

П.В. Швыдько

## НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ УКРАИНЫ

*Энергетическая независимость Украины зависит от самообеспечения природным ураном, ядерно-чистым цирконием, гафнием, природной серой и элементами ядерно-топливного цикла. Страна владеет самым мощным месторождением урана в Европе, но не осваивает его с нужными темпами. То же касается циркония для тепловыделяющей сборки. Анализируются причины отставания в освоении месторождений и элементов ядерно-топливного цикла.*

---

### НАПРЯМИ РОЗВИТКУ СИРОВИННОЇ БАЗИ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

*Енергетична незалежність України залежить від самозабезпечення природним ураном, ядерно-чистим цирконієм, гафнієм, природною сіркою та елементами ядерно-паливного циклу. Країна володіє найпотужнішим родовищем урану в Європі, але не освоєю його з потрібними темпами. Те ж стосується і цирконію для тепловидільного збирання. Аналізуються причини відставання в освоєнні родовищ і елементів ядерно-паливного циклу.*

---

### DIRECTIONS OF RAW MATERIALS BASE DEVELOPMENT OF NUCLEAR ENERGY IN UKRAINE

*The energy independence of Ukraine depends on self-sufficiency in natural uranium, nuclear-pure zirconium, hafnium, natural sulfur and elements nuclear-fuel cycle. The country has the most powerful uranium deposit in Europe, but does not develop it with required pace. The same goes for zirconium fuel rod array. Reasons for the lag in the development of deposits and elements of the nuclear fuel cycle are analyzed.*

---

#### ВВЕДЕНИЕ

Важнейшими задачами развития атомной энергетики Украины является обеспечение ее собственной сырьевой базой и создание украинских элементов замкнутого ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) открытого типа [1]. Сырьевой базой может быть добыча природного урана подземным способом, скважинное подземное выщелачивание (СПВ) урана и прирост выпуска урана за счет переработки отвальных пород. Переработка терриконов отвальных пород вокруг г. Кировограда и пгт. Смолино, в

которых содержание урана менее 0,03% с целью сепарирования не будет рентабельной, а отвлекает значительные средства, она может быть целесообразной только будучи попутной с утилизацией отвальных пород в качестве инертного заполнителя в искусственном массиве твердеющей закладки взамен, например, дорогостоящего строительного песка [2].

Дорогостоящая добыча урановых руд шахтным способом с твердеющей закладкой выработанного пространства и современной комплексной механизацией требует привлечения частных, в т.ч. иностран-

ных инвестиций, т.к. в бюджете для этого недостаточно средств. Строительство нового гидрометаллургического завода (ГМЗ) на промплощадке Новоконостантиновского рудника уже не планируется. В то же время железнодорожная перевозка всей добычи массой 2,5 млн т/год руды (220 км, в т.ч. 25 км необходимо строить) на ГП «ВостГОК» просто невозможна. Это обусловлено тем, что твердые отходы (шламы) после извлечения урана массу шлама сохраняют на 99,9% от массы исходной руды, а объем при этом увеличивается за счет разрыхления при дроблении и измельчении до фракции – 0,25 мм в 2,4 раза по сравнению с объемом в рудном теле. В г. Желтые Воды шламы хранить негде, эксплуатируемое хранилище практически заполнено отходами переработки руд шахт «Ингульская» и «Смолинская» ГП «ВостГОК».

Строительство стратегически важного для Украины рудника на Новоконостантиновском месторождении урана задерживается, не освоились выделенные в 2009 году и практически не выделяются позже капсредства. Пуск этого объекта может на 100% обеспечить Украину в природном уране ( $U_3O_8$ ) при добыче 2,5 млн т в год по руде.

Принятые как в «ТЭО отработки Новоконостантиновского месторождения мощностью 2,5 млн т», так и в реализуемом проекте на этом же месторождении производственной мощностью 1,5 млн т имеют недостаточно обоснованные технические решения. А именно:

- высокие очистные камеры – 120 – 180 м при жильном и даже не крутопадающем залегании руды (около 50°). Это приведет к запредельному разубоживанию рудной массы пустыми породами висячего бока, но упростит, к сожалению, достижение проектной мощности по рудной массе;

- электровозная откатка в ортах и штреках с вагонетками 2 м<sup>3</sup>;

- физически и морально устаревший подземный дробильно-бункерный комплекс (ДБК), требующий в десятки раз за-

вышенных объемов СМР, всего по породе на 15 тыс. м<sup>3</sup>, по сравнению с современными решениями;

- устаревшая схема вскрытия и морально устаревшая жесткая армировка головного выдачного ствола, что требует проходки дополнительного выдачного ствола для достижения 2,5 млн т/год. Кроме того, требуется 2500 т специального высококачественного проката, пригодного для армировки вместо 300 т канатов при современном решении рационализации подъема по технологии «АВВ»;

- клетевой подъем главного ствола обеспечивает свою работу вводом пяти руддворов на каждом горизонте с общим объемом горнопроходческих работ 25 тыс. м<sup>3</sup>;

- хвостохранилище ГМЗ на 500 га на черноземах Кировоградщины, если восстаноят строительство ГМЗ на объекте.

