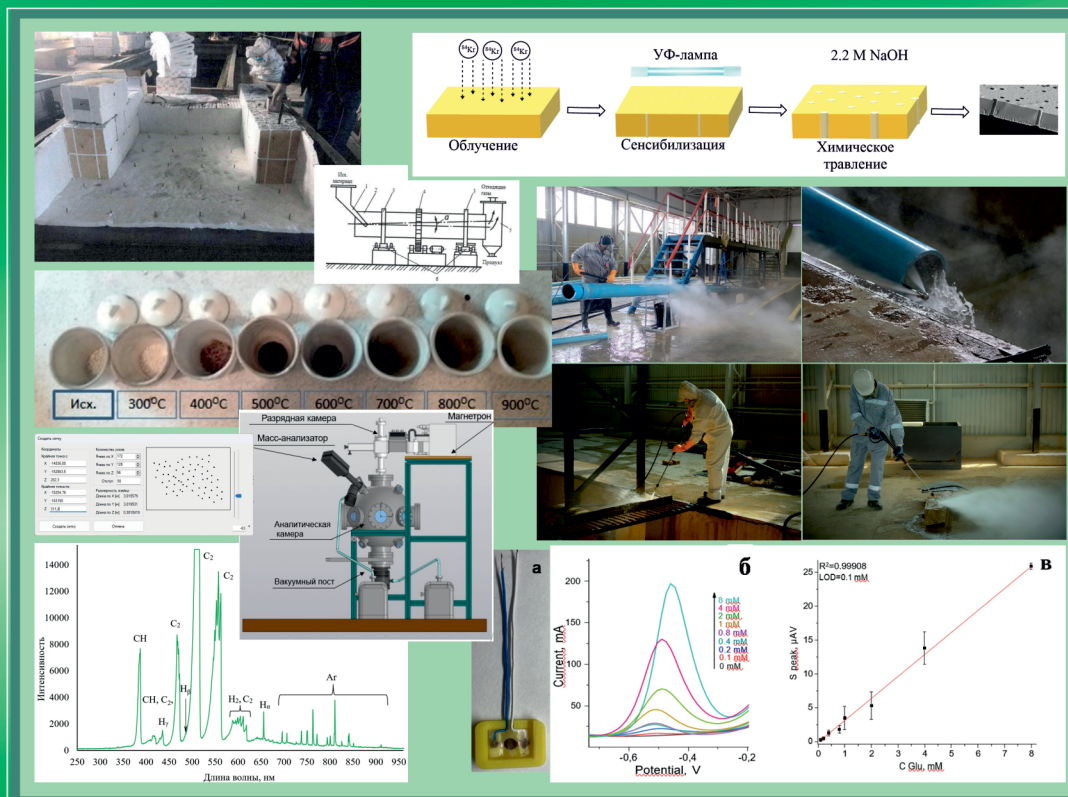
30 ЯОК

ЯДЕРНОЕ ОБЩЕСТВО КАЗАХСТАНА

ЯДЕРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАЗАХСТАНА

выпуск 18



ВЫПУСК 18

ЯДЕРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАЗАХСТАНА

сборник докладов 19-ого молодежного семинара
молодых специалистов предприятий
ядерной отрасли Республики Казахстан

Астана
2023

ЯДЕРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАЗАХСТАНА: Сборник докладов, выпуск 18, 2023 / Ассоциация «Ядерное общество Казахстана». — Астана, 2023, 62 стр.

Семинары «Ядерный потенциал Казахстана» организуются ассоциацией «Ядерное общество Казахстана» ежегодно для молодых специалистов ядерных предприятий с привлечением международных экспертов. Каждый семинар проходит на базе разных предприятий ядерной отрасли Республики Казахстан.

Цели и задачи:

- активизация творческой деятельности и поддержка научного и технического творчества молодых ученых и специалистов ядерных предприятий;
- содействие профессиональному росту молодежи, развитию молодежных научных инициатив и закреплению молодых ученых и специалистов на ядерных предприятиях РК;
- представление, защита и реализация профессиональных, интеллектуальных, юридических интересов и прав молодых ученых и специалистов на ядерных предприятиях РК.

На семинарах обсуждаются проблемы уранодобывающей промышленности; производства ядерного топлива; атомной энергии; ядерной физики, радиоэкологии, геофизики; юридические, макроэкономические и образовательные аспекты в ядерной отрасли.

В семинарах ежегодно принимают участие представители организаций ядерного профиля: Казатомпром, УМЗ, НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК, ИРБЭ НЯЦ РК, ИЯФ РК, ИГИ, Волговгеология, ИВТ, уранодобывающих предприятий, а также студенты ВУЗов.

СЕКЦИЯ: «ВОПРОСЫ РАДИОЭКОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ»

ПРОВЕДЕНИЕ МОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАМКАХ ОХРАНЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ШУ-САРЫСУСКОЙ И СЫРДАРЬИНСКОЙ УРАНОВОРУДНЫХ ПРОВИНЦИЙ

М. Асқарқызы, Ә.М. Орынбек
АО «Волковгеология», Алматы, Казахстан

«*Пресная вода – конечный и уязвимый ресурс, важный для поддержания жизни на земле, развития и сохранения окружающей среды*».

1. СОСТОЯНИЕ ОХРАНЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД, ЦЕЛЬ РАБОТ И ОБОСНОВАНИЕ

Устойчивое развитие экономики, социально-политическое устройство государства во многом зависят от наличия и качества водных ресурсов, которым в настоящее время придается стратегическое значение.

Казахстан в целом беден водными ресурсами и по объему речного стока входит в число наименее водообеспеченных стран мира.

Еще более усугубляет дефицит водных ресурсов зависимость отдельных регионов Казахстана от водохозяйственной политики соседних государств. Эта проблема может со временем усугубиться – все зависит от взвешенности решений и политики всех этих государств по отношению к соседям (трансграничные воды).

Разработка эффективной стратегии водохозяйственного обустройства Казахстана невозможна без анализа современного состояния поверхностных и подземных вод, их водно-ресурсного потенциала.

В настоящее время Казахстан выработал собственную водохозяйственную политику, в которой отражены такие важные вопросы, как обеспечение населения качественной питьевой водой, охрана водных ресурсов и др. (Стратегия развития Казахстана до 2030 года).

Обеспечение населения Казахстана качественной питьевой водой признано важной национальной проблемой. Подземные воды имеют стратегическое значение как единственно надежный источник питьевого водоснабжения населения, особенно в периоды чрезвычайных ситуаций. Значение подземных вод как наиболее защищенных от загрязнения источников питьевого водоснабжения особенно увеличилось в последние годы в связи с участившимися техногенными катастрофами и террористическими актами.

В связи с этим, учитывая незащищенность от загрязнения поверхностных водных ресурсов, максимально возможный перевод хозяйственно-питьевого водоснабжения на подземные воды, в т.ч. создание защищенных источников водоснабжения является важнейшей государственной стратегической задачей.

Современная геологическая и гидрогеологическая изученность Шу-Сарысуской и Сырдарьинской урановорудных провинций достаточно высокая. Выявлены и оценены крупные месторождения урана пластово-инфильтрационного типа, а значительная часть из них разведана и передана в эксплуатацию.

Согласно гидрогеологическому районированию территории Шу-Сарысуской и Сырдарьинской урановорудных провинций располагаются на площадях Шу-Сарысуского и Северо-Кызылкумского артезианских бассейнов второго порядка соответственно. Перспективные водоносные горизонты приурочены к отложениям верхнего мела (K_2t_1) (см. Приложение 1).

Благоприятные гидрогеологические условия на месторождениях, приуроченных к рыхлым проницаемым отложениям, являются одним из важнейших факторов, определяющих их пригодность и высокую рентабельность для подземного скважинного выщелачивания.

Но эти же благоприятные для добычи урана условия также благоприятны и для негативных процессов в отношении охраны недр, в частности подземных вод. Гидрогенные месторождения урана располагаются в областях переноса (транзита) подземных вод крупных гидрогеологических систем.

Процессы подземного выщелачивания с использованием серной кислоты приводят к значительным изменениям качества подземных вод рудовмещающих горизонтов на рабочем участке (полигоне). Содержание большинство компонентов подземных вод значительно превышает предельно допустимую концентрацию. В частности, процессы выщелачивания урана способствуют росту общей минерализации, включая увеличение содержания сульфатов, алюминия, железа, нитратов, тяжелых металлов, микроэлементов и радионуклидов в десятки раз по сравнению с исходным составом подземных вод. Особенно высокая контрастность загрязнения отмечается по сульфатам – 20 раз и более, алюминию и урану – 100 раз, железу – 1 000 раз.

Так же существует вероятность и опасность загрязнения выше и нижележащих пресных водоносных горизонтов, вследствие их взаимодействия с перспективным рудоносным горизонтом.

В соответствии с контрактными условиями, добычными компаниями на местах проводятся мероприятия по мониторингу подземных вод в целях изучения техногенного воздействия добычи урана. Каждый рудник занимается этими вопросами в меру своей компетентности. Но конечная цель любых работ проводимых добычными предприятиями это оптимизация процессов выщелачивания. К тому же работы проводятся в пределах границ горного отвода, тогда как ареалы влияния на подземные воды ими не ограничиваются.

Техногенное воздействие значительно влияет на природные процессы, вызывая недоброкачественные изменения. Нарушение условий питания, транзита и разгрузки подземных вод, их режима или качественного состава может изменить состояние эксплуатируемых водоносных горизонтов в ту или дру-

гую сторону, что в условиях района, недостаточно обеспеченного водными ресурсами, является крайне негативным.

Планомерное и системное изучение изменения количественных и качественных параметров подземных вод, принятие своевременных решений по недопущению загрязнения недр на площади Шу-Сарысуской и Сырдарьинской урановорудных провинций является первостепенной задачей АО «НАК «Казатомпром».

2. ОХРАНА НЕДР В РАССМАТРИВАЕМОМ РАЙОНЕ. МЕТОДИКА ПЛАНИРУЕМЫХ РАБОТ

Для получения ответа на поставленные выше вопросы предлагается проведение комплекса работ.

1. Создание единой для каждой из провинций сети мониторинговых (наблюдательных) скважин.

   Для этих целей в основном предлагается использовать уже готовые скважины. При их отсутствии на отдельных направлениях и площадях предусмотреть бурение новых.

   По этим скважинам в числе прочих требуется изучение качества подземных вод, восстановления водоносного слоя отработанных полигонов по добыче урана, изучения самовосстанавливающихся природных условий водоносных горизонтов, характеристики по радиоактивным элементам и вредным компонентам водоносных горизонтов.

2. Создание геофильтрационной математической модели Шу-Сарысуской и Сырдарьинской провинций.

   Выполнение работ методами математического моделирования обусловлено особенностями технологии подземного выщелачивания. Методы математического моделирования являются наиболее эффективными в данных условиях.

Предполагается:

- Построение геофильтрационной математической модели отдельно для Шу-Сарысуской и Сырдарьинской урановорудных провинций, моделирование путей миграции подземных вод в пределах обозначенного контура работ для оценки риска загрязнения подземных вод продуктами подземного выщелачивания.
- Разработка рекомендаций по повышению эффективности добычи в процессе эксплуатации месторождения методом подземного выщелачивания по результатам построенной модели гидродинамических условий и путей миграции технологических растворов с целью минимизации их негативного влияния на окружающую среду.

Положительным примером применения математической модели является месторождение Инкай разрабатываемая ТОО «СП «Инкай».

3D моделирование для оценки ресурсов и составления Кодекса публичной отчетности KAZRC нашло свое успешное применение на урановом месторождении Инкай. По итогам проделанной работы отмечено преимущество трехмерного моделирования в частности при:

- Геологической интерпретации литологии и рудной минерализации;
- Оценки ресурсов и классификации ресурсов/запасов;
- Планирования горных работ;
- Проектирования технологических блоков.

Значительным улучшением в процессе внедрения 3D моделирования стало создание литологической модели проницаемости пород, так как данный критерий является ключевым при проектировании технологических блоков.

Такие модели отдельных месторождений и участков по отдельным параметрам должны быть встроены в качестве врезок в создаваемую общую для провинции модель.

Здесь следует отметить, что формирование 3D модели месторождения осуществлялось под определенные задачи связанные непосредственно с добычей. В нее не были включены данные по мониторинговым скважинам, не были учтены данные по потоку и массопереносу растворенных компонентов, которые являются основными в предлагаемой нами модели.

ОСНОВНЫЕ РЕШАЕМЫЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Решение задач моделирования массопереноса в рудоносном горизонте. Моделирование массопереноса в подземных водах предназначено для моделирования переноса в воде химического компонента и расчета распределения его концентрации в пространстве и времени.

Проведение работ по моделированию массопереноса в подземных водах методами математического моделирования осуществляется поэтапно.

1. Создание геофильтрационной математической модели гидрогеологического объекта.
2. Проверка соответствия геофильтрационной модели природным гидрогеологическим условиям.
3. Подтверждения достаточной сходимости созданной математической модели с естественными природными условиями.
4. Оценка времени изменения качества подземных вод и технологических растворов с применением созданных гидродинамических и миграционных математических моделей.
5. Разработка рекомендаций по повышению эффективности добычи в процессе эксплуатации месторождения методом подземного выщелачивания.

ВЫВОДЫ

Вопрос охраны подземных вод от загрязнения и истощения в условиях интенсивного техногенного воздействия является одной из ведущих задач в современных условиях.

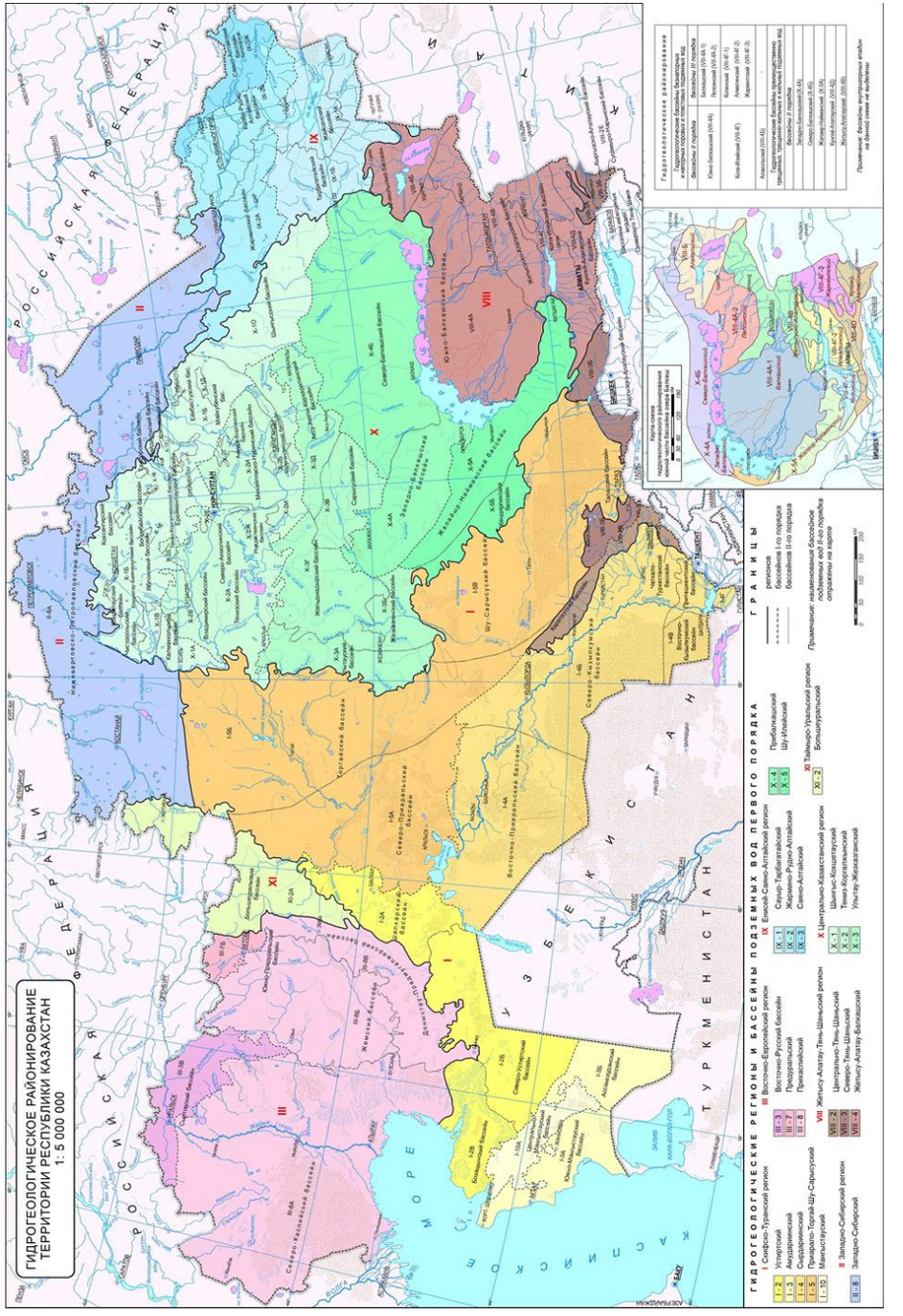
Мониторинговые исследования в рамках охраны подземных вод от загрязнения и истощения имеют большую практическую значимость, результаты данных исследований являются базой для решения многих экологических задач.

