

УДК 66.096.5; 621.36; 661.666; 621.039.548.8

РАЗВИТИЕ НЕКОТОРЫХ СОПУТСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ С ГАЗОВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ IV ПОКОЛЕНИЯ

Семейко К.В.

Институт газа НАН Украины, Киев, Украина

Высокотемпературные ядерные реакторы с газовым теплоносителем имеют некоторые преимущества перед легководяными и тяжеловодными ядерными реакторами для генерации энергии и применения в отраслях промышленности, где необходима низкопотенциальная и высокопотенциальная теплота. Для проектирования и внедрения реакторных установок данного типа необходимо развитие соответствующих технологий. К таким технологиям относится производство графита ядерной чистоты, нанесение пироуглеродного защитного покрытия микротрещин, производство гелия.

В Институте газа НАН Украины проведен цикл научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в этом направлении. Результаты исследований позволяют создать энергоэффективную и экологически чистую технологию очистки графита до высоких степеней чистоты. В реакторах с электротермическим псевдооживленным слоем проведены исследования по нанесению пироуглеродного покрытия на модель микротрещины. Получены материал с широким спектром содержания пироуглерода (от 2 до 97 %мас.). Разработанная криогенная технология получения гелиевого концентрата из природного газа. Для продолжения исследований в направлении развития сопутствующих технологий ядерных реакторов с газовым теплоносителем создается международный консорциум для подачи заявок для участия в грантовых программах EVRATOM и Horizon 2020.

Ключевые слова: высокотемпературный газоохлаждаемый реактор, микротрещины, графит, гелий.

На Конференции ООН по изменению климата КС-24 в Катовице (2–14 декабря 2018 года) состоялось мероприятие, на котором обсуждались возможности использования ядерной энергетики в рамках комплексного решения проблемы обеспечения растущих городов низкоуглеродной энергией. В специальном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) о глобальном потеплении на 1,5 °C [1], опубликованном в октябре 2018 года, отмечается, что для ограничения роста температуры 1,5 °C по сравнению с доиндустриальной эпохой потребуется незамедлительно снизить выбросы парниковых газов. И в докладе, и на мероприятии подчеркивалось, что для скорейшей декарбонизации глобального электроэнергетического сектора прежде всего потребуется применение проверенных энергетических технологий высокой мощности, таких как ядерная энергетика. Для ограничения роста температуры 1,5 °C в резюме для директивных органов были предложены четыре возможных пути сокращения выбросов, предусматривающих, что объем производства электроэнергии на АЭС к 2050 году должен увеличиться на 98–501 % по сравнению с 2010 годом [2]. В связи с этим повышается интерес международной общественности к новым технологиям атомной энергетики, а также к созданию новых ядерных энергетических реакторов, в частности IV поколения.

Поскольку газ позволяет поднимать температуру активной зоны реактора без дополнительно повышения давления (как в случае с водо-водяными реакторами), это дает возможность нагревать газовый теплоноситель ядерного реактора до температур порядка 1000 °C. Главным преимуществом газового тепло-

носителя является возможность получения высокой температуры на выходе из реактора. Это открывает возможность использования на двухконтурной АЭС серийных высокоэффективных турбин теплоэнергетики, удешевляет строительство АЭС. В перспективе представляется возможность создания одноконтурной АЭС с газовыми турбинами. Высокая температура газового теплоносителя позволяет рассматривать АЭС в качестве объекта, производящего электроэнергию с одновременной поставкой высокопотенциальной и низкопотенциальной теплоты в промышленность. Это экономит значительное количество органических топлив, затрачиваемых на эти цели в настоящее время. Высокотемпературный газоохлаждаемый реактор (ВТГР) — это реактор, который может быть разработан с собственной системой безопасности, из чего следует, что при самом неудачном несчастном случае не сможет произойти выброс радиоактивных веществ даже при полном бездействии операторов или систем контроля [3].

В 2014 году международный научный форум “Generation IV” подтвердил статус ВТГР как одного из шести инновационных проектов реакторов 4-го поколения [4]. Специалисты ожидают промышленное внедрение таких реакторов уже в 2030-х годах.

