

ЯДЕРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАЗАХСТАНА

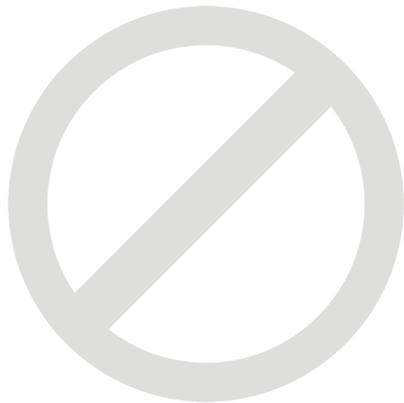
выпуск 19

ОКСИД КРЕМНИЯ
 SiO_2
 SiO

Решетка дисперсионно-структурная узловая по контуру
Топливная сборка
Хвостовые ТВС

Рис. 12. Габаритные размеры ТВС

№ п/п	состав	Q _н , кВт/ч	Фазы Q _н , кВт/ч	Примеч.
1	10-10	3,0		
2	10-10	3,0		
3	10-10	3,0		
4	10-10	3,0		
5	10-10	3,0		
6	10-10	3,0		
7	10-10	3,0		
8	10-10	3,0		
9	10-10	3,0		
10	10-10	3,0		
11	10-10	3,0		
12	10-10	3,0		
13	10-10	3,0		
14	10-10	3,0		
15	10-10	3,0		
16	10-10	3,0		



ЯДЕРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАЗАХСТАНА

сборник докладов 20-ого Молодежного семинара
молодых специалистов предприятий
ядерной отрасли Республики Казахстан

Астана
2024

ЯДЕРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАЗАХСТАНА: Сборник докладов, выпуск 19, 2024 / Ассоциация «Ядерное общество Казахстана». — Астана, 2024, 42 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: «РАЗВИТИЕ УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕГЕНЕРАЦИИ И ИНГИБИРОВАНИЯ ГИПСА В РУДОНОСНОМ ПЛАСТЕ, ВОЗНИКАЮЩЕГО В РЕЗУЛЬТАТЕ ХИМИЧЕСКОЙ КОЛЬМАТАЦИИ, ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПСВ

Кыдыров Б.П.

ТОО «Кызылкум», Кызылорда, Казахстан

ЦЕЛЬ: разработка химического реагента ингибитора образования и растворителя сульфата кальция в сернокислой среде и методику регенерации и ингибирования скважин, с целью предупреждения выпадения гипса в поровом пространстве рудоносных пород, прифилтровых зон и фильтров скважин на всех этапах ПСВ.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО РАСТВОРЕНИЮ ГИПСА



Целью лабораторной работы была оценка эффективности реагента на кольматанты скважин месторождения Северный Харасан. Используя 3 грамма кольматантов в 4 термостойких стаканах, готовили растворы реагентов различной концентрации (от 8% до 12%) при уровне pH 0-3. Отстаивание происходило 2 дня. После фильтрации осадки сушили и взвешивали для анализа.

Результаты:

- Растворимость кольматантов в 12% растворе ингибитора составила 2,447 грамм, соответственно 81% кольматантов растворилось;
- Растворимость кольматантов в 10% растворе ингибитора составила 2,418 грамм, соответственно растворилось 80,6% кольматантов;
- Растворимость кольматантов в 8% растворе ингибитора составила 2,349 грамм, соответственно растворилось 78,3% кольматантов.

Далее, про промышленные испытания для проверки свойств реагента для растворения:

Расход реагента на период промывки скважин	Количество проблемных скважин для промывки, шт	Объем реагента на 1 скважину, м ³	Концентрация реагента, %	Общий объем реагента на промывку скважин, м ³
	50	1-3	10-15	100-150

На основании гистограммы (в презентации) представленной в таблице, можно заметить, что в общей сложности 50 скважин прошли процесс промывки с ис-

пользованием 4-х разных составов химического реагента. Среди этих скважин 31 показали положительные результаты. Скважины, обработанные ингибитором в определённые месяцы, показали положительные результаты.

Однако апрель месяц показал отрицательные результаты. Это связано с решением специалистов снизить активную основу ингибитора с целью повышения экономической эффективности. К сожалению, такое снижение активной основы привело к снижению дебита скважин. Следовательно, для решения этой проблемы был восстановлен исходный состав реагента-ингибитора.