За 22 года развития атомной энергетики в Украине не получено ни одного элемента, ни одного компонента ЯТЦ. А уже потеряли из-за банкротства важнейший элемент ЯТЦ – Днепропетровский завод прецизионных труб, уже имевший небольшой опыт проката ТВЕЛЬных циркониевых труб.

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ УКРАИНЫ

Основным и самым актуальным вопросом атомной промышленности является вопрос увеличения выпуска природного урана до объемов полного удовлетворения потребности АЭС Украины в собственном топливе и его приемлемой себестоимости. Добыча и обогащение урана до  $U_3O_8$  окупается около 50% стоимости ядерного топлива (ЯТ) в виде тепловыделяющей сборки (ТВС).

Альтернативой и дополнением к дорогостоящей шахтной добыче рудных запасов с содержанием урана  $\geq 0,1\%$  масс., которых разведано более чем на 100 лет эксплуатации, является скважинное подземное выщелачивание (СПВ) урана. СПВ

применимо на месторождениях песчаникового типа с содержанием урана  $\geq 0,007\%$  масс. Разведано таких месторождений в Украине 14, вместе с рудопроявлениями. Украина была первой республикой в СССР, применившая этот дешевый метод добычи на Девладово в 1964–1983 гг. Общие запасы урана на этих 14 месторождениях составляют более 50 тыс. т, что достаточно на 20 лет, в течение которых можно достроить Новокопачевский рудник. Капзатраты на добычу 1 т урана методом СПВ рудником производительностью около 2 тыс. т/год будут на порядок меньше, а себестоимость урана в виде «желтого кека» не превысит, по нашим расчетам, 40 долларов за 1 кг. Переработку «желтого кека» урана до  $U_3O_8$  и даже до  $UF_6$  можно будет организовать как в г. Желтые Воды, так и в г. Днепродзержинске на бывших урановых площадках Приднепровского химического завода (ПХЗ). Модуль для выпуска урана методом СПВ на 1000 т «закиси-окиси» в год может стоить до 30,0 млн долл., а прибыль – более 60,0 млн долл.

Действующие мощности ГП «ВостГОК» по урану загружены всего на 50% и могли бы перерабатывать до 1800 т урана в «желтом кеке» до  $U_3O_8$  без существенных капитальных затрат. Тем более, что при этом нагрузка на желтоводское хвостохранилище урановых отходов (узкое место) увеличится незначительно.

Наличие запасов урана, технологий его переработки, практического опыта делает вполне реальным производство в Украине самого конечного продукта гидрометаллургической переработки урана – гексафторида урана. Даже Казахстан, не имея своих АЭС, планирует такое производство, т.к. это экономически выгодно.

Переработка закиси-окиси до гексафторида урана (конверсия) позволит Украине самой распоряжаться всем добытым ураном, не отдавая бесплатно значительную его часть в виде отвального  $UF_6$  переработчику  $U_3O_8$  в обогащенный гексафторид урана до энергетического содержания

$U-235$ .

Контракты по изотопному обогащению урана-235 предлагаются Украине с учетом снижения содержания изотопа урана-235 с 0,7% в природном до 0,3% в отвальном  $UF_6$ . При этом извлекается  $U-235$  в концентрат обогащенного  $UF_6$  не более 60%. Существующий же мировой уровень технологии уже позволяет снизить этот предел с 0,3 до 0,1%, получая уран, из уже бесплатного, отвального гексафторида урана (ОГУ). Россия, при этом, не предлагает возврат ОГУ, содержащего хоть 0,3%, хоть 0,1% изотопа-235, т.к. это продукт ликвидный для будущего топлива на основе плутония. И считать сегодня ОГУ украинским нелогично, так как мы даем ОАО «ТВЕЛ» закись-окись, а конверсия урана, т.е. превращение его в газообразное фазовое состояние – не наш элемент ЯТЦ.

Восстановив элемент ЯТЦ-конверсию, т.е. превращение закиси-окиси (твердого) в гексафторид урана (газообразное) на своих предприятиях, Украина будет способна заказать его изотопное обогащение до содержания 4,4%  $U-235$  по тендеру в любой из стран мира (США, Англия, Франция или РФ – страны, выполняющие изотопное обогащение на коммерческой основе), ориентируясь только на экономику, т.е. на предлагаемую стоимость единицы работы разделения (ЕРР), которая составляет сегодня около 100 долл. (по данным Ux Consulting \$98 на 24.03.14 г.); (ЕРР – мера усилий, затрачиваемая на разделение двух изотопов, не зависит от технологии разделения; ЕРР измеряется в кг, а стоимость единицы ЕРР – затраты на обогащение 1 кг выполненной работы изотопного разделения).

