

**19.08.2016**

**Зеленина Е.**

**«Безопасность ядерной энергетики – это физика плюс экономика...»**

Эти слова академика-секретаря Отделения ядерной физики и энергетики НАН Украины и генерального директора Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт» (ННЦ ХФТИ) И. Неклюдова невольно вспоминаешь каждый раз, когда политики начинают громко рассуждать о том, как все запущено в нашей ядерной отрасли, что ядерные реакторы исчерпали свой ресурс, их эксплуатация становится все более опасной, диверсификация поставок ядерного топлива якобы невозможна по техническим причинам, а хранить отходы негде ([Время](#)).

К сожалению, общество в последнее время мало интересуется тем, чем занимается украинская наука, какие сложнейшие задачи по безопасности страны, в том числе и ее энергетической отрасли, она решает.

Дошло до того, что предыдущий премьер-министр обвинил ученых в том, что они, дескать, даром едят свой хлеб. Тогда академик НАНУ В. Семиноженко ответил, что НАНУ оплатила свое существование на срок от 75 до 90 лет вперед, благодаря работам по продлению сроков эксплуатации уже трех ядерных реакторов для АЭС (всего их 15).

Вклад Академии наук обеспечивается ведущими профильными академическими институтами: Национальным научным центром «Харьковский физико-технический институт» (ХФТИ), Институтом ядерных исследований НАН Украины, Институтом проблем прочности им. Г. С. Писаренко, Институтом электросварки им. Е. О. Патона, Институтом металлофизики НАНУ.

Арифметика здесь простая: чтобы построить новый блок необходимо \$5–9 млрд, а чтобы продлить срок его эксплуатации – примерно \$350 млн. То есть государство экономит миллиарды долларов на каждом блоке!

А впереди еще 12 блоков, срок эксплуатации которых скоро завершается. И обеспечить их работоспособность предстоит академии, ее институтам вместе с НАЭК «Энергоатом».

**Без мирного атома – и ни туды, и ни сюды**

«Граждане, не стойте! Электричество кончается!», – приблизительно так будет выглядеть ситуация на энергетическом рынке Украины через несколько лет, когда постепенно завершится жизненный цикл атомных энергоблоков, действующих в нашей стране. И придется забыть о телевизорах и холодильниках, уютгах и чайниках, компьютерах и мобильных телефонах, короче – вернуться в 19-й век!

Так что же делать? Модернизировать действующие энергоблоки, продлевать срок их ресурса, убеждены в Национальном научном центре «Харьковский физико-технический институт».

Еще во времена Советского Союза ХФТИ был головным разработчиком ядерного топлива для реакторов с газовыми теплоносителями. В музее института, куда закрыт доступ широкой публике, можно увидеть первую такую тепловыделяющую сборку (ТВС), созданную в Харькове для первой атомной электростанции в Чехословакии.

Это – всего лишь один маленький факт, свидетельствующий о том, что проблемами ядерной энергетики здесь занимаются еще с советских времен.

Учитывая важность и наукоёмкость развития ядерно-энергетического комплекса независимой Украины, более десяти лет назад по инициативе председателя президиума Национальной академии наук Б. Патона было создано новое отделение – Отделение ядерной физики и энергетики, в которое вошел Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт».

Отделение включает пять институтов и три научных комплекса ННЦ ХФТИ, Институт ядерных исследований, Институт прикладной физики, Институт геохимии окружающей среды, Институт электрофизики и радиационных технологий, Учебно-научный центр «Физико-химическое материаловедение» Киевского национального университета и Государственное научно-производственное предприятие «Рубин».

Начнем с вопроса, так ли уж необходима атомная энергетика стране, всего лишь 30 лет назад пережившей крупнейшую в истории человечества радиационную катастрофу?

Академик И. Неклюдов убежден, что ядерная энергетика – это физика плюс экономика, где обе составляющие играют одинаково важную роль.