Окончательный состав ингибитора разработан на основе неорганических кислот с поверхностно-активными веществами. Этот состав имеет концентрацию 10% и наносится в объёме 2 м³.

Лабораторная работа по ингибированию гипса:

В трех стаканах емкостью 1 000 мл содержалось 100 грамм керн скважин Северного Харасана. В первом было 1 000 мл 2,5% раствора серной кислоты. Второй имел то же самое с 2% ингибитором, а третий – кислотный раствор с 4%



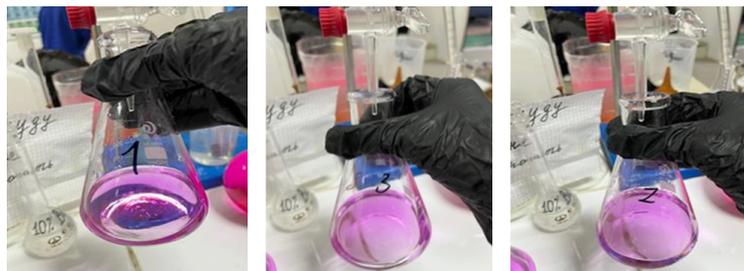
ингибитором гипса. После механического перемешивания в течение суток при комнатной температуре по 10 мл из каждого стакана смешивали с дистиллированной водой, раствором гидроксида натрия и смесью мурексида и хлорида натрия для анализа ионов кальция. Титрование раствором трилона Б приводило к изменению цвета с розового на фиолетовый.

Номер проб	Объем трилона Б, пошедшего на титрование	Содержание ионов Ca ²⁺ в пробе, мг/дм ³
1	2,3	222,2
2	7	760,3
3	8,5	851,3

Как можно заметить из таблицы ионов кальция больше на третьем растворе. Это означает что сравнительно большая часть кальция при использовании ингибитора переходит в раствор виде ионов, а не образует отложений виде кольматантов.

Далее, про промышленные испытания для проверки свойств реагента для ингибирования:

Определение содержания ионов кальция в водном растворе (начало титрования)



Определение содержания ионов кальция в водном растворе (конец титрования)



Проведение экспериментальных работ на откачных и закачных скважинах при закислении блока №130 рудника Хорасан-1 выполнялось согласно технологическому регламенту. Была начата подача химических реагентов в продуктивный горизонт с последующим отслеживанием геотехнологических параметров скважин.

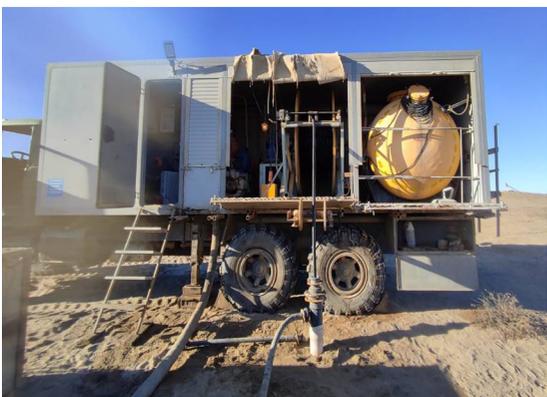


Рисунок 4. Емкость для дозирования ингибитора на блок закисления откачных скважин

Ингибитор в готовом товарном виде поставлялся на Хорасан-1, заливался в специально изготовленную и

утепленную емкость объемом 25 м³, который установлен на новом 130-м блоке. К данной емкости прикреплен плунжерный насос с максимальной производительностью 700 л/ч



Рисунок 5. Установка АКПС для промывки скважин

и давлением 7 атмосфер, через дозировался ингибитор на линию выщелачивающего раствора (ВР) №130-го блока. Линия подачи ингибитора снабжена расходомером для фиксирования расхода ингибитора, задвижками и обратным клапаном.

Расход реагента на период закисления	Объем ВР согласно тех. рег., м ³	Объем кислоты, тн	Объем реагента, м ³	Концентрация реагента %, в объеме ВР	Объем реагента на период закисления, 90 дней, тн
Сутки	448,6	11,2	8,8-9	3	800

№№ п/п	№№ блока	Кол-во скв	Кол-во РВР	Кол-во РВР на 1 скв	Средние результаты РВР, м ³ /ч		МРЦ по блоку сут
					до РВР	после РВР	
1	129	24	125	5,2	1,1	3,7	70
2	130	11	32	2,9	1,5	5,4	104
3	131	28	164	5,9	1,1	3,3	64

Результаты:

1. По количеству РВР на блоке 130 сравнительно с 129 блоком меньше на 4 раза, с 131 блоком меньше на 5 раз.
2. Результаты РВР (ХРВС) блока 130 сравнительно больше на 36%.
3. МРЦ 130 блока больше на 36%.

