

8. При ссылках на статью в сборнике название статьи отделяется от названия сборника двумя наклонными. Имя редактора или составителя сборника указывается после его названия через одну наклонную, после чего указываются номера страниц, где находится цитируемая статья.

Например:

Полак Л. С. Об одной проблеме аналитической механики Лагранжа // Из истории французской науки / Под ред. Б. Г. Кузнецова, А. Т. Григорьяна. М.: Изд-во АН СССР, 1960. С. 85–115.

9. При ссылках на статью из периодического издания указывается год издания, затем том (или выпуск), номер и страницы, на которых размещается статья.

Например:

Neal, K. Mathematics and empire, navigation and exploration: Henry Biggs and the Northwest Passage voyages of 1631 // Isis. 2003. Vol. 93. P. 435–453.

10. При повторных ссылках указывается только фамилия автора, произвольным образом сокращенное название работы и номер страницы, где находится цитируемое место.

Например:

Полак. Об одной проблеме... С. 98.

11. Описание рукописных материалов должно содержать точное название архива и идентификационную информацию, принятую в данном архиве.

Например:

Hoover Institution Archives. Karl Popper collection. Box 352. Folder 17.

12. Представляя рукописи и иллюстрации в редакцию ВИЕТ, авторы автоматически передают редакции право воспроизводить полностью или частично на своем сайте в Интернете и использовать в электронных публикациях те произведения и иллюстрации, которые были опубликованы в журнале.

По решению Президиума Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации от 10, 17 и 24 января 2003 г. журнал «ВИЕТ» включен в «Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук».

Авторы опубликованных статей несут ответственность за патентную чистоту, достоверность и точность приведенных фактов, цитат, экономико-статистических данных, собственных имен, географических названий и прочих сведений, а также за разглашение данных, не подлежащих открытой публикации.

Мнение авторов не всегда отражает позицию журнала.

При перепечатке, переводе на иностранные языки, а также при ином использовании оригинальных материалов журнала ссылка на ВИЕТ обязательна.

100 лет со дня рождения А. П. Александрова

ВЫСТУПЛЕНИЕ ПРЕЗИДЕНТА АКАДЕМИИ НАУК СССР АКАДЕМИКА А. П. АЛЕКСАНДРОВА В ИНСТИТУТЕ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АН УССР 19 МАЯ 1978 ГОДА

От редакции

Текст этого выступления ни разу не был опубликован. Ни сразу после того, как оно состоялось, ни позднее. Сначала речь Александрова показалась слишком смелой, а потом про нее просто забыли. Не так давно редакции передали ее текст из Архива РАН. Мы обратились к двум ведущим физикам-энергетикам, В. А. Сидоренко и В. В. Орлову, с просьбой его прокомментировать, они любезно согласились. И вот теперь, в дни, когда отмечается 100-летний юбилей нашего крупного ученого, мы публикуем его выступление полностью, без купюр, сопровождая комментариями.

Товарищи, я хочу остановиться на вопросах, связанных с развитием атомной энергетики и энергетики в целом, а также на той ситуации, которая сейчас складывается в мире и в нашей стране в этом вопросе. Как вы знаете, за последние годы возникла довольно сложная ситуация с использованием нефти. Несмотря на то что давно стало ясно, что нефтяные ресурсы не бесконечны, в последнее время во всем мире шла перестройка топливно-энергетического баланса в пользу увеличения использования нефти и газа. Если лет 50 тому назад больше половины энергопотребления покрывалось за счет угля, то за последнее время потребление угля во всем мире относительно снижалось, и к сегодняшнему дню за счет нефти и газа покрывается в мире в целом около 75 % топливного баланса. В разных странах это происходит неравномерно.

В США около половины нефти и газа импортируется в основном из стран Ближнего Востока. В нашей стране в настоящее время примерно 70 % топливно-энергетического баланса покрывается за счет нефти и газа. Правда, у нас этот процесс шел несколько иначе, чем в США. В нашей стране рост потребления нефти и газа происходил относительно быстрее, но в то же время росло и потребление угля. Сейчас за счет угля покрывается около 30 % нашего энергобаланса, и за счет нефти и газа остальные 70 %. Можно пока не говорить об атомной энергетике и гидроэнергетике, поскольку сейчас это мелкие статьи топливного баланса.

В последние годы энергетическая ситуация во всем мире начала очень сильно обостряться, так как выяснилось, что существующее направление развития мировой энергетики далее невозможно. С одной стороны, страны Ближнего Востока поняли, что нефтяные ресурсы не бесконечны. И в связи с политическими осложнениями на Ближнем Востоке были предприняты

действия со стороны стран — производителей нефти, направленные на подъем цены на нефть. Вот это увеличение стоимости нефти и рассматривалось все последние годы как энергетический кризис на Западе. Практически же поставка нефти сокращена не была. Например, в США разница в количестве закупленной нефти до кризиса, во время кризиса и после кризиса составляла всего лишь 2–3%. Однако существенно поднялась ее стоимость, и этот подъем стоимости нефти и стали называть «энергетический кризис».

Из этого вытекло много любопытных последствий. Прежде всего, повысилась стоимость всех видов продукции западного мира, особенно в США. При этом многие американские предметы традиционного экспорта потеряли конкурентоспособность на всех внешних рынках. Это сразу привело к сокращению производства во многих отраслях промышленности и к резкому увеличению безработицы в стране. А это, в свою очередь, вызвало важные политические и внутриэкономические последствия. Создалась сложная ситуация с внутренней нефтедобычей в США.

Дело в том, что повышение цен на нефть, импортируемую владельцами нефтяных месторождений в США, было сразу воспринято как сигнал к тому, чтобы поднять цены и на нефть отечественного производства. Законодательно это было запрещено в США; создалась двойная система цен на нефть, причем только для новых отечественных месторождений было дано разрешение получать нефть и продавать ее по ценам импортируемой нефти. Это было сделано для того, чтобы расширить нефтедобычу в США. Однако и до сих пор эти цены не стали устойчивыми.

Очень интересная ситуация создалась с другими энергетическими источниками, прежде всего с углем. В США очень большие запасы угля. Их может хватить по крайней мере на две сотни лет для обеспечения всех энергетических нужд с учетом просто потребления, развития промышленности и других отраслей хозяйства. Но не так просто в существующей в США системе хозяйства перевести энергетику на потребление угля и таким образом вытеснить импортируемую нефть. Прежде всего в США было упущено время. Сейчас это уже сделать просто невозможно, так как для перестройки существующих энергопотребляющих предприятий (электростанций, заводов) с потребления нефти на потребление угля требуются огромные капиталовложения, которые совершенно не под силу даже американской промышленности, несмотря на ее колоссальный масштаб. В прошлом году американцы заплатили за импортируемую нефть 45 млрд долларов. Это такая сумма, которую они не могут себе позволить увеличить по крайней мере в течение 5–7 лет. В противном случае это приведет к краху их финансовой системы. США пошли на то, чтобы каким-то способом сделать свои товары более конкурентоспособными, пошли на большой рост инфляции. А это приводит к тому, что, с одной стороны, население вкладывает свой труд в производство товаров за более дешевые реальные средства, за более дешевую реальную компенсацию, что уменьшает реальную стоимость товаров. С другой стороны, обесцениваются те доллары, которые имеются за рубежом. Например, в нашем Государственном банке. Мы от этого теряем, американцы от этого ничего не теряют. Однако существующая инфляция все же не дает возможности компенсировать тот

платежный дефицит из-за высокой стоимости нефти, которая сейчас образовалась. В этом состоит первая, чисто экономическая, трудность.

Вторая трудность заключается в том, что реальные запасы нефти на Ближнем Востоке и в США действительно уже невелики. Существуют разные оценки по этому поводу. Конечно, не будет такого положения, что была нефть, а потом вдруг исчерпалась, и все прекратилось. Просто нефть все время будет дорожать. Будут разрабатываться более мелкие месторождения, различные битуминозные сланцы, нефтесодержащие песчаники и так далее. Такой нефти еще довольно много, но она очень дорога, и ее нельзя применять, например, для энергетических целей. Ее придется, по-видимому, сохранять для того, чтобы использовать как сырье в химической промышленности, для многочисленных отраслей этой промышленности, использовать как сырье при получении белка микробиологическим путем, кормового, а, вероятно, в близком будущем и пищевого белка.