По прогнозам экспертов, экономическое развитие к 2050 г. приведет к росту мирового производства в 3–5 раз и в 10–15 раз к 2100 г.. Хотим мы этого или не хотим, но это приведет к колоссальному росту энергозатрат.

– В первой половине нашего столетия большого дефицита ресурсов органического топлива в мире не ожидается, – рассказывает Иван Матвеевич. – Однако в некоторых странах, включая Украину, дефицит энергоресурсов станет критическим.

В ряде стран ядерная энергетика занимает доминирующее положение, вырабатывая свыше половины необходимой электроэнергии. К таким странам относится и Украина. В минувшем году объем выработки электроэнергии на наших атомных станциях составил около 56 %.

Мы имеем на территории Украины крупнейшую атомную станцию в Европе. Это Запорожская АЭС – 6 энергоблоков.

Однако до 2020 г. проектный срок эксплуатации большинства блоков атомных станций будет уже исчерпан. Значит, остро встает вопрос продления сроков службы этих блоков. О том, что это возможно, свидетельствует мировой опыт.

При решении данной проблемы самое главное и сложное – это защита корпуса реактора. Диагностика каждого миллиметра корпуса и особенно сварных швов, потому что именно в зоне сварного шва происходит деградация материала и возможно трещинообразование и разрушение.

Стоит ли овчинка выделки?

Если мы продлим срок службы хотя бы одного действующего энергоблока на 10 лет, для этого потребуется \$76 млн, но зато прибыль будет – около миллиарда! Если на 20 лет, то экономический эффект составит \$1 млрд 300 млн.

Что же касается современной ядерной энергетики, то, например, Запорожская атомная станция, по оценкам МАГАТЭ, занимает 1 место в мире и по работоспособности и по характеристикам своей безопасности.

А в будущем атомные реакторы вообще, наверное, будут строить под землей. Идея заключается в том, чтобы, грубо говоря, зажечь под землей «сигару» – ядерное топливо, длиной 30 метров, и эта «сигара» будет гореть 30 лет до тех пор, пока полностью не сгорит и там же под землей навеки не останется. Такие разработки тоже входят в направление деятельности Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт».

### **Westinghouse, ТВЭЛ. Третьими будем?**

– ННЦ «ХФТИ» – единственный в Украине занимался топливом для АЭС, – подчеркивает В. Красноручкий, который руководит наряду с НТЦ «Ядерный топливный цикл» (НТК ЯТЦ) также и «Центром проектирования активных зон». – Westinghouse обязался обучить наших специалистов методам проектирования ТВЭЛ и ТВС, чтобы Украина могла самостоятельно проектировать их и активные зоны реакторов. В независимой Украине необходимость в таком подразделении – «Центре проектирования активных зон» – ощущалась постоянно. А тут помогли американцы. Был выделен грант на подготовку наших специалистов.

Соглашение между правительствами Украины и США о применении американского топлива было заключено в начале «нулевых» годов. Для испытаний был избран энергоблок № 3 Южно-Украинской АЭС. В тендере компаний-производителей альтернативных ТВС победила Westinghouse.

В результате Украине были переданы технологии проектирования ядерного топлива и активных зон.

– Вы знаете, что все поставки топлива для украинских АЭС на тот момент были со стороны АО «ТВЭЛ» (Россия), – поясняет главный инженер проекта Центра проектирования активных зон реакторов А. Абдуллаев. – Целью украинско-американского проекта стало создание возможности технического сопровождения топлива альтернативного поставщика.

Наши специалисты по этому проекту ездили в США, проходили стажировку в компании Westinghouse, в том числе и я. В течение пяти лет изучали особенности проектирования этого топлива, механику и анализ безопасности, в частности – поведение в аварийных режимах. Часть людей стажировались в Питтсбурге – головном офисе компании, часть – на заводе компании в штате Колумбия.

В 2005 г. первые 6 опытных сборок с топливом компании Westinghouse, спроектированные в американской компании с нашим участием, были установлены на Южно-Украинской АЭС, блок № 3.