Стоит освоить конверсию, и тогда обедненный гексафторид урана, после изотопного обогащения, будет возвращаться Украине. Продавая уран только в виде закиси-окиси с 1991 г., Украина уже безвозвратно потеряла, точнее подарила обогатителю по урану-235, т.е. РФ до 8 тыс. т изотопа  $U-235$ .

До пуска своих рудников по методу СПВ закупка закиси-окиси урана на стороне в виде «желтого кека» будет весьма рентабельна. Наличие же своего давальческого, обогащенного за границей до 4,4% по U-235 гексафторида урана, открывает реальную возможность иметь важнейший элемент ядерно-топливного цикла – получение отечественной таблетки двуокиси урана методом деконверсии.

Важно при создании ЯТЦ учитывать, какой базой ядерной техники и технологии владеет Украина, какие успехи достигнуты в производстве конструкционных и поглощающих материалов активной зоны ВВЭР-1000.

Технология производства циркония и гафния, из добытого в Украине циркона, основана на современных гидрометаллургических процессах и новейшей центробежной технике. Она прошла все промышленные испытания и работает успешно более 30 лет. Это позволяет получать соединения циркония и гафния самой высокой степени чистоты, в т.ч. по критическим примесям, влияющим как на экономику, так и радиационную стойкость. Технология разделения позволяет получать цирконий с содержанием гафния 0,002% масс., при достигнутом уровне у ведущих фирм мира 0,007% масс. и нормативе ASTM 0,01% масс. В то же время РФ поставляет свое ядерное топливо в Украину, в т.ч. изделия из циркония с содержанием гафния  $\leq 0,035\%$ , т.е. по своим внутренним, а не мировым стандартам. Почему? Это дает ей прибыль и существенную. Технология, принятая в РФ, позволяет обеспечить уровень  $Hf < 0,01\%$ . Но цена такого циркония, в виде электролитического порошка, будет уже вдвое дороже по гафнию в цирконии. Это обусловлено тем, что процесс дробной кристаллизации имеет большие обороты циркония и большую себестоимость и экономически нерентабелен для очистки циркония от гафния, до соответствия с требованиями ASTM.

Второй критической примесью в цирконии является углерод, уровень которого

установлен из возможностей работающих технологий электролиза и магнийтермии, а не требований эксплуатации. Кальцийтермический метод, освоенный крупнотоннажно в г. Днепродзержинске, дает содержание углерода значительно меньше, чем конкуренты. Сумма всех примесей, входящих в украинский цирконий ядерной чистоты, наименьшая в сравнении с другими технологиями, что весьма важно для обеспечения радиационной стойкости изделий, их долговечности и надежности.

Украинская технология позволяет легировать цирконий кислородом на уровне 0,10 – 0,15% самым простым и дешевым методом – в ходе производства, что очень важно при эксплуатации изделий, которые должны обладать высокими механическими свойствами, прежде всего, прочностью, без потери пластичности. Но разрешение на такое содержание кислорода может дать только российская наука и гл. конструктор эксплуатируемых ВВЭР-1000, т.к. конструкция и состав применяемого ядерного топлива – российский приоритет. Этот монополизм родился еще до 1991 г. и благополучно сохранился в течение 20 лет в независимой Украине. Все ядерные страны мира, производящие ядерное топливо, поставляют его по требованиям ASTM, а не по непонятно кем и как лицензированным технологиям. Поскольку ядерное топливо принадлежит РФ, то Украина подчиняется этому монополизму, не отстаивая свои интересы. Украина планирует производство циркония только в объеме своих потребностей – 180 тонн, что создает серьезные препятствия для равной конкуренции сплава и изделий на его основе. Зарубежный опыт свидетельствует, что для рентабельности необходим модуль по цирконию на 1000 т/год, при этом гафний находится в виде гидроокиси и складывается, т.к. она за рубежом является радиоактивной по причине использования минерала циркон, добытого в Австралии. Выпуск гафния и его сбыт позволяют снизить себестоимость циркония на 20 – 25%, что является конкурентным преимуществом Украины, кото-

рая освоила выпуск гафния с содержанием циркония менее 0,5%, при нормативе ASTM в 4%. При этом, гидроокись *Hf* не-радиоактивна, т.к. циркон добывается на чистом – Вольногорском месторождении в Днепропетровской области.