Надо сказать, что оценка того, как можно прокормить население земного шара, допустим, к 2000 году, показывает, что это невозможно сделать с помощью тех мер по развитию сельского хозяйства, которые сейчас применяются в мире. Примерно 600–800 млн человек должны будут погибнуть от голода из-за большого дефицита продуктов питания. Это, конечно, цифра огромная, хотя и не означает, что обязательно 800 млн умрут. Это значит, что очень многие будут в состоянии острого недоедания.

Несомненно, все это приведет к удорожанию нефти и природного газа и заставит так или иначе перестраивать топливо-энергетический баланс. И первое направление этой перестройки — это, конечно, более широкое использование угля, причем не только как топлива, но и как сырья, с помощью которого можно будет получать углеводороды, жидкое и газообразное топливо. Например, разлагая воду при высокой температуре на угле с CO_2 , можно получить CO и водород. Таким же образом можно получать и разные углеводороды. Об этих процессах были публикации, и, вероятно, это направление получит большое развитие.

Вторая сторона дела — широкое развитие атомной энергетики.

За последнее время в развитии атомной энергетики в мире не было устойчивости. Во многих странах, в том числе в США, были бурные протесты против развития атомной энергетики, вплоть до того, что в ряде штатов производилось голосование, строить ли там атомные станции. В Швеции в свое время пало правительство, потому что оно ориентировалось на серьезное развитие у себя атомной энергетики, а шведская общественность была против. Надо сказать, что в таком очень остром состоянии находятся практически все европейские страны.

В Европе есть только две страны — Англия и Норвегия, у которых имеются крупные месторождения нефти в Северном море. Эти месторождения, может быть, на два десятка лет могут обеспечить эти страны топливными ресурсами. Что касается других стран, то там наступление такого отчаянного дефицита в нефти исчисляется сроками 12–15 лет, то есть еще мы сами можем попасть в такую тяжелую ситуацию.

Какая же ситуация с углем и нефтью в нашей стране? Надо сказать, что

у нас она гораздо более благоприятная. Вероятно, по той причине, что мы занимаем 1/6 часть мира, у нас очень большие топливные ресурсы, в частности, имеются огромные месторождения угля: Экибастузский бассейн, Канско-Ачинский бассейн, Кузнецкий бассейн. Причем Канско-Ачинский и Экибастузский бассейны — это поверхностные месторождения, где уголь может добываться открытым способом, и это наиболее дешевое топливо в мире. Но этот уголь расположен далеко от места потребления топливных ресурсов нашей промышленности. В нашей стране промышленность в основном расположена в европейской части, и хотя есть много постановлений относительно передвижения крупной энергоемкой промышленности на Восток, это не так просто сделать экономически. Там нужно не только строить заводы, но нужно строить огромное количество жилья, нужно туда переводить огромное количество населения для обеспечения развития этой промышленности, и это получается примерно раза в 4 дороже, чем создать соответствующие мощности в европейской части страны.

Это оценка усредненная по разным видам энергоемких предприятий. Где требуется меньше обслуживающего персонала, там легче передвигать промышленность, но все же ситуация получается такая, что по планам развития нашей страны, по имеющимся у нас прогнозам, до 2000 года около 70 % энергопотребления будет в европейской части страны. Соотношение между нашей восточной и западной промышленностью может измениться за этот период времени примерно на 2,5 %. Так что ситуация получается в этом смысле довольно неприятная, и мы будем вынуждены строить колоссальные линии электропередачи на расстояния порядка 2,5–3 тысяч км. Для этого нужно делать линии электропередачи на постоянном токе и перебрасывать огромные мощности. То, что сейчас уже запланировано и начало строиться на Экибастузском разрезе, будет равносильно сооружению станции в европейской части страны мощностью в 40 млн кВт.

Я уже не говорю о том, что такая энергосистема в общем-то не такая уж устойчивая, поскольку такие длинные линии передачи — вещь довольно сложная. Однако угля на Востоке много, и резерв у нас в этом отношении очень хороший. Нам не угрожает 12-летний срок, который сейчас висит над США. Кроме того, нефтяные и газовые месторождения Западной Сибири все еще находятся на подъеме, и мы можем ожидать, что в течение ближайших 30 лет наша страна сможет черпать топливные ресурсы за счет использования этих месторождений.

О газовых месторождениях довольно уверенно можно сказать, что они действительно колоссальные и их зарегистрированные запасы очень велики. Однако в этом вопросе возникают большие трудности со строительством длинных газопроводов. Представьте себе, что должны быть построены газопроводы длиной до 3–4 тысяч км. Мы же должны строить не только для себя, а и для социалистических стран, кое-что мы должны давать также для ФРГ и Италии. Линии получаются очень длинные. Отказаться же от поставок нефти или газа за рубеж мы не можем, потому что на этом в существенной степени держится вся экономика социалистических стран. Поэтому нам нужно находиться по крайней мере на том же уровне, на котором сегодня происходит

этот экспорт, поддерживать его и дальше и пополнять его экспортом газа и, вероятно, строительством на Западе, в соцстранах, атомных станций. По запасам газа, как я уже сказал, мы в довольно хорошем положении. Но перекачать его с Востока не так просто. Строительство газопроводов уже сегодня требует закупки труб почти масштаба производительности всей Западной Европы. Борис Евгеньевич [Патон] обещает сделать слоистые трубы, в которых можно будет перекачивать газ под давлением 120 атмосфер вместо 75. Да еще перекачивать в охлажденном виде, в виде газа, до низкой температуры. Это позволит сильно увеличить газовые потоки из Западной Сибири в Центр. Это действительно необходимо будет делать.

Каково же положение с нефтью? Оно несколько хуже. Дело в том, что когда были открыты в Тюменской области нефтяные месторождения, то очень быстро наши геологи определили запасы, обеспечивающие добычу нефти на существующем тогда уровне, в течение нескольких десятков лет — приблизительно 25–30 лет. По существующим правилам такие запасы считаются достаточными, и именно такие запасы необходимо поддерживать. Для этого нужно производить поисковое бурение и осуществлять работы по геофизической разведке.

Однако Западная Сибирь была очень плохо обследована, и то, что были так быстро наращены запасы, — это было воспринято как то, что можно дальше особенно не увеличивать расходы на проведение дальнейших геологоразведочных работ. И у нас сейчас последние несколько лет, примерно с 1967 г. и до нашего времени, практически не наращивались запасы нефти в Западной Сибири. Считалось, что их достаточно. Теперь, когда к этому делу подошли вплотную, оказалось, что таких гигантских месторождений, как Самотлорское, сейчас нет, а те запасы, которые там сейчас приращены, — это в значительной степени запасы на сравнительно мелких месторождениях. Эти месторождения очень трудно будет разрабатывать, потому что это потребует дополнительно больших капиталовложений, в частности, потребуется сооружение многих трубопроводных систем, а все это будет чрезвычайно сложно сделать. По-видимому, сейчас возникает проблема расширения поисковых работ по крупным месторождениям. Пусть не таким, как Самотлор, но большого масштаба, чтобы мы могли поддерживать добычу нефти и компенсировать тот ее недостаток, который будет получаться за счет уже израсходованной нефти в старых месторождениях в европейской части, например в Бакинском районе, Татарии и других. Уже в очень скором времени мы должны будем оттуда получать не менее половины, а к концу нашего века примерно 70 % всей нефти, которую мы добываем в нашей стране. Это потребует больших затрат.

С другой стороны, у нас очень расточительно обращаются с нефтью. Если мы сравним нормы расхода нефти на разные процессы у нас и за рубежом, то во многих процессах мы перерасходуем нефть или электроэнергию, которая получается за счет расходования той же нефти. Таково положение дел с обычным топливом, которое сложилось в западном мире и в нашей стране. Мы, по-видимому, будем иметь возможность, дойдя до добычи нефти порядка 800–900 млн тонн в год, поддерживать этот уровень добычи в течение 20–30 лет. Чем дольше мы сможем поддерживать его, тем это будет лучше.