Тут интересно, что до этого американцы производили квадратные сборки, а под наши реакторы были созданы шестигранные.

В целом же эта работа оказалась более сложной, чем предполагалось. Необходимо было провести моделирование, исследования, увязку с нашими конструкторскими решениями, так как построенная по российским проектам отечественная реакторная установка сильно отличается от американской. Следовало также решить проблемы гидравлической и механической совместимости, обеспечения температурных режимов для топлива. Все эти задачи успешно решает ННЦ «Харьковский физико-технический институт».

Опытная эксплуатация новых сборок была успешно завершена в 2009 г.

Как сообщает А. Абдуллаев, сегодня уже идут коммерческие поставки топливных сборок Westinghouse. То есть, если в начале, по соглашению между правительствами двух государств, проект финансировала американская сторона, и конструкцию, и проектирование, и изготовление шестигранных ТВС, то ныне уже есть коммерческий контракт НАЭК «Энергоатом», по которому компания Westinghouse поставляют топливо. В настоящее время планируется расширение эксплуатации топлива Westinghouse. Часть энергоблоков Запорожской АЭС и Южно-Украинской АЭС будет переведена на топливо альтернативного поставщика.

На сегодняшний день 70 % потребляемого топлива поставляется из России, 30 % – из США. Эти 30 % означают, что на нескольких блоках будет использоваться топливо альтернативного поставщика.

А вот отказываться от российских поставок топлива целиком специалисты не считают разумным, чтобы не попадать в зависимость уже от другого поставщика. Весь смысл диверсификации – в том, чтобы было несколько поставщиков.

Все страны, которые хотят развивать у себя ядерную энергетику, создают собственные мощности по производству топлива. Даже, если они не обладают сырьевыми запасами. Ведь изготовление ТВЭЛ и ТВС у себя означает возможность для маневра. Однако задача построить такой завод с участием России к 2010 г. в Украине не была выполнена.

Не так давно тема возникла вновь. Новый министр энергетики И. Насалик объявил о договоренности с компанией Westinghouse о строительстве завода ядерного топлива на территории Украины. Он подчеркнул, что заинтересованность в постройке завода ядерного топлива в Украине выразил и Казахстан.

По мнению экспертов, следует найти инвестиции не только под текущее производство топлива или модернизацию процессов загрузки реакторов, но и для разработки программ по добыче урановой руды, изготовления уранового концентрата, партнеров, которые бы в будущем обогащали ядерное топливо и помогали развивать технологии производства. Развитие такой технологической цепочки под силу правительству, которое способно системно подойти к решению такой задачи.

«Вопрос диверсификации источников свежего ядерного топлива, создание эффективной системы обращения с отработанным ядерным топливом и внедрение самых современных ядерных технологий – это вопрос обеспечения национальной энергетической безопасности Украины», – заявил президент НАЭК «Энергоатом» Ю. Недашковский, выступая недавно на встрече Евразийского центра Атлантического совета в США.

### **Что имеем, надежно сохраним**

Если мы будем использовать тепловыделяющие сборки компании Westinghouse, то обратно в Соединенные Штаты или какую-то другую страну, например, в Россию, мы отправлять отработанное ядерное топливо не сможем. Дабы избежать этого, строится сухое хранилище отработанного ядерного топлива. Оно может быть использовано как для российского топлива, так и для американского.

Закон о создании централизованного хранилища отработанного ядерного топлива (ЦХОЯТ) украинский парламент принял еще в 2012 г.

Согласно закону, в Чернобыльской зоне отчуждения появится централизованное хранилище отработанного ядерного топлива отечественных атомных электростанций.

Ранее в Украине отсутствовала национальная стратегия долговременного обращения с отработанным ядерным топливом, хотя это – вопрос национальной безопасности.

Решено использовать технологию поверхностного «сухого» хранения отработанного ядерного топлива в инженерных системах контейнерного типа.

