

К новым успехам мирного атома

И. Д. Морозов

*Первый заместитель председателя Государственного комитета
по использованию атомной энергии СССР*

В конце августа — начале сентября 1964 г. в Женеве состоялась Третья международная конференция по мирному использованию атомной энергии. Хорошая традиция подведения итогов мирного использования атомной энергии имеет большое значение для сотрудничества ученых всех стран, для оздоровления международной обстановки, для дела мира во всем мире.

События двух последних лет создали еще более благоприятные условия для международного сотрудничества в мирном применении атомной энергии. К этим событиям относится прежде всего подписание 5 августа 1963 г. Московского договора о запрещении испытаний ядерного оружия в трех средах.

Заявление трех ядерных держав — Советского Союза, Соединенных Штатов Америки и Великобритании — о сокращении производства расщепляющихся материалов для военных целей создало исключительные возможности для обращения грозных сил атома на благо людей.

20 апреля этого года Председатель Совета Министров СССР товарищ Н. С. Хрущев заявил от имени Советского правительства о направлении освобождающихся от военного назначения «расщепляющихся материалов для использования в мирных целях — в атомных электростанциях, в промышленности, сельском хозяйстве, в медицине, в осуществлении крупных научно-технических проектов, в том числе в области опреснения морской воды».

Советская атомная наука и техника пришла к Третьей женевской конференции с хорошими достижениями. Прежде всего это относится к ядерной энергетике. Как известно, советская

энергетика является фундаментом развития производительных сил нашего государства. Повышение производительности труда, лежащей в основе создания материально-технической базы коммунистического общества, — это прежде всего повышение энерговооруженности нашего народного хозяйства.

Электрификация страны есть «...основа основ развития народного хозяйства. Электрифицировать всю страну — это значит дать могучую энергию новому обществу, ускорить развитие его производительных сил», — говорит товарищ Н. С. Хрущев.

Советская энергетика развивается исключительно высокими темпами. За 23 года, с 1940 по 1963 г., выработка электроэнергии в СССР возросла с 48 до 412 млрд. *квт·ч*. Ежегодный прирост производства электроэнергии в нашей стране составляет 10%.

В 1965 г. в СССР будет произведено 520 млрд. *квт·ч*. К 1970 г. эта цифра должна быть почти удвоена, а в 1980 г. она должна достичь 2700—3000 млрд. *квт·ч*. Совершенно очевидна грандиозность задач, стоящих перед энергетикой.

Наша страна богата запасами угля, нефти, газа, гидроресурсами. Нам не угрожает энергетический голод из-за отсутствия природных ресурсов энергии. Однако распределение этих ресурсов по территории нашей страны не совсем равномерно, в связи с чем возникает проблема транспортировки их в наиболее развитые районы страны. Как транспортировка природного топлива, так и передача электроэнергии на большие расстояния являются дорогостоящими, а последнее, кроме того, технически трудно осуществимо.

Атомные электростанции не связаны географией месторождений природного топлива или гидроресурсов и с этой точки зрения находятся вне конкуренции. Однако какие бы факторы ни принимались в расчет, главным и определяющим являются себестоимость 1 *квт·ч* электроэнергии, вырабатываемой той или иной электростанцией, и стоимость установленного киловатта.

Для Европейской части СССР, где природные ресурсы в значительной степени освоены или истощены, становится совершенно реальной постановка вопроса о широком внедрении ядерной энергетики. Атомные электростанции в этой части страны становятся конкурентоспособными по сравнению с современными тепловыми электростанциями при электрической мощности реакторов 600—1000 тыс. *квт*. При этом, хотя удельные капиталовложения в АЭС и остаются несколько большими, чем в тепловые станции, стоимость электроэнергии АЭС за счет меньшей топливной составляющей не превысит стоимости электроэнергии, вырабатываемой тепловыми электростанциями такой же мощности.

Какие же атомные станции следует строить? На этот вопрос прежде всего должны ответить расчеты и эксперименты, проводимые в наших научно-исследовательских организациях, а также опыт проектирования, строительства и эксплуатации АЭС. В нашей стране к концу этого года будут работать АЭС установленной электрической мощностью около 900 тыс. *квт*.