Вторая сторона вопроса — обеспечение экономики нефти — является при этом очень важной по следующей причине. Дело в том, что большое количество нефти расходуется на транспорт, на самоходные энергетические установки. Я имею в виду трактора, авиационный транспорт и т.д. Здесь требуются светлые нефтепродукты, и их потребление будет все время расти. Мы не можем себе представить, что транспорт у нас остановится на сегодняшнем уровне. Он должен расти вместе со всем хозяйством страны, и к концу нашего века потребление нефтепродуктов на транспорте, несомненно, увеличится. Конечно, появится и электрифицированный транспорт, но для автономных транспортных потребителей, таких, как автомобили, самолеты, тракторы и т. д., это сделать труднее. Наш электротранспорт потребляет в конечном счете уголь, потому что на крупных станциях, которые питают электрифицированный транспорт, обычно сжигают уголь. В будущем нам надо будет перейти на гораздо более глубокую переработку нефти, чем мы сейчас применяем. И это потребует очень больших затрат и очень серьезной перестройки технологии. В этой связи для нас чрезвычайно важно сегодня найти такие пути, которые позволили бы нам вытеснять нефть из всех возможных областей ее применения.

Теперь несколько слов о том, как построено наше энергопотребление. Оно разбивается на такие группы: 1) производство электроэнергии (тратится примерно 15–17 % добываемого топлива); 2) производство низкопотенциального тепла, т. е. тепла для отопления городов (около 30 % добываемого топлива); 3) топливо для металлургических процессов в качестве сырья и как энергоноситель (тратится также около 30 %); 4) топливо для транспорта, подвижных энергоустановок (тратится около 20 %).

Говоря об атомной энергетике, необходимо иметь в виду, что даже если мы половину всей электроэнергии в стране будем получать за счет атомных электростанций, то и тогда сэкономим на этом традиционных топливных ресурсов всего лишь 10 %. Поэтому перед нами, атомщиками, стоит очень важная задача: распространить зоны влияния атомной энергетике на другие области потребления энергии, чтобы мы могли, во всяком случае в начале будущего века, с помощью атомной энергетике развивать энергетику нашей страны в будущем столетии.

Возможно ли это технически? Оказывается, что технически это возможно, некоторые шаги можно сделать даже очень легко, другие более сложны и требуют больших общих наших усилий. Первый наиболее легкий путь — это проникнуть в область низкопотенциального тепла. Сейчас во всех городах у нас, в отличие от США, очень широко развито централизованное тепло-снабжение. У нас в каждом городе имеется огромное количество котельных, имеются станции, где вырабатывается и электричество, и тепло — теплоэлектроцентрали, что наиболее выгодно. И кроме того, имеется огромное количество небольших котельных, которые потребляют в основном мазут или газ, т. е. очень высокоценное топливо. Сами они в высшей степени неэффективны и сильно портят экологию в наших городах. Поэтому и был поставлен первый вопрос: не можем ли мы проникнуть в область низкопотенциальных источников энергий для того, чтобы ликвидировать мазутные и угольные котельные.

Какого рода идеология была заложена? Прежде всего надо было найти разумную зону разделения между атомными станциями теплоснабжения и атомными теплоцентралями. Конечно, атомные теплоэлектроцентрали — очень хороший путь, который мы развиваем, но там есть некоторые затруднения. Для мелких теплопотребителей эти АТЭЦ уже не годятся, располагать их нужно довольно далеко от города, что приводит к большим потерям тепла по дороге и к большому повышению стоимости из-за длинных трубопроводов. Мы думаем о том, чтобы создать атомные котельни, которые можно помещать в городах, которые были бы достаточно надежны, чтобы даже в случае, например, падения самолета на эту котельню не возникало бы никаких нарушений экологии.

Разработки в этом направлении были проведены. В частности, академик Б. Е. Патон и его сотрудники разработали противокоррозионную защиту для покрытия реакторов. Сейчас мы создали систему реакторов низкого давления. Их сделать гораздо легче в смысле самого производства. Давление там всего 16 атм, это иная категория в смысле опасности. Циркуляция теплоносителей там (а теплоноситель — обычная вода) осуществляется путем естественной циркуляции, без всяких насосов. Здесь можно обеспечить полную надежность во всех ситуациях, циркуляция не нарушается, даже если отключится электроэнергия. Естественная циркуляция сохраняется и в промежуточных контурах, в любых аварийных ситуациях. Контур, который используется непосредственно как носитель отопления, отделен от реакторного контура промежуточным контуром, и туда радиоактивность никак не может проникнуть. Давление в отопительной сети выше, чем давление в реакторе и в промежуточном контуре. Поэтому в случае любых нарушений промежуточной теплообменной аппаратуры мы можем не бояться, что произойдет какое-то загрязнение радиоактивностью отопительного контура. Такая система уже работает около 5 лет в одном из наших больших городов, где около полумиллиона населения. Она показала себя очень хорошо, очень экономично, и такого рода системы мы собираемся строить.

Подобные проекты уже разработаны, сейчас создается оборудование, и в 1981 году, а может быть, даже и в 1980 году первая из таких станций будет построена. Уже есть соответствующее постановление правительства. Две такие станции сейчас строятся, для них найдены площадки в Горьком и в Воронеже, а затем их будут строить во многих других городах страны.

Я говорил о применении естественной циркуляции. Но, как известно, для того чтобы иметь развитую хорошую естественную циркуляцию, нужны какие-то достаточные перепады высот между местом, где снимается тепло и [местом,] где оно передается следующей системе. Это заставляет нас закапывать сам реактор глубже в землю, что создает очень хорошую защищенность при всех возможных ситуациях, и такого рода системы будут у нас широко развиваться.

Существует такой вопрос: можно ли применить атомные станции в области технологии и высокопотенциального тепла? Это оказалось не таким легким делом. За рубежом и у нас уже много лет ведутся разработки по высокотемпературным реакторам. В них применяется не водяное охлаждение, а ох-

лаждение газом. Старые английские высокотемпературные реакторы охлаждались углекислым газом. Потом от этого отказались. Сейчас интенсивно разрабатываются реакторы с гелиевым охлаждением. В таких реакторах нужно создавать давление от 60 до 200–300 атм, в зависимости от требований к теплосъему. Это довольно неприятная вещь, тем более что это газовое давление. Сами урановые топливные элементы — это мелкодисперсные урановые элементы из окиси или двуокиси урана, покрытые рядом оболочек и толстым слоем графита, уплотненного пирографитом. Все это позволяет получать температуры отходящего газа до 900°.

Сейчас единственный такой реактор существует в Западной Германии, это экспериментальный реактор. Американские ученые спроектировали и построили такой реактор несколько лет тому назад, но они уже четвертый год никак не могут вывести его на проектную мощность, возникло довольно много технических затруднений с системой перекачки и с системой уплотнения гелия и т.д. Очень сложным является вопрос о материалах теплообменников, позволяющих на этом уровне температур (около 1000°) выводить тепло из реакторов в необходимые технологические цепочки. Конечно, было бы очень удобно, если бы такой реактор мог существовать и если бы можно было во втором контуре подогревать каким-нибудь путем полученный водород, который дальше можно было бы направлять в металлургический цикл в виде восстановителя. Таким образом можно было бы окисленные руды восстанавливать до металла. Однако водород накладывает дополнительные требования на всю теплообменную аппаратуру. Некоторые высокотемпературные материалы, скажем, ниобий, можно было бы применять с точки зрения его высокотемпературных качеств. Но многие металлы очень легко корродируют в водороде, они дают гидриды, а гидриды распадаются, и стенка оказывается нестойкой. Поэтому материаловедческие вопросы являются довольно сложными. Тем не менее во многих странах такие работы ведутся: и в Англии, и в ФРГ, которые дальше всех продвинулись в этом вопросе, и в США, и у нас. Мы считаем, что такого рода реакторы в конечном счете будут использованы для производства высокотемпературного тепла.