Так, в результате проведения мониторинговых исследований на площади Шу-Сарысуской и Сырдарьинской урановорудных провинций в целом с построением геофильтрационной математической модели, будет проанализировано одновременно состояние подземных вод продуктивного горизонта (зоны влияния) и установлена предварительно закономерность отработки ресурсов и качества подземных вод в районе проведения работ.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Методические рекомендации по изучению гидрогеологических и инженерно-геологических условий пластово-инфильтрационных месторождений урана. – Алматы, АО «НАК Казатомпром», АО «Волковгеология», 2019 г.
2. Ахмедсафин У.М. Формирование и гидродинамика артезианских бассейнов Южного Казахстана. – Алма-Ата, Наука, 1973 г.
3. Бочевер Ф.М. Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов о загрязнения. Москва, Недра, 1969 г.
4. Гавич И.К. Методы охраны подземных вод от загрязнения и истощения. – Москва, Недра, 1985 г.
5. Смоляр В.А. Водные ресурсы Казахстана. Справочник. – Институт гидрогеологии и гидрофизики им. У.М. Ахмедсафина, Алматы, 2002 г.
6. Сборник Докладов Международной Инновационной Школы «Перспективы и технологии для диверсификации деятельности АО «НАК «Казатомпром», посвященный 70-летию АО «Волковгеология», Алматы, 2018 г.

Приложение 1



ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ГЛЮКОЗЫ, ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И УРАНИЛ ИОНОВ

[1,2]Шакаева А.Х., [1,2]Корольков И.В., [1,2]Жуманазар Н.Н., [1,2]Есжанов А.Б., [1,2]Здоровец М.В.

[1]Институт Ядерной Физики, Алматы, Казахстан

[2]ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

В исследовании впервые в области сенсорного анализа были получены сенсоры для электрохимического обнаружения глюкозы, ионов тяжелых металлов и уранил ионов на основе модифицированной поли(этилентерефталатной) трековой мембраны (ПЭТФ ТМ). Модификация поверхности мембран была проведена методом фотоинициируемой прививочной полимеризации. Полученные модифицированные образцы ПЭТФ ТМ были исследованы ИК-спектроскопией, энергодисперсионной спектроскопией (ЭДС) и сканирующей электронной спектроскопией (СЭМ), электрохимическое обнаружение было проведено методом квадратно-волновой вольтамперометрии. С помощью магнетронного напыления были получены электроды на обеих сторонах мембраны. Сенсор был испытан при детектировании глюкозы в диапазоне концентраций от 0,1 до 8 мМ, токсичных ионов в диапазоне концентраций от 0,1 мкг/л до 12,5 мг/л и уранил ионов в 1-5 000 мкг/л.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире вопросы обеспечения устойчивости и эффективности диагностики различных веществ в окружающей среде и в биологических системах становятся все более актуальными. Поиск и разработка эффективных методов очистки и детекции веществ и разработка новых материалов, которые могли бы заменить традиционные электроды является перспективным направлением для исследований. Одним из таких направлений в этой области является использование электрохимических сенсоров на основе трековых мембран. Трековые мембраны (ТМ) – один из наиболее универсальных и интенсивно исследуемых материалов, который используется для фильтрации воды, культивирования клеток и исследования их активности, мембранной дистилляции, катализаторов и т.д.[1,2]. Некоторые полимеры, такие как поли(этилентерефталат) (ПЭТФ), поликарбонат (ПК), полиимид (ПИ), полипропилен (ПП) и поли(винилиденфторид) (ПВДФ), широко используются для получения трековых мембран. ТМ обладают отличными механическими и химическими свойствам, узкому распределению пор по размерам, малой толщине и гибкости, а также они могут быть легко модифицированы функциональными полимерами[3].

Существует много стандартных методов для обнаружения ионов тяжелых ионов, уранил ионов и глюкозы в микроконцентрациях[4]. Аналитические методы, такие как масс-спектроскопия, оптическая эмиссионная спектроскопия, УФ-спектроскопия и др. характеризуются аппаратурной сложностью, высокой стоимостью, длительностью и особой пробоподготовкой. Когда как электрохимические методы анализа являются простыми в использовании, портативными и чувствительными, в связи с чем могут быть использованы для обнаружения веществ в следовых количествах.

В данной работе, представлены результаты модификации ПЭТФ ТМ и конструирование сенсоров на их основе. Данные сенсоры были испытаны для определения глюкозы, ионов кадмия, свинца и уранил ионов методом квадратно-волновой вольтамперометрии. После оптимизации параметров детектирования, была изучена их применимость для обнаружения веществ в реальных объектах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

ПЭТФ ТМ были получены на циклотроне ДЦ-60 (Астанинский филиал Института Ядерной Физики Республики Казахстан) путем облучения ПЭТФ пленки (толщина 12 μм) ионами криптона с энергией 1,75 MeV/нуклон и плотностью пор $1{,}12\times10^{8}$ ионов/см^2. Затем образцы были облучены под УФ-лампой в течение 30 минут с каждой стороны для сенсибилизации образцов. Химическое травление облученной пленки проводилось в растворе гидроксида натрия, с последующей нейтрализацией в растворе уксусной кислоты и промыванием в воде. После образцы были высушены на воздухе при комнатной температуре. Схема получения трековых мембран представлена на рисунке 1.

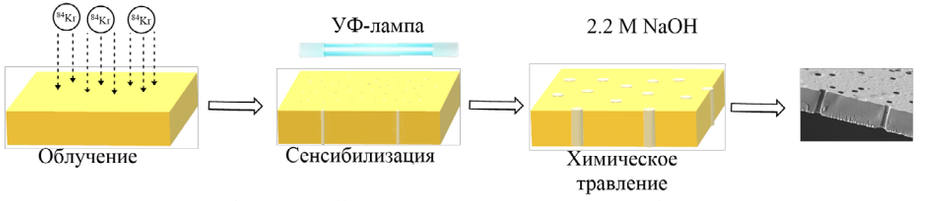


Рисунок 1. Схема получения трековых мембран

Далее ПЭТФ ТМ окисляли в растворе H_2O_2 при pH=3 в течение 90 минут (с каждой стороны) под воздействием УФ-облучения, образцы дважды промыли в деионизированной воде, сушили на воздухе. Модификация поверхности ПЭТФ ТМ была проведена методом фотоинирующей прививочной полимеризации (ФПП) 2-гидроксиэтилметакрилата (ГЭМА). Степень привитого полимера зависит от концентрации мономера, расстояния от источника облучения и времени реакции. Как видно из таблицы 1, расстояние от УФ-лампы приводит к изменению степени прививки. Увеличение расстояния приводит к уменьшению дозы облучения и тем самым уменьшается степень прививки.

Таблица 1. Изменение степени прививки (η) ГЭМА от различных параметров

Время полимеризации, мин	Концентрация мономера, %	Расстояние от УФ-лампы, см	η, %	Диаметр пор, нм
0	-	-	-	265±3
60	2,5	7	1,8	260±7
60	5	7	11,2	-

60	5	10	3,7	248±6
60	5	12	1,3	264±7
15	5	7	1,0	265±3
30	5	7	4,6	245±5
37	5	7	7,8	234±6
45	5	7	9,4	221±8
90	5	7	54,3	-

Из таблицы 1 следует, что степень полимеризации изменяется от 1,0% до 11,2% с увеличением времени полимеризации от 15 до 60 мин. Дальнейшее увеличение времени реакции приводит к деградации образца и увеличению степени прививки. Увеличение времени больше 60 мин приводит к образованию гомополимера в виде геля. Данная тенденция наблюдается и при изучении морфологии поверхности методом сканирующей электронной микроскопии. Для определения элементного состава после вымачивания в поли(аллиламине) (ПАА) и меркаптофенилборной кислоте (МФБК) был проведен ЭДС анализ. Результаты ЭДС анализа показали содержание N = 8,62%, что свидетельствует об образовании полиэлектролитного комплекса ГЭМА/ПАА. Содержание серы и бора после модификации МФБК составило 4,08% и 1,5% соответственно. Данные результаты показывают успешное проведение модификации и обеспечении реакционноактивных функциональных групп для детектирования глюкозы.

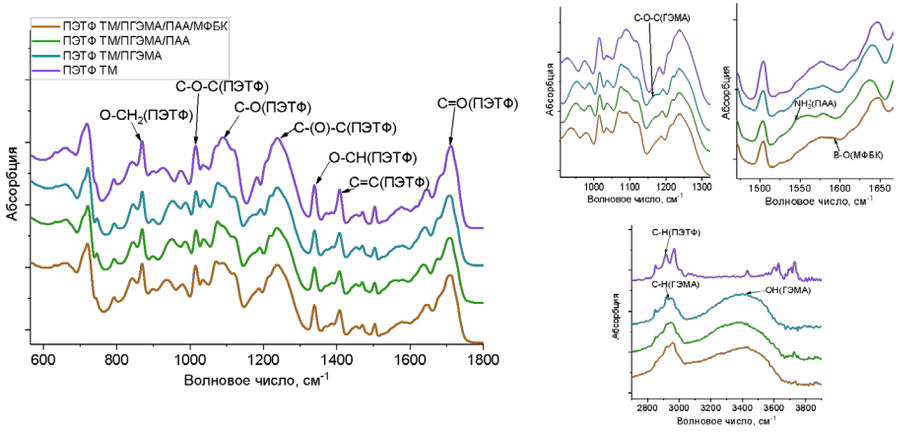


Рисунок 2. ИК-спектры не модифицированной и модифицированной ПЭТФ ТМ

После каждой модификации ПЭТФ ТМ образцы были изучены с помощью ИК-спектроскопии, спектры представлены на рисунке 2. Образование полиэлектролитного комплекса доказывается появлением пика 1 545 см$^{-1}$ (NH_3^+) в ИК-спектрах после вымачивания в ПАА. После модификации МФБК появился характеристический пик при 1 590 см$^{-1}$ (B-O). Наночастицы золота были осаждены методом магнетронного напыления с толщиной 40-50 нм на обе стороны модифицированных мембран с помощью специальной маски. Электрохимическое измерение проводили в трехэлектродной ячейке, где в качестве электрода сравнения использовали хлорсеребрянный электрод. Одна сторона полученного сенсора использовалась в качестве рабочего электрода, а вторая сторона вспомогательного электрода. Для определения глюкозы был проведен электрохимический эксперимент в диапазоне концентраций глюкозы от 0,1 до 8 мМ. На вольтамперограммах (рисунок 3б) наблюдается пик окисления глюкозы при потенциале ~ -0,5 V, который постепенно возрастает с увеличением концентрации.

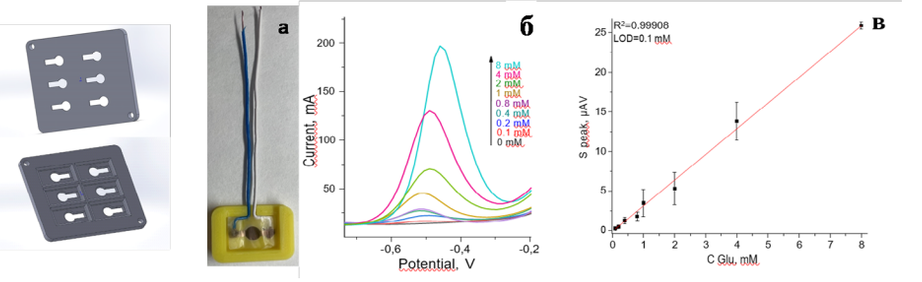


Рисунок 3. а) маска для напыления и сенсор с AuНЧ; б) вольтамперограмма; калибровочные кривые сенсоров на основе ПЭТФ ТМ: в) ПЭТФ ТМ/ПГЭМА/ПАА/МФБК

Для увеличения чувствительности сенсоров была произведена модификация МФБК. Коэффициент корреляции для данных сенсоров составил (R^2=0,99908), а предел обнаружения 0,1 мМ. Метод КВВ был применен для обнаружения глюкозы в сыворотке крови человека и яблочном соке методом стандартного добавления для оценки применения разработанных сенсоров. Согласно калибровочным графикам, площадь пика пересчитывалась в соответствующую концентрацию глюкозы. Значения воспроизводимости результатов для измерений с яблочным соком составили 100,8%. Однако недостаточно высокие значения воспроизведения (84,0%) для обнаружения глюкозы в человеческой сыворотке объясняются присутствием небольшого количества белка, который загрязняет поры и поверхность сенсоров, и тем самым влияет на детектирование [5].

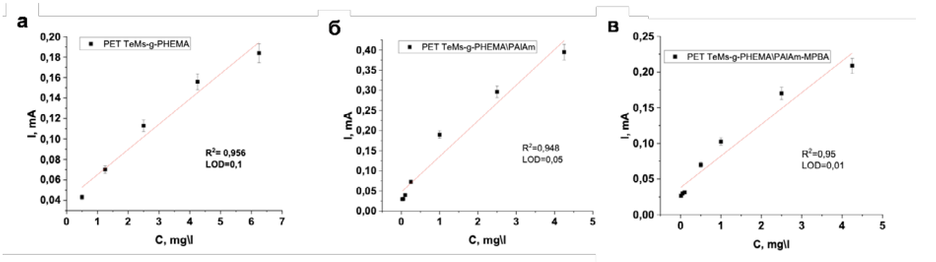


Рисунок 4. Калибровочные кривые определения Pb2+ для сенсоров: а) ПЭТФ ТМ/ГЭМА; б) ПЭТФ ТМ/ГЭМА/ПАА и в) ПЭТФ ТМ/ГЭМА/ПАА/МФБК

Сенсоры ПЭТФ ТМ с оптимальными параметрами полимеризации ГЭМА были протестированы в различных концентрациях Pb^{2+} от 0,01 до 50 мг/л. В качестве электролита использовали 0,1 М раствор CH_3COONa. На каждом

этапе модификации были сконструированы сенсоры и проведены электрохимические измерения. Предел обнаружения для сенсоров ПЭТФ ТМ/ГЭМА составил 0,1 мг/л (R^2=0,956). После модификации ПАА и МФБК предел обнаружения составило 0,05 мг/л (R^2=0,948) и 0,01 мг/л (R^2=0,95) соответственно (рисунок 4). Возможность многократного использования сенсоров на основе ПЭТФ ТМ/ПГЭМА/ПАА/МФБК путем проведения повторных измерений 6,25 мг/л Pb^{2+} в сточных водах 15 раз. Стандартное отклонение составило менее 7%, что показывает возможность многократного использования созданного сенсора.