Советский Союз является пионером ядерной энергетики. Первая в мире атомная электростанция мощностью 5000 *квт*, десятилетие которой мы отмечаем в этом году, явилась прототипом более мощной Белоярской атомной электростанции им. И. В. Курчатова. Первый блок этой станции мощностью 100 тыс. *квт* был введен в эксплуатацию в этом году.

Конструктивная особенность реактора первого блока Белоярской атомной электростанции (БАЭС) — отсутствие прочноплотного корпуса и канальной постройки. Особенность схемы БАЭС — ядерный перегрев пара, впервые в мире осуществленный в промышленном масштабе на первом блоке этой станции.

Схема БАЭС позволяет сочетать преимущества ядерной энергетики с современными достижениями тепловой энергетики. Так, за счет получения высоких параметров пара с температурой 480—500° С и давлением 90 *атм* к. п. д. станции достигнет 35%. В энергетическом «хвосте» реактора используется серийное

оборудование, выпускаемое нашей промышленностью (турбины, генератор и др.).

Первый блок БАЭС двухконтурный. Пар, полученный за счет кипения воды в каналах первого контура реактора, поступает в испаритель, где своим теплом испаряет воду второго контура, пар которой поступает в пароперегревательные каналы реактора, а затем на турбину.

Дальнейшим развитием этой схемы является сооружаемый второй блок БАЭС мощностью 200 тыс. *квт*. Во втором блоке применена одноконтурная схема при сохранении канальной конструкции. Пар из испарительных каналов поступит в пароперегревательные каналы реактора, из которых будет направляться в две турбины, аналогичные турбине первого блока.

Опыт эксплуатации первого блока подтвердил техническую обоснованность такого упрощения схемы для второго блока БАЭС. В этом году закончится монтаж реактора этого блока, а в конце 1965 г. будет осуществлен его физический пуск.

Реакторы Белоярской АЭС, являющиеся хорошим образцом для серийного производства, могут получить дальнейшее развитие в ядерной энергетике и весьма перспективны среди реакторов на тепловых нейтронах. Простота их конструкции, заключающаяся в отсутствии прочноплотного корпуса, позволяет в короткие сроки изготавливать и монтировать реакторы такого типа.

Можно ли на реакторе белоярского типа достичь мощности, обеспечивающей конкурентоспособность АЭС по сравнению с современной тепловой электростанцией? Как показывают проработки этого вопроса в научно-исследовательских организациях Государственного комитета по использованию атомной энергии СССР, эта задача может быть решена на основе использования современных сверхкритических параметров пара давлением 250 *атм* и температурой 535—565° С, что позволит поднять к. п. д. АЭС выше 40%. При этом реактор белоярского типа электрической мощностью 600—800 тыс. *квт* по габаритам не будет заметно отличаться от реактора второго блока БАЭС.

Естественно, что повышение электрической, а следовательно, и тепловой мощностей реактора ведет к увеличению единичной мощности рабочих каналов и вызывает необходимость создания более современных конструкций рабочих каналов и технологического оборудования. Переход на сверхкритические параметры пара в реакторе белоярского типа, кроме того,

потребуется разработки схем, обеспечивающих промежуточный перегрев пара.

В настоящее время находится в пусковой стадии первый блок Ново-Воронежской АЭС электрической мощностью 200 тыс. *квт*. Реактор этой станции с водой под давлением. Реакторы такого типа успешно эксплуатируются на атомном ледоколе «Ленин».

Сравнительно невысокие параметры пара, получаемого за счет тепла реактора, облегчают работу оборудования, и станция в связи с этим обладает высокой надежностью. Электрическая мощность второго сооружаемого на этой станции блока с реактором такого же типа составит 365 тыс. *квт*. С пуском второго блока Ново-Воронежская АЭС достигнет мощности 575 тыс. *квт*, а стоимость электроэнергии, вырабатываемой этой станцией, значительно приблизится к стоимости электроэнергии в этом районе.

Описанные два типа реакторов хорошо освоены в нашей стране и могут служить основой для строительства АЭС с использованием реакторов на тепловых нейтронах. Увеличение единичной мощности таких реакторов при увеличении средней глубины выгорания ядерного горючего до 30 000—40 000 *Мвт·сутки/т*, безусловно, позволит получать от АЭС дешевую электроэнергию.