Однако существует и другая сторона дела: нельзя ли использовать те реакторы, которые у нас сейчас есть, дающие низкопотенциальное тепло с температурой около 300° С, а затем догревать этот газ до необходимых температур с помощью плазмотронов, которые питаются электроэнергией от этой же самой атомной электростанции? Вначале эта идея представляется нерациональной, потому что термодинамически это очень невыгодно: брать газ на таком низком потенциале и потом его догревать. В этом смысле выгоднее реакторы, которые сразу производят высокотемпературное тепло. Однако когда мы стали изучать этот вопрос, то оказалось, что это не так неразумно, как кажется. Дело в том, что существует ряд процессов, которые позволяют получить водород и подогреть этот водород в мощных плазмотронах, и таким образом создать те условия, которые нужны для металлургического процесса. Существуют такие металлургические процессы, которые дают очень дорогой продукт, металлические порошки, чисто железные, легированные и другие. Потребность в них велика. Например, США потребляют сегодня 250 млн тонн

металлических порошков. Эти высокоценные порошки получают, применяя главным образом электролитический водород, который в четыре раза дороже обычного, поэтому развивать такую схему оказалось не так уж неразумно.

Получается так: реакторы снабжают электроэнергией плазмотроны, ведется процесс получения водорода. Если вести этот процесс электролитически, в электролизерах, то это обходится значительно дороже, поскольку, хотя энергозатраты примерно такие же, как и при методе, который мы сейчас разрабатываем, очень велика стоимость и металлоемкость электролитической установки. Это происходит потому, что там процесс выделения водорода идет на поверхности электродов, и эти поверхности должны быть достаточно развиты. Отсюда большая металлоемкость. Если бы можно было перенести процесс в объем, аппаратура была бы меньших размеров и дешевле. Это дало бы возможность применять такой процесс с экономической выгодой.

Оказалось, что плазмотронная техника в этом отношении дает нам то, что нужно: в очень малых объемах плазмы процесс идет быстро, прокачка исходных газов (а исходный газ — это водяной пар и CO_2) происходит быстро. Там выделяется и водород, CO в достаточных количествах и, кроме того, как побочный продукт еще получается кислород. Таким образом, можно полностью отказаться от природного газа и от нефти. При помощи атомной станции, которая не связана какими-то мощными связями с остальной страной, поскольку топливо туда привозится и вводится раз в год, мы можем построить атомное производство таких материалов, как металлические порошки.

Зачем нужны металлические порошки? Уже высказывались предположения, что если делать детали не обработкой, не фрезерованием, а прессованием из металлических порошков, то не будет отходов металла. Но это в технике слабо привилось по той простой причине, что прочность прессованных деталей оказалась недостаточной и не было видно существенных экономических преимуществ. За последнее время работы в области физики плазмы позволили создать плазмотроны очень высоких мощностей. Плазмотрон сейчас является обычным прибором, имеет довольно многообразные технические применения. Плазмотронная техника дает возможность напылять металлические порошки на поверхность металла. Металлические порошки легко можно менять по составу. Сегодня наша страна добывает металла больше, чем любая страна в мире. Мы получаем стали 150 млн тонн в год. Из них за счет обычной коррозии (причем уже не в виде стали, а в виде машин, стальных конструкций и т.д.) выходит из строя и сдается в лом 15 млн тонн, т. е. 10 % от того металла, который наша страна производит. Это довольно дорого. Что это, потому, что мы как-то плохо хозяйствуем или нет? Нет, оказывается, что и в США ежегодно теряется 12 млн тонн тоже за счет коррозии.

Оказалось, что, нанося плазменные покрытия из металлических порошков, можно защитить сталь от коррозии. Такое покрытие держится 20–25 лет, и это избавляет от необходимости ежегодно перекрашивать стальные поверхности, что является, в общем-то, слабой защитой от коррозии. Можно применять легированные порошки для упрочнения стальной поверхности. Одна из американских авиационных фирм попробовала применять такое плазменное упрочнение поверхности узлов трения своих авиационных двигателей и получила

увеличение срока службы двигателя с 4000 тыс. часов до 20000 тыс. часов.

Товарищи! Надо прочувствовать эту цифру. Это значит, что промышленность должна изготавливать этих двигателей в пять раз меньше, т. е. не на 5 или 10 %, а в 5 раз. Вы понимаете, какой огромный промышленный переворот это может создать? Это приобретает совершенно неопределимое значение. Такое направление работ является чрезвычайно интересным. Оно позволяет придать нашей металлургической промышленности совершенно другое лицо сравнительно скромными средствами.

Такое увеличение ресурсов касается, конечно, не только авиационных двигателей. Это делалось и на сельскохозяйственных орудиях, и на тракторах — упрочнение клапанов двигателей внутреннего сгорания. Таким способом можно сделать многое, в том числе и упрочнение, и увеличение коррозионной стойкости химической аппаратуры. Сегодня реакторы для химических процессов делаются из нержавеющей стали большой толщины. Эта нержавеющая сталь содержит большое количество никеля (18–30%). Порошковые покрытия и здесь гарантируют коррозионную стойкость. Для нас это важно еще и потому, что мы открываем для АЭС область энергопотребления, которую очень трудно покрыть за счет каких-нибудь других источников.

Теперь несколько слов о том, какие перспективы это нам открывает. Дело в том, что когда мы разработали технологию получения относительно дешевого водорода, то это имело значение не только для восстановленных процессов в металлургии. Возьмите нашу химическую промышленность. Она производит больше 90 млн тонн химических удобрений, из них значительную часть занимают азотные удобрения, аммиак и аммониевые соли. Сегодня мы получаем большое количество аммиака из природного газа. Делается это путем конверсии природного газа, получается при этом водород, который затем соединяется с азотом воздуха и дает аммиак, который дальше идет на удобрения. Совершенно очевидно, что нам скоро придется заменять этот природный газ чем-то другим. Метод, о котором я сказал, дает возможность получить водород по ценам, близким к тем, которые сейчас есть. И, очевидно, по ценам более дешевым, скажем, через 10 лет, потому что газ будет дорожать тоже в течение этого времени из-за все большей сложности его добычи, больших длин газовых коммуникаций. Таким образом, мы также сможем покрыть и эту часть потребления.

Если посмотреть работы, которые ведутся в последние годы в разных странах мира, в основном в США, в области авиации, автомобильного транспорта, то можно увидеть очень интересные новые явления. Эти явления получили общее название «водородная энергетика». Ведутся работы по использованию водорода для всех этих двигателей. Оказывается, сравнительно небольшие присадки водорода к обычному топливу в авиационных двигателях, а также в поршневых и турбинных несколько упорядочивают процесс горения, что приводит к заметной экономии топлива. С точки зрения термодинамики тут никаких преимуществ нет, а вот упорядочение процесса горения приводит к довольно заметной экономии топлива. Дальность полета самолетов при использовании водорода в значительном количестве увеличивается почти в 2 раза при том же взлетном весе. Это относится как к грузовым само-

летам, так и к пассажирским. Такого рода работы, конечно, имеют большое значение. Это дает возможность, по крайней мере в будущем, воспользоваться водородом, который будет получаться за счет атомной энергетики. Таким образом, здесь имеется возможность очень эффективного покрытия энергопотребления за счет дальнейшего развития атомной энергетики.

Вы меня можете спросить, хватит ли у нас урана для того, чтобы так активно развивать атомную энергетику. Ранее с этим были определенные трудности, но в последнее время точка зрения на характер и происхождение урановых месторождений изменилась. Это привело к открытию очень крупных месторождений, что позволяет планировать широкое развитие атомной энергетики в нашей стране. Предполагается, что к 1990 году мощности атомных электростанций у нас в стране достигнут 100 млн кВт. Это, конечно, уже огромные мощности. И еще 40 млн кВт мы будем строить в соцстранах и вообще за рубежом. Все это обеспечено топливом на длительный промежуток времени.

Кроме того, в нашей стране по почину Александра Ильича Лейпунского, который работал в Киеве, были разработаны идеи реакторов-размножителей (бридеров), которые позволяют, сжигая урановое топливо, вырабатывать плутония несколько больше, чем потребляется урана. Мы можем далее эти реакторы переводить на чисто плутониевый топливный цикл, и этот плутониевый топливный цикл может расширяться по мере выработки топлива с той скоростью, с которой нам необходимо расширять нашу энергетику.