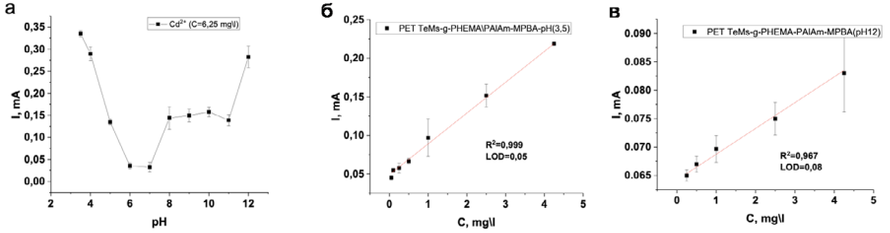


Рисунок 5. Результаты определения Cd^{2+} для сенсоров ПЭТФ ТМ/ГЭМА/ПАА/МФБК: а) при разных значениях pH; калибровочные кривые при б) pH 3,5; в) pH 12

Результаты определения сенсоров иона кадмия представлены на рисунке 5. Предел обнаружения для сенсоров ПЭТФ ТМ/ПГЭМА/ПАА/МФБК составил 0,05 мг/л (R^2=0,99) при pH=3,5-4, а при pH=11,5-12 предел обнаружения равен 0,08 мг/л (R^2=0,97). Колебания тока при уменьшении и увеличении pH можно объяснить различными значениями степени протонирования и функциональных групп полиэлектролитного комплекса. pKa аминогрупп в ПАА составляет примерно 8,5-8,7, а ГЭМА имеет pKa 13,83 [6,7]

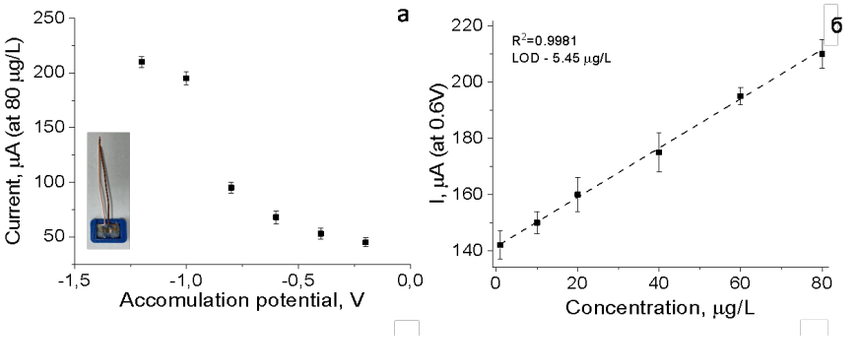


Рисунок 6. а) График изучения времени адсорбции после 15 мин; б) калибровочная кривая сенсоров ПЭТФ ТМ-ПАН/ПГМА

Применимость электрохимического сенсора была проверена путем индивидуального определения ионов Pb и Cd в реальных образцах воды, которые были отобраны из водопроводной и речной воды (Астана, Казахстан). Следует отметить, что перед добавлением ионов Cd и Pb определенной концентрации во всех образцах данные ионы не обнаруживались. Как видно, ПЭТФ

ТМ/ГЭМА/ПАА/МФБК имеет хорошую эффективность и удовлетворительные результаты для определения Pb^{2+} (94%) и Cd^{2+} (89%) в реальных образцах.

Были сконструированы электрохимические сенсоры на основе ПЭТФ ТМ модифицированные фотоинициированной сополимеризацией глицидилметакрилата (ГМА) с акрилонитрилом (АН) для детектирования урана в воде. Были подобраны оптимальные условия для проведения прививочной полимеризации, подробно описанные в данной статье [8]. В качестве электролита использовали 0,1 М раствор КОН с pH 8-9. Была изучена концентрация уранил ионов от 1 мкг/л до 5 000 мкг/л. Во всех случаях была обнаружена линейная зависимость в диапазоне концентраций 1-100 мкг/л. Калибровочные кривые представлены на рисунке 6. Предел обнаружения составил 5,45 мкг/л (R^2=0,9981).

Таким образом в данной работе изучены особенности фотоинициирующей прививочной полимеризации ГЭМА, АН, ГМА и их сополимеров. Улучшение характеристик сенсоров была достигнута путем образования полиэлектролитного комплекса ПАА/МФБК. Установлены основные факторы, влияющие на протекание процесса, определены оптимальные условия, приводящие к максимальной степени прививки с сохранением поровой структуры мембран. На основе модифицированных трековых мембран разработаны электрохимические сенсоров, которые успешно использованы для обнаружения глюкозы, ионов тяжелых металлов и уранил ионов в модельных и реальных растворах методом квадратно-волновой вольтамперометрии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Korolkov I.V. et al. Modification of PET ion track membranes for membrane distillation of low-level liquid radioactive wastes and salt solutions // Separation and Purification Technology. – Elsevier, 2019. – Vol. 227. – P. 115694.
2. Parmanbek N. et al. Hybrid PET Track-Etched Membranes Grafted by Well-Defined // Polymers. – 2022. – Vol. 14. - № 4026. – P. 1–25.
3. Apel P. Track etching technique in membrane technology // Radiation Measurements. – 2001. – Vol. 34. - № 43. – P. 559–566.
4. Pierce D.T., Zhao J.X. Trace Analysis with Nanomaterials. – Wiley-VCH, 2010.
5. Shakayeva A.K. et al. Electrochemical sensors based on modified track–etched membrane for non-enzymatic glucose determination // Microchemical Journal. – 2023. – Vol. 193.
6. Mouslmani M. et al. Curcumin associated poly(allylamine hydrochloride)-phosphate self-assembled hierarchically ordered nanocapsules: size dependent investigation on release and DPPH scavenging activity of curcumin // RSC Advances. – The Royal Society of Chemistry, 2015. – Vol. 5. - № 24. – P. 18740–18750.
7. Zhumanazar N. et al. Electrochemical detection of lead and cadmium ions in water by sensors based on modified track-etched membranes // Sensors and Actuators A: Physical. – 2022. – Vol. 76. - № 9. – P. 114094–114112.
8. Korolkov I.V. et al. Photo-induced graft (co)polymerization of glycidyl methacrylate and acrylonitrile on PET ion-track membranes for electrochemical detection of uranyl ions // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – Elsevier B.V., 2022. – Vol. 648.

ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА НАУЧНЫХ ТРУДОВ ИНСТИТУТА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИИ

Бачурина И.А., Ларионова Н.В., Топорова А.В.
филиал ИРБЭ РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Сегодня трудно представить мир, в котором информация не упорядочена и не организована в базы данных (далее БД). Современное общество утратило способность обходиться без цифровых форм структурированных данных, что существенно влияет на эффективность различных сфер деятельности, будь то бизнес, научные исследования, государственное управление или социальные услуги. Эволюция БД преобразила их из простых хранилищ информации в незаменимые инструменты анализа, принятия решений и оптимизации процессов. Они стали основой для цифровой трансформации, обеспечивая системный подход к управлению данными. Современные технологии, в частности облачные вычисления, значительно расширили возможности БД, придав им гибкость и масштабируемость. Это позволяет обеспечивать доступ к информации в режиме реального времени из любой точки мира, что становится ключевым элементом в условиях глобализации.

Отличительной чертой современных БД является их продвинутый метод хранения, обработки и анализа данных, обеспечивающий многопользовательский доступ и безопасность. В качестве ярких примеров таких БД можно выделить:

- **PubMed** – крупнейшую базу медицинских научных публикаций, охватывающую разнообразные области медицины и биомедицинских исследований (https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/);
- **IEEE Xplore** – содержащую более 5 миллионов публикаций, отчетов и стандартов в области электротехники, компьютерных наук и связи (https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp);
- **Scopus** – мультидисциплинарную базу данных, предоставляющую информацию о научных публикациях, статьях, книгах и конференциях в различных областях знаний, включая показатели цитирования для оценки влияния публикаций (https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic);
- **NASA Astrophysics Data System** (**ADS**) – специализированная БД для астрофизических исследований, включающая научные статьи, конференции и данные (https://ui.adsabs.harvard.edu/).

Сотрудники Института радиационной безопасности и экологии активно участвуют в научных конференциях и семинарах, что приносит богатый научный опыт. За тридцатилетнюю историю Института был собран огромный объем материалов, включая чуть менее тысячи научных публикаций по радиационной безопасности и экологии. Учитывая интенсивное участие в научных событиях и обширные исследовательские работы, создание единого электронного ресурса стало стратегически важным шагом в управлении и обеспечении доступа к научному наследию Института.

Вышеупомянутые примеры БД были целенаправленно использованы в качестве прототипов для разработки собственной электронной библиотеки Института.

Основные функции разработанной БД сфокусированы на обеспечении удобства поиска материалов и предоставлении статистики по публикациям. Таким образом, созданная БД осуществляет быстрый поиск материалов по автору и/или названию публикации, а также по ключевым словам.

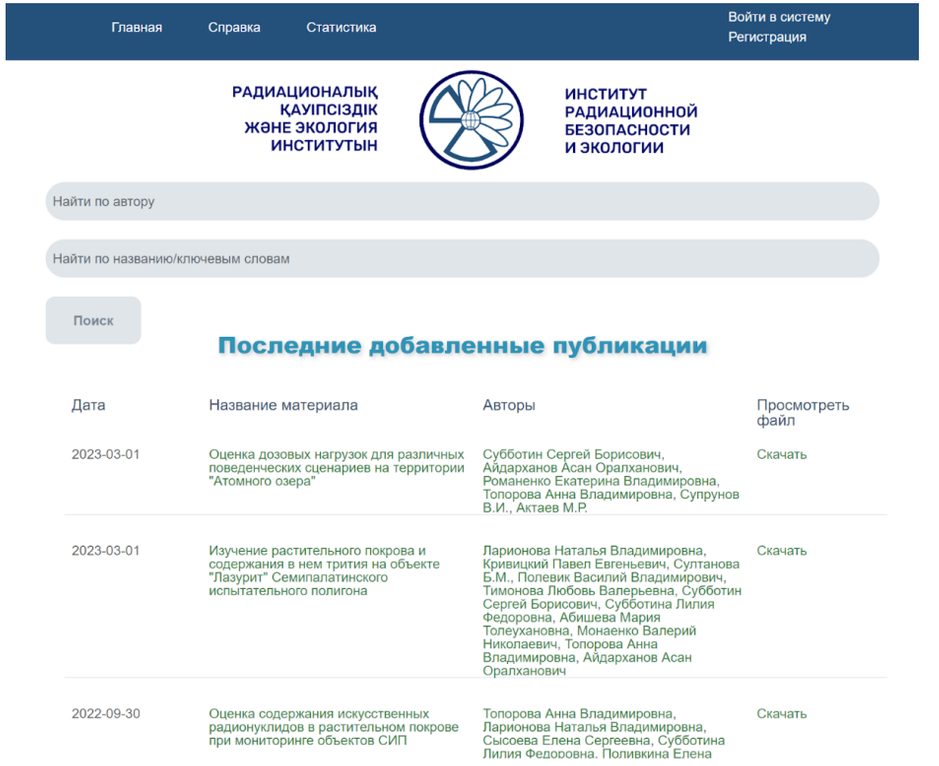
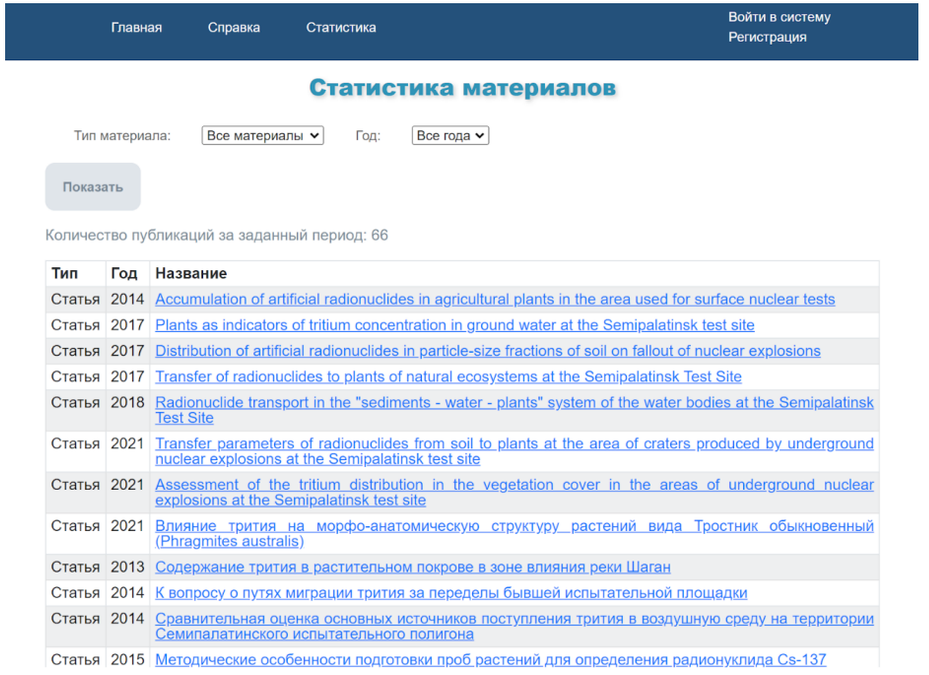


Рисунок 1. Главная страница электронной библиотеки научных трудов ИРБЭ

Для любого пользователя доступны авторизация и регистрация. После прохождения этапа регистрации пользователю присваивается роль: «admin» или «viewer». Для пользователя с ролью «admin» доступны функции добавления, редактирования и удаления записей, остальные пользователи, авторизованные как «viewer», ограничены просмотром научного материала. В БД предусмотрена возможность отображения статистики по годам и типам материала (публикации, статьи, тезисы, обзоры). После анализа “банка публикаций” также было решено разделить материалы на несколько категорий:

- Публикации в рецензируемых журналах Journal Citations Reports / Scopus;
- Публикации, индексируемые в журналах РИНЦ / Международных базах с ненулевым импакт фактором;
- Публикации в научных изданиях, рекомендованных КОКНВО;
- Материалы конференций;
- Издательская деятельность.

Для разработки БД использовались современные технологии, которые обеспечивают эффективное взаимодействие с пользователем и надежное хранение данных. На клиентской стороне применялись HTML, CSS с использованием фреймворка Bootstrap 5 и JavaScript для создания динамичного пользовательского интерфейса. Взаимодействие с БД и обработка данных на серверной стороне были реализованы с использованием языка программирования PHP. Для



Тип	Год	Название
Статья	2014	Accumulation of artificial radionuclides in agricultural plants in the area used for surface nuclear tests
Статья	2017	Plants as indicators of tritium concentration in ground water at the Semipalatinsk test site
Статья	2017	Distribution of artificial radionuclides in particle-size fractions of soil on fallout of nuclear explosions
Статья	2017	Transfer of radionuclides to plants of natural ecosystems at the Semipalatinsk Test Site
Статья	2018	Radionuclide transport in the "sediments - water - plants" system of the water bodies at the Semipalatinsk Test Site
Статья	2021	Transfer parameters of radionuclides from soil to plants at the area of craters produced by underground nuclear explosions at the Semipalatinsk test site
Статья	2021	Assessment of the tritium distribution in the vegetation cover in the areas of underground nuclear explosions at the Semipalatinsk test site
Статья	2021	Влияние трития на морфо-анатомическую структуру растений вида Тростник обыкновенный (Phragmites australis)
Статья	2013	Содержание трития в растительном покрове в зоне влияния реки Шаган
Статья	2014	К вопросу о путях миграции трития за переделы бывшей испытательной площадки
Статья	2014	Сравнительная оценка основных источников поступления трития в воздушную среду на территории Семипалатинского испытательного полигона
Статья	2015	Методические особенности подготовки проб растений для определения радионуклида Cs-137

Рисунок 2. Статистика материалов “Все категории - все года”

обеспечения структуры и эффективного хранения данных была выбрана реляционная модель MySQL. На данный момент электронная библиотека активно пополняется, что делает ее более полной и функциональной. В будущем планируется расширить функциональность платформы, внедрив дополнительные инструменты и возможности, например, систему отзывов и комментариев пользователей для создания интерактивного научного сообщества внутри библиотеки.

Электронная библиотека Института радиационной безопасности и экологии стремится не только сохранить и предоставить доступ к своим научным достижениям, но и стать активным центром обмена знаний и опытом в области радиационной безопасности и экологии. Созданная БД обещает стать полезным инструментом для исследователей, студентов и специалистов, а ее дальнейшее развитие и инновации будут способствовать обогащению научного сообщества.

СЕКЦИЯ: «РАЗВИТИЕ УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПСВ В ПЛАНИРОВАНИИ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

Алдамжаров Б, Ильясов Н.
ТОО «СП «Инкай», Шымкент, Казахстан

На добывающих предприятиях ежегодно составляется ПРГР основная часть которого является прогнозирование отработки технологических блоков. Для этого применяется практика построения кривых извлечения, основанных на основном кинетическом уравнении для необратимой реакции 1-го порядка:

$$C = C_0 \cdot e^{-k} \qquad (1)$$

где C – действующая концентрация вещества в момент времени *t*;
C_0 – исходная концентрация вещества;
k – константа скорости реакции.

На практике, на добывающих предприятиях используются разные виды уравнения для построения проектных кривых извлечения. Один из них:

$$C = \frac{C_0}{1 + A \cdot e^{-V \cdot \left(L/S - \frac{d}{L/S} \right)}} \qquad (2)$$

где C – извлечение урана (г/т ГРМ);
C_0 – исходное содержание урана в блоке (г/т ГРМ);
A, V, d – поправочные коэффициенты, с помощью которых формируется кривая извлечения;
L/S – текущее значение Ж/Т.