Особое внимание при разработке высокотемпературных ядерных реакторов с газовым теплоносителем следует уделить сопутствующим технологиям. В частности, производству углеродных материалов для замедления нейтронов и с их использованием в качестве конструкционных материалов, экологически чистому производству гелия.

На данный момент графит является конструкционным и функциональным материалом в ядерных

энергетических системах IV поколения, а именно в ВТГР и жидко-солевых реакторах [5]. В корпусном ВТГР графит используется как замедлитель и отражатель нейтронов, а также основной конструкционный материал активной зоны. Основным недостатком получения графита ядерной чистоты является его высокая стоимость и экологическая опасность при использовании наиболее распространенных химических способах очистки. В Институте газа НАН Украины теоретически и экспериментально доказана возможность высокотемпературной очистки природного графита в электротермическом псевдоожигенном слое. Содержание углерода в очищенном графите 99,9 %мас. Создана лабораторная установка для данного процесса (рисунок 1).



Рисунок 1. Лабораторная установка для высокотемпературной очистки графита

Результаты исследований открывают перспективу создание энергоэффективной и экологически чистой технологии очистки графита до высоких степеней чистоты (при комбинировании разных способов очистки возможно даже до ядерной чистоты).

Ядерное топливо на основе микротвэлов (дисперсионные ТВЭЛы) является основным для реакторов типа ВТГР [6]. Исследования, которые ведутся в ведущих лабораториях мира, показывают, что микротвэлы позволят в несколько раз повысить безопасность и ресурс работы атомных реакторов [7]. Вследствие, большой, более чем в 2 раза (в сравнении с традиционным «таблетным» топливом в оболочке из циркониевого сплава) удельной поверхности теплообмена обеспечивается малое время теплового опо-

здания ($\tau \approx 0,03$ с), быстрый нагрев и испарение теплоносителя в аварийных режимах, которое позволяет быстро поглощать приподнятую радиоактивность. Поскольку температура микротвэла близка к температуре теплоносителя, потери тепловой энергии в активной зоне существенно меньше, что также смягчает протекание аварийных режимов. Экономическая эффективность обеспечивается, в основном, за счет увеличения глубины выгорания, времени эксплуатации топлива и увеличение срока самих топливных кампаний. Одним из главных компонентов данного вида ядерного топлива является пироуглерод. Слои пироуглерода обладают большой герметичностью по отношению к таким газообразным продуктам деления, как ксенон и криптон [8].

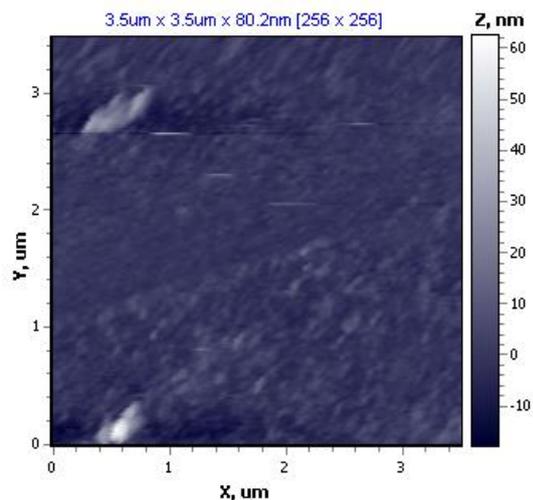
В течение последних лет, в Институте газа НАН Украины проводились исследования по нанесению пироуглеродных покрытий на модель микротвэла в реакторах с электротермическим псевдоожигенным слоем. Для проведения исследований создан ряд лабораторных [9–10] и пилотная установка (рисунок 2, [11]).