Я должен сказать, что и за рубежом также развивалась идеология этих реакторов, однако там точка зрения была иной. Они считают, что можно приобретать уран на мировом рынке в любом количестве, поэтому важна экономия топлива за счет выработки нового плутония. Они не рассматривали, с какой скоростью вырабатывается это новое топливо. Года три тому назад им пришлось это направление закрыть. Тот факт, что недавно Дж. Картер запретил строительство одного из быстрых реакторов, говорит о том, что эти типы реакторов ничего не давали. Этот факт отнюдь не связан с широковежательной программой о том, что Картер против распространения ядерных материалов.

Комиссия Бете, крупнейшего американского физика, которая разбиралась в этом деле, пришла к заключению, что их направление нужно закрыть, а направление, которое пропагандировали мы у нас в стране, которое пошло от Александра Ильича Лейпунского, — они признали в своем заключении правильным. Решающим пунктом оказалась довольно быстрая выработка плутония с таким расчетом, чтобы можно было увеличивать масштабы энергетики так, как это требуется для всего хозяйства страны.

Если мы этот процесс достаточно хорошо освоим (а в этом направлении у нас работы ведутся довольно широко), то тогда мы сможем сказать, что таким синтетическим ядерным топливом мы можем быть обеспечены на неограниченный период времени. Остаются, конечно, сложные вопросы, связанные с захоронением всяких радиоактивных материалов. Это все сложные вещи, которые нужно решать, но здесь не видно таких проблем, которые были бы принципиально неразрешимы, и они, конечно, несоизмеримы с трудностями, которые возникают сейчас при той ситуации с топливом, которую я вам охарактеризовал в начале моего доклада.

Таким образом, нам неизбежно нужно будет постепенно, но очень существенно перестраивать наш топливный энергетический баланс (мы имеем еще время это сделать) на большее потребление угля и большее потребление атомной энергии, на исключение нефти, а затем и природного газа из топливно-энергетического баланса. Это та перспектива, которую предстоит реализовать большинству из вас и вашим детям, а также и моим детям. Вот это я и хотел рассказать.

Товарищи, я получил такие вопросы:

1. *Каковы запасы урановых руд и возможен ли кризис, подобный топливному?*

— В общей форме я могу сказать следующее: уран на земле имеется в достаточно большом количестве. По общим оценкам, содержание урана порядка 4–5 млн тонн по доступным для энергетики ценам. Это даст возможность обеспечить энергетику по крайней мере до 2025–30 года. Это порядочный промежуток времени. Теперь о том, что касается поверхностных месторождений урана. Нельзя забывать, что уран есть в морской воде, его оттуда тоже можно извлекать, правда, по более дорогим ценам. В этом направлении ведутся работы в течение многих лет в разных странах. В морской воде миллиарды тонн урана, так что если даже извлечь всего лишь его небольшую долю, то все-таки этого будет достаточно на очень длительный промежуток времени. А если учитывать вторичное ядерное топливо — плутоний, о котором я уже сказал, то никакого топливного кризиса не предвидится. Кроме того, у нас в стадии подготовки другие процессы ядерной энергетики — термо-ядерная энергетика. Здесь мы также продвигаемся довольно успешно; во всем мире ведутся эти работы, и, по всей видимости, где-то в конце нашего столетия уже первые термоядерные станции — первые электростанции будут созданы. И дальше это направление будет развиваться.

2. *В чем заключаются основные трудности по широкому внедрению АЭС в настоящее время?*

— Они связаны с машиностроением. Для этого нужно строить реакторы высокого давления, а они очень трудоемки в изготовлении. Сам производственный цикл одного реактора длится около трех лет, поэтому довольно сложно их создавать. Вы знаете, у нас в стране есть специализированные крупные предприятия, в частности Атоммаш.

3. *Как ограничивается развитие атомной энергетики проблемами охраны окружающей среды (тепловой перегрев атмосферы, большое количество сбросов теплой воды)?*

— Это касается не только атомной, но и любой энергетики. Всегда сбрасывается при этом тепло, всегда подогревается окружающая среда, так что тут принципиальной разницы нет. Вообще сегодняшняя энергетика дает примерно 0,1 % от того тепла, которое мы получаем от Солнца на нашу планету. Нам еще есть пока куда двигаться, но это вопросы в общем-то серьезные, и, конечно, в какой-то момент они станут ограничивающими. Но, к со-

жалению, тут дело крайне неясно, потому что ученые, занимающиеся прогнозами климата, разделились сейчас на две примерно равные группы: часть считает, что мы находимся накануне нового ледникового периода, правда короткого, а другая часть считает, что мы, напротив, должны будем погибнуть от перегрева.

Это довольно любопытная вещь. Такое известное ведомство, как ЦРУ, провело исследование, каковы же точки зрения разных ученых по этому вопросу. ЦРУ даже подало специальный доклад в Конгресс о том, что в скором времени, может быть через десяток или два десятка лет, предполагается наступление периода резкого похолодания. Это вызовет изменение зон урожайности на земном шаре и, в свою очередь, приведет к большим политическим осложнениям, а ЦРУ надо готовиться к тому, чтобы эту ситуацию использовать. Исследования, проведенные другими организациями, более открытыми и менее финансируемыми, чем ЦРУ, привели к выводу, что ожидается не похолодание, а, наоборот, потепление.

4. Каковы основные трудности при создании реакторов на быстрых нейтронах?

— Первая трудность — это трудность с материалами, потому что там очень большая теплонапряженность. Приходится использовать материалы, которые имеют очень высокую радиационную стойкость. Но эти трудности довольно успешно преодолеваются. У нас в городе Шевченко еще Лейпунский начинал строить этот реактор. Реактор работает там уже несколько лет, и очень хорошо. Хуже там с теплообменной аппаратурой. Но сейчас эти вопросы тоже решены. Строится большой реактор на быстрых нейтронах на Белоярской станции, а в ближайшее время будет еще строиться их довольно много. Однако перейти к промышленным крупным реакторам нам удастся, вероятно, после 85–90-го года. Но время на это у нас есть.

Товарищи, почему мы заранее говорим о том, что нужно менять топливно-энергетический баланс? Дело в том, что сам процесс его изменения, переход на другое топливо или на другую технологию — это чрезвычайно длительный, дорогостоящий, трудоемкий процесс. Так что если мы сейчас его не будем начинать, причем в ближайшие год-два буквально, то к концу века мы попадем в сложное положение. Тогда и с нефтью будет похуже, и газ будет несколько дороже. Надо иметь в виду, что внедрение новой техники — это период порядка 20 лет. Это же огромные дорогостоящие сооружения.

5. Когда можно рассчитывать на широкое использование термоядерной энергии?

— Я думаю, где-то в середине будущего века.

6. Каковы капитальные затраты на 1 кВт на АЭС по сравнению с обычными электростанциями?

— Приблизительно раза в полтора они дороже, в зависимости от типа станции, но топливная составляющая меньше. Поэтому по приведенным затратам мы имеем все-таки очень большую экономию. Ну, например, сейчас у нас

в стране станции дают электроэнергию: Воронежская — стоимостью 0,6–0,63 копейки, Кольская, Ленинградская — 0,8 копейки. В то время как тепловые в этих же районах дают электроэнергию стоимостью около копейки на обычном топливе. Так что это выгодно уже сегодня.

7. Как вы оцениваете перспективы использования других видов энергии?

— Прежде всего следует думать о солнечной энергии. Когда солнце в зените, мы получаем на квадратный метр около киловатта энергии. Но это только в том случае, когда солнце в зените. Если взять среднее по суткам или среднее за год получение энергии, то это уже не киловатт, а в теплых местах — четверть или десятая часть киловатта. Тем не менее это много, и поэтому, конечно, нужно думать об использовании этой энергии. К сожалению, сегодня очень высока цена самих преобразующих устройств. Американские ученые много работали над такими проблемами, как прямое преобразование солнечной энергии в тепло для отопления домов, для кондиционирования. Установленная цена на киловатт получается примерно в 10 раз дороже, чем для электростанций. Правда, это мелкие установки. Тем не менее исследования в этом направлении продолжают. Где это может применяться у нас? Во-первых, в наших южных республиках для всякого рода насосных станций, не требующих постоянного энергоснабжения. Например, для подъема воды из скважин. В этом отношении у нас сделаны очень важные успешные работы, и КПД солнечного элемента, изготавливаемого нами в настоящее время, где-то около 9 %. В Ленинградском физико-техническом институте разработаны солнечные элементы с КПД до 27 %. Это отличный КПД. Несомненно, мелкие станции такого рода энергоснабжения будут создаваться. Крупные энергосистемы, расположенные на Земле, вряд ли могут быть сделаны на основе использования солнечной энергии, потому что она не обладает достаточной плотностью. Сейчас американские ученые разрабатывают систему, предполагающую запуск спутников с очень большой поверхностью преобразователей солнечной энергии. Эта энергия затем преобразуется в СВЧ-энергию и в виде СВЧ-луча посылается на земные приемники, где трансформируется и в виде нужной частоты отправляется потребителю. Это трудоемкий процесс, и я думаю, что он не имеет отношения к энергоснабжению на Земле, а преследует совсем другие цели, которые скромно не называются. Далее, использование глубинного тепла — это еще серьезный ресурс, но, вероятно, все эти источники и ветровая энергия займут в общем энергоснабжении какое-то незначительное место, примерно такое, какое занимает сегодня гидроэнергия. На большее здесь рассчитывать, мне кажется, в период нашей жизни и жизни наших детей не придется.

8. Как вы оцениваете запасы нефти и газа в районе Юго-Восточной Азии и в Китае?

— Предполагается, что в районе Юго-Восточной Азии большие запасы, там есть палеозойская нефть, например, есть такой Непский свод в Восточной Сибири, где, по-видимому, находятся большие нефтяные месторождения. Пока промышленных запасов там не обнаружено, но разведка дает благоприятные

ятные результаты. Хотя неизбежно возникнут трудности с доставкой. В Китае есть месторождения нефти в Восточно-Китайском море, видимо крупные, но пока о них более детально ничего не известно.

9. *Какие прогнозы на лазерный термояд?*

— Я думаю, что те работы, которые ведутся, могут дать успех только в том случае, когда будет очень серьезно повышен КПД лазера. Без этого трудно ожидать, что получится что-то практически применимое. Другое дело — использование вместо лазера пучка релятивистских электронов. Это направление, по-моему, скоро даст хороший результат.

10. *Когда следует ожидать переход на параметры пара в АЭС 565° С и 240 атмосфер?*

— Это, очевидно, энергетик задал мне этот вопрос. Когда мы говорим об обычных электростанциях, то для чего мы там поднимаем параметры? Для того, чтобы экономить топливо. Можем ли мы поднять параметры в атомных станциях? Можем. Стоит нам вместо циркониевых трубок, в которых сейчас у нас находится уран, поставить стальные трубы, и мы можем получить те же самые 500–600°. Но стальные трубы будут поглощать нейтроны. В результате этого будет получаться меньше плутония, мы будем гораздо больше расходовать топлива — первичного урана на каждый киловатт-час. Поэтому в этих станциях невыгодно стремиться к высоким параметрам из соображений экономии нейтронов и получения вторичного топлива. Например, в реакторах на быстрых нейтронах другой спектр нейтронов, которые мало поглощаются в стали, в стальной оболочке, там мы будем получать температуры где-то около 560° и будем работать с нормальными параметрами пара.

11. *Что можно сказать о перспективах использования в энергетике однократных или повторяющихся ядерных взрывов с преобразованием выделяемого тепла?*

Конечно, это может быть. По сути дела, это лазерный термоядерный процесс на релятивистских электронах с ионным подогревом. Микровзрывы повторяются через какие-то промежутки времени, причем это не такие уж микровзрывы. Каждый такой микровзрыв — порядка тонны тола.

12. *Просьба остановиться подробнее на захоронении отходов и их перспективах.*

— Ну, я об этом говорил. Дело в том, что есть на нашей планете такие геологические конкреции, которые существуют очень длительный промежуток времени, миллиарды лет. Скажем, соляные купола. Есть также замкнутые полости, где находятся сильно минерализованные воды или еще что-нибудь. Опыт показывает, что они хранятся миллиарды лет. Отходы можно сохранять в таких полостях в течение нескольких тысяч лет. Можно найти такие полости, которые будут стоять с гарантией эти тысячи лет, и все будет в них благополучно. Наш опыт показывает, что в этом направлении мы можем получить хорошие результаты.

13. *Какая часть энергии реактора переходит в водород ?*

— Примерно 20 % электроэнергии рационально получать в виде водорода. Уменьшать производство электроэнергии на 20 % и это компенсировать водородом. Тогда получается сбалансированный металлургический цикл. Все эти расчеты у нас проведены и экспериментально подтвердились.

14. *Прошу, если возможно, ответить на вопрос, каково состояние и перспективы обеспечения водородом транспорта.*

— Перспективы таковы, что к тому моменту, когда транспорту будет экономически целесообразно использовать водород, его можно будет изготавливать в неограниченных количествах с помощью той технологии, о которой я говорил.

15. *Водород вызывает хрупкость материалов. Как это отразится на долговечности машин?*

— Верно, есть водородное охрупчивание. Но не на всех материалах. Есть такие материалы, которые прекрасно стоят в водороде, не подвергаясь его воздействию. Этой теме посвящена книга немецкого автора «Сопротивление материалов водородному охрупчиванию». Так что эти вопросы разрешимы, но требуют внимания.

16. *Какие перспективы использования энергии Солнца ?*

— Я уже сказал.

17. *Как идет развитие термоэмиссионных преобразователей ?*

— Это весьма заманчивое направление, но вопрос о развитии термоэмиссионных преобразователей уже долгое время находится в стадии изучения. Первая публикация в этой области принадлежит, кажется, киевскому ученому Моргулису.

18. *Помнится, лет 10 назад, открывая 7-ой конгресс МИРЭК, вы сказали примерно так: «Не строя иллюзий относительно продолжительности человеческой жизни, я уверен, что застану решение проблемы управляемого термоядерного синтеза для энергетики». Сохранился ли ваш оптимизм в отношении управляемого термоядерного синтеза? И в отношении МГД преобразователей тоже?*

— Сохранился. Я убежден, что в течение ближайших лет физическая сторона вопроса будет доведена до той стадии, когда дальше все будет определяться только техническими аспектами, а я надеюсь, что 5 лет просуществую, если не будет таких длинных вопросов.

Публикация Е. В. Туговой

В. А. СИДОРЕНКО

КАНУН АМБИЦИОЗНЫХ ПЛАНОВ

Предлагаемое вниманию читателя выступление Анатолия Петровича Александрова в мае 1978 г. возвращает нас на 25 лет назад, ко всему набору проблем в энергетике и конкретным задач в атомной энергетике, которые нас волнуют и интересуют и сегодня, в начале XXI в. С позиций сегодняшнего дня можно оценить широкий кругозор Анатолия Петровича и фундаментальность его оценок перспектив общей и ядерной энергетики.

Нет необходимости разбирать каждую цифру в этих оценках и прогнозах. Названные в этом выступлении, заметно заниженные (по сравнению с обновленными показателями), масштабы ресурсов качественных углеводородных топлив — нефти и газа — соответствовали господствовавшим в то время представлениям геологической науки, которые цитировались «Римским клубом».

Время выступления — 1978 год — это период подготовки самой амбициозной программы развития атомной энергетики в Советском Союзе. Постановление правительства 1980 г. предусматривало ввод в 1981–1990 гг. 66,9 млн кВт мощностей на атомных электростанциях, при этом предполагалось к 1993 г. довести мощность АЭС до 100 млн кВт.

В соответствии с планируемым уровнем атомной энергетики были начаты и реализованы работы по развитию предприятий ядерного топливного цикла и атомного энергомашиностроения. В ходе этих работ формировалась общая стратегия развития атомной энергетики, определялось ее место в энергообеспечении страны, технические направления ее развития, способы топливообеспечения этой быстро развивающейся отрасли. Анатолий Петрович как главный идеолог еще в 1968 г. в своем генеральном докладе на VI конференции Мирового энергетического конгресса перечислил основные особенности ожидаемого использования ядерного топлива при решении мировых топливно-энергетических проблем.