Другое уравнение в виде:

$$e = A \cdot \left(1 - e^{-V \cdot (L/S - d \cdot L/s)}\right) \cdot ln\left(1 + V \cdot \left(L/S - d \cdot L/s\right)\right) \qquad (3)$$

где e – извлечение, в долях единицы;
A – параметр масштаба вовлечения руд в отработку (изменяется в реальных условиях от 0,25 до 0,6);
V – кинетический параметр (изменяется в реальных условиях от 1 до 5);
L/S – текущее значение Ж/Т;
dL/S – Ж/Т завершения закисления (обычно Ж/Т = 0,15 – 0,25).

Есть еще другие виды уравнения. Зная прогнозный объем ПР, рассчитывается Ж/Т и, далее, степень извлечения урана (рисунок 1).

Таким образом, при планировании развития горных работ, кривое извлечение каждого технологического блока рассчитывается отдельно. Однако данный метод имеет свои недостатки. Во-первых, окончательный подбор кривой извлечения по блоку возможен, в большинстве случаев, после 4-6 месяцев после начала закисления. Во-вторых, нет зависимости интенсивности отработки блока от применяемого регламента подачи реагента и баланса растворов.

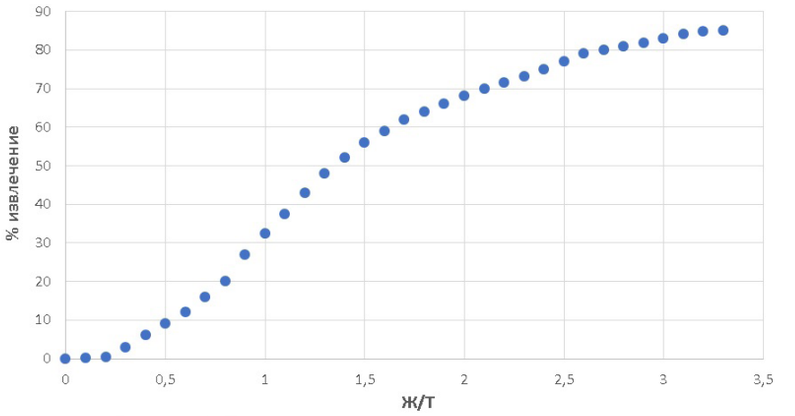


Рисунок 1. Пример прогнозного кривого извлечения

Альтернативно к данному методу прогнозирования можно использовать симулятора GeoStat, совместно разработанного специалистами ТОО «ИВТ» и КазНУ им. аль-Фараби, позволяющего рассчитывать трехмерные гидродинамические модели процесса ПСВ. Для добывающих предприятий, моделирование процесса ПСВ на настоящий момент является наиболее совершенным методом прогнозирования технологических свойств блоков и предоставляет такие возможности, как построение моделей, анализ, прогнозирование и управление процессом добычи урана.

Моделирование в GeoStat состоит из следующих этапов: загрузка и формирование входных данных; создание расчетной сетки; построение геологической модели; построение гидродинамической модели на основе интерполированных фильтрационных данных и данных о дебитах/приемистости; построение модели кинетики выщелачивания на основе данных о кислотности растворов. По заданным координатам осуществляется создание структурированной, регулярной трехмерной расчетной сетки. Все числовые вычисления производятся в узлах этой расчетной сетки. Точность результата прямо зависит от размерности ячеек. В GeoStat размерность ячеек определяется указанием количества узлов по каждой из координат (рисунок 2).

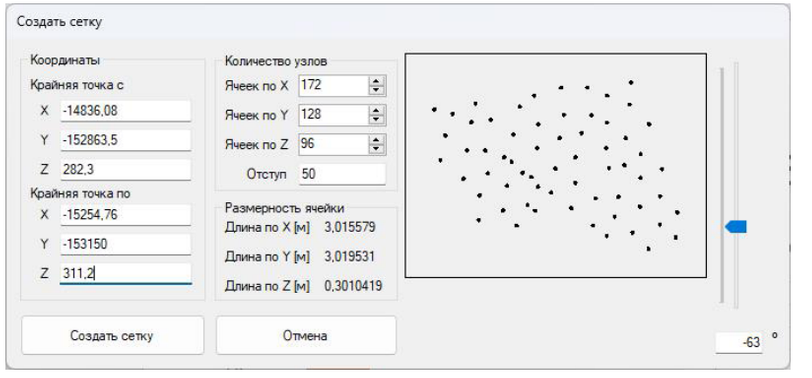


Рисунок 2. Окно создания сетки в GeoStat

Для интерполяции используются методы геостатистики: Кригинг и обратных взвешенных расстояний. В Программном комплексе также есть возможность для импортирования готовой геологической модели, построенной в других программах (например, Micromine). С помощью модуля кинетики химических процессов в 3D вычисляется динамика распределения концентрации урана в ПР, концентрации кислоты в ВР и содержание остаточного урана в руде в зависимости от времени.

На рисунке 3 можно увидеть сравнение расчетов кривых извлечения одного технологического блока, полученных от GeoStat, с фактическими данными.

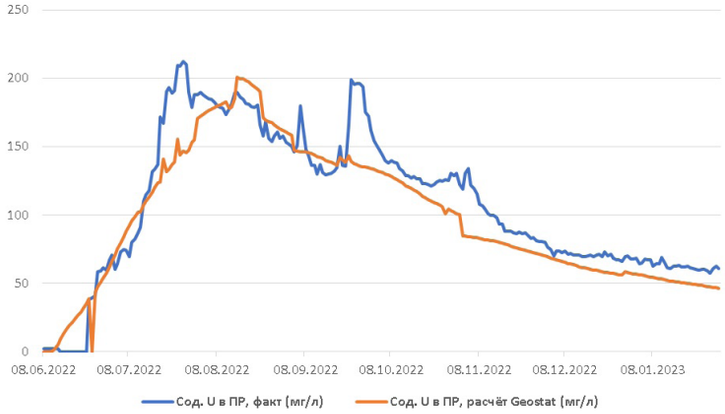


Рисунок 3. Диаграмма сравнения содержания урана в ПР между фактом и расчётом GeoStat

Для достижения более точного результата моделирования одного технологического блока рекомендуется загружать данные соседних блоков тоже, так как есть влияние растекания растворов между блоками. Но это увеличит количество узлов и моделируемых дней, что, в свою очередь, увеличит время расчета. Используемые алгоритмы массопереноса в каждой точке ГРМ (в каждом узле) требуют вычисления огромного количества промежуточных значений различных параметров в трехмерной модели ГРМ блока. Данное моделирование занимало около 23,5 часов. Для моделирования данного блока были загружены дебиты и приёмистость за 238 суток. Количество созданных узлов составляло 2 795 520 узлов. В таблице ниже расписано затраченное время (в часах) в четырёх разных моделированиях.

Таблица 1. Сравнение длительность по времени моделирований

№	Кол-во узлов	Кол-во дней дебитов скважин	Создание сетки и интерполяция (ч)	Гидродинамика (ч)	Кинетика (ч)	Общее (ч)
1	2 795 520	238	0,5	8	15	23,5
2	1 572 864	1275	1	14	49	64
3	2 113 536	117	0,5	10	13	23,5
4	3 630 690	949	5	19	207	231

Рисунок 4 демонстрирует что основные параметры, влияющие на длительность моделирования, — это количество узлов и количество дней.

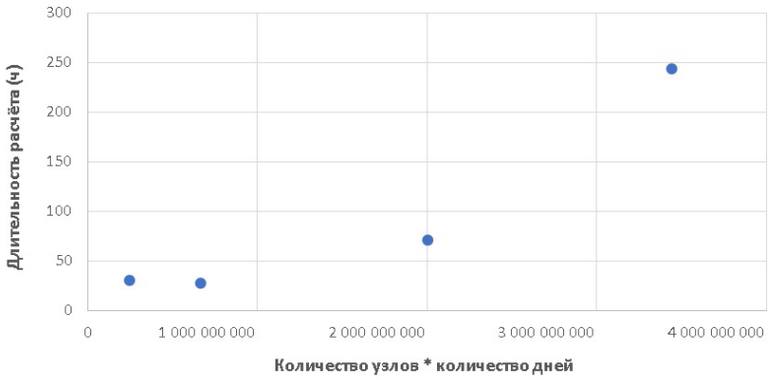


Рисунок 4. Зависимость длительности расчёта к количеству узлов и дней.

Анализируя вышеизложенных, можно выделить достоинства и недостатки использование трёхмерного моделирование в планирование развития горных работ:

Достоинства:

- Моделирование позволяет получить более точные прогнозы кривых извлечения.
- Является инструментом, имеющим алгоритмы построения зависимостей интенсивности отработки блока от применяемого регламента подачи реагента и баланса растворов.
- Результаты моделирования имеют глубокую детализацию. Например, есть возможность учитывать проведение ремонтно-восстановительных работ отдельных скважин.
- Для разных технологических блоков можно проводить симуляцию с разными наборами настроек геохимических показателей массопереноса (скорости основных и вспомогательных химических реакций, карбонатность пород, степень окисления урана и т.д.), доступных для использования в моделировании.

Недостатки:

- Значительная трудозатратность при подготовке исходных данных для моделирования. Использование первичных данных по скважинам для моделирования требует переработки и загрузки значительных объемов данных.
- Моделирование требует значительного времени. Если моделировать рудник всецело со всеми технологическими блоками с целью получения более точных прогнозов, продолжительность моделирования может занять чрезмерно много времени, что может быть нецелесообразно.
- Имеющиеся настройки, такие как скорости химических реакций, содержания дополнительных компонентов (железо, карбонаты, отношение четырехвалентного урана к шестивалентному урану и т.д.) имеют определяющее влияние на результат моделирования, однако точно задать верные исходные данные для каждой скважины и в каждый шаг моделирования (дату) представляет собой

сложную задачу, ввиду отсутствия этих измерений и неоднородности их по эффективной мощности моделируемого блока.

Для улучшения программного модуля и повышения его производительности следует рассмотреть следующие рекомендации:

- Использование вычислительных ресурсов GPU (графических процессоров) может значительно ускорить выполнение программы за счёт вовлечения специальных вычислительных мощностей, предназначенных для параллельной обработки данных. Это особенно полезно при выполнении сложных вычислений, таких как расчёты в области гидродинамики и кинетики.
- Использовать современные мощные компьютерные процессоры.
- Автоматизировать процесс подготовки входных данных для моделирования из существующих систем хранения данных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калыкова Г.М., Разуваева Т.В., Мырзабек Г.А., Поезжаев И.П. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ УРАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ. Ядерный потенциал Казахстана: Сборник докладов, вып.14, 2019 / Ассоциация «Ядерное общество Казахстана». – Нур-Султан, 2019. ISBN 9965- 32-597-9. С. 32-38.
2. Калыкова Г.М., Разуваева Т.В., Мырзабек Г.А. ПРИМЕНЕНИЕ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ УРАНА МЕТОДОМ ПСВ. Ядерный потенциал Казахстана: Сборник докладов, вып.17, 2022 / Ассоциация «Ядерное общество Казахстана». – Астана, 2022. ISBN 9965- 32-597-9. С. 30-38.
3. Демехова Ю.В., Ибраева Б.М., Поезжаев И.П., Полиновский К.Д., Горбатенко О.А., Панова Е.Н., Буленова К.Ж., Карманов Е.М., Блынский П.А., Битовт О.А. Геотехнология урана: учебное пособие. Алматы, 2017. ISBN 978-601-04-2988-8.

ПРОБЛЕМЫ ДЕЗАКТИВАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ НА ЭТАПЕ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ РУДНИКА ПОДЗЕМНОГО СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

Блынский П.А., Петрова Е.А.
ТОО «Институт высоких технологий», г. Алматы, Казахстан

В настоящее время актуализируются Планы/Программы ликвидации рудников уранодобывающих предприятий АО «НАК «Казатомпром». Согласно проектам добычной деятельности предприятий масштабные ликвидационные работы, включающие в себя демонтаж и снос скважин, трубопроводов, наземного комплекса, рекультивацию почв, будут проводиться в период 2024-2032 гг. В ходе ликвидации прогнозируется большой объем образования твердых низкорадиоактивных отходов (ТРО), до 20 000 тонн на один рудник.

Основной вклад в образование ТРО вносят загрязненный грунт, магистральные трубопроводы и внутриблочная обвязка из ПНД, оборудование ЦППР и ЦА, отработанный сорбент, строительные отходы, образующиеся в ходе демонтажа зданий, где проводились работы с радиоактивными материалами. Часть ТРО может быть дезактивирована, выведена из категории отходов и повторно использована в народном хозяйстве. При этом, в ходе дезактивации будут неизбежно образовываться растворы, которые могут быть отнесены к жидким низкорадиоактивным отходам (ЖРО), что, в свою очередь, потребует их утилизации. Видовой состав ТРО представлен на рисунке 1.

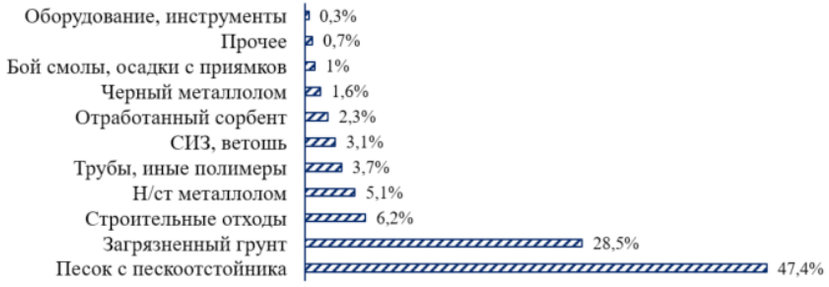


Рисунок 1. Видовой состав ТРО урандобычных предприятий

ОБРАЩЕНИЕ С НИЗКОАКТИВНЫМИ РАО

Отходы относятся к радиоактивным (РАО), если удельная активность содержащихся в них радионуклидов больше значений, регламентированных нормами радиационной безопасности для радиоактивных материалов, подлежащих контролю, а при неизвестном радионуклидном составе удельная активность больше:

- 100 кБк/кг для источников бета-излучения;
- 10 кБк/кг для источников альфа-излучения;
- 1 кБк/кг для трансурановых радионуклидов.

РАО на урандобывающих предприятиях образуются при следующих видах производственной деятельности:

- геологическая разведка (радиоактивный буровой шлам);
- добыча и переработка урана (бурение, сооружение и ремонт скважин, подземное выщелачивание, производство химического концентрата природного урана и закиси-окиси урана).

В настоящее время в Республике Казахстан отсутствуют специальное законодательство и Национальная стратегия по вопросам обращения с РАО.

Одной из проблем действующего законодательства является несовершенство классификации РАО. Кроме того, в законодательстве Республики Казахстан нет единообразия в терминологии, что приводит к разночтению при его толковании. Различные термины могут обозначать одно и то же явление, и их однозначное определение может оказаться достаточно сложным.

Среднегодовое образование ТРО в добычных ДЗО по результатам анализа 2019-2022 годов составляет около 4 000 тонн в год.

Среднее по всем добычным ДЗО удельное образование РАО складывается на уровне 0,2 т/тU.

Основными видами ТРО являются песок с пескоотстойников и загрязненный грунт (более 75% всего объема).

Около 10,5% всех ТРО, что в абсолютном значении в среднем составляет свыше 400 тонн в год, приходится на такие категории как нержавеющий стальной и черный металлолом, пластик в виде трубной продукции, а также оборудование и инструменты. Данные виды отходов, исходя из технологической практики и имеющихся доступных технологий, могут быть полностью или частично дезактивированы.

Кроме того, в ряде добычных ДЗО эксплуатируются ИИИ на основе америция и других радионуклидов. На настоящее время ИИИ передаются на захоронение/долговременное хранение предприятиям, имеющим соответствующую лицензию, на основании заключенных договоров.

Переработка РАО в добычных ДЗО не проводится.

Дезактивация на добычных предприятиях Компании проводится в основном по трем видам радиоактивно загрязненных материалов – нержавеющий стальной металлолом, черный металлолом и трубы ПНД.

Дезактивация грунта, основного РАО (75%), на сегодняшний день в ДЗО не реализована.

Дезактивация в добычных ДЗО проводится как своими силами, так и силами сторонних организаций.

Анализ темпов дезактивации на добычных предприятиях Компании показал, что в разрезе последних трех лет объемы дезактивируемых материалов снижались (с 16% в 2020 году до 5% в 2022 году). Сложившаяся ситуация объясняется рядом факторов, главными из которых являются:

- малое количество потенциальных поставщиков, оказывающих услуги по дезактивации;
- низкая техническая готовность добычных предприятий Компании в вопросе дезактивационных работ;
- стоимостью дезактивации выше стоимости захоронения РАО в ПЗРО и требует определенных капитальных вложений.

В 2022 году работы по дезактивации проводились в 5 добычных ДЗО Обществах – ТОО «АППАК», ТОО «Семизбай-U», ТОО «СП «КАТКО», ТОО «Хорасан-U» и ТОО «Kazatomprom-SaUran».

При проведении работ по ликвидации и рекультивации месторождений/участков добычи урана прогнозируется образование свыше 73,5 тыс. тонн РАО в период с 2023 по 2030 годы.

При ликвидации последствий недропользования РАО будет образовываться при следующих операциях:

- ликвидация технологических скважин – 62%;
- демонтаж и ликвидация трубопроводов ВР, ПР – 10%;
- ликвидация технологических узлов – 4%;
- демонтаж оборудования цеха продуктивных растворов, цеха аффинажа, технологических насосных станций – 14%;
- ликвидация пескоотстойников ПР, ВР, шламоотстойников – 1%;
- прочие операции (демонтаж зданий) – 9%.

Кроме того, стоит отметить, что около 28% всех РАО приходится на металл и пластик, а значит потенциально могут быть подвергнуты дезактивации [1].

Дезактивация низкоактивных РАО, загрязненных естественными радионуклидами, является достаточно изученным направлением и обладает широким спектром различных технологий. Однако, учитывая большой объем РАО и невысокую стоимость захоронения РАО относительно стоимости дезактивации, список экономически эффективных способов становится крайне ограниченным.

В настоящее время ТОО «ИВТ» проводит НИОКР, направленных на разработку/адаптацию технологий дезактивации низкоактивных РАО, образующихся на урандобывающих Предприятиях АО «НАК «Казатомпром».

Гидроструйная обработка – один из перспективных методов очистки систем [2].

Для очистки полимерных материалов возможно применение гидродинамического аппарата с дизельным нагревателем воды Посейдон E7-Th, изображенный на рисунке 2. Данная модель имеет рабочее давление до 220 бар, более мощная модель не предназначена для полимерных материалов, она может повредить поверхность.

Рисунок 2. Гидродинамическая машина Посейдон E7-Th

Преимущество данной модели – наличие проточного нагревателя воды. Мощность водонагревателя 93 кВт. В качестве топлива использовался керосин. Использование горячей воды значительно ускоряет и улучшает качество отмывки. Кроме того, в режиме пистолета возможно использование пара. Процесс дезактивации образцов представлен на рисунке 3.

Дезактивацию полимерных материалов, имеющих трудноудаляемый налет и металлических изделий целесообразней проводить мойкой под давлением, меняя режимы работы гидродинамической машины (в случае трудноудаляемых осадков технологических растворов повышать температуру подаваемой воды до максимально допустимых установкой значений).

Очистка бетона осуществлялась методом вакуумирования и методом скалывания с использованием шлифовальных машин. Для метода скалывания использовалась шлифовальная машина с алмазной чашкой (рисунок 4).

Рисунок 3. Дезактивация образцов гидродинамической машиной

Рисунок 4. Дезактивация образцов с помощью шлифовальной машины

Рисунок 5. Дезактивация грунта методами чанового и кучного выщелачивания.

Коэффициент дезактивации при этом достигал 18. При данном методе происходит образование низкоактивных ТРО в виде пыли (в среднем с 1 м^2 очищаемой бетонной поверхности образуется 1 кг бетонной пыли).

В лабораторных условиях были также проведены опыты по дезактивации грунта методами чанового и кучного выщелачивания (рисунок 5).

По результатам экспериментальных работ следует вывод, что оба метода обеспечивают дезактивацию грунта и извлечение урана в равнозначной степени (до 50%).

Проведенные исследования являются предварительными и требуют проведения

укрупненного эксперимента и набора статистики, а также проведения технико-экономического исследования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программа по обращению с радиоактивными отходами Акционерного Общества Национальная Атомная Компания «Казатомпром» на 2023-2030 гг., Астана, 2023 г.
2. Закон Республики Казахстан от 23 апреля 1998 год «О радиационной безопасности населения».

ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ ОТРАБОТАННОЙ ИОНООБМЕННОЙ СМОЛЫ КАК ВОЗМОЖНОСТЬ УМЕНЬШЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Токсанбаев Б.Ж., Тимаков А.С.
ТОО «Институт высоких технологий», Алматы, Казахстан

ВВЕДЕНИЕ

Добыча и переработка природного урана на рудниках ПСВ АО «НАК «Казатомпром» ведется с использованием ионообменных смол.

Согласно требованиям Положения о порядке захоронения радиоактивных отходов в Республике Казахстан, выведенный из эксплуатации радиоактивный ионит (в том числе разрушенный ионит) должен утилизироваться на полигонах для захоронения НРО.

Среднегодовой показатель по закупу всеми уранодобывающими компаниями Казахстана уран селективного ионита для ведения технологического процесса составляет порядка 1 000 м^3, соответственно и ежегодный объем образованного разрушенного ионита в какой-то мере соизмерим с данной величиной.

При этом стоимость для захоронения тонны НРО на существующих полигонах ежегодно только увеличивается, кроме того размеры полигонов НРО имеют свои ограничения, а организация новых полигонов НРО несет существенные организационные и экономические трудности и может нанести ощутимый вред экологии региона.

Сокращение объема НРО, направляемого на захоронение в специализированных могильниках, является актуальной задачей, решение которой принесет не только экономический эффект, но и существенно улучшит экологическую ситуацию в регионе. Кроме того, некондиционная ионообменная смола содержит остаточный уран, который можно экономически рентабельно извлечь.

Переработка ионообменных смол является наиболее сложной и дорогостоящей операцией по сравнению с переработкой других видов радиоактивных отходов (РАО). Существуют различные способы утилизации отработанных ионообменных смол, все они имеют свои достоинства и недостатки. В то же время на сегодняшний день не существует готовых к тиражированию установок для переработки отработавших ионообменных смол, каждое оборудование рассчитывается индивидуально.

Актуальность данных исследований состоит в том, что результаты анализа этих способов позволят выбрать и разработать приемлемую и эффективную технологию переработки некондиционного ионита, с целью снижения объемов и количества НРО с возможным доизвлечением ценных компонентов.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ (ОИОС)

Утилизацию радиоактивных ионообменных смол с их последующим захоронением в настоящее время ведут с использованием таких технологических приемов как цементирование, прессование, остекловывание, битумизация, омоноличивание, термическая обработка (пиролиз, пирогидролиз, комплекс плазменной переработки), термовакуумная сушка, центрифугирование, сверхкритическое водное окисление и другие. Каждый из указанных методов, наряду с некоторыми достоинствами, имеет ряд серьезных недостатков. Однако, главными из них являются высокие экономические издержки.

Анализ достоинств и недостатков, применяемых на сегодняшний момент технологий переработки отработанных ионообменных смол, показывает, что оптимальными вариантами с позиций принципа минимизации РАО являются технологии термической обработки и глубокой дезактивации (глубокая десорбция).

ОИОС, извлеченная из процесса, в частности из шламоотстойников, содержит до 50-60% как межзерновой, так и внутризерновой воды, удаление которой позволяет вполовину уменьшить вес и объем данного вида НРО. При этом обычный процесс термовакуумной сушки при температурах 80-100°C является обратимым процессом, то есть, высушенная ОИОС абсорбирует влагу из воздуха и практически восстанавливает свой объем и массу со временем.

Для решения поставленных задач по сокращению данного вида НРО, сокращение затрат на захоронение НРО и извлечения ценных компонентов – проведены исследования утилизации ОИОС при помощи термической обработки, как с предварительным элюированием урана и рения, так и без, а также с извлечением «ценных» элементов из «сорбента» подверженного термическому воздействию (разложению). Термообработка проводилась без доступа кислорода, а также в атмосфере воздуха без предварительной обработки.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Комплексные исследования по изучению термодеструкции некондиционного ионита, а также анализ газов выполнены на экспериментальном и аналитическом оборудовании РГП «Институт проблем горения» (ИПГ). Для анализа газов использовалась газовая хроматография с масс-спектроскопическим детектированием (Agilent 7890A/5975C). Экспериментальные аналитические исследования выполнены в Лаборатории анализа и исследования материалов ТОО «Институт высоких технологий».

Для исследований физико-химических свойств ОИОС нами были получены образцы некондиционного ионита из шламоотстойников уранодобывающих предприятий.

Органолептический анализ образцов смол показал наличие в пробах, как цельных зерен, так и разрушенных, присутствие в незначительных количествах песка, ила и различных органических включений. Все образцы ОИОС были доставлены в лабораторию исследования и анализа материалов (ЛИАМ) в пос.Таукент для определения содержания урана, рения и РЗМ.

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ИОНИТА

В настоящее время на рудниках НАК «Казатомпром» используются сильноосновные аниониты, матрица которых состоит из цепей полистирола сшитых молекулами дивинилбензола.

Содержание ДВБ в ионообменных смолах находится на уровне 4-10%, оптимальная степень сшивки составляет 8% .

В качестве функциональной группы сильноосновные аниониты содержат четвертичные аммониевые основания R_3NOH с подвижными отрицательно заряженными ионами (OH^-, Cl^-, NO^-, SO_2^- и др.).

В зависимости от способа получения полистирола разрушение наступает при различных температурах. Технический полистирол начинает разрушаться при 130°С, тогда как чистый полистирол только при 210°С. Термическая деструкция полистирола усиливается при температурах выше 300°С. Конечными продуктами разложения полистирола являются преимущественно мономер и небольшое количество димера и тетрамера.

В присутствии кислорода термическая деструкция полистирола протекает быстрее, чем в атмосфере инертного газа или в вакууме. Быстрый распад полистирола, сопровождаемый пожелтением или побурением полимера, происходит при температуре выше 200°С.

При горении стирола высвобождается энергия 42 000 кДж/кг, сопоставимая с энергией сгорания бензина – 46 000 кДж/кг. С помощью высокотемпературного сжигания или каталитического окисления при более низких температурах можно достичь высокой эффективности утилизации энергии (порядка 99%).

ГЛУБОКАЯ СУШКА ИОНИТА ДО 250°С

Одним из важных свойств ионообменных смол является способность к набуханию в водных растворах. Коэффициент набухания основных ионитов лежит в широких пределах – $К_н$= 1,3-2,0. Т.е. объем набухшей смолы может в 2 раза превышать объем сухого ионита. Дело в том, что ионит, высушенный при температурах менее 100°С, находясь на открытом воздухе, сорбирует находящуюся в нем влагу и практически восстанавливает свой объём до первоначального состояния. Температурная устойчивость большинства анионитов – не выше 60, максимум 80°С.

Задача глубокой сушки, кроме удаления меж поровой влаги состоит в разрушении функциональных групп и исключения повторного набухания после термообработки.

На рисунке 1 показан внешний вид смолы до и после термообработки. После сушки при 150°С смола приобрела слабо коричневый цвет, интенсивность окраски увеличивалась с повышением температуры. Начиная с 200°С наблюдалось незначительное выделение газа с резким неприятным запахом, что свидетельствует об изменении структуры зерен и реакции ионита с кислородом воздуха.

Рисунок 1. Внешний вид высушенной смолы.

Результаты опытов по глубокой сушке ионита представлены в таблице 1.

Таблица 1. Изменение массы и объема смолы в процессе глубокой сушки

Показатель	Температура высушивания, °С			
	100	150	200	250
Масса смолы исх., г.	2,82	2,36	2,56	2,70
Масса смолы конечн., %	52	45	44	42
Объем смолы конечн., %	~50	~50	~50	~50

Из таблицы видно, что объем высушенной смолы уменьшился в 2 раза. Считая истинную массу ионита без влаги (высушенного при 100°С), отметим, что с увеличением температуры сушки происходит уменьшение массы смолы и начинается выделение газа. Это свидетельствует о начале термической деструкции зерен и разрушении функциональных групп.

Для проверки влагопоглощения высушенной смолы в исследуемые пробирки добавили воду до отметки 4 см³ и оставили в открытом виде на 1 час. Объем смолы высушенной при 100°С увеличился более чем вдвое и принял первоначальный вид. Объем остальных образцов практически не изменился и остался на прежнем уровне. Внешний вид высушенного ионита, обработанного водой, показан на рисунке 2.

Рисунок 2. Влагопоглощение высушенной смолы

Результаты опытов по глубокой сушке ионита показывают, что термообработка ионита при температуре 150-200°С позволяет снизить массу и объем ионита практически в 2 раза и предотвратить его набухание при контакте с жидкостью и влагой из атмосферного воздуха.

Реализация данной работы на практике, позволит сократить предприятиям расходы на транспортировку и захоронение НРО в два раза. Простота технологии «глубокой сушки» потребует минимальный перечень дополнительного оборудования и материальных затратах, и не увеличит общий показатель предприятий по выбросам вредных веществ в атмосферу.

ТЕРМОДЕСТРУКЦИЯ ИОНИТА ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ 300-900°С

Для исследования поведения исходной ионообменной смолы при термическом воздействии разных температур равное количество смолы по 3,5 грамм ~5 см³ засыпали в семь фарфоровых тиглей (300, 400, 500, 600, 700, 800 и 900°С), закрыли их фарфоровыми крышками и поместили в муфельную печь при комнатной температуре. Включили нагрев со скоростью 10°С/мин. По достижении заданной температуры выдерживали 30 минут и извлекали по одному тиглю.

На рисунке 3 показан внешний вид исходной смолы и огарка после термообработки. После остывания до комнатной температуры взвешивали огарки, из-

меряли объем, визуально оценивали внешний вид. Результаты опытов представлены в таблице 2.

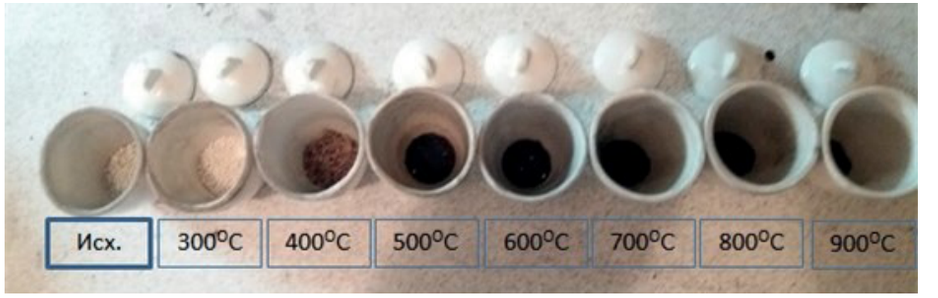


Рисунок 3. Внешний вид смолы после термической обработки

Таблица 2. Изменение массы и объема огарка в процессе термической обработки

Температура печи, °С	Смола		Огарок			
	Масса, г	Объем, см³	Масса, г	Объем, см³	Масса, %	Объем, %
300	3,5	5	1,84	2,8	52,6	56
400			1,2	2,0	34,3	40
500			0,66	1,2	18,9	24
600			0,37	0,6	10,1	12
700			0,18	0,3	5.1	6
800			0,1	0,16	2,9	3,2
900			0,07	0,1	3,1	2,0

Максимальное уменьшение массы смолы составило около 97% при температуре 900°С.

АНАЛИЗ ПАРОВ ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ СУШКИ И ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР 100-800°С

Термообработка смолы, начиная с 300°С, сопровождалась выделением газа, предположительно содержащего амины с резким неприятным запахом.

С целью предотвращения взаимообменных реакций в газовой фазе внутри реактора анализ продуктов термодеструкции ионита осуществлялся сразу после его термической обработки.

При температуре 150°С начинается деструкция матрицы ионита, при этом расчеты показали, что ионит теряет около 7% массы в виде триметиламина. Триметиламин относится к веществам 3 класса опасности, ПДК в воздухе рабочей зоны 5,0 г/м³. Улавливание триметиламина практически полностью происходит в мокрых скрубберах.

Повышение температуры термодеструкции привело к дальнейшему разложению матрицы ионита, в результате чего начали выделяться соединения углерода с серой, а также такие углеводороды, как стирол, бензол, толуол и др. продукты распада матрицы.

При повышении температуры пиролиза происходит дальнейшая деструкция полистирола и дивинилбензола. Продукты разложения реагируют между собой и с составляющими воздушной смеси, при этом образуются высокотоксичные органические продукты, в связи с чем необходимо вести процесс в окислительной среде воздуха. Выделяющийся при сгорании сульфогрупп ионита серный ангидрид легко уловить в мокром скруббере (с образованием серной кислоты). Образующиеся при сгорании азот, двуокись углерода и пары воды являются естественными составляющими атмосферного воздуха и практически не влияют на экологическую обстановку.

ВЫВОДЫ

Сравнительно мало затратным способом утилизации отработанного ионита является ее глубокая сушка при температуре 150-200°С, которая сопровождается небольшим потреблением энергии и незначительным выделением триметиламина (3 класс опасности), который сравнительно легко улавливается в мокром скруббере. Масса ионита после сушки уменьшается в 2 раза и более, при этом ионит теряет способность к поглощению влаги.

Сжигание ионита в окислительной среде воздуха с обязательным досжигом отходящих газов позволит сократить массу НРО более чем в 15-20 раз.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПЕЧИ ВГТП-8 С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

Мирамбеков А.М.
ТОО «Байкен-U», Кызылорда, Казахстан

На сегодняшний день уран – ключ к переходу на более выгодную ветвь энергетики. Одна тонна обогащённого урана по тепловыделяющей способности будет равна 1 350 тоннам природного газа или нефти. Наибольшее применение имеет изотоп 235-го урана, в котором возможна самоподдерживающаяся ядерная реакция. Его используют как топливо в реакторах, а также в ядерном вооружении. Диуранат аммония – один из распространенных продуктов промышленного уранового производства. В своём составе данное соединение не содержит летучих компонентов, кроме урана, что представляет огромную ценность для производства оксидов урана. В зависимости от температуры прокаливания из аммиака можно получить либо триоксид урана, либо закись-окись урана. Триоксид получают термическим разложением при 250-400°С. Прокаливание при 600-900°С приводит к образованию закиси-окиси урана. В этих процессах достоинства диураната, как осадителя, характеризуются сравнительно низкой стоимостью и возможностью регенерации аммиака при прокаливании, а также полнотой перехода урана в осадок при таком осаждении. Глубокая сушка диураната аммония – пастообразного капиллярно-пористого материала – довольно сложна, поэтому на прокаливание обычно поступает влажный продукт.

Прокаливание – есть процесс нагрева твёрдых веществ, для дальнейшего отделения его от летучих примесей, а также для удаления влаги из вещества. Кроме того, прокаливание является одной из важных, обычно заключительной стадией в технологии получения оксидов урана. При прокалке, вследствие термической диссоциации карбонатов и гидроксидов, а также различных солей будет образовываться нужный нам продукт, а также выделяться газообразные продукты, такие как CO_2, H_2O и прочие. Поэтому данный процесс проводится при высоких температурах и подбирается соответствующий аппарат способный выдержать рабочую температуру.

Прокаливание одна из важнейших операций высокотемпературной переработки соединений урана. К операциям прокаливания относится получение окислов урана из его различных соединений (диураната аммония, пероксида, аммоний уранил оксалата, аммоний уранил три карбоната, оксалата уранила и др.), получение тетрафторида урана из аммоний уран пентафторида и т.п. В рассматриваемом случае, после аффинажа, мы получаем уран в виде диураната аммония.

Процесс проводят в проточных условиях с целью постоянного удаления из зоны реакции воды.

При более высоких температурах (600-900°С) термическая диссоциация сопряжена с образованием закиси-окиси урана по реакции:

$$9(NH_4)_2U_2O_7 = 6U_3O_8 + 14NH_3 + 15H_2O + 2N_2$$

Примеси в большинстве своем концентрируются в оксидах урана. Количественно удаляется лишь вода, кислород, сера и азот. [1].

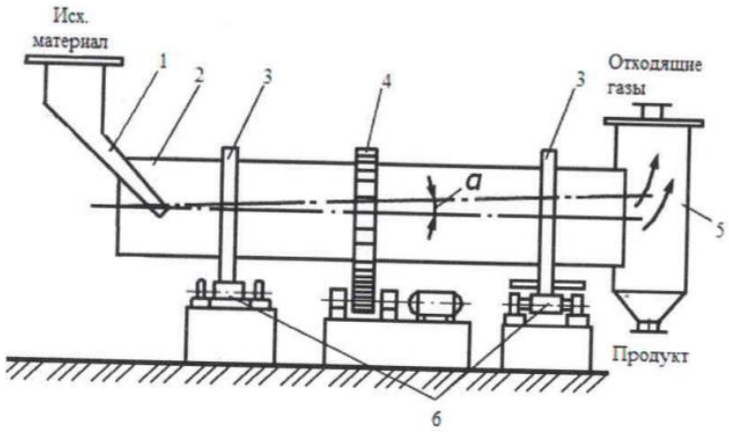


Рисунок 1. Схема барабанной вращающейся печи

На данном рисунке изображена схема вращающейся барабанной печи для обжига сыпучих материалов, таких как пероксид урана. Представляющая собой конструктивную схему: 1 – механизм загрузки, 2 – барабан, 3 – опорные бандажи, 4 – венцовая шестерня, 5 – механизм разгрузки, 6 – опорно-упорная станция.

В Казахстане в производстве используются вращающиеся барабанные печи, в которых проводят непрерывный процесс обжига при температуре до 900°С. Необходимая теплота в таких печах передается непосредственно через корпус барабана от нагревательных элементов к термообрабатываемым материалам. Простота и надежность обусловливают широкое применение этих печей [2].

В ТОО «Байкен-U» используются 4 вращающиеся печи – 2 печи ВГ'ТII-8 и 2 печи FDHK-5/500/6000/1000.

Таблица 1. Технические характеристики ВГТП-8

Наименование показателя	Обозначение	Величина показателя
Габариты установки	мм	11 380 – 2144 – 2732
Общий вес	кг	20290
Производительность при влажности 15-20 %	кг/ч	250-300
Мощность нагревателей	кВт	420
Рабочая температура в реторте: I зона II зона III зона	°С	 550-650 650-750 750-850

Время прокалки	ч	1,0-1,5
Размеры реторты	мм	Внутренний диаметр 410, толщина стенки 14-16, длина 7 800
Частота вращения реторты	об/мин	1,5-2,5

АНАЛИЗ ПРИЧИН НЕСТАБИЛЬНОЙ РАБОТЫ ПЕЧИ ВГТП-8

По результатам проведенного анализа были сделаны следующие заключения:

1. частичное превышение влажности концентрата перед загрузкой в бункер, исходя из практики ведения процесса продукт с повышенной от регламента влажностью полностью не прокалывается, в результате, часть продукта была выгружена с другими нестабильными оксидами урана;
2. отклонение температурного режима в печи ВГТП-8. Проанализировав температурные показатели (тренды) печи ВГТII-8, было установлено что в I зоне нагрева произошло снижение рабочей температуры и отклонение от установленных рабочих характеристик, что привело к неполной прокалке продукта. Что явилось последствием большой загруженности печи продуктом и частым выходом из строя фехралевых нагревателей печи, Таким образом, вышеуказанные отклонения стали причинами попадания бракованной продукции в контейнер.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УЗЛОВ МОДЕРНИЗАЦИИ ПЕЧИ ВГТП-8

Для решения проблемы по превышению влажности концентрата на входе в печь уделили внимание на процесс фильтрации, пересмотрели технические режимы фильтр-пресса, выставили оптимальные параметры.

Для решения проблемы отклонения температурного режима рассматривалась модернизация существующей печи ВГТП-8 и реконструкция оборудования с подбором надежных и современных технологий. Для предотвращения снижения температуры в рабочих зонах печи, а также уменьшения теплопотерь, и сокращения затрат на электричество предлагается модернизировать следующие узлы печи:

1. Замена теплоизоляции печи, изменение существующей футеровки боковых стен, торцов и сводов корпуса печи на современные волокнистые футеровочные материалы – снизит теплопотери, и позволит быстрее и точнее регулировать температуру в рабочих зонах печи;
2. Замена существующих фехралевых нагревательных элементов на карбидокремниевые позволит обеспечить надежную работу печи без сбоев, а также увеличить количество циклов их работы в режиме ВКЛ/ВЫКЛ, тем самым снизить операционные расходы. Изменение места распожения нагревательных элементов с нижнего на боковое, вдоль боковых стенок печи, также позволит производить более точную и равномерную регулировку температуры, а также обеспечить равномерный нагрев реторты с целью увеличения ее срока службы;
3. Замена системы управления печи, существующий шкаф управления с релейной схемой заменен на новый с тиристорным управлением и программируемым логическим контроллером (ПЛК) с выведением основных показателей печи в центральную пультовую диспетчерскую и управления печью удаленно

для обеспечения плавности регулирования температуры и более точного контроля технологического процесса.

РАБОТА ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ОПРЕДЕЛЕННЫХ УЗЛОВ ПЕЧИ ВГТII-8

Замена футеровки свода, боковых стенок и торцов корпуса печи.

Рисунок 2. Подготовительные работы для монтажа новой футеровки печи, предварительно старая футеровка и нагревательные элементы были демонтированы

Рисунок 3. Заполнение крышки свода печи новым футеровочным материалом

Рисунок 4. Монтаж новой футеровки боковых стен печи

Также были демонтированы старые нагревательные элементы и основные узлы печи. После их демонтажа приступили к заполнению всех узлов печи современным материалом из керамического волокна.

ЗАМЕНА НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЧИ

Для обеспечения надежной работы печи и исключения сбоев старые фехралевые нагревательные элементы были заменены на карбидокремниевые.

Рисунок 5. Монтаж нагревательных элементов

После завершения монтажных работ футеровки и нагревателей, все элементы были собраны в готовую конструкцию.

ЗАМЕНА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕЧИ

Помимо элементов самой печи также была произведена замена системы управления печи, существующий шкаф управления с релейной схемой был заменен на новый с тиристорным управлением и программируемым – логическим контроллером (ПЛК).

Рисунок 6. Новый шкаф управления печи

Установленный шкаф управления позволяет обеспечить плавность набора и регулирования температуры нагрева с поддержанием его в заданных, необходимых для технологии пределах. Также для удобства управления и контроля работы печи с центральной диспетчерской, была обеспечена связь по сетевому протоколу ModBus TCP.

ВЫВОДЫ

По результатам анализа причин нестабильной работы печи ВГТП-8 печного отделения рудника «Харасан-2» ТОО «Байкен-U» определены причины отклонения от технологического режима работы печи. Для решения указанных отклонений был разработан комплекс мероприятий модернизации печи и определены основные узлы и элементы, подлежащие модернизации.

- была произведена замена существующего футеровочного кирпича на новый материал из керамического волокна. Замена футеровки осуществлена на боковых стенках, торцах и сводах печи;
- были заменены нагревательные элементы и их расположение. После проведенной модернизации нагревательные элементы расположены вдоль внутренних стенок по обеим сторонам от реторты. Установлены нагревательные элементы: 5-h10Н-Х23Ю5Т ГОСТ 12766.1-90;
- был установлен шкаф управления на базе тиристорного управления. Данный шкаф осуществляет плавный набор температуры с поддержанием его в заданных, необходимых для технологии пределах. Также для удобства управления и контроля работы печи с центральной диспетчерской, была обеспечена связь по сетевому протоколу ModBus TCP.

Запуск печи произведен и достигнуты рабочие температуры: зона 1 – 650°С, зона 2 – 750°С, зона 3 – 850°С. Произведенные испытания подтверждают снижение теплопотерь через футеровку, снижение температуры поверхности печи отдельных участков с 200°С до 60-65°С.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тураев Н.С., Жерин И.И. Химия и технология урана: Учебное пособие для вузов/ Н.С. Тураes, И.И. Жерин. – М. ЦНИИАТОМИНФОРМ, 2005. 407с
2. Исламов М.Ш. Печи химической промышленности. Изд. 2-е, пер. и доп. — Химия: 1975. 432 с.
3. Левченко П.В. Расчеты печей и сушил силикатной промышленности. Москва, Высшая школа, 1968. 363 с.
4. Terman X.A. Шнековые машины В технологии./ Пер. с нем. Под ред. Фридмана Л.М. Л.: ”Химия”, 1975. 232 с.
5. Судариков Б.Н., Раков Э.Г. Процессы и аппараты урановых производств. Учебник для ВУЗов. М. Машиностроение, 1968. 281 с.

СЕКЦИЯ:
«ПРОБЛЕМЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ И ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ»

ПИРОЛИЗ МЕТАНА В СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОМ РАЗРЯДЕ

Т.Р. Туленбергенов[1,2], А.А.Агатанова[1], И.А. Соколов[1,2], А.Ж. Миниязов[1,2]
[1]Филиал ИАЭ РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан
[2]НАО «СГУ им. Шакарима», Семей, Казахстан

В данной работе представлены промежуточные результаты экспериментальных исследований по получению водорода методом пиролиза метана в сверхвысокочастотном (СВЧ) разряде. Разложение метана проводилось в среде аргона на установке для прикладных исследований. Система диагностики были на основе методов масс-спектрометрии и оптико-эмиссионной спектрометрии. Расчёты конверсии метана составили 32%. В настоящее время продолжаются работы по улучшению эффективности процесса.

Ключевые слова: пиролиз, плазмохимическая реакция, СВЧ разряд, метан, водород, углерод.

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдаемое в мире в последние десятилетия резкое увеличение интереса к водороду, как к энергоносителю характеризуется несколькими факторами. Во-первых, запасы сырья не ограничены, так как сырьём для получения водорода могут быть вода, уголь, природный газ и природные карбонаты. Во-вторых, при сжигании водорода значительно меньше выделяются вредные вещества.

На рис.1 представлена структура производства и потребления водорода.

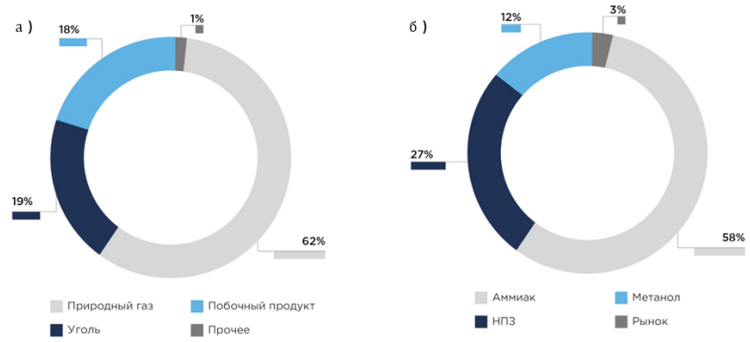


Рис. 1 – Структура производства и потребления водорода [1]

По данным из рис.1 водород в основном получают из природных органических топлив и методы широко распространены. А главными потребителями водорода являются химическая промышленность и нефтепереработка. Распространенные способы получения водорода – это электролиз воды, паровая конверсия природного газа, газификация угля, пиролиз метана и парциальное окисление метана. Большинство перечисленных методов ха-

рактеризуются высокой эффективностью процесса. Однако, существующие технологии получения водорода все еще далеки от совершенства. С связи с этим, актуальность работы связана с необходимостью эффективных методов получения водорода.

Цель исследования: реализация способа получения водорода на установке для прикладных исследований методом пиролиза метана в сверхвысокочастотном разряде.

Основные задачи:

- Проведение экспериментальной отработки способа получения водорода в сверхвысокочастотном разряде.
- Определение степени разложения метана с применением СВЧ-разряда.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Основная идея нашего метода заключается в применении СВЧ разряда для разложения метана. Пиролиз метана происходит на основе следующей химической реакции:

$$CH_4 \rightarrow 2H_2 + C \qquad (1)$$

В результате реакции метан разлагается на углерод и водород. Параметрами процесса, которые влияют на конверсию метана являются вид газа, вкладываемая мощность, давление в реакционной камере, напуск (расход) и начальная температура газа. По данным из литературы при конверсии метана с помощью СВЧ разряда наблюдаются минимальные энергозатраты (0,9-1 эВ/мол) при степени разложения до 90% [2,3].

Все эксперименты по данному методу проводились на установке для прикладных исследовании (рис.2), технические характеристики которого представлены в таблице 1.