Относительно высокое содержание циркония в гафнии вызывает процесс его более глубокого гидрирования при работе в составе поглощающих стержней системы управления защитой (ПС СУЗ) и разрушения в условиях активной зоны, поэтому США, например, перешли на сплав индий-кадмий-серебро. Украинский гафний, т.к. он более чистый, прошел успешно полный цикл радиационных испытаний в ведущем исследовательском центре мира, в ГНЦ ВНИИАР РФ, 12 лет отстоял в режиме аварийной защиты (АЗ) на Ровенской АЭС. Интерес к гафнию растет во всем мире, но не все страны могут выпустить гафний такой же чистоты, как Украина. Атомные подводные лодки США с 1953 г. используют в качестве поглощающего материала для стержней регулирования активной зоны реактора только гафний, при этом неизвестно ни об одном случае его аварии. Гафний, после эксплуатации в ПС СУЗ, не дает токсичных радиоактивных материалов, требующих вечного дорогостоящего хранения в могильниках АЭС, как применяемые нами материалы в настоящее время. Эта проблема недооценивается при обсуждении перспектив развития АЭС, т.к. отработанные ПС СУЗ просто хранятся в дорогих могильниках АЭС вечно.

Гафний, имея плотность  $13,2 \text{ г/см}^3$ , является самым тяжелым поглотителем нейтронного потока и обеспечивает время срабатывания стержня в режиме аварийной защиты в течении 1 – 2 с, при нормативе 4 с, который не обеспечивается в реакторах российской конструкции при работе стержней-поглотителей на основе карбида бора, создавая при этом угрозу несвоевременного прекращения ядерной реакции в активной зоне реакторов типа ВВЭР. Альтернативный карбиду бора поглотитель – титанат диспрозия – дает радиоактивные

отходы средней токсичности, которые также необходимо хранить вечно. Кроме того, порошковые поглотители уступают металлическим при росте мощности блока до 1,5 МВт.

Гафний, обладая резонансной областью поглощения нейтронов, более экономно регулирует ход процесса деления урана-235, за счет чего обеспечивается прибыль до 4,0 млн долл. на 1 блок за счет экономии урана. Эти работы были проведены главным конструктором ПС СУЗ МЗП РФ еще до 1991 г., но в Украине они VIP-менеджерам неизвестны.

Украинским АЭС необходимо всего 6 – 8 т гафния для перевода всех ПС СУЗ ВВЭР-1000 на утяжеленные (+5 кг), по сравнению со штатными, стержни. Гафний, как и цирконий, может стать экспортной продукцией, т.к. при переработке циркона в объемах, позволяющих получать до 1000 т оксида циркония, будет производиться до 20 т гафния в год. Применение гафния в активной зоне реактора особенно важно при переходе на реакторы большей мощности и на топливо, при делении которого выделяется больше энергии, которой противостоять применяемые в конструкции ПС СУЗ порошкообразные материалы не могут. Ведущие страны мира в производстве ЯТ имеют свои промышленные производства гафния. США производят его иодидным методом из магнийтермической губки, РФ внедрила опыт Украины по экстракционному выделению ядерно-чистого гафния, но выбрала Россия путь электролиза фтористой соли гафния с последующим иодидным рафинированием. Украина пошла по принципиально новой кальцийтермической и электронно-лучевой технологиям, в результате чего гафний соответствует всем стандартам ASTM, не уступает по качеству иодидному металлу, но его себестоимость, при сравнимых условиях с конкурентами (при выпуске 1000 т циркония, очищенного от гафния), будет ниже. Только малые объемы производства заставляют реализовать гафний по цене не менее 250 долл. и только для нужд АЭС.

РФ интенсифицировала в последние годы работы по производству и внедрению гафния в реакторы различной конструкции. В течение 40 лет регулярно проходят радиационные испытания различных изделий из гафния в ГНЦ ВНИИАР в РФ, выполняются заказы других стран, не имеющих такого исследовательского комплекса, способного получать флюенсы нейтронов – до 1026 нейтронов на см<sup>2</sup>/с.

Главной целью конструкционных материалов активной зоны является не только создание штатной высококачественной и дешевой ТВЕЛЬНОЙ трубки циркония, надежного и дешевого ПС СУЗ, срабатывающего за 1 – 2 с, а прежде всего – увеличение степени выгорания ЯТ до 60 – 70 МВт/кг сутки (сегодня достигнут уровень – не более 45 МВт/кг в сутки), обеспечение 5 лет надежной эксплуатации ТВС (сегодня на ВВЭР-1000 – не более 4 лет).

Дефекты структуры циркониевого сплава по разным причинам (прежде всего из-за наличия суммы примесей более 0,1%) не позволили до сих пор решить эту задачу. Поэтому ведущие страны мира начали испытывать новые сплавы циркония, сложнoleгированные, уже 5 компонентами. Например, США – сплавы «Цирколой-2», «Цирколой-4» и «Зирло», РФ – сплав-635. Практический опыт этих и других стран показывает, что магнийтермическая губка циркония, полученная по хлоридной технологии, и электролитический порошок, полученный по надежной электролизной схеме, не позволяют получать штатные сплавы циркония с 1% ниобия в РФ и «Ц-2», «Ц-4» в США, которые позволили бы решить эту задачу.

Достижения украинских ученых из ННЦ ХФТИ позволяют получать ТВЕЛЬНЫЕ трубки из сплавов циркония 110 и 125 с повышенной радиационной стойкостью и легированные одним компонентом – ниобием, что проверено и подтверждено исследованиями, опытно-промышленными испытаниями в РФ, Канаде, Украине.

Украина, на данном этапе технологического развития, не может по разным, в т.ч.

объективным причинам, самостоятельно решить весь сложный научно-технический и технологический комплекс проблем для внедрения своих циркония и гафния, свои технологии деформации и улучшения служебных свойств изделий из этих материалов. Поэтому необходима стадия интеграции украинских комплектующих в ЯТ ВВЭР-1000, рассчитанная на 10 лет.

Украина создала опытно-промышленное производство циркония и гафния ядерной чистоты, способное обеспечить слитками до 30% своих потребностей в цирконии и на 100% в гафнии. Изделия из сплавов циркония КТЦ-110 и КТЦ-125 по новой, более прогрессивной технологии прошли полный цикл реакторных испытаний на ВВЭР-440, РБМК-1000, гафний – на ВВЭР-1000, показали свою работоспособность, но поскольку ЯТ для ВВЭР-1000 является российским, то такая информация по результатам испытаний может быть только с РФ. Возможное сотрудничество с США практически консервирует собственное циркониевое производство на много лет, т.к. Украина не сможет сама освоить производство изделий из сплавов «Цирколой-2» для ТВЕЛЬНОЙ трубки.

При переходе на хлоридно-магнийтермическую технологию производства циркония Украина должна будет решить проблему очистки губки до существующих кондиций по железу и азоту, что потребует увеличения капитальных и эксплуатационных затрат. Ни одна страна мира не получает сплавы 110 и 125 из губки, даже РФ почти 10 лет не может получить губку циркония необходимой чистоты по промышленной технологии, а в настоящее время прекратила финансирование и НИР.

Промышленной технологией сегодня для Украины может быть только давно имеющаяся на «ПХЗ» экстракционная кальцийтермическая с электронно-лучевым процессом глубокого рафинирования металла от примесей. Вакуумно-дуговая плавка (ВДП) не дает дополнительной очистки циркония от примесей, она только сохраняет их уровень, достигнутый на

предыдущих стадиях передела.

Таким образом, Украина обладает практической возможностью производства циркония и гафния ядерной степени чистоты по самым современным наукоемким технологиям с получением изделий на их основе, с заданными по требованиям АЭС, служебными свойствами. В результате этого, из-за высокой чистоты Zr каждая 25 сборка может быть бесплатной, а себестоимость электроэнергии будет снижена за счет экономного использования ЯТ, при этом срок эксплуатации тепловыделяющей сборки (ТВС) реально довести до 5 и более лет.

Основная трудность ситуации в том, что конечный экономический эффект будет образовываться только на стадии производства электроэнергии, т.е. у НАЭК «Энергоатом». А он не заинтересован в украинском ядерном топливе, так как в его создание министерство требует вкладывать прибыль капиталами, которые затруднительно аккумулировать даже на закупку свежего топлива в РФ.

*Тем, кто не хочет, чтобы Украина имела свой цирконий.* РФ за 10 лет исследований не смогла организовать производство качественной магнийтермической губки циркония для выпуска штатного сплава Э-110, затратив более миллиарда рублей, хотя реклама и реляции шли и идут постоянно.

В Украине не созданы свои переделы получения трубной заготовки, не принято решение о закупке ее в РФ, отсутствует прокатный передел и участок иодидной переочистки циркониевых оборотов. Все это не позволяет создать полный технологический цикл, от циркона до трубки – в приемлемые сроки.

Хотя цирконий в себестоимости ТВС составляет всего 6 –7%, но он является ключевым компонентом ядерного топлива. Его чистота позволяет снизить расход урана-235 на 2 – 4%. Уровень отечественной технологии мог бы обеспечить срок эксплуатации изделий из кальцийтермического циркония не менее 5 лет при повышенной степени выгорания – до 60 – 70 МВт

на 1 кг урана в сутки.

Планируемый выпуск двуокиси циркония с циркониевой губкой – менее 500 т/год, при отсутствии производства и сбыта гафния (попутного элемента циркония), снижающего себестоимость последнего примерно на 25%, не позволяет получить конкурентный металл и изделия из него. Нужен выпуск минимум 1000 т сплава или оксида циркония в год, что подтверждает мировой опыт: США – 1800 т/год; РФ – 900 т/год; Франция – 2000 т/год.