Практически все обсуждаемые в выступлении научно-технические проблемы и направления развития остаются актуальными до сих пор и соответствуют сегодняшним взглядам, хотя нужно принимать во внимание резкое снижение общих темпов и масштабов этого развития.

Технологический успех в освоении ядерных энергоисточников, опирающийся на базу ядерной промышленности, созданной в оборонных целях, естественным образом подтолкнул масштабное развитие этого направления энергетики, тем более что региональные условия (с учетом экономической целесообразности и устранения зависимости от других источников энергии) весьма способствовали этому.

Сейчас можно утверждать, что наращивание масштабов новой энергетической технологии не соответствовало глобальным энергетическим потребностям и возможностям дальнейшего развития энергетики на органических видах топлива.

Сформировавшееся в ядерном сообществе суждение о том, что атомная энергетика достигла «зрелости», оказалось несколько преждевременным. Ес-

13. *Какая часть энергии реактора переходит в водород ?*

— Примерно 20 % электроэнергии рационально получать в виде водорода. Уменьшать производство электроэнергии на 20 % и это компенсировать водородом. Тогда получается сбалансированный металлургический цикл. Все эти расчеты у нас проведены и экспериментально подтвердились.

14. *Прошу, если возможно, ответить на вопрос, каково состояние и перспективы обеспечения водородом транспорта.*

— Перспективы таковы, что к тому моменту, когда транспорту будет экономически целесообразно использовать водород, его можно будет изготавливать в неограниченных количествах с помощью той технологии, о которой я говорил.

15. *Водород вызывает хрупкость материалов. Как это отразится на долговечности машин?*

— Верно, есть водородное охрупчивание. Но не на всех материалах. Есть такие материалы, которые прекрасно стоят в водороде, не подвергаясь его воздействию. Этой теме посвящена книга немецкого автора «Сопротивление материалов водородному охрупчиванию». Так что эти вопросы разрешимы, но требуют внимания.

16. *Какие перспективы использования энергии Солнца ?*

— Я уже сказал.

17. *Как идет развитие термоэмиссионных преобразователей ?*

— Это весьма заманчивое направление, но вопрос о развитии термоэмиссионных преобразователей уже долгое время находится в стадии изучения. Первая публикация в этой области принадлежит, кажется, киевскому ученому Моргулису.

18. *Помнится, лет 10 назад, открывая 7-ой конгресс МИРЭК, вы сказали примерно так: «Не строя иллюзий относительно продолжительности человеческой жизни, я уверен, что застану решение проблемы управляемого термоядерного синтеза для энергетики». Сохранился ли ваш оптимизм в отношении управляемого термоядерного синтеза? И в отношении МГД преобразователей тоже?*

— Сохранился. Я убежден, что в течение ближайших лет физическая сторона вопроса будет доведена до той стадии, когда дальше все будет определяться только техническими аспектами, а я надеюсь, что 5 лет просуществую, если не будет таких длинных вопросов.

Публикация Е. В. Туговой

В. А. СИДОРЕНКО

КАНУН АМБИЦИОЗНЫХ ПЛАНОВ

Предлагаемое вниманию читателя выступление Анатолия Петровича Александрова в мае 1978 г. возвращает нас на 25 лет назад, ко всему набору проблем в энергетике и конкретным задач в атомной энергетике, которые нас волнуют и интересуют и сегодня, в начале XXI в. С позиций сегодняшнего дня можно оценить широкий кругозор Анатолия Петровича и фундаментальность его оценок перспектив общей и ядерной энергетики.

Нет необходимости разбирать каждую цифру в этих оценках и прогнозах. Названные в этом выступлении, заметно заниженные (по сравнению с обновленными показателями), масштабы ресурсов качественных углеводородных топлив — нефти и газа — соответствовали господствовавшим в то время представлениям геологической науки, которые цитировались «Римским клубом».

Время выступления — 1978 год — это период подготовки самой амбициозной программы развития атомной энергетики в Советском Союзе. Постановление правительства 1980 г. предусматривало ввод в 1981–1990 гг. 66,9 млн кВт мощностей на атомных электростанциях, при этом предполагалось к 1993 г. довести мощность АЭС до 100 млн кВт.

В соответствии с планируемым уровнем атомной энергетики были начаты и реализованы работы по развитию предприятий ядерного топливного цикла и атомного энергомашиностроения. В ходе этих работ формировалась общая стратегия развития атомной энергетики, определялось ее место в энергообеспечении страны, технические направления ее развития, способы топливообеспечения этой быстро развивающейся отрасли. Анатолий Петрович как главный идеолог еще в 1968 г. в своем генеральном докладе на VI конференции Мирового энергетического конгресса перечислил основные особенности ожидаемого использования ядерного топлива при решении мировых топливно-энергетических проблем.

Практически все обсуждаемые в выступлении научно-технические проблемы и направления развития остаются актуальными до сих пор и соответствуют сегодняшним взглядам, хотя нужно принимать во внимание резкое снижение общих темпов и масштабов этого развития.

Технологический успех в освоении ядерных энергоисточников, опирающийся на базу ядерной промышленности, созданной в оборонных целях, естественным образом подтолкнул масштабное развитие этого направления энергетики, тем более что региональные условия (с учетом экономической целесообразности и устранения зависимости от других источников энергии) весьма способствовали этому.

Сейчас можно утверждать, что наращивание масштабов новой энергетической технологии не соответствовало глобальным энергетическим потребностям и возможностям дальнейшего развития энергетики на органических видах топлива.

Сформировавшееся в ядерном сообществе суждение о том, что атомная энергетика достигла «зрелости», оказалось несколько преждевременным. Ес-

тественно настроенное отношение общества к энергии деления ядер, порожденное ядерным оружием, быстро обернулось отрицанием этого направления энергетики в результате произошедших крупных аварий на атомных электростанциях. Определяющими в этом повороте стали события на Чернобыльской АЭС. Итогом стал резкий спад в реальном росте атомной энергетики во всем мире. В Советском Союзе (и далее в России) это проявилось самым трагическим образом. Все это не означало остановки новой энерготехнологии, она перешла в фазу «равновесного развития», больше соответствующего естественному балансу различных видов топлива, их экономической конкурентоспособности и региональной обеспеченности. Центр роста атомной энергетики стал перемещаться в районы Азии и Дальнего Востока.

А возвращаясь к тексту выступления Анатолия Петровича Александрова 25-летней давности, публикуемого в годовщину его 100-летия, стоит еще раз подчеркнуть актуальность его подходов и их соответствие современному воззрению на обсуждаемые проблемы.

В. В. ОРЛОВ

К ПУБЛИКАЦИИ ВЫСТУПЛЕНИЯ АКАДЕМИКА

А. П. АЛЕКСАНДРОВА В ИЯИ АН УССР 19 МАЯ 1978 Г.

Перечитывая четверть века спустя выступление одного из представителей славной плеяды творцов ядерной техники, наших учителей, тогда — авторитетнейшего научного руководителя работы, директора Института атомной энергии, председателя Научно-технического совета Минсредмаша, президента АН СССР, возвращаемся мыслью в атмосферу 70–80-х гг. Тогда бурный старт ядерной энергетики (ЯЭ) на выросших из военной техники реакторах и технологиях завершился. Намерения уже в XX в. развить на волне быстрого и успешного решения военных задач большую ЯЭ (к концу 60-х гг. в США называли мощности в 850–1400 ГВт, в СССР — 600 ГВт) столкнулись и с неподготовленностью к этому ядерной техники, и с ее невостребованностью в условиях крутых перемен в жизни нашей страны и в мировой энергетике. Прогнозы постоянно корректировались, планируемые мощности снижались, и АП называет уже мощность в 100 ГВт, а в действительности в СССР было построено АЭС 34 ГВт (строительство прекратилось в конце 80-х гг. и возобновилось в России лишь в последние годы), в США — 100 ГВт (заказов на новые АЭС нет уже более 20 лет, в 90-е гг. стагнация ЯЭ захватила и Европу), в мире — 350 ГВт. На последующие десятилетия, несмотря на строительство АЭС в Азии, ожидается снижение ядерного вклада в мировую энергетику на 16 % от достигнутого уровня.