Следует иметь в виду, что строительство АЭС с реакторами на тепловых нейтронах поможет решить задачи энергоснабжения в сравнительно ограниченном масштабе, который определяется количеством U^{235} , имеющимся в нашем распоряжении. Если использовать все запасы U^{235} , имеющегося в природе, то это по энергии будет примерно эквивалентно запасам обычного топлива на Земле.

Таким образом, так же как и при исчерпании запасов обычного топлива, при исчерпании запасов U^{235} возникнет проблема дальнейшего обеспечения энергетики горючим.

Реакторы на быстрых нейтронах позволяют увеличить в 100 раз ядерные энергетические ресурсы за счет использования наряду с U^{235} и плутонием U^{238} и Th^{232} .

Пятидесятая безаварийная работа в Физико-энергетическом институте Государственного комитета по использованию атомной энергии СССР реактора на быстрых нейтронах БР-5 с натриевым охлаждением тепловой мощностью 5000 *квт*, большой комплекс проектно-конструкторских, расчетно-теоретических исследований и экспериментов позволили принять решение о строительстве быстрых реакторов

с натриевым теплоносителем электрической мощностью ~ 300 тыс. *квт*. В частности, крупная атомная станция на базе реактора на быстрых нейтронах строится в районе Каспийского моря. Коэффициент воспроизводства в этом реакторе при работе на U^{235} будет равен 1,1 и достигнет 1,5 при переходе в режим работы размножителя на плутонии.

Дальнейшим развитием такого реактора могут явиться быстрые реакторы электрической мощностью 600 тыс. и 1000 тыс. *квт*. Увеличение мощности реактора при интенсификации теплосъема в активной зоне, увеличении температуры натрия на выходе из реактора и глубины выгорания должно обеспечить получение экономичной электроэнергии.

Нет сомнений, что быстрые реакторы явятся основой большой ядерной энергетики СССР.

Наряду с крупными атомными станциями в нашей стране ведутся большие работы по созданию АЭС малой и средней мощности. Эти станции должны заменить малоэкономичные дизельные, паротурбинные и локомотивные энергоустановки в отдаленных районах Советского Союза.

Для этих целей используются водо-графитовые, водо-водяные, органо-органические и другие реакторы. В течение последних трех лет создано и успешно эксплуатируется несколько таких станций. Так, в середине 1963 г. была пущена атомная электростанция «Арбус» с органо-органическим реактором. Мощность станции 750 *квт*. Следует отметить, что это первая в мире установка такого типа.

Успешно эксплуатируется экспериментальный образец передвижной атомной электростанции ТЭС-3 на гусеничных самоходах. Электрическая мощность станции 1500 *квт*.

Проектируются АЭС с реакторами канального типа электрической мощностью 12 000—25 000 *квт*. С такими реакторами могут быть построены станции в северо-восточных районах страны. Станция может состоять из нескольких блоков и по мере увеличения потребления электроэнергии может расширяться за счет пристройки стандартного блока реактор—турбина.

Широкое применение атомные энергетические установки находят на судах. Весьма эффективно использование атомной энергии в ледокольном флоте. Суровый климат Арктики, короткие периоды доступности отдельных районов Северного Ледовитого океана, отсутствие баз с топливом создают большие трудности в освоении обширных районов Крайнего

Севера и северо-востока нашей страны. Первое в мире гражданское атомное судно — ледокол «Ленин» — позволит преодолеть указанные выше трудности.

Атомная энергетическая установка ледокола состоит из трех реакторов водо-водяного типа. Тепловая мощность каждого реактора 90 тыс. квт. Мощность всех установок 44 000 л. с. на валу.

Атомный ледокол «Ленин» продемонстрировал практически неограниченную автономность плавания, выполняя любые поставленные перед ним задачи по проводке судов через льды Арктики. Атомоход увеличил срок навигации по Северному морскому пути на полтора—два месяца. В настоящее время он проводит свою пятую навигацию. Загрузка ядерного горючего в реакторах ледокола достаточна для его трехлетней работы.