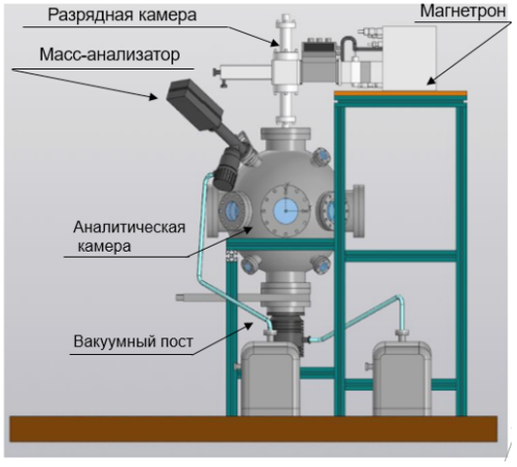


Рис. 2 – Общая схема установки

Таблица 1. Технические характеристики СВЧ-генератора

Характеристика	Значение
Выходная микроволновая мощность	6 кВт (от 10 % до 100 %)
Частота	2450 МГц ± 25 МГц
Режим работы	Импульсный, постоянный
Выход волновода	WR340
Рабочее давление в реакционной камере	10^{-2} - 10^{6} мбар
Рабочий газ	Ar, N_2, O_2, H_2, CH_4, He, воздух
Температура теплоносителя	16-30°C

Основу установки составляет СВЧ генератор – магнетрон с волноводом, аналитическая и реакционная камера. Принцип работы заключается в том, что СВЧ-излучение мощностью до 6 кВт на частоте 2450 МГц поступает от генератора, в прямоугольный волновод сечением 138×95 мм. Реакционной камерой служит кварцевая трубка диаметром 30 мм, пересекающая волновод перпендикулярно. Подача рабочего газа осуществляется из системы газоподачи в кварцевую трубку. Аналитическая камера оснащена газоанализатором со встроенной независимой системой откачки, смотровыми окнами и вакуумным постом. Система диагностики была на основе масс спектрометра и оптического спектрометра для анализа результатов. Масс-спектрометрия смеси газов после реакционной камеры осуществлялась через специальный тракт, который связывает аналитическую камеру и рабочую камеру прибора. Диаграмма парциальных давлений отработавших газов показана на рис.3.

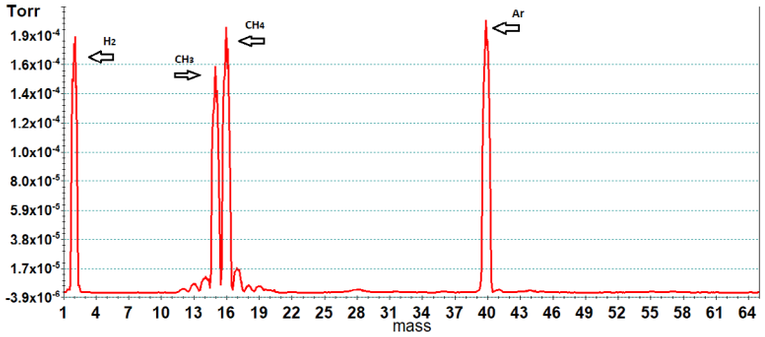


Рис.3 – Диаграмма парциальных давлений остаточных газов при отборе

В результате масс-спектрометрического анализа выявлено, что соотношение рабочих газов аргона составляет 1:1 с парциальным давлением ~$1{,}9 \cdot 10^{-4}$ Торр. Также, выявлено наличие молекул водорода с парциальным давлением ~$1{,}8 \cdot 10^{-4}$ Торр, что подтверждает возможность получения водорода данным методом в разработанной установке. Осаждение углерода в твердом виде свидетельствует оптический спектр, представленный ниже.

Спектроскопический анализ в реакционной камере установки проводил-

ся в режиме онлайн на протяжении всего эксперимента при времени интеграции 10 мс. График зависимости интенсивностей спектральных линий в зависимости от длины волны показан на рисунке 4. По результатам оптической спектроскопии были идентифицированы основные пики. Основные пики с высокой интенсивностью принадлежат углероду начиная с 460 нм до 610 нм [4]. К этой серии 590-610 нм также принадлежат пики молекулярного водорода [5]. Серия Бальмера для водорода также присутствует на графике, но Hβ и Hγ сливаются со спектральными линиями C_2, CH, а линия Hα отчетливо выделяется с длиной волны 656,3 нм [6]. Длины волн 388 нм и 436 нм соответствуют радикалам CH [4,5].

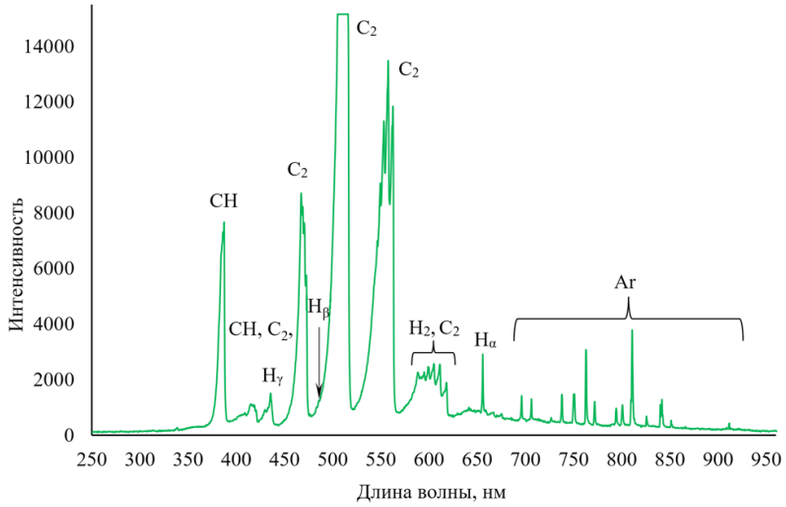


Рис.4 – График зависимости интенсивностей спектральных линий в зависимости от длины волны

Таким образом, с применением метода оптико-эмиссионной спектрометрии наряду с масс-анализом продуктов реакции пиролиза метана было зафиксировано наличие водорода в результате воздействия СВЧ-излучения. Расчет конверсии метана был проведен по формуле (2), где P_{H2} и P_{CH4} парциальное давление в процентах.

$$CH_4 = \frac{P_{H_2}/2}{P_{CH_4} + P_{H_2}/2} \cdot 100\% \qquad (2)$$

Степень конверсии в результате составила ~32 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ результатов на основе экспериментов подтверждает возможность получения водорода методом пиролиза метана в сверхвысокочастотном разряде на установке для прикладных исследований. Степень конверсии метана составила 32%. Данное исследование будет продолжаться в

направлениях повышения степени конверсии метана и уменьшения степени осаждения углерода на стенках реакционной камеры. В связи с этим, ниже представлена стратегия на увеличение степени конверсии процесса:

1. Отработать режимы работы для увеличения степени конверсии метана.
2. Определить селективность продукта реакции.
3. Определить вид катализатора с целью увеличения степени конверсии метана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. https://www.gubkin.ru/ РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина (дата обращения 30.11.2023).
2. Радиоволновой контроль: учебное пособие / В.И. Матвеев; Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД); под ред. В. В. Клюева. — Москва: Спектр, 2011.
3. B. Potapkin, V. Rusanov and V.K. Jivotov, Microwave Discharge for the Environment Protection // Electrical Discharges for Environmental Purposes. Fundamentals and Applications, ed. E.M. Van Veldhuizen, Nova Science Publishers Inc., Huntington – 2000, P. 345-350.
4. Bolshakov A.P., Ralchenko V.G., Yurov V.Y., Popovich A.F., Antonova I.A., Khomich A.A., Ashkinazi E.E., Ryzhkov S.G., Vlasov A.V., Khomich A.V. High-rate growth of single crystal diamond in microwave plasma in CH_4/H_2 and $CH_4/H_2/Ar$ gas mixtures in presence of intensive soot formation, Diamond & Related Materials. – 2015.– DOI: 10.1016/j.diamond.2015.12.00.
5. Zheng Bo, Yong Yang, Junhong Chen, Kehan Yu, Jianhua Yana, Kefa Cena. Plasma-enhanced chemical vapor deposition synthesis of vertically oriented graphene nanosheets. Nanoscale. – 2013.– V.5.– P. 5180.
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Balmer_series (дата обращения 07.08.2023).

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ УРАНА

Е.Н. Найманбаев
ТОО «Степногорский горно-химический комбинат», Степногорск, Казахстан

ИСТОРИЯ КОМБИНАТА

В 60-е годы прошлого столетия интенсивно шло строительство объектов добычи и переработки урансодержащих руд на базе крупных месторождений Северного Казахстана. В суровых климатических условиях, при отсутствии промышленности, энергетической базы, жилья, местных кадров, наш комбинат, организовал многотысячный квалифицированный коллектив рабочих и специалистов: горняков, металлургов, геологов и строителей. 26 декабря 1968 года была введена в эксплуатацию первая очередь гидрометаллургического завода в объеме пускового минимума, рассчитанного на 50% мощности по переработке урано-молибденовых руд. Полностью строительство первой очереди ГМЗ завершилось в 1972 году с вводом пятого мельничного потока и печей прокалки с выпуском закиси-окиси урана.

Основные направления деятельности предприятия: переработка химического концентрата товарного десорбата выщелачивания природного урана и медно-молибденовой руды. Производственная мощность по переработке урана – 4 000 тонн в год, по переработке медно-молибденовой руды – 1 млн тонн руды в год. Конечная продукция: закись-окись урана и флотационный медный концентрат. Численность персонала составляет 1 126 человек. Предприятие является одним из крупнейших в нашем регионе и относится к числу особо опасных производственных объектов. Как и для ряда подобных организаций законодательством предусмотрены критерии для осуществления такими предприятиями своей деятельности. К одному из них относится обеспечение промышленной безопасности.

Промышленная безопасность – это состояние защищенности физических и юридических лиц, окружающей среды от вредного воздействия опасных производственных факторов. В ТОО «СГХК» согласно подпункту 41-1 статьи 16 Трудового Кодекса Республики Казахстан разработана и внедрена система управления охраной труда и промышленной безопасностью. Данная система охватывает все структурные подразделения предприятия и технологические процессы. Внедренная система управления охраной труда и промышленной безопасностью на уровне подразделений, имеет положительное воздействие, выражающееся как в снижении воздействия опасных и вредных производственных факторов и рисков, в снижении внештатных ситуаций, так и в повышении производительности.

Управление промышленной безопасности (УПБ) устанавливает задачи, функции и содержание работ по обеспечению безопасности труда, промышленной безопасности, а также взаимосвязь между службами и подразделениями по управлению охраной труда и промышленной безопасностью.

Обеспечение промышленной безопасности в ТОО «СГХК» заключается в:

1. Установление и выполнение обязательных требований промышленной безопасности;
2. допуска к применению на опасных производственных объектах технологий, технических устройств, материалов, прошедших процедуру подтверждения соответствия нормам промышленной безопасности;
3. декларирование безопасности опасного производственного объекта;
4. государственного надзора, а также производственного надзора в области промышленной безопасности;
5. экспертизы промышленной безопасности;
6. аттестации организаций на проведение работ в области промышленной безопасности;
7. мониторинга промышленной безопасности.

Одними из ключевых моментов осуществления деятельности нашего предприятия является:

- Профессиональная подготовка, переподготовка, повышение квалификации работников опасных производственных объектов по вопросам промышленной безопасности возложены на владельцев опасных производственных объектов.
- Все работники, занятые на опасных производственных объектах, в обязательном порядке проходят ежегодное обучение требованиям промышленной безопасности.
- К обслуживанию объектов повышенной опасности допускаются лица, прошедшие обучение и имеющие удостоверения на право обслуживания и ведения соответствующих работ.

Для безопасного производства применяются обязательные требования:

1. К используемому технологическому оборудованию.
2. Ко всем производственным процессам.
3. К зданиям и сооружениям и производственной территории.

Производственный контроль за состоянием охраны труда и промышленной безопасности.

Главная цель – максимально возможное уменьшение рисков вредного воздействия опасных производственных факторов на работников, население и окружающую среду.

Задачами являются обеспечение выполнения требований промышленной безопасности на опасных производственных объектах, а также выявление обстоятельств и причин нарушений, влияющих на состояние безопасности производства работ.

В ТОО «СГХК» осуществляется проведение мероприятий, направленных на обеспечение безопасного функционирования опасных производственных объектов, на предупреждение аварий и обеспечение готовности к локализации аварий и инцидентов, и ликвидации их последствий.

ПРАВА РАБОТНИКОВ ТОО «СГХК»

Все работники ТОО «СГХК», согласно законодательству, имеют право на:

- Рабочее место, оборудованное в соответствии с требованиями безопасности и охраны труда;
- Обеспечение санитарно-бытовыми помещениями, СИЗ, спецодеждой;
- Участие в проверке и рассмотрении вопросов, связанных с улучшением условий, безопасности и охраны труда;
- Отказ от выполнения работ при возникновении ситуаций, создающих угрозу его здоровью или жизни;
- Образование и профессиональную подготовку, необходимые для безопасного исполнения трудовых обязанностей;
- Обжалование неправомерных действий работодателя в области безопасности и охраны труда
- Социальные льготы и компенсации.

Обязанности руководителей в области безопасности и охраны труда:

- Обеспечить безопасные условия труда;
- Проводить обучение и подготовку работников по безопасности и охране труда;
- Проводить инструктажи, обеспечивать документами по безопасному ведению производственного процесса и работ;
- Проходить проверку знаний по вопросам безопасности и охраны труда и организовывать проверки знаний руководителей и специалистов;
- Исполнять предписания государственных инспекторов труда;
- Проводить периодическую аттестацию, не реже чем в 5 лет производственных объектов по условиям труда;
- Обеспечивать расследование несчастных случаев на производстве;
- Страховать работника от несчастных случаев при исполнении им трудовых (служебных) обязанностей.

РАДИАЦИОННАЯ И ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

В ТОО «СГХК» функционирует Служба радиационной безопасности (СлРТБ). Она осуществляет производственный радиационный контроль. Деятельность службы направлена на обеспечение радиационной безопасности и затрагивает каждого работника предприятия.

Номенклатура и периодичность радиационного контроля на предприятии согласована с территориальными органами государственного санитарно-эпидемиологического надзора.

Основные принципы СлРТБ:

1. Принцип нормирования – непревышение допустимых пределов индиидуальных доз облучения граждан от всех источников ионизирующего излучения;
2. Принцип обоснования – запрещение всех видов деятельности по использованию источников ионизирующего излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным к естественному радиационному фону облучением;
3. Принцип оптимизации-поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника ионизирующего излучения;
4. Принцип аварийной оптимизации-форма, масштаб и длительность принятия мер в чрезвычайных (аварийных) ситуациях должны быть оптимизированы так, чтобы реальная польза уменьшения вреда здоровью человека была максимально больше ущерба, связанного с ущербом от осуществления вмешательства.

Источниками радиационной опасности при гидрометаллургической переработке урановых концентратов и продукционных растворов кучного и подземного выщелачивания являются радиоактивные элементы (радионуклиды): уран, радий, торий, полоний и др. Данные естественные радионуклиды присутствуют во всех горных породах, но только в урановых рудах, и, следовательно, в продуктах их переработки (растворах и пульпах и т.п.), в повышенных концентрациях.

Радиоактивные элементы испускают при радиоактивном распаде альфа- и бета-частицы в сопровождении гамма-квантов (гамма-излучения). Взаимодействуя с тканями организма, ионизирующее излучение формирует в нем, так называемую, поглощенную дозу, являющуюся мерой воздействия (вреда) излучения на организм работающего.

Для уменьшения воздействия альфа- и бета-частиц на организм работающего, администрацией предприятия обеспечено:

- постоянной подачей достаточного для проветривания рабочего места количества воздуха;
- местной вытяжной вентиляцией, непрерывно удаляющей радиоактивные и токсические вещества, образующиеся в ходе технологических процессов;
- эффективными средствами пылеподавления;
- респираторами;
- спецодеждой, хранящейся в специально отведенном месте отдельно от личной одежды;
- средствами дезактивации помещений и оборудования;
- санитарной обработкой спецодежды (стиркой х/б спецодежды не реже 1 раза в неделю в специальных прачечных);
- контролем условий труда, включая дозиметрический контроль.

Руководством предприятия постоянно принимаются меры для максимального снижения загрязнения атмосферы пылью и радиоактивными аэрозолями путем герметизации оборудования и автоматизации технологических процессов, полного использования средств пылеподавления и постоянной работы местной приточно-вытяжной вентиляции.

Совместно со службой безопасности и охраны труда и службой радиационного контроля на предприятии функционирует служба охраны окружающей среды.