Такой поворот дела (а особенно скорый развал СССР) тогда трудно было предвидеть, хотя нефтяной кризис 70-х гг. был преодолен за счет пластичности энергетического рынка, отреагировавшего на рост цен энергосбережением и политическими мерами. Последующая стабилизация мирового топливного рынка на приемлемом для богатых стран (и для экспортеров) уровне

цен и до сих пор не стимулирует строительства новых АЭС, сильно подорвавших при осуществлении мер повышения их безопасности после больших аварий. Аварии на АЭС ТМ1 в 1979 г. в США, а в 1986 г. в Чернобыле обострили антиядерные настроения в обществе, не удовлетворенном и решением проблемы радиоактивных отходов, захоронение которых даже в устойчивых геологических формациях вызывает сомнение в надежности прогнозов их безопасности на тысячи лет. Тревогу вызывал и рост риска расползания ядерного оружия при распространении ядерной энергетики и технологии по многим странам мира. В 70-е гг. и позже росла озабоченность общества проблемами экологии, в том числе выбросами продуктов химического горения, но ядерная энергетика ограниченных масштабов не могла существенно снизить выбросы, а ее собственные отходы вызывали не меньшую тревогу.

Еще в 40-е гг. Э. Ферми в США, А. И. Лейпунский в России (из той же плеяды Ленинградского физтеха, что и АП), а за ними и другие физики выдвинули идею развития большой ядерной энергетики, использующей реакторы на быстрых нейтронах (быстрые реакторы — БР). Именно они обладали наибольшими внутренними ресурсами, прежде всего избытком нейтронов. Но программа США по быстрым реакторам потерпела ряд неудач, а созданные под руководством А. И. Лейпунского в 60–80-е гг. первые АЭС — БР не получили распространения в энергетике. В США в 80-е гг., а затем и в Европе (такие БР были созданы во Франции и Англии) серьезные разработки быстрых реакторов были свернуты, а без них большая ядерная энергетика не имеет перспективы.

Оценки ресурсов нефти и газа, весьма неопределенные, и тогда и до сих пор позволяют считать, что лет на 30 их хватит; столь же неопределенны оценки опасных пределов выбросов парниковых газов. Но долговременное устойчивое развитие энергетики требует усилий и затрат для создания новых и совершенствования существующих технологий использования неисчерпаемых и свободных от парниковых газов ядерных и возобновляемых источников энергии — и угля в том числе, его преобразования в жидкое и газовое топливо, производства водородного топлива для транспорта и других применений.

Универсальная для потребления форма энергии — электричество открыло возможность индустриального централизованного сетевого производства и дальней передачи энергии и с XIX в. стало магистралью развития энергетики, находя все большее применение в быту, промышленности, на транспорте. Вместо указанных в выступлении 15–17% электричество занимает теперь 1/3 в мировом топливном балансе и в XXI в. станет в нем преобладающим.

Рост производства электричества лежит в основе экономического роста развивающихся стран — большей и растущей части населения Земли, не ушедшей пока далеко от минимального уровня душевого потребления энергии, но активно стремящейся (в т.ч. великие Китай и Индия) к сокращению огромного отставания в экономике и уровне жизни. Рост электроэнергетики и расширение области применения электричества сдерживается его высокой стоимостью из-за больших расходов топлива и затрат на его добычу и транспорт.

Неисчерпаемое и дешевое ядерное топливо, при необычайной простоте физических и технических принципов его расщепления в реакторах, служи-

ло главным мотивом работы по мирному использованию ядерной энергии. Централизованное производство электричества на АЭС в сотни — тысячи МВт наиболее отвечает экономическим и другим особенностям ядерной энергии и остается почти единственным сектором применения ядерной энергетики.

Но главные проблемы — бридинг делящегося топлива, безопасность и связанная с ней стоимость АЭС, радиоотходы, устойчивость к распространению ядерного оружия — за полвека не нашли вполне удовлетворительных решений, поэтому исходные цели ядерной энергетики не были достигнуты.

При решении этих проблем путем мобилизации внутренних физических ресурсов реакторов и выбора адекватных технических решений на дешевом ядерном топливе и недорогих АЭС можно будет производить дешевое электричество. Это устранил главное препятствие ко все более широкому использованию электричества и к росту электроэнергетики, в том числе в развивающихся странах.

Разумеется, где это выгодно, небольшие ядерные реакторы разных типов будут использоваться и для покрытия нужд в электричестве и тепле удаленных районов (опыт Билибинской АТЭЦ), и для производства тепла низкого потенциала, для отопления или опреснения морской воды (опыт БН-350), а возможно, и высокого — для металлургии и химии, в том числе для производства водорода. Но именно в полной реализации возможностей электричества, открытых людям физикой XIX в., видится главная роль ядерной энергии — другого открытия физики, но уже XX в.

Лучше нас представляя встающие трудности, но понимая значение ядерной энергии для будущего, АП в конце 60-х гг. инициировал в ИАЭ работу по изучению перспектив развития энергетики на многие десятилетия вперед на основе анализа ситуации в ней и динамики топливного баланса. Предвидеть ожидавшие нас грозные события и крутые повороты никто тогда не мог, и целью оставалось создание в недалеком будущем большой ядерной энергетики. Многие выводы того анализа, отраженные в публикуемом выступлении АП, были скорректированы жизнью, многие замыслы не были осуществлены, но остаются актуальными и сейчас:

- увеличение в будущем роли угля и ядерной энергии;
- целесообразность разработки, кроме крупных АЭС, реакторов для обеспечения локальных нужд в электричестве и тепле, в том числе высокотемпературных для металлургии и производства водорода (экспериментальные HTGR, построенные в 60-е гг. в Англии, США, а затем в Германии, не получили пока применения, но теперь в России, как и в США, Южной Африке и других странах, возвращаются к их разработке).

Была подтверждена принципиальная роль быстрых реакторов, в том числе для поддержания тепловых реакторов в отдаленном будущем при исчерпании ресурсов дешевого урана.

Анализ перспектив быстрых реакторов АП поручил мне, до того много лет проработавшему над ними в Физико-энергетическом институте. Правда, требование от них высоких темпов бридинга плутония, отвечавшее задаче быстрого развития ядерной энергетики (об этом АП говорит в выступлении, ссы-

лаясь также на известного американского физика Г. Бете), теперь, при снижении темпов роста энергетики и накоплении тепловыми реакторами тысяч тонн плутония, стало неактуальным. Отказ от высоких темпов бридинга позволил в дальнейшем найти концепцию быстрых реакторов (БРЕСТ), в которой избыток нейтронов и взятые из первых БР и военной техники технические решения используются для решения проблем безопасности, радиоотходов, нераспространения с упрощением и удешевлением АЭС-БР (к настоящему времени выполнен проект опытного прототипа и ведутся научно-исследовательские опытно-конструкторские работы по его обоснованию).

Значение поставленной А. П. Александровым работы по анализу перспектив ядерной энергетики выходит далеко за рамки полученных в ней и отраженных в его выступлении результатов. Из нее выросли поиски и исследования, приведшие к концу века к долговременной Стратегии Минатома, где на уроках полувекowego опыта сформулирована задача разработки ядерной энергетической технологии, способной в складывающихся новых условиях решить главные проблемы большой ЯЭ. Исследования послужили и научной основой подготовки инициативы президента РФ В. В. Путина на Саммите тысячелетия в ООН, приглашающей к сотрудничеству в создании ядерной технологии для энергетического обеспечения устойчивого мирового развития.

Особое значение этой программы действий для России состоит в том, что ее выполнение на основе накопленного опыта и созданного научного потенциала и задела будет способствовать сохранению топливных богатств для будущего, в том числе для выхода из кризиса с преодолением сырьевого уклона в экономике, и превращению энергетического производства в современную отрасль, для которой характерны высокая квалификация и качество труда работников, что позволит занять достойное место в одном из ключевых направлений мирового научно-технического прогресса.