактора «Токамак-20», это будет наиболее крупная установка данного типа. Предполагается, что ток в ней будет достигать 5—6 миллионов ампер, а объем плазмы — 400 кубических метров. Установка позволит длительно работать с дейтериево-тритиевой реакцией и детально изучить поведение материалов в мощном потоке нейтронов. Так что, помимо чисто научных проблем изучения процессов в реагирующей плазме, можно будет решать и многие технологические вопросы. Спустя примерно пять лет после создания этой установки можно будет ставить вопрос о создании энергетического термоядерного реактора, а может быть, даже и термоядерной электростанции. Во всяком случае, до конца столетия она появится.

Поиски путей управляемого термоядерного синтеза вступают в новую фазу. Судя по темпам их развития, можно ожидать решения этой проблемы на физическом уровне в течение ближайших пяти-шести лет. А это значит, что уже сейчас должны быть заложены основы для перехода к следующему, не менее сложному и ответственному этапу — инженерно-технологическому. Тогда можно будет определить на конец века место термоядерной энергетики и ее роль в общем энергетическом балансе нашей страны.