Подобная технология уже отлично себя зарекомендовала на Запорожской атомной станции. Наряду с инициаторами и основными исполнителями проекта (ЗАЭС) в ее разработку весомый вклад внесли ученые физико-технического факультета Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина и Института проблем машиностроения имени А. Н. Подгорного НАНУ (Харьков), а также специалисты Харьковского института «Энергопроект».

Здесь отработанное топливо хранят не в воде, как на атомной станции, а в герметичных емкостях, заполненных гелием, поэтому такой способ хранения называют «сухим». «Сухое» хранение дешевле и безопаснее хранения в воде.

Не утомляя читателя излишними подробностями, скажем, что в специально сконструированных вентилируемых контейнерах отработанное топливо постепенно «остывает».

Сама идея «сухого» хранения не нова, она принадлежит американцам. Украинским же ученым и специалистам пришлось приспособить (адаптировать) американскую технологию специально для наших условий, решая целую цепочку проблем, связанных с созданием на основе отечественных технологий, материалов и оборудования уникального сухого хранилища открытого типа. До этого в ядерной энергетике Украины не было ничего подобного.

Ученым физико-технического факультета ХНУ имени В. Н. Каразина пришлось проделать поистине ювелирную научно-исследовательскую работу. Для расчета характеристик излучения, которое проходит такие конструкции, понадобились специальные методы вычислений. Авторам пришлось практически с нуля разрабатывать уникальные компьютерные программы, моделирующие процессы возникновения и распространения гамма-излучения в неоднородных средах.

Специальные исследования также понадобились для безопасного размещения в контейнерах отработанных тепловыделяющих сборок с разной мощностью тепловыделения, что позволило разработать безопасную схему их размещения.

Однако по различным причинам не на каждой АЭС можно оборудовать такое хранилище. К тому же централизованное хранение, по подсчетам «Энергоатома», обойдется дешевле.

Вот почему для Ровенской, Хмельницкой и Южно-Украинской АЭС планируется построить общее для них (централизованное) «сухое» хранилище в Чернобыльской зоне отчуждения, также контейнерного типа, в котором будет размещаться отработанное топливо этих станций, произведенное за весь срок их работы и не вывезенное в РФ.

Другой вопрос, а что мы будем делать с ОЯТ через 50 лет?

На это у ученых пока нет ответа. В принципе, переработка отработанного топлива позволяет сегодня извлечь из него остаток «недожженного» урана и вновь наработанный плутоний, которые можно использовать для изготовления свежего ядерного топлива, а также добыть некоторые радиоактивные химические элементы, представляющие интерес в промышленности.

Но... Переработка отработанного топлива – очень дорогая операция, которая может окупиться лишь в том случае, если ее объемы достаточно высоки и если полученные в результате переработки уран и плутоний вновь используются в ядерном топливном цикле. В настоящее время эта «овчинка» не стоит выделки, поскольку стоимость природного урана невысока.

В свое время Агентство по атомной энергии Японии сравнило стоимость двух технологий. По этим данным прямое захоронение отработанного ядерного топлива без переработки будет стоить в 1,5–1,8 раза дешевле.

Учитывая эти обстоятельства, большинство стран с ядерной энергетикой придерживается политики «отложенного решения». Ведь наука не стоит на месте, постепенно продвигаясь к созданию безопасного ядерного реактора будущего. В любом случае промежуточное хранение отработанного топлива в течение нескольких десятков лет даст возможность работать без дополнительных проблем украинским АЭС. Кроме этого, будет время для окончательного выбора между «хоронить» (включая захоронение в дальнем космосе) или «перерабатывать» с учетом перспектив науки и техники.

\*\*\*

Если же оценивать в целом ситуацию с безопасностью производства атомной энергетикой, то очевидно, что частая смена правительств, а также деятельность всевозможных экономических лоббистских групп, отсутствие должных инвестиций в науку тормозят инновации. Это именно та отрасль, где физика никак не может обойтись без экономики, а экономика без физики.