Существующий в санации циркониевый завод в г. Днепропетровске не работает с 2008 г. Он дотируется из госбюджета без всяких планов выпуска рентабельной продукции даже через 10 – 15 лет. Выделяемых бюджетом средств достаточно только на зарплату персонала, а необходимые производству переделы технологического цикла не создаются.

Украина являлась одной из ведущих стран мира по производству гафния, первой в мире провела опытно-промышленные испытания изделий из гафния в реальных условиях эксплуатации на ВВЭР-1000. Отечественный гафний простоял 12 лет в режиме аварийной защиты (АЗ). Однако изделия после эксплуатации до сих пор не исследованы, а опыт не обобщен и не изучен.

Основные преимущества гафния доказаны в процессе реакторных исследований в РФ:

- малое время срабатывания ПС СУЗ – в течение 1 с.;
- отсутствие наведенной активности на поглощающий стержень в процессе эксплуатации;
- срок службы ПС СУЗ – в течение всего срока эксплуатации реактора.

Гафний, произведенный в Украине, чище по цирконию на порядок, чем его западные аналоги. Себестоимость гафния позволяет обеспечить его цену не выше 250 долл. за 1 кг, что экономически оправдано для ВВЭР-1000. Цена ПС СУЗ с применением гафния в Украине будет значительно ниже, чем производства РФ, которая поставляет свой поглощающий мате-

риал, титанат диспрозия, по более дорогой цене – более 42 тыс. долл. США за 1 ПС СУЗ.

При этом производство собственных ПС СУЗ из гафния планировалось тендерными условиями еще в международном тендере на строительство украинского завода ЯТ в Украине в 1995 г. и подтверждалось РФ (победителем тендера), но проблема победителем не решалась, завод не построен. Победитель тендера на строительство все это время торговал своим ядерным топливом на украинских АЭС. В 2009 г. ОАО «ТВЭЛ» (РФ) опять победил в конкурсе на строительство завода ядерного топлива, но уже в виде частного акционерного общества «Украина – РФ» с долевым участием 50+1/50-1 акция соответственно. К концу четвертого, после тендера 2013 г., выделен участок земли в Кировоградской области, который будет обнесен забором и возможно подведено электричество. Проект получил положительное заключение госэкспертизы, но до сих пор так и не утвержден Правительством Украины а денег, около 40 млн долл. США, для старта строительства 1-й (сборочной) очереди завода у украинской стороны еще нет.

Японско-американо-казахский «Вестинхауз» (Wh), проигравший и в 1995 г. и в 2009 г. российскому ОАО «ТВЭЛ», гарантировал в последнем тендере 2009 г. пуск в 2012 г., а выход на проектную мощность – в 2014 году.

Этот же «Вестинхауз», проигравший первый раз тендер в 1995 г., гарантировал кредит американского банка с возвратом Украиной кредита после запуска завода ядерного топлива с дохода от реализации ТВС.

Диверсификация производителей ядерного топлива для Украины уже не произойдет даже, если когда-то неукраинский завод и будет построен, то он будет российско-украинским, производящим ЯТ для украинских АЭС. При этом опять проигравший «Wh» гарантировал поставку важнейших элементов ЯЦ – конверсию природного и деконверсию обогащенного по

235 изотопу урана, чего уже нет в дизайне тендера 2009 г., предлагал Украине украинский завод замкнутого цикла открытого типа по цене до 100 млн долл. с отсрочкой платежей до выхода завода на проектную мощность. «Wh» проиграл по абсолютно надуманным причинам – некоторые заключения экспертов стыдно читать... Сегодняшняя стройка завода по фабрикации ядерного топлива, возможно, вложится в 450 млн долл. США, потеряв при этом важнейшие элементы (конверсия-деконверсия) ядерно-топливного цикла как в энергетической независимости, в глубине передела урана, так и высокоразвитых рабочих местах!

Применение гафния в ПС СУЗ позволяет получить до 1,0 млн долл. на одном энергоблоке в год прибыли, за счет экономии ядерного топлива, предотвращая его потери за счет инерции процессов деления, которая вызывает повышенный расход урана-235.

Не менее тупиковой стала подпрограмма по выпуску циркониевых изделий и применению гафния в контролируемых ПС СУЗ ВВЭР-1000. Выбранная министерскими менеджерами с 2006 г. для внедрения магнийтермическая технология производства губки циркония является новой и тупиковой для Украины. Это обусловлено тем, что губку циркония применяют в мире только для производства сложнолегированных сплавов типа «Ц-2» или «Ц-4», «Зирло» или Э-635, но только не для производства сплава Э-110, с 1% ниобия. А только из него изготавливается штатная продукция – ТВЕЛЬные трубки из ядерно-чистого циркония по советской технологии.