Наряду с развитием ядерной энергетики большое распространение в различных отраслях народного хозяйства получило применение разных видов ионизирующих излучений. Сегодня более чем на 3000 заводов, институтов и лечебных учреждений нашей страны нашли применение источники ионизирующих излучений. Первенство, как и ранее, остается за радиоактивными изотопами.

В настоящее время в нашей стране производится около 250 видов радиоактивных источников и свыше 1000 их различных соединений.

Широкое применение в научных исследованиях и разработке эффективных технологических процессов получили меченые атомы.

Радиоизотопные приборы нашли широкое распространение в самых различных отраслях народного хозяйства. Особенность эффективного применения радиоактивных изотопов — быстрая, в течение нескольких месяцев, окупаемость затрат.

Радиоизотопные приборы позволяют осуществлять комплексную автоматизацию технологических процессов, особенно в таких производствах, как химическое. Радиоактивные изотопы и ядерные излучения широко внедряются в медицину для диагностики и лечения различных заболеваний. С их помощью проводятся различные исследования. В нашей стране радиоактивные изотопы применяют более 350 медицинских учреждений; на вооружении клиник и научно-исследовательских институтов имеется более 50 наименований различных меченых радиоизотопных соединений.

Советские ученые ведут интенсивные исследования по применению радиоактивных изотопов

и ядерных излучений в биологии и сельском хозяйстве с целью повышения урожайности и сохранения пищевых продуктов во время хранения.

Проверкой в производственных условиях установлено, что применение γ -излучений в сочетании с высокой агротехникой может служить эффективным методом повышения урожайности зерновых, технических и овощных культур и улучшения полезных качеств сельскохозяйственных продуктов. В частности, это относится к кукурузе, выращиваемой на силос. Опыты в различные годы и в разных районах страны по γ -облучению семян кукурузы, выращиваемой на силос, показали, что оно в определенных условиях дает прибавку урожая зеленой массы до 30%. При этом в кормовой массе увеличивается содержание каротина, белков, витамина С и жиров.

Радиоизотопные источники тока мощностью до 100 вт весьма эффективны в радиометеорологии, где станции, использующие в качестве источников тока химические батареи, во многом уступают станциям с изотопными источниками тока. Это особенно важно для метеостанций, расположенных в труднодоступных и малонаселенных районах нашей страны. Накопленный в этом отношении опыт позволяет решить в нашей стране задачу массового оснащения радиометеостанций изотопными источниками тока с использованием в качестве источников тепла изотопов Ce^{144} и Sr^{90} .

Применение ионизирующих излучений во многих направлениях химии позволяет интенсифицировать технологические процессы, получить материалы с новыми качествами, упростить и удешевить производство химических продуктов.

Как показали проведенные исследования, применение излучений позволяет во многих случаях осуществлять процесс при значительно меньших по сравнению с обычными методами давлении и температуре, повышает скорость реакции и выход готовой продукции, уменьшает взрывоопасность, резко улучшает свойства материалов — термостойкость, морозостойкость, прочность, влагуустойчивость, огнеустойчивость, коррозионную стойкость и т. д.

Новое направление химии — радиационная химия — переживает еще пору младенчества, но нет сомнений, что за ней большое будущее. На ее вооружение поступают мощные источники ионизирующих излучений — ядерные реакторы, ускорители, изотопные источники с высокой удельной активностью и ряд других.

Особое место в работе советских ученых и инженеров занимает проблема непосредственного преобразования ядерной энергии в электрическую. К этим работам прежде всего относятся исследования и конструкторско-технологические разработки термоэлектрического, термоэмиссионного и магнитогидродинамических методов преобразования. Важность решения этой проблемы очевидна и не требует объяснения. Достаточно указать на то, что проблемы длительных космических путешествий едва ли будут решены без использования в качестве источников энергии ядерно-энергетических установок. В то же время требования к надежности источников тока в космосе и компактности их конструкции могут быть удовлетворены с помощью непосредственного преобразования ядерной энергии в электрическую. Решение этой проблемы сулит огромные преимущества и в «земных» делах.

По всем указанным направлениям в Советском Союзе успешно проводится большой комплекс работ. Пуск на мощность реакторно-термоэлектрической установки «Ромашка» в Институте атомной энергии Государственного комитета по использованию атомной энергии СССР, осуществленный в августе этого года, является подтверждением этих работ. Реактор установки «Ромашка» с активной зоной из высокообогащенного дикарида U^{235} работает с температурой на поверхности твэлов более $1100^{\circ}C$. В качестве преобразователя используются кремний-германиевые полупроводниковые элементы. Насколько известно, это первый в мире высокотемпературный ядерный реактор-преобразователь, достигший мощности нескольких сот ватт.

Решение проблем, связанных с ядерной энергетикой во всех ее направлениях, требует проведения большого комплекса исследований. В нашей стране обращается большое внимание на создание и расширение научно-технической экспериментальной базы. Мы располагаем многими научно-исследовательскими и проектно-конструкторскими организациями, специалистами-атомниками, способными решать самые сложные научно-технические и инженерные задачи.

За последние два года вступил в строй действующих новый научно-исследовательский центр атомных реакторов в Мелекесе (вблизи Ульяновска). Здесь, в частности, действует реактор СМ-2 с самым мощным в мире потоком быстрых ($3 \cdot 10^{15}$ нейтр/см²·сек) и тепловых ($1,5 \cdot 10^{15}$ нейтр/см²·сек) нейтронов. Этот реак-

тор предназначен для физических, металлургических исследований и получения трансплутониевых элементов. Он имеет пять горизонтальных, один наклонный и 18 вертикальных каналов.

В Мелекесе сооружается и другой материалловедческий исследовательский реактор МИР с мощным потоком нейтронов и большим количеством устройств для проведения экспериментов. Мелекесский центр оборудован первоклассной металлургической техникой. В распоряжении исследователей находится не имеющая себе равных в Европе и одна из крупнейших в мире «горячая» лаборатория. Здесь же заканчивается сооружение энергетического реактора ВК-50, предназначенного для проведения исследований кипения в реакторе.

Реактор ВК-50 — это источник тепла атомной электростанции электрической мощностью 50 тыс. квт с естественной циркуляцией и непосредственной подачей пара в турбины.

В нашей стране ученые располагают такими уникальными реакторами, как графитовый реактор ИГР с мгновенной мощностью 100 000 квт и потоком нейтронов в режиме вспышки 10^{18} нейтр/см²·сек и импульсный реактор на быстрых нейтронах ИБР с интенсивностью нейтронов в максимуме импульса $1,3 \cdot 10^{18}$ нейтр/сек. В этом реакторе активная зона состоит из плутониевых стержней и диска с вкладышем из U^{235} , вращающегося со скоростью 5000 об/мин.

Наши научно-исследовательские организации оснащены специализированными реакторами для проведения на них исследований в разных направлениях.

Если говорить о перспективах ядерной энергетике, то нельзя не говорить о такой проблеме, как проблема управляемого термоядерного синтеза. С решением ее человечество получит практически неограниченные запасы энергии. Путем синтеза изотопа водорода — дейтерия, содержащегося в обычной воде, при температурах в сотни миллионов градусов и достаточной плотности вещества может быть осуществлена управляемая термоядерная реакция с большим выделением энергии. Эта необычайно важная и вместе с тем очень трудная проблема привлекает серьезное внимание ученых многих стран мира.

Проблема управляемого термоядерного синтеза может служить наиболее ярким примером глубокой связи прикладных и фундаментальных исследований. Конечная цель при решении этой проблемы — создание термоядер-

ного реактора. При этом успех в значительной степени определяется прогрессом в области теоретического и экспериментального изучения свойств горячей плазмы.

Несмотря на то что физики далеки еще от полного решения проблемы управляемого термоядерного синтеза, в самое последнее время советским ученым удалось достигнуть в этом направлении весьма существенных результатов.

В Советском Союзе наряду с другими типами термоядерных установок создано много видов так называемых магнитных ловушек, отличающихся одна от другой способами создания плазмы и конфигурациями магнитных полей. Долгое время не удавалось найти способ борьбы с неустойчивостью плазмы. В результате трудов теоретиков и экспериментаторов постепенно начали выясняться принципы построения установок, в которых можно было бы создавать устойчивую плазму. В частности, наши ученые пришли к выводу, что необходимо построить такие установки, магнитное поле которых возрастало бы во все стороны. После того как было создано такое поле, удалось наконец добиться устойчивого удержания плазмы с температурой в десятки миллионов градусов. Это было достигнуто в 1961 г. Первый опыт не был достаточно убедителен. В 1962 г. в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова была построена более совершенная установка ПР-5 с возрастающим во все стороны магнитным полем.