Основными принципами деятельности в области охраны окружающей среды являются:

- Стремление к достижению уровня промышленной, экологической, ядерной и радиационной безопасности, соответствующего современному состоянию развития науки, техники и общества.
- Повышение уровня безопасности производства за счет внедрения новых безопасных производственных процессов и оборудования, современных приборов безопасности, автоматизированных систем управления и контроля за технологическим процессом для снижения возможности возникновения аварий и воздействия на окружающую среду.

МЕТОДЫ ИММОБИЛИЗАЦИИ ОЯТ ВЫСОКОГО ОБОГАЩЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА

О.С. Букина[1,2], Ю.Ю. Бакланова[1], Е.Т. Коянбаев[1], В.В. Бакланов[1], В.А. Витюк[3]

[1]Филиал ИАЭ РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан,
[2]НАО «СГУ им. Шакарима», Семей, Казахстан,
[3]РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Импульсно-графитовый реактор (ИГР) был построен в 1960 году на Семипалатинском полигоне по инициативе И.В. Курчатова специалистами предприятий бывшего СССР, в основном, РНЦ «Курчатовский институт» и НИКИЭТ[1]. Реактор по сей день является уникальным источником нейтронного и гамма-излучения, отличающимися высокой динамикой изменения мощности. В качестве топлива реактора ИГР используется графит с импрегнированным в него ураном с обогащением 90% по изотопу ^{235}U [2,3].

В соответствии с Международным договором реактор ИГР попал в программу конверсии топлива высокого обогащения исследовательских реакторов на топливо низкого обогащения. Предполагалось, что отработанное топливо реактора ИГР в рамках программы RRRFR (Russian Research Reactor Fuel Return programme) будет вывезено в Российскую Федерацию, как в страну-производитель. Вывоз облученного топлива был осложнен отсутствием правовой базы для ввоза в страну отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) с очень низким содержанием урана и отсутствием готовой технологии переработки облученного высокообогащенного уранового (ВОУ) топлива. Решением данных задач явилась идея разработки такой технологии в организации-пользователе – в Национальном ядерном центре Республики Казахстан.

Операции по переработке могут быть проведены только при разбавлении УГТ в целях снижения обогащения по ^{235}U.

Схема рассмотренных технологий переработки уран-графитового топлива (далее УГТ) представлена на Рисунке 1.

Существует множество химических технологий перевода ВОУ топлива в НОУ топливо, но все они предполагают возможность выделения ^{235}U, что необходимо исключить из процесса. В связи с этим при разработке технологии безопасного обращения с УГТ рассматривается только технология растворения уранилдинитрата $UO_2(NO_3)_2$, этапы которой могут быть взяты за основу для снижения концентрации ^{235}U при разбавлении его природным ураном.

В качестве прототипных технологий изучались процессы переработки и утилизации облученного реакторного графита с просыпями ОЯТ. В открытой печати отсутствует информация по обращению с уран-графитовым топливом. В литературе имеются материалы по технологиям переработки реакторного графита, который использовался в активных зонах реакторов в качестве за-

медлителя и не содержал топлива [4]. Активность такого графита обусловлена продуктами деления, попадающими на графит в виде просыпей ОЯТ.

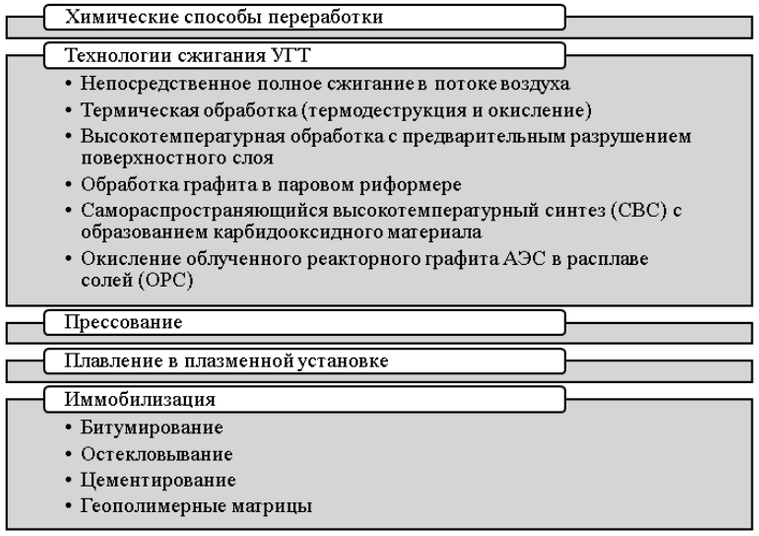


Рисунок 1. Технологии переработки уран-графитового топлива

Большинство технологий переработки облученного графита или графита с просыпями ОЯТ основаны на использовании разных способов сжигания (например, в потоке кислорода; в потоке воздуха; в потоке перегретого пара или в кипящем солевом слое). Рассмотрены технологии, разрабатываемые ведущими организациями в области конструирования реакторных установок с уран-графитовыми реакторами [5], [6], [7].

Основная часть существующих технологий термической переработки реакторного графита (сжигания) находится на стадии разработки и апробации. Все они имеют как преимущества, так и недостатки, последствия реализации данных технологий не до конца изучены. Самым простым способом переработки реакторного графита с наилчием просыпей ОЯТ, является способ прямого сжигания. Данный способ имеет как преимущества:

- ликвидация почти всей массы графита с применением топочного оборудования малых объемов;
- выделение ядерного топлива в компактную фазу (зольный осадок);

так и недостатки:

- образование газообразного радиоактивного продукта – $^{14}CO_2$, которые переводятся в твердые химически инертные соединения с использованием карбонатов кальция и магния.
- образование золы, которая содержит до 90% всех радиоактивных нуклидов;
- летучесть золы делает проблематичным ее длительное хранение, для решения этой проблемы золу цементируют, остекловывают или вводят в стеклокерамическую матрицу.

- увеличение объема отходов (из 1 м^3 графита образуется в несколько раз больше карбоната кальция ($Ca(HCO_3)_2$).

При таком способе сжигания целесообразно ориентироваться на сжигание ограниченных партий графита, загрязненного просыпями ОЯТ, непосредственно с выбросами ^{14}C в атмосферу при соблюдении допустимых норм.

Тем не менее технологии термической обработки являются практически реализуемыми на предприятии ИАЭ НЯЦ РК.

В соответствии с экологическим кодексом Республики Казахстан облученное уран-графитовое топливо реактора ИГР, извлеченное из реактора в конце 1960-х годов, может быть отнесено к радиоактивным отходам (РАО), если оно не подлежит переработке [8] и будет разбавлено до концентраций ^{235}U до уровня ≤20%. Уран-графитовое топливотреактора ИГР будет относится к твердым радиоактивным отходам (ТРО).

Наиболее распространенными методами переработки ТРО являются: сжигание, цементирование, низкое или высокое прессование, плазменная переработка и плавление в электрических печах.

Прессование производится на установках низкого и высокого давления в стандартизованные бочки объемом 100÷200 дм^3. Коэффициент сокращения объема в результате низкого прессования составляет 2÷5, высокого прессования обычно не превышает 10 и зависит от вида ТРО: у металлических отходов (8÷10), у резинотехнических изделий и полимерных материалов (2÷3) [9].

При прессовании происходит измельчение ТРО и не обеспечивается фиксация радионуклидов, а в случае разрушения упаковки увеличивается вероятность распространения радионуклидов. Наличие органических включений и влаги в ТРО при длительном хранении приводит к их разложению и образованию агрессивных газовых соединений. Значительное остаточное давление и коррозия при длительном воздействии не обеспечивают гарантированную стойкость упаковки в целом на весь период хранения ТРО. Особенно при суперпрессовании, когда происходит деформация материала и нарушается защитное покрытие внутренней поверхности бочки.

Плавление в плазменной установке приводит к большим тепловым нагрузкам поверхностей плавильной установки. Температура плазмы достигает t=3 000÷5 000°C. Высокая тепловая напряженность стенок плавильной печи и присутствие образующихся агрессивных газов влечет низкую стойкость установки. При этом усложняется система газоочистки за счет образования большого объема вредных газов [10], [11].

Иммобилизация радиоактивных отходов является одним из способов кондиционирования (технологические операции, изменяющие характеристики отходов, превращение РАО в форму, пригодную для безопасного хранения или захоронения). Иммобилизация – это перевод отходов в заданную форму по-

средством их отверждения, включения в какую-либо матрицу или заключения в герметическую оболочку с целью снижения возможности миграции или рассеяния радионуклидов в процессе перевозки, хранения и (или) захоронения.

К методам иммобилизации относится остекловывание, битумирование, включение в устойчивые материалы типа керамики, стеклокерамики, заключение в полимерные и цементные матрицы.

На основании изучения основных методов захоронения РАО можно сделать вывод, что наиболее удобной формой является цементирование. Остекловывание требует особого оборудования и знания тонкостей технологического процесса. Высокая температура будет способствовать тому, что часть РАО перейдет в газы. Битумирование по отношению к цементированию обладает меньшей биологической, химической, термической, радиационной стойкостью. Также большее газовыделение не способствует применению битумирования. Для цементирования полагается не более 25% по массе РАО. При расчете активности для чистой смеси изотопов урана (20% ^{235}U, 80% ^{238}U) значение будет ~3×10^4 кБк/кг, что соответствует среднеактивным отходам. Наличие изотопов других элементов (особенно цезия и стронция) увеличит удельную активность до высокоактивного РАО.

Цементный раствор без модифицирующих добавок является химически активным, характеризуется высокой температурой гидратации (теплота, которая выделяется при твердении). Эти факторы могут спровоцировать нежелательные реакции с топливом, а также растрескивание матрицы. Поэтому для удовлетворения требования по захоронению для среднеактивных отходов, материал для разбавления следует использовать как модификатор матрицы.

Использование модифицирующих добавок позволяет снизить теплоту гидратации, активность портландцемента и пр. Однако исключено использование добавок, которые привычно добавляются к цементу при бетонировании. Галька и песок имеют крупный размер фракции, что облегчает разделение бетона и не исключает возможность отделения топливных частей. Эти факторы являются недопустимыми по требованиям МАГАТЭ в части безопасности.

При прессовании и цементировании за счет ввода дополнительных «чистых» материалов общее количество отходов увеличивается многократно. Металлическая бочка имеет ограниченный срок гарантированного хранения, определяемый в 50 лет.

На основании обзора существующих и перспективных технологий по переработке реакторного графита и требований к долговременному хранению, установленных в государственных и международных документах, сделаны выводы:

- Для разбавления облученного топлива высокого обогащения реактора ИГР целесообразно использовать метод сухого смешивания с обедненным порошком диоксида урана;
- Для длительного хранения разбавленное топливо помещать в иммобилизационную матрицу.

- Перспективной матрицей для иммобилизации облученного топлива реактора ИГР является матрица на основе портландцемента и специальных модифицирующих добавок.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполняется за счет средств ПЦФ проекта ИРН BR21882185 «Исследования в поддержку создания и безопасного функционирования атомной электростанции в Республике Казахстан».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Горин Н.В. и др. Обзор результатов исследований импульсного реактора ИГР [Электронный ресурс] // Известия Челябинского научного центра: электрон. науч.-техн. журн. – Вып. 1(22). – 2004. – URL: http://csc.ac.ru/news/2004_1/2004_1_3_1.zip (дата обращения: 04.10.2018)
2. Импульсный графитовый реактор ИГР / И.В. Курчатов, С.М. Фейнберг, Н.А. Доллежаль, П.И. Алещенков, Ф.С. Дроздов, И. Я. Емельянов, А.Д. Жирнов, М.А. Казаченко, Г.Д. Князева, Ф.В. Кондратьев, В.Д. Лавреников, Н.Г. Моргунов, Б.В. Петунин, В.П. Смирнов, В.М. Талызин, А.Г. Филиппов, И.Л. Чихладзе, П.М. Чулков, Я.В. Шевелев// Атомная Энергия. – 1964. - Т. 17, вып. 6. - С. 463-474.
3. Институт атомной энергии национального ядерного центра республики Казахстан – 60 лет: Книга / Под ред. Батырбекова Э.Г. и Скакова М.К. - Кокшетау: КФ «Кокшетау», 2018. - 300. 51 с.; Батырбеков Э.Г., Коянбаев Е.Т., Гныря В.С., Котляр А.Н. Реактор ИГР. Разбавление высокообогащенного уранового топлива // Человек. Энергия. Атом. - 2020. - №1 (33). - С. 23-27.
4. М.А. Туктаров, Л.А. Андреева, А.А. Роменков Кондиционирование реакторного графита выводимых из эксплуатации уран-графитовых реакторов для целей захоронения/ Atomic-Energy.ru 2008-2018. Свидетельство о регистрации Эл № ФС 77-72853. Электронный ресурс: http://www.atomic-energy.ru/articles/2016/06/08/66585 АО «НИКИЭТ», Москва
5. А.А. Цыганов. Проблемы утилизации реакторного графита остановленных промышленных уран-графитовых реакторов // Известия Томского политехнического университета. - 2007. - Т. 310. - № 2. – С. 94-98.
6. В.Н. Воеводин. Углерод-графитовые материалы в ядерной энергетике (обзор) // ВАНТ. - 2015. - №2(96) - С. 52-64.
7. Caracterization, Treatment and Conditioning of Radioactive Graphite from Decommissioning of Nuclear Reactors. IAEA-TECDOC 1521. Vienna: IAEA, 2006.
8. Кодекс Республики Казахстан. Экологический кодекс Республики Казахстан: [от 2 января 2021 года № 400-VI (с изменениями и дополнениями от 27.12.2021 г.)].
9. Ахметзянов В.Р., Лащенова Т.Н., Максимова О.А. Обращение с радиоактивными отходами: Учебное пособие. – М.: ИАЦ «Энергия», 2008 г.
10. Л.А. Ильин и др. Техногенное облучение и безопасность человека. - М.: ИздАТ, 2006 г.
11. А.А. Ключников, Э.М. Падухны, Ю.М. Шигера, В.Ю. Шигера. Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними. Чернобыль: Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2005 г.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ: «ВОПРОСЫ РАДИОЭКОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ» 3

ПРОВЕДЕНИЕ МОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В РАМКАХ ОХРАНЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ШУ-САРЫСУСКОЙ
И СЫРДАРЬИНСКОЙ УРАНОВОРУДНЫХ ПРОВИНЦИЙ
М. Асқарқызы, Ә.М. Орынбек 4

ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ
НА ОСНОВЕ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ГЛЮКОЗЫ,
ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И УРАНИЛ ИОНОВ
Шакаева А.Х., Корольков И.В.,
Жуманазар Н.Н., Есжанов А.Б., Здоровец М.В. 10

ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА НАУЧНЫХ ТРУДОВ ИНСТИТУТА
РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИИ
Бачурина И.А., Ларионова Н.В., Топорова А.В. ……...…...……. 16

СЕКЦИЯ: «РАЗВИТИЕ УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ» 19

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПРОЦЕССА ПСВ В ПЛАНИРОВАНИИ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ
Алдамжаров Б, Ильясов Н. 20

ПРОБЛЕМЫ ДЕЗАКТИВАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ
НА ЭТАПЕ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ РУДНИКА
ПОДЗЕМНОГО СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА
Блынский П.А., Петрова Е.А. 25

ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ ОТРАБОТАННОЙ
ИОНООБМЕННОЙ СМОЛЫ КАК ВОЗМОЖНОСТЬ
УМЕНЬШЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ
Токсанбаев Б.Ж., Тимаков А.С. 32

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПЕЧИ ВГТП-8 С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВЫХ
МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ
СЕБЕСТОИМОСТИ ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ
Мирамбеков А.М. 39

СЕКЦИЯ: «ПРОБЛЕМЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ И ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ» 46

ПИРОЛИЗ МЕТАНА В СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОМ РАЗРЯДЕ
Т.Р. Туленбергенов, А.А.Агатанова,
И.А. Соколов, А.Ж. Миниязов А. ……....……...……. 47

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ УРАНА
Е.Н. Найманбаев ……...……..…….. 52

МЕТОДЫ ИММОБИЛИЗАЦИИ ОЯТ ВЫСОКОГО ОБОГАЩЕНИЯ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА
О.С. Букина, Ю.Ю. Бакланова, Е.Т. Коянбаев,
В.В. Бакланов, В.А. Витюк 56

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Формат 148 х 210 мм
Гарнитура Arial, кегль 9
Тираж 300.

Дизайн и верстка: Алиев С.А.

Отпечатано в типографии:
ТОО «Типография Форма Плюс», г. Караганда,
ул. Молокова, дом №106, корпус 2. КНП 710.