Традиционные технологии производства циркония, технология Кроля родились более 50 лет назад, они морально и физически устарели. В то же время доведенная до опытно-промышленного применения Днепродзержинская экстракционно-кальцийтермическая технология, проверенная даже в реакторных испытаниях в 1985 – 95гг. на ВВЭР-440 и РБМК-1000, оказалась

нами же невостребованной: 180 т металла, полученного по кальцийтермической технологии, лежат в отраслевом резерве мертвым грузом.

Об эксплуатационной стойкости топлива, а именно, циркониевых оболочек твелоов как ОАО «ТВЕЛ», так и «Wh» сказано не мало, но при этом, по понятным причинам, отсутствует открытая статистика о случаях их разгерметизации. По имеющейся у автора информации, руководство НАЭК «Энергоатом», оператора украинских АЭС, в 2009 году вполне конфиденциально, но в довольно откровенной форме выразило свою озабоченность российскому производителю топлива в связи с участвовавшими случаями нарушения герметичности твелоов в сборках ТВСА, а также их «кривизны». Вместе с тем, широко преданный гласности опыт эксплуатации топлива «Wh» в Украине подтвердил отсутствие разгерметизации оболочек топлива «Wh» в течение всего его срока квалификации на Южноукраинской АЭС с 2005 года по настоящее время. Имевшее место повреждение ободов дистанционирующих решеток, по одной версии, при перезагрузке топлива летом 2012 г. и ППР-2013 э/б №2 или же произошедшее вследствие конструктивных недоработок топлива – по другой версии, тем не менее, не привело к нарушению целостности оболочек. В общем, на 2-м и 3-м энергоблоках Южноукраинской АЭС до инцидента эксплуатировалось 126борок ТВС-W. Напомню, что украинский регулятор после проведения расследования дал добро на загрузку 66борок «Wh».

Для производства урана необходима серная кислота в большом количестве, которая производится из самородной импортной серы по традиционной технологии. Для выпуска 2500 т урана Украине ее потребуется 250 тыс. т/год, при этом цена на серу определяет и высокую цену серной кислоты.

В то же время Украина имеет техногенные запасы фосфогипса на миллионы тонн, которые не перерабатываются. Тех-

нология получения серной кислоты из фосфогипса известна, она была разработана для промышленности ГДР, на современном уровне может быть возрождена в Украине, при этом себестоимость кислоты снизилась бы в 4 – 5 раз. Этот элемент ядерно-топливного цикла ориентирован на импорт с Астраханского месторождения. Стоимость этой серы, с доставкой до границы с Украиной, в 2006 г. была 8 \$/т. Сегодня – более 70 \$/т!

В Украине разведанных запасов серы по категории А, Б, С-1 – 166 млн тонн. Это пригодные для подземной выплавки серы (ПВС) месторождения: Подорожнянское, Немировское, Язовское, Загайпильское и др. Проблема – в отсутствии энергии на разогрев воды (теплоносителя) до 160 °С для выплавки серы через скважины. Необходимо 4,5 – 5 Гкал тепла на выплавку 1 т серы, что нерешаемо при нынешней цене газа. При цене на газ в 2006 г. 38 \$/1000 м<sup>3</sup> себестоимость серы на Старозависком участке составляла 360 грн/т, на Немировском месторождении, где глубина скважин достигала 300 м, себестоимость серы была 460 грн/т. В себестоимости ПВС стоимость газа занимает 70%. На 1 т выплавленной серы необходимо 20 м<sup>3</sup> оборотной воды в качестве теплоносителя. 1 т серы при сжигании превращается в 3 т кислоты и выделяется при этом 4 Гкал тепла. Утилизация последнего на обогрев воды на месте ПВС – один из главных элементов энергетической независимости украинского ядерно-топливного цикла.

Зависимость от импорта сырья должна быть исключена в производстве урана, серы, циркона, циркония, гафния и серной кислоты в интересах энергетической безопасности страны.

Проблему привлечения частного капитала, в т.ч. иностранного, для реализации Госпрограммы «Ядерное топливо Украины» призван решить Закон Украины «Про державно-приватне партнерство» (№2404 от 01.07.2010 г.). Механизм его реализации изложен в постановлениях КМУ №8 от 09.02.11 г., №232 от 16.02.11 г., №79 от

17.03.11 г., №384 от 11.04.11 г. Частный капитал за рубежом работает, и весьма эффективно, даже в такой специфической отрасли, как добывающая урановая промышленность.

Можно привлечь различные источники финансирования. Все они должны быть законодательны, легитимны, особенно налоговые льготы. Рыночные механизмы финансирования требуют новых форм организации производства, от акционирования до создания СП. На первом этапе необходимо создание акционерной компании со 100% госкапиталом, затем образование дочерних акционерных компаний.