Опыты, проведенные на этой установке, дали весьма обнадеживающие результаты. Удалось получить плазму с температурой около 40 млн. градусов и плотностью 10 млрд. частиц в 1 см^3 . При этом плазма не обнаруживает обычных видов неустойчивостей, которые считались неустраняемыми. Она сохраняется в течение сотых долей секунды, т. е. в тысячи раз дольше, чем раньше.

Полученные результаты явились крупным успехом на пути покорения плазмы и дали ученым надежду, что проблема удержания плазмы в магнитном поле, т. е. создания устойчивой, а следовательно, долгоживущей плазмы, может быть решена.

Многие результаты проводящейся в настоящее время интенсивной работы по высокотемпературной плазме уже плодотворно применяются в других областях науки. Например, значительно яснее стала проблема магнитогидродинамических генераторов, в которых используется низкотемпературная плазма. В некотором отношении такая плазма более сложна

по составу, поскольку в ней в отличие от высокотемпературной плазмы помимо заряженных ионов и электронов имеются еще и нейтральные частицы. И тем не менее общие результаты, полученные при исследовании высокотемпературной плазмы, позволили более детально разобраться в поведении низкотемпературной плазмы.

Благодаря тому, что понята многие детали поведения электрически заряженного вещества в магнитном поле, созданы условия для дальнейших успехов в мирном использовании термоядерной реакции.

Почти 10 лет Советский Союз сотрудничает с другими государствами в области ядерной физики и использования атомной энергии в мирных целях. За это время наша страна заключила и подписала более 30 двухсторонних межправительственных соглашений с Афганистаном, Болгарией, Канадой, Чехословакией, КНР, Францией, ГДР, Ганой, Венгрией, Индией, Индонезией, Ираком, КНДР, Польшей, Румынией, Объединенной Арабской Республикой, Великобританией, США и другими.

Осуществляются различные формы сотрудничества, в частности:

- 1) оказание технической помощи в сооружении исследовательских ядерных реакторов, ускорителей, радиохимических лабораторий, на базе которых создаются национальные научно-исследовательские атомные центры, готовятся национальные кадры для эксплуатации указанных ядерных установок и проведения на них научно-исследовательских работ;
- 2) оказание технической помощи в строительстве атомных электростанций;
- 3) совместная разработка отдельных научных проблем, приборов, оборудования и защитной техники;
- 4) совместное рассмотрение и обсуждение планов научных и практических работ по использованию атомной энергии в мирных целях;
- 5) обмен опытом по производству радиоактивных изотопов и излучателей и методам их применения.

Из Советского Союза в различные страны поставлено много сложного уникального оборудования, приборов и специальных материалов для атомных установок. Характерной особенностью этих поставок является то, что наша страна осуществляет их без предъявления каких-либо политических, экономических и иных условий. Это в полной мере относится и к поставкам расщепляющихся материалов для проведения научно-исследовательских работ, а

также комплектов твэлов для исследовательских реакторов.

С 1957 г. с помощью Советского Союза в различных странах сооружено и введено в эксплуатацию девять ядерных реакторов, шесть циклотронов, семь радиохимических и физических лабораторий, электростатический генератор и подкритическая сборка. На базе этих установок в таких странах, как Румыния, Чехословакия, Польша, Венгрия, Болгария, ГДР, КНР, Югославия и ОАР, созданы национальные научно-исследовательские атомные центры.

Советский Союз принимает активное участие в работе Международного агентства по

атомной энергии, в проводящихся им конференциях, симпозиумах, семинарах и совещаниях по различным проблемам атомной науки и техники и аспектам их развития.

В 1963 г. представители СССР приняли участие во всех мероприятиях МАГАТЭ по вопросам разработки и эксплуатации реакторов.

Третья международная конференция по мирному использованию атомной энергии укрепила связи и сотрудничество между учеными и специалистами всех стран, взаимно обогатила их опытом в благородном деле мирного использования атомной энергии, способствовала улучшению международной обстановки.



РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф. Скорины