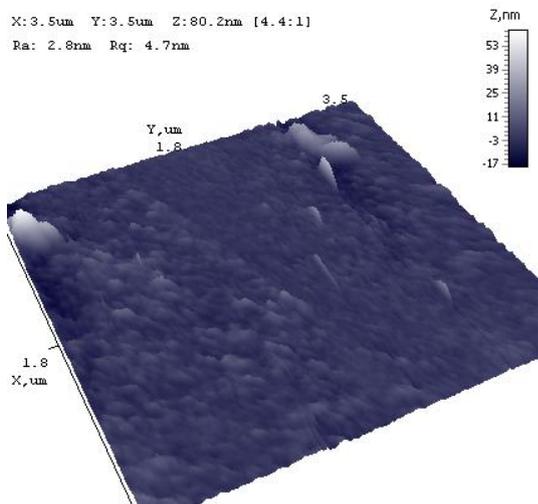
1 - реактор; 2 - загрузочное устройство; 3 - устройство для выгрузки; 4 - очиститель сбросных газов; 5 - силовой трансформатор; 6 - контрольно-измерительные приборы; 7 - пульт газоподготовки

Рисунок 2. Внешний вид пилотной установки для получения пироуглеродных покрытий

В результате проведения опытов с пиролиза углеводородных газов и осаждении пироуглерода ($t = 700\text{--}1600$ °С) наработанные партии пирокапсулированного материала. В пилотной установке получены образцы пирокапсулированного материала, которые имеют содержание пироуглерода от 6 %мас. до 97 %мас. [12]. Топография поверхности пироуглерода приведена на рисунке 3.

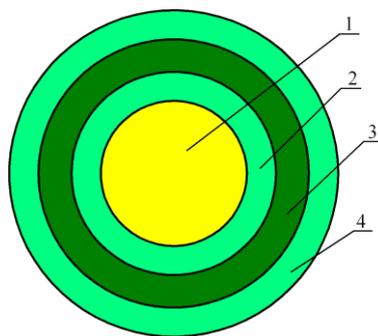


а) изображение 2D



б) изображение 3D

Рисунок 3. Топография поверхности пироуглерода



1 - карбид урана, 2 - первый защитный слой из низкоплотного углерода, 3 - второй защитный слой из высокоплотного высокотемпературного пироуглерода, 4 - третий защитный слой из изотропного высокотемпературного пироуглерода

Рисунок 4. Схематический микрошлиф микровэла

Рисунок 3 показывает, что размеры наночастиц углерода в пироуглеродном слое от 1 до 100 нм. Структура и свойства полученного пироуглеродного

покрытия дают основания для дальнейших исследований с перспективой использования таких покрытий в атомной энергетике [13].

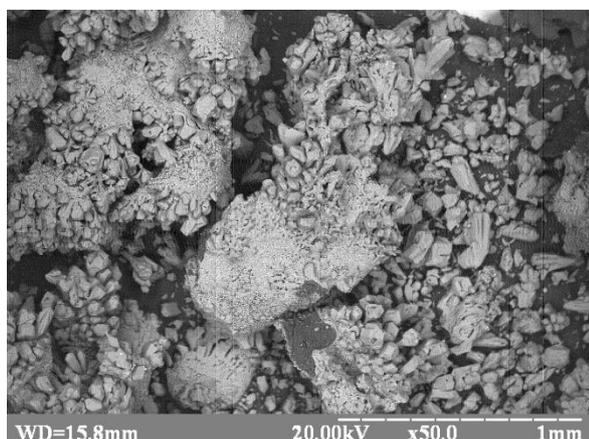
Автором статьи предложено в качестве делящегося материала в микровэле использовать карбид урана (рисунок 4) [14].

Первый защитный слой компенсирует несоответствие линейного термического расширения между топливной микросферой и следующими шарами, защищает второй слой от повреждений осколками деления ядерных материалов и служит объемом для локализации газообразных продуктов деления. Второй слой пироуглерода служит основным диффузионным барьером для газообразных продуктов деления и некоторых твердых продуктов деления. Третий слой пироуглерода защищает внутренние слои от механических повреждений и исполняет функцию барьера для твердых продуктов деления [15]. Применение в качестве делящегося материала карбида урана должно добавить к преимуществам микровэлов положительные качества карбидного топлива. Среди упомянутых качеств можно отметить большую длительность топливной кампании, а также потенциальному увеличению уровня безопасной работы из-за более низкого значения отрицательного эффекта Доплера вследствие высокой предельной тепловой нагрузки [16]. Также, проходят теоретические исследования возможности получения карбидов урана в электро-термическом псевдооживленном слое [17].