Стратегия капстроительства должна быть гибкой и учитывать возможность быстрой окупаемости проектов, финансируемых за счет государственных средств:

- производство в Украине трубы из TREX заготовки РФ по испытанной технологии;

- производство в Украине ПС СУЗ для своих ВВЭР-1000 на основе штатной технологии;

- закупка лицензий на недостающие технологии, что позволит существенно сократить сроки на подготовку производства.

Развитие попутных производств для реализации коммерческих видов продукции на основе циркония и гафния также могло бы загрузить имеющиеся производства в г. Днепродзержинске. Выпуск новых видов продукции создал бы новые рабочие места, решил бы проблему закрепления кадров, получаемая прибыль возвращалась бы в цикл капстроительства.

Таким образом, целевая экономическая Программа [1], принятая КМУ в 2009 г. является половинчатой по развитию мощностей – 220 т обогащенного по U-235 в год, в тендере 1995г. – производительность декларировалась 300 т/год, а потребность Украины – 410 т/год, неполной также по технике, практически даже не прописанной по источникам и механизмам финансирования. Она не прошла отечественные слушания с привлечением специалистов и ученых НАНУ, профессиональный аудит,

например, через МАГАТЕ.

Следует еще обратить внимание на важное обстоятельство. Ни один из ВУЗов Украины не готовит специалистов [4] по разведке, разработке, обогащению урана, редкоземельных месторождений и благородных металлов – циркония, гафния, драгоценных – золота, платины и др. Нет специалистов по гидрометаллургии, по радиоэкологии переработки руд, хранению и захоронению хвостов природных РАО и облученного ядерного топлива. Не ориентируется Программа и на помощь МАГАТЕ в части подготовки кадров.

Подготовка специалиста-иностранца, например, с Казахстана по СПВ в Томском политехническом университете стоит 15000 долл. США в год.

Ни одно из замечаний, на основе которых написана эта статья, поданных автором в мае 2009 г. от имени Государственного концерна «Ядерное топливо» в период обсуждения Концепции Программы, и в процессе обсуждения самой Программы – отраслевыми менеджерами, к сожалению, не учтены...

У авторов Программы [1] свое мнение, когда они называют причины по сдерживанию развития уранового производства не что иное, «...как колебания цен на мировом рынке урана»?!, предлагая, при этом, «планы постепенного создания мощностей по производству ядерного топлива и его компонентов» [3]. Куда еще постепеннее?

## ВЫВОДЫ

1. Необходимо провести научный, международный аудит полноты и научно-технического уровня Государственной целевой экономической программы «Ядерное топливо Украины» на соответствие ее интересам Украины и международный аудит концептуальных технологических решений проекта отработки Новокозачинского месторождения с ориентацией производительности добычи на 2,5 млн т урановой руды в год.

2. Целесообразно восстановить подземную выплавку серы на украинских месторождениях Порожнянское, Немировское и др. с производством  $H_2SO_4$  на месте и с подземной утилизацией теплоты сгорания на нагрев воды до  $160^\circ$  и далее на фазовый перевод серы в жидкое состояние.

3. В кратчайший срок следует освоить СПВ на урановых месторождениях песчаного типа, доразведать и обрабатывать

все 14 рудопроявлений и месторождений.

4. Необходимо производить экспертизу проектов, дабы исключить принятие старых технических решений, дающих большие трудозатраты и низкую производительность труда.

5. Необходимо создание отраслевого института по проблемам ядерного топлива в Украине.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная экономическая целевая Программа «Ядерне паливо України», утверждена Постановлением КМУ №1004 от 23 сентября 2009 г.

2. Швидько П.В. Экономическая целесообразность строительства радиометрической сепарации терриконов пустых пород шахты «Ингульская» ГП «ВостГОК» и пути повышения эффективности добычи урана / П.В. Швидько // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2011. – № 5. – С. 75 – 77.

3. Шумкова Н.Ю. Атомно-промисловий комплекс України: стан та проблеми розвитку / Н.Ю. Шумкова, Л.І. Громок, Ю.Й. Кошик // *Вопросы атомной науки и*

*техники*, 2009.

4. Швидько П.В. Корпоративний ядерний університет – кадрова основа енергетичної незалежності України / П.В. Швидько, О.Є. Хоменко, Д.В. Рудаков // *Зб. наук. пр. НГУ*. – Д.: НГУ, 2009. – С. 19 – 24.

## ОБ АВТОРАХ

Швидько Петр Васильевич – к.т.н., член-корреспондент Академии горных наук Украины, заместитель генерального директора Концерна «Южруда», руководитель Научно-производственного комплекса урана и освоения подземных пространств.