Химические анализ:

Цель ингибирования состоит в том, чтобы переводить кальций в раствор в виде ионов, а не образовывать отложения в виде сульфата кальция. По диаграмме можно сделать вывод, что в 130 блоке ионов кальция 0,576 г/л, тогда как в 129 блоке 0,384 г/л. Это означает, что в 130 блоке ионов кальция больше на 50%, чем в 129 блоке. В 131 блоке ионов кальция 0,401 г/л. Это означает, что ионов кальция в 130 блоке больше на 44%.



ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ И КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОГО ВЕДЕНИЯ РАБОТ НА РУДНИКЕ ТОО «ХАРАСАН-2»

Сайпов Г.Н.

ТОО «Байкен-У», Кызылорда, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Основной задачей отдела производственной безопасности является контроль охраны труда работников Товарищества, подрядных организаций и посетителей и улучшение безопасных условий труда на руднике. Учитывая площадь производственных площадок и количество объектов, а также численность работающего персонала, перед руководителями и специалистами по производственной безопасности стоит непростая задача по поддержанию совершенствованию безопасных условий на производственных участках.

ВВЕДЕНИЕ

С целью усиления контроля по производственной безопасности, руководством рудника было принято решение о внедрении системы видеоаналитики для контроля наличия средств индивидуальной защиты персонала и нарушений периметра опасных зон на производственном объекте. Для выполнения цели необходимо было приобрести серверное оборудование и камеры видеонаблюдения, а также программное обеспечение (далее – ПО) для обеспечения функциональности системы видеоаналитики. При закупке поставщику были поставлены следующие требования к модулям видеоаналитики:

ПО должно быть бессрочной и содержать необходимые модули для решения задач и обеспечивать следующий функционал:

- 1) *Модуль идентификации нарушения.*
 - а) Модуль идентификации нарушения должен производить проверку состояния экипировки сотрудников.
 - б) Модуль должен автоматически идентифицировать нарушения ТБ в части СИЗ.
 - в) Модуль должен анализировать видеопоток с камер видеонаблюдения с целью выявления возможных нарушений и фиксировать их как «события».
 - г) При выявлении возможного нарушения модуль должен фиксировать видеоклип и видеофрагмент с изображением.
 - д) Модуль идентификации нарушения должен передавать необходимую информацию модулю обработки событий по каждому из событий.
 - е) В случае выявленного возможного нарушения ТБ в части СИЗ, модуль должен классифицировать события по следующим типам:

Каска	<ul style="list-style-type: none"> • отсутствие • наличие
Очки	<ul style="list-style-type: none"> • отсутствие

Перчатки	<ul style="list-style-type: none"> • отсутствуют обе • отсутствует левая • отсутствует правая
Респиратор	<ul style="list-style-type: none"> • отсутствие • наличие
Страховочная привязь	<ul style="list-style-type: none"> • отсутствие • наличие
Нарушение периметра опасной зоны	<ul style="list-style-type: none"> • отсутствие • наличие



2) Модуль обработки событий.

Модуль обработки событий должен производить фиксацию фактов нарушений ТБ в части СИЗ. Модуль должен принимать события, переданные модулем идентификации нарушения ТБ.



Полученное событие должно содержать в себе следующую информацию:

- номер камеры, зафиксировавшей событие;
- дата и время;
- тип события;
- индекс вероятности нарушения;
- фотография и видеофрагмент события.

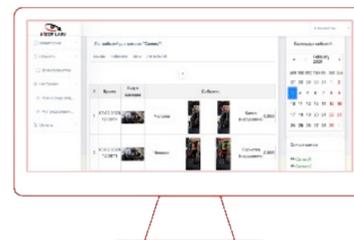
3) Модуль хранения фотографий и видеофрагментов.

Модуль должен принимать информацию от модуля обработки событий о событии, индекс вероятности, нарушения которого превышает допустимое значение, и сохранять видеофрагмент с фотографией нарушения в системе.