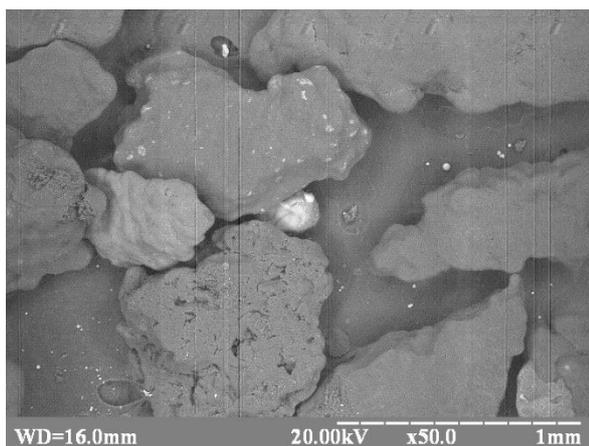
Относительно гелия. Гелий инертный и даже при очень высокой температуре не вступает в химические соединения, не агрессивен по отношению к карбидному топливу. Теплофизические свойства гелия позволяют получать в активной зоне, особенно при давлении 30,0 МПа, существенно больше сьема теплоты, чем при использовании углекислоты. По сравнению с жидкостно-металлическим теплоносителем гелий упрощает эксплуатацию АЭС на быстрых нейтронах. Удешевляет оборудования такой АЭС, ускоряет ее строительство. Принимая во внимание высокий спрос на гелий, ограниченность его потерь при сжигании природного газа, имеет смысл выделять его из природного газа. Например, на газораспределительных станциях магистральных газопроводов или газовых месторождениях, содержащих более 0,05%об. гелия. Институтом газа НАН Украины разработана криогенная технология получения гелиевого концентрата (руководитель работ докт. техн. наук Г.В. Жук).

Данная технология не требует внешних источников холода, охлаждение происходит за счет использования дроссель-эффекта и рекуперации холода обратного потока испаряется сжиженного природного газа. Получаемый гелиевый концентрат, содержащий 60–70 % гелия, может транспортироваться для его переработки с целью получения товарного продукта [18].

Карбид кремния повышенной чистоты благодаря своим высоким механическим, электротехническим и физико-химическим характеристикам можно отметить, как перспективный конструкционный материал для ВТРТГ. Институтом газа НАН Украины совместно с Институтом тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси проводятся исследования, направленные на развитие технологического метода получения мелкодисперсного карбида кремния в реакторе электротермического псевдооживленного слоя путем карботермического восстановления кремнезема, капсулированного углеродом повышенной чистоты [19]. Экспериментально удалось подтвердить принципиальную возможность получения карбида кремния из кремнезема капсулированного пироуглеродом. Ожидается, что в сравнении с традиционными технологиями получения чистого карбида кремния разработанная технология может уменьшить удельные энергозатраты приблизительно на 15% и не будет оказывать вредного воздействия на окружающую среду.



а)



б)

Рисунок 5. Зольный остаток угольной ТЭЦ:
(а) исходный материал, (б) покрытый пироуглеродом
(содержание пироуглерода 13 %мас)

Институтом газа НАН Украины совместно с Институтом проблем безопасности АЭС НАН Украины,

ННЦ «ХФТИ» и Институтом ядерных исследований НАН Украины начаты работы по разработке технологии иммобилизации радиоактивных материалов, образующихся при эксплуатации и авариях на объектах энергетики. Одним из эффективных методов, используемых для переработки и кондиционирования горючих твердых радиоактивных отходов (ТРО), является их сжигание. Установки по сжиганию ТРО работают в Украине, России, Франции, Канаде, Японии, Германии, Швейцарии и других странах. Процесс сжигания ТРО позволяет уменьшить их объем в 20–100, а массу в 10–20 раз. В большинстве случаев температура сжигания достигает 900...1000 °С. В результате сжигания ТРО образуется зола, которая содержит до 90 % всех радиоактивных элементов. Основная проблема состоит в летучести золы, что делает проблематичным ее длительное хранение. Для решения этой проблемы золу цементируют, остекловывают или вводят в стеклокерамическую матрицу [20]. Альтернативой приведенным выше методам иммобилизации радиоактивной золы может быть использование процесса газофазного уплотнения ее пироуглеродом [21, 22]. В качестве модели радиоактивной золы использовалась зольные остатки угольной теплоэнергетики, которые потенциально могут иметь ионизирующее излучение [23–25]. В результате серии опытов удалось нанести пироуглеродное покрытие на данный тип золы (рисунок 5).

Как видно из рисунка 5 пироуглерод практически полностью «обволакивает» поверхность частиц золы. После покрытия частиц золы пироуглеродом ионизирующее β -излучения снизилось приблизительно на 30–35 %, α -активность уменьшилась на 28 %. Разработку данной технологии сложно отнести к ядерным энергетическим системам IV поколения, однако дальнейшее развитие данного направления может в целом повысить экологическую безопасность атомной и теплоэнергетики.

Выводы и дальнейшие пути развития

Полученные научно-практические результаты могут быть использованы при проектировании и конструировании исследовательского реактора с газовым теплоносителем IV поколения. Результаты работы также могут быть использованы в тех областях науки и техники, где необходимо применение высокочистых углеродных материалов, чистого карбида кремния и гелия. В частности, спецметаллургия, электротранспорт, машиностроение, медицина, теплоизоляционная аппаратура, электротехника и др.

Для продолжения исследований в направлении развития сопровождающих технологий ядерных реакторов с газовым теплоносителем создается международный консорциум для подачи заявок для участия в грантовых программах EVRATOM и Horizon 2020 (Safety Research and Innovation for advanced nuclear systems NFRP-2019-2020-06 или Towards joint European effort in area of nuclear materials NFRP-2019-2020-08).

Целью проекта является разработка научно-технических основ сопровождающих технологий ядерных реакторных установок с газовым теплоносителем, соответствующие инновационным ядерным системам IV поколения. Институтом газа НАН Украины достигнута предварительная договоренность со-

рудничества в данном направлении с научными организациями Украины, Белоруссии и Болгарии. Разработчики проекта будут рады сотрудничеству в данном направлении с другими профильными научными учреждениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 p.
2. Крикорян Ш. На КС-24 в Катовице МАГАТЭ подчеркнуло роль ядерной энергетики и инструментов энергетического планирования в обеспечении устойчивой урбанизации / Официальный сайт МАГАТЭ. 07.12.2018. <https://www.iaea.org/ru/newscenter/news/na-ks-24-v-katovice-magat-e-podcherknulo-rol-yadernoy-energetiki-i-instrumentov-energeticheskogo-planirovaniya-v-obespechenii-ustoychivoy-urbanizacii?fbclid=IwAR3P23YqWvz71EsNMGpU6G2xrHKrFHstWqaP2guGAQvfe9tWdKZhJlWuJlc>
3. Али Афрадек, Мохамед Баяр Гофрани Газотурбинная установка с высокотемпературным газоохлаждаемым ядерным реактором // Газотурбинные технологии. 2010. № 3. С. 18–21.
4. Technology Roadmap Update for Generation IV Nuclear Energy Systems / Issued by the OECD Nuclear Energy Agency for the Generation IV International Forum. January 2014. 64 p.
5. Комир А.И. Графит как конструкционный материал ядерных энергетических систем IV поколения / А.И. Комир, Н.П. Одейчук, А.А. Николаенко, В.И. Ткаченко, В.А. Деревянко, О.В. Кривченко, А.Г. Шепелев // Вопросы атомной науки и техники. 2016. №1(101). С. 51–55.
6. Воеводин В.Н. Углерод-графитовые материалы в ядерной энергетике (обзор) / В.Н. Воеводин, Ю.А. Грибанов, В.А. Гурин, И.В. Гурин, В.В. Гуйда // Вопросы атомной науки и техники. 2015. №2. С. 52-64.
7. Семейко К.В. Перспективы использования микротвэлов в атомной энергетике / Энергетика и ТЭК. 2015. № 7/8. С. 14 – 16.
8. Дмитриев С.М. Атомные газотурбинные установки. Учеб. пособие. Нижнегородский государственный технический университет им. Р.В. Алексеева. Изд.2-е, исправленное. Нижний Новгород 2012. – 144с.
9. Пат. 117157 Україна, МПК B01J 8/18(2006.01), B01J 8/42(2006.01), B01J 19/14(2006.01), C01B 33/021(2006.01), C01B 33/021(2006.01), C30B 25/10(2006.01), C30B 28/14(2006.01), C30B 31/12(2006.01). Реактор для високотемпературних процесів у псевдозрідженому шарі / К.В. Сімейко, Б.І. Бондаренко, О.П. Кожан, В.М. Дмитрієв; заявник і патентовласник: Інститут газу НАН України. – № а201506499; заявл. 01.07.2015; опубл. 26.06.2017, Бюл. № 12. – 8 с.
10. Пат. 83147 Україна, МПК C10G 9/32 (2006.01). Реактор для піролізу газоподібних вуглеводнів / В.О. Богомолов, Б.І. Бондаренко, О.П. Кожан, К.В. Сімейко; заявник і патентовласник: Інститут газу НАН України. – № u201303318; заявл. 18.03.2013. опубл. 27.08.2013, Бюл.№16. – 7 с.
11. Пат. 86131 Україна, МПК (2013.01) B01J 8/18(2006.01), B01J 12/00. Реактор для високотемпературних процесів / В.О. Богомолов, Б.І. Бондаренко, О.П. Кожан, К.В. Сімейко; заявник і патентовласник: Інститут газу НАН України. – № u201309320; заявл. 25.07.2013; опубл. 10.12.2013, Бюл. №23. – 7 с.
12. Богомолов В.А. Капсулирование кварцевого песка пироуглеродом в электротермическом псевдоожигенном слое / В.А. Богомолов, А.П. Кожан, Б.И. Бондаренко, А.И. Ховавко, К.В. Семейко // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2013. – № 5. – С. 36–40.
13. Семейко К.В. Исследование характеристик и свойств пироуглеродных покрытий / К.В. Семейко // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2018. – № 1. – С. 37 – 43.
14. Рішення про видачу патенту України № 4612/ЗУ/19 від 19.02.2019 за заявкою № u 2018 12397. Мікротвел ядерного реактору / К.В. Сімейко, О.Г. Глинських, О.П. Кожан, В.М. Дмитрієв, М.А. Сидоренко; заявл. 13.12.2018.
15. Русинкевич А.А. Термодинамические эффекты в переносе продуктов деления в микротопливе при глубоких выгораниях: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.03 / Русинкевич Андрей Александрович. – М. – 2016. – 135 с.
16. Годин Ю.Г. Карбидное ядерное топливо / Ю.Г. Годин, А.В. Тенишев // Учебное пособие. – М.: МИФИ, 2007. – 68 с.
17. Семейко К.В. Теплофизический анализ процесса получения карбида урана с использованием технологии электротермического псевдоожигенного слоя / Вестник Национального ядерного центра Республики Казахстан. – 2018. – Выпуск 3 (75). – С. 111–116.
18. Онопа Л.Р. Извлечение гелиевого концентрата на ГРС и газовых месторождениях / Л.Р. Онопа, А.И. Пятничко, Г.В. Жук, Ю.В. Иванов // Технические газы. – 2015. Т.16, №4. – С. 43-50.
19. Рішення про видачу патенту України № 4123/ЗУ/19 від 14.02.2019 за заявкою № u 2018 11907. Спосіб одержання карбиду кремнію / К.В. Сімейко, Б.І. Бондаренко, В.А. Бородуля, Л.М. Виноградов, А.Ж. Гребеньков, О.П. Кожан, В.М. Дмитрієв, В.С. Рябчук, М.А. Сидоренко, І.О. Писаренко; заявл. 3.12.2018.
20. Ключников А.А. Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними. / А.А. Ключников, Э.М. Пазухин, Ю.М. Шигера, В.Ю. Шигера // Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2005. – 487 с.

21. Гурин И.В. О возможности использования пироуглеродной матрицы для обратимой иммобилизации радиоактивных отходов / И.В. Гурин, В.А. Гурин, С.Ю. Саенко, В.В. Гуйда, Е.В. Гурина // Вопросы атомной науки и техники. 2013. №5 (87). – С. 74-78.
22. Рішення про видачу патенту України ;7966/ЗУ/19 від 02.04.2019 за заявкою № у 2018 12787. Спосіб іммобілізації радіоактивних відходів / К.В. Сімейко, С.В. Купріячук, Ю.М. Степаненко, О.П. Кожан, В.М. Дмитрієв, І.О. Писаренко, М.А. Сидоренко, Я.О. Івачкін, О.В. Марасін, Р.Є. Чумак; заявл. 22.12.2018.
23. Мауричева Т. С. Количественная оценка поступления радионуклидов в окружающую среду при работе угольных ТЭЦ (на примере ТЭЦ-1 г. Северодвинска) // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Москва. 2007. – 20 с.
24. Исхаков Х. А., Счастливцев Е. Л., Кондратенко Ю. А., Лесина М. Л. Радиоактивность углей и золы // Кокс и химия. 2010. № 5. С. 41-45.
25. Mehade Hasan M. Natural Radioactivity of Feed Coal and Its byproducts in Barapukuria 2×125 MW Coal Fired Thermal Power Plant, Dinajpur, Bangladesh / M. Mehade Hasan, M. I. Ali, D. Paul, M. A. Naydar, M.A. Islam // Journal of Applied Physics. 2014. Vol. 5, № 6. – P. 32–38.

IV БУЫНДЫ ГАЗДЫ ЖЫЛУ ТАСЫМАЛДАҒЫШЫ БАР ЯДРОЛЫҚ РЕАКТОРЛАРДЫҢ КЕЙБІР ІЛЕСПЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ДАМУ

К.В. Семейко

Украина ҰҒА Газ институты, Киев, Украина

Газды жылу тасымалдағышы бар жоғары температуралы ядролық реакторлардың энергия генерациялауға, төмен әлеуетті және жоғары әлеуетті жылуды қажет ететін өнеркәсіп салаларында қолдануға арналған жеңіл сулы және ауыр сулы ядролық реакторларға қарағанда кейбір артықшылықтары бар. Аталған типтегі реактор қондырғыларын жобалау және пайдалануға енгізу үшін тиісті технологияларды дамыту қажет. Мұндай технологияларға ядролық таза графит өндірісі, микротвэлдердің пирокөміртекті қорғаныс жабынын жалату, гелий өндірісі жатады.

Украина ҰҒА Газ институтында осы бағыттағы ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық жұмыстар циклі өткізілді. Зерттеу нәтижелері графитті жоғары тазалық дәрежесіне дейін тазартудың энергиялық тиімді және экологиялық таза технологиясын жасауға мүмкіндік береді. Электротермиялық псевдосұйылтылған қабаты бар реакторларда микротвэл моделіне пирокөміртекті жабын жалату бойынша зерттеулер жүргізілді. Құрамында пирокөміртегі бар материал алынды (2-ден 97% мас. дейін). Табиғи газдан гелий концентратын алудың криогендік технологиясы әзірленді. Газды жылу тасымалдағышы бар ядролық реакторлардың ілеспе технологияларын дамыту бағытындағы зерттеулерді жалғастыру үшін EURATOM және Horizon 2020 гранттық бағдарламаларына қатысуға өтінім беруге арналған халықаралық консорциум құрылады.

DEVELOPMENT OF SOME ACCOMPANYING TECHNOLOGIES OF IV GENERATION NUCLEAR REACTORS WITH COOLANT GAS

K.V. Simeiko

The Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

High-temperature nuclear reactors with coolant gas have several advantages for application in power generation and industry. For the design and implementation of reactor facilities of this type, the development of accompanying technologies is necessary. Such technologies include the production of nuclear-grade graphite, pyrocarbon protective coatings of nuclear microfuel, production of helium.

The Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine conducted a series of research and development works in this field. The research results allow to create energy-efficient and environmentally safe technology for purification of natural graphite to high levels of purity. Research of application of pyrocarbon coating on nuclear microfuel model was carried out in reactors with electrothermal fluidized bed. As a result, material with a wide spectrum of pyrocarbon content (from 2 to 97 % wt.) was obtained. Cryogenic technology for the production of helium concentrate from natural gas was developed.

To continue research in the development of accompanying technologies for nuclear reactors with coolant gas, international consortium for participation in EURATOM and Horizon 2020 grant programs is being set up.