По каждой фотографии и видеофрагменту в модуле должны храниться сведения:

- дата и время;
- наименование зоны /номер камеры, зафиксировавшей событие;
- наименование предприятия;
- наименование нарушения [отсутствует каска, не пристегнут подбородочный ремешок, отсутствуют защитные очки,

Обработка видео на 4х уровнях детектирования



- отсутствуют перчатки, без специальной рабочей одежды, отсутствует страховочная привязь, нарушение периметра опасной зоны];
- индекс вероятности нарушения, %;
 - изображение, соответствующее по времени зафиксированному нарушению.

Каждому нарушению в системе должны соответствовать фотография и видеофрагмент в хранилище.

4) **Модуль хранения записей с видеокамер.**

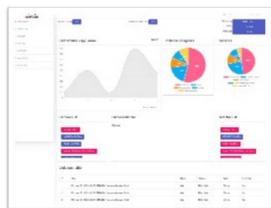
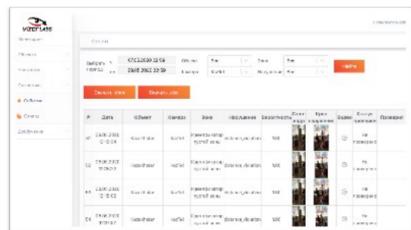
Модуль должен обеспечивать хранение видеозаписей в системе. Хранение должно быть реализовано по принципу «кольца», когда при заполнении хранилища наиболее старые события удаляются и записываются новые. Хранение видеозаписей 30 календарных дней.

5) **Модуль запросов и формирования отчетов.**

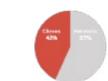
● **ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ**

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ НАРУШЕНИЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

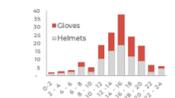
ОТЧЕТ СО СТАТИСТИКОЙ
(примеры из широкого спектра выборок)



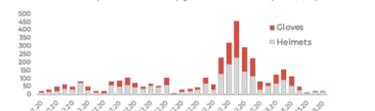
Разбивка нарушений



Разбивка по времени суток



Статистика и разбивка нарушений за период времени



- Фиксация в реальном времени
- Оповещения
- Прокрутка фрагмента
- Фото фиксация
- Информация о нарушении

Предлагаемый вид пользовательского интерфейса формирования отчета должен отображать сведения обо всех нарушениях ТБ, в частности СИЗ, за выбранный период по всем видеокамерам, доступным пользователю в рамках назначенных ему прав доступа.

Настраиваемые параметры:	<ul style="list-style-type: none"> • период/дата и время; • объект (предприятие); • зона (видеокамера); • тип нарушения.
Сформированный отчет должен иметь атрибуты:	<ul style="list-style-type: none"> • период; • нарушения: • дата и время; • наименование объекта;

	<ul style="list-style-type: none"> • номер камеры/зоны; • тип нарушения; • индекс вероятности нарушения; • ссылки на видеофрагмент и видеокадр нарушения.
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

6) **Модуль администрирования**

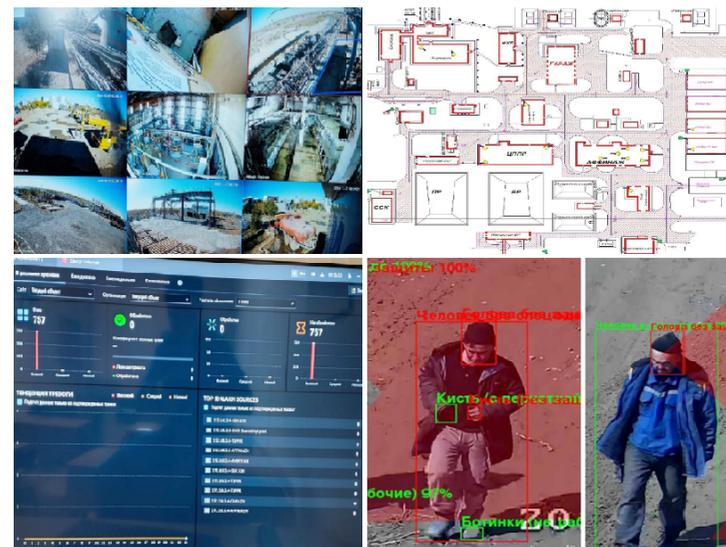
Модуль должен обеспечивать управление пользователями и правами доступа пользователей в системе на основе ролей доступа.

В системе должна быть реализована ролевая модель доступа: должно быть не менее 2 ролей доступа – «Администратор», «Пользователь». Пользователю с ролью «Администратор» должны быть предоставлены права доступа по настройке и конфигурированию системы. Пользователю с ролью «Пользователь» не должны быть предоставлены права доступа по настройке и конфигурированию системы. Система должна обеспечивать авторизацию и аутентификацию пользователя.

Поставщик должен выполнить монтажные и пуско-наладочные работы серверного оборудования и ПО. Работа должна быть оказана в соответствии с действующими стандартами, нормами и правилами Республики Казахстан. Также поставщику необходимо, представить гарантийный талон или сертификат на серверное оборудование с указанием наименования оборудования, модели, серийного номера и срока действия гарантии.

ВНЕДРЕНИЕ

По указанному запросу, поставщик выполнил все требования и установил на производственных участках рудника «Харасан-2» модульный видео аналитик. Все модули работают в бесперебойном режиме, обеспечивая простоту контроля производственной безопасности, с возможностью оперативного отслеживания за поведением персонала на производственных участках.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автоматизированная система видеoaналитики сегодня является наиболее эффективным видом анализа и контроля производственной

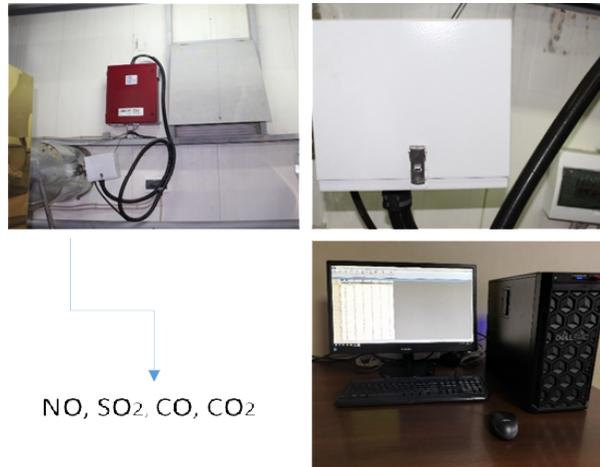
безопасности, для оперативного выявления и предотвращения несчастных случаев, а также помогает в расследовании и последующем определении коренных причин.

2. ВВЕДЕНИЕ

На производственных объектах рудника «Харасан-2» ТОО «Байкен-У» сторонней организацией на договорной основе проведено обследование с целью выявления и изучения источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду для подбора и внедрения автоматизированной системы экологического мониторинга с передачей данных в online-режиме. По результатам изучения были определены источники выбросов котельной и ЦППР, которые вносят наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха.

КОТЕЛЬНАЯ

В котельной установлены водогрейные котлы модели КВв-1600ЛЖ в количестве 4 ед., отходящие дымовые газы выходят в горизонтальную часть стальной трубы, длиной 1,8 метра с внутренним диаметром 400 мм и толщиной изоляции 50 мм, установленной в помещении котельной, далее горизонтальная часть трубы соединяется с трубой, расположенной под углом 450 и соединяется с вертикальной трубой. Котлы работают на дизельном топливе, подаваемое из емкости для дизельного топлива объемом 800 литров, расположенной в помещении котельной.



NO, SO₂, CO, CO₂

Для определения объема загрязняющих веществ на дымовой трубе основного водогрейного котла установлен газоанализатор марки SWG-100 СЕМ с пробоотборной системой типа HD для контроля концентраций загрязняющих веществ в отходящих дымовых газах, а также, при необходимости, измерения уровня взвешенных веществ (общее содержание пыли, включая углерод в виде сажи) в отходящих газах – установка пылемеров модели DM401. Измерению подлежат следующие загрязняющие вещества: оксиды

азота (NO, NO₂), оксид углерода (CO), диоксид серы (SO). Для контроля параметров котла установлен датчик кислорода (O₂). Для очистки пробоотборной системы, пылемеров и расходомеров установлен компрессор с системой осушки и очистки подаваемого воздуха и ресивером, объемом достаточным для поддержания воздуха под давлением 6-10 бар. Передача данных с газоанализаторов осуществляется в административный корпус, в котором находится регистратор данных.

Измерение концентраций загрязняющих веществ, исходящих от емкости для дизельного топлива, в online режиме не представляется возможным, так как измерение необходимо производить в дыхательном клапане емкости, через который воздух входит из емкости. Вход воздуха из окружающей среды происходит при постепенном опорожнении емкости, выход воздуха с веществами, подлежащих измерению, осуществляется при заполнении емкости дизельным топливом. Также вход и выход воздуха в и из емкости возможен при изменении температуры окружающей среды. В связи с этим, контроль воздуха по интересующим загрязняющим веществам возможен только в воздухе котельной, т.е. как воздух рабочей зоны.

ЦЕХ ПЕРЕРАБОТКИ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ (ЦППР)

В цехе переработки происходит выделение продукции из жидкого раствора с применением серной кислоты. Для очистки помещения от пыли и возможных паров серной кислоты используется система вентиляции, и для контроля воздуха, исходящего из системы вентиляции, на пары серной кислоты установлен газоанализатор ГАНК-4С на линии вентиляции.

Газоанализатор ГАНК-4С предназначен для автоматического непрерывного контроля концентраций одного вредного вещества из трех: азотная кислота, серная кислота и щелочи едкие (в пересчете на NaOH) в воздухе рабочей зоны, в промышленных выбросах и в технологических процессах в целях охраны окружающей среды, обеспечения безопасности труда и оптимизации технологических процессов. Принцип действия газоанализатора основан на оптронно-спектрофотометрическом методе измерения.



Для объединения полученных данных и последующую их передачу на регистратор данных, который расположен в административном помещении, в помещении системы вентиляции установлен коммутационный шкаф.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам проверки объектов рудника «Харасан-2» в зданиях котельной и ЦППР установлены автоматизированные газоанализаторы на источниках выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Повысилось качество непрерывного мониторинга выбросов вредных веществ, и положительно сказалось на доступности и прозрачности экологических показателей, что выражается в передаче информации в online режиме.

КРЕМНИЙ В ПОДЗЕМНОМ СКВАЖИННОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ УРАНА

Золин А.А., Оспанов А.Т., Теменұлы Ж.

ТОО «Семизбай-У», Астана, Казахстан

В настоящее время широкое распространение получил способ добычи урана методом ПСВ. Однако в ходе ведения технологического процесса выщелачивания имеются возможности улучшения протекания процесса.



Известно, что основными рудовмещающими породами являются: мусковит, биотит, полевой шпат, кварц, серицито-кремниевый сланец, ортоклаз, микроклинит и плагиоклаз. Все вышеперечисленные породы имеют в своем составе оксид кремния.

Принимаемая догма о том, что оксид кремния является нерастворимым соединением в растворах серной кислоты является не верной, особенно это касается аморфного кремнезема.



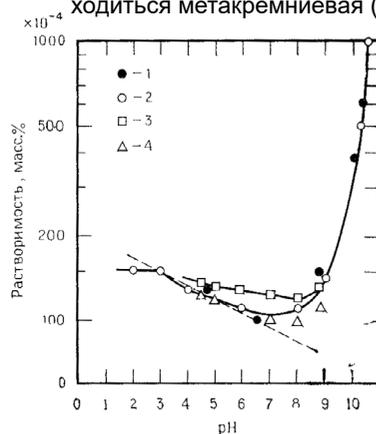
Концентрация соединений кремния в речных водах колеблется от 1 до 20 мг/дм³, в подземных водах – от 20 до 30 мг/дм³, а в горячих термальных водах содержание кремния может достигать 200 мг/дм³. Обогащение природных вод кремнием происходит в результате процесса химического выветривания кремний-содержащих пород. Кремний в водах образует большое количество соединений и может находиться во взвешенном, коллоидном или растворенном состоянии. Преобладающей кремнекислородной формой в природных водах является молекулярно диспергированный кремнезём в виде ортокремниевой кислоты (H₄SiO₄). Наряду с ортокремниевой кислотой в воде могут находиться метакремниевая (H₂SiO₃) кислота.

До сих пор остается дискуссионным вопрос о соотношении различных форм соединений кремния в природных водах и влиянии физико-химических параметров на полимеризацию кремниевых кислот.

Удаление избыточной концентрации кремния из воды невозможно без знания форм его существования.

Рисунок 1. Зависимость растворимости аморфного кремнезёма от pH при разных температурах:
1 – при 25°C; 2 – при 19°C;
3 – при 30°C; 4 – при 20°C.

Пунктирная линия на основании уравнения Черкинско-го $\lg C_M = -2.44 - 0.053 (pH)$



Скорость и глубина полимеризации кремниевых кислот зависит от ряда факторов: pH раствора, концентрации соединений кремния, температуры, минерального состава воды и димерные формы этих кислот (H₂Si₂O₅ и H₁₀Si₂O₉).

Любой образец аморфного кремнезема, погруженный в воду, показывает воспроизводимую равновесную растворимость. Однако по литературным данным, значения растворимости аморфных форм кремнезема лежат в широкой области: от 0,007 до более чем 0,015 % при 25°C. Такой разброс значений объясняется, очевидно, играющими значительную роль при проведении измерений различиями в размерах частиц и состоянии гидратации поверхности, а также присутствием следов примесей внутри частиц кремнезема или на их поверхности [1,2].

С целью определения изменения концентрации кремния в растворах в ходе протекания процесса ПСВ урана были отобраны пробы растворов из вновь пробуренных скважин и продуктивных растворов технологического процесса полученные результаты представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Результаты определения концентрации кремния в растворах

Дата	№ пробы	Содержание Si, г/л
25.03.2024	ПР 1	84,3
	МР 1	89,9
	ПР2	66,4
	МР2	76,4
27.03.2024	ПР 1	78,8
	МР 1	82,5
	ПР2	77,2
	МР2	75,2
01.04.2024	ПР 1	64,5
	МР 1	78,1
	ПР2	73,6
	МР2	74,3
Среднее:	ПР 1+2	74,1
	МР 1+2	79,4

Таблица 2. Результаты определения концентраций кремния по скважинно

Скважины	Si, мг/л	pH	U, мг/л
4v-3	6,2	5,54	14,4
4v-5	37	3,13	357,9
0-3-8	8,9	5,99	<2,0
5v-9	9,5	5,96	<2,0
0-1-0	8,3	6,96	<2,0
0-2-1	9,7	6,52	<2,0

Из полученных данных наблюдается прямая корреляционная зависимость значений концентрации кремния в растворе от величины pH. Кроме того, сравнение исходных растворов до начала выщелачивания и во время выщелачивания по-

сле воздействия серной кислоты показывает увеличение концентрации кремния в 10-12 раз.

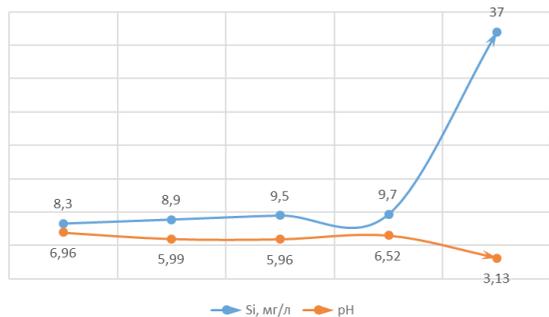


Рисунок 2. Зависимость изменения концентрации кремния от pH раствора

Взаимодействие серной кислоты с кремний содержащими минералами и с аморфным кремнезёмом приводит к образованию различных соединений которые растворимы при определенных значениях pH и входе их миграции по направлению от закачной к откачной скважине где как известно по пути следования выщелачивающих растворов происходит рост значений pH и при одновременном снижении концентрации серной кислоты в определенный момент времени происходит их высаждение

в меж поровом пространстве рудовмещающих пород, что в конечном итоге приводит как минимум к двум негативным факторам это снижению производительности откачной скважины по продуктивному раствору, а также безвозвратным потерям полезного компонента в результате со осаждения.

Опытным путем в ходе проведения химических измерений изменения концентрации кремния в реальных растворах установлено, что увеличение концентрации кремния в ходе выщелачивания увеличивается в 10 и более раз с 8 до 90 мг/л. Что наглядно свидетельствует о медленном растворении кремний содержащих минералов, с соответствующими затратами серной кислоты. В ходе протекания реакции анионы сульфат ионов будут связываться с соответствующими катионами (Na, K, Al, и др.). В целом протекание реакции может происходить с образованием силикатов либо с образованием кремнёвой кислоты.

Исходя из вышеизложенного выбор режима закисления технологических блоков в части значений концентрации серной кислоты и периоды ее изменения в ходе закисления и выщелачивания напрямую зависит от вещественного состава руд.

Тем самым управляя процессами полимеризации и миграции соединений кремния в выщелачиваемом пласте имеется реальная возможность повышения скорости выщелачивания урана, недопущения изменения фильтрационных свойств породы, а также сокращение образования техногенно-переотложенного урана в пласте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айлер Р. Химия кремнезема М. Мир 1982 г., Т. 1, 2
2. Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 323. № 3, ДК 546.28: [543.3+543.422], К вопросу о методах определения растворимых соединений кремния в воде и способах её обескремнивания, М.Г. Камбалина, Л.Н. Скворцова*, И.С. Мазурова*, Н.В. Гусева.



ПОЛУЧЕНИЕ ОЧИЩЕННОЙ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ СОКОЛ-М(О)5 И ПОДОГРЕВ ПОЛУЧЕННОГО ПЕРМЕАТА В РЕАКТОРЕ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ РАФИНАТОВ

С.Н. Демидов, Д.А. Сурин
АО «УМЗ», Усть-Каменогорск, Казахстан

Снижение себестоимости продукции и загрязнения окружающей среды, улучшение технологических параметров – одна из наиболее актуальных задач предприятий. Одним из решений является снижение потребления энергоносителей и оборотной воды, при таком же качестве готовой продукции.

В производстве закиси-оксида природного урана на операции реэкстракции урана в качестве реэкстрагента применяется дистиллированная вода. Получение дистиллированной воды организовано из насыщенного пара на трубчатых теплообменниках (дистилляторах), для охлаждения теплообменников используется вода из оборотного контура.

Использование дорогостоящего и постоянно растущего в цене энергоносителя в виде пара – повышает себестоимость продукции, а использование оборотной воды в большом количестве влечет риск загрязнения окружающей среды.

Для снижения затрат на производство продукции было предложено принципиально изменить схему получения очищенной (дистиллированной) воды за счет применения нового оборудования, установки обессоливания воды «Сокол-М(О)5».



Установка «СОКОЛ-М(О)5»

Получение обессоленной воды с помощью мембранных установок, в частности с использованием обратноосмотических мембранных элементов, можно получить воду практически любой степени деионизации.

Обессоленная вода используется:

- в котельных, на ТЭЦ и других предприятиях теплоэнергетики;
- на предприятиях радиоэлектронной промышленности;
- в химических производствах;
- на нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятиях;
- в производстве медицинских и косметических препаратов.

Проведение технического перевооружения действующего производства путем замены морально устаревшего, энергозатратного оборудования, используемого для производства дистиллированной воды позволит улучшить энергоэффективность технологического процесса получения порошков закиси-оксида урана.

В 2021 г. в цехе «В» УП АО «УМЗ» были проведены строительные-монтажные работы, с последующими промышленными испытаниями процесса реэкстракции урана с применением воды, очищенной на установке Сокол-М(О)5.

В ходе испытаний была установлена возможность применения пермеата (очищенной деонизированной воды), полученного в результате очистки на мембранной установке обессоливания воды Сокол-М(О)-5, в процессе экстракционного аффинажа урана.



Центральной научно-исследовательской лабораторией АО «УМЗ» проведены исследования о пригодности очищенной воды, полученной с установки «Сокол-М», при производстве закиси-оксида природного урана. Качество продукции полученной при проведении экспериментов отвечает всем требованиям к выпускаемой продукции. (Приложение 1. Справка ЦНИЛ №49-02-05/753Эп).

Содержание растворимых солей в очищенной воде на выходе с данной установки, составляет не более 5 мг/л, электропроводность 6-10 мкс/см.

Таблица 1. Химические характеристики порошков закиси-оксида урана

Химические примеси	Содержание примесей, мкг/г U,	
	Дистиллят из пара	Пермеат
Ca	65	32
Na	6.9	5.0
SI	52	39

Использование пермеата в качестве реэкстрагирующего агента не привело к ухудшению показателей процесса экстракционного аффинажа, по содержанию примесей и величине насыпного веса в конечной продукции - закиси-оксида природного урана.

В период проведения промышленных испытаний по применению деонизированной воды в качестве реэкстрагента взамен дистиллированной воды, потребление оборотной воды снизилось на 72%. Фактическое потребление пара снижено на 53%.

Данные по изменению удельных норм расхода энергоносителей приведены в таблице 2.

Таблица 2. Удельные нормы расхода энергоносителей ТЭР

	Наименование	Единица измерения	До реализации	После реализации (2023 г.)
1	пар	Гкал/кг	0,00963	0,00450
2	оборотная вода	м ³ /кг	0,33	0,093

Годовой экономический эффект составляет 126 585 723 тенге.

Реализация данного проекта за счет применения нового оборудования на операции приготовления дистиллированной (очищенной) воды позволяет значительно сократить потребление энергоносителей (пара) при изготовлении закиси-оксида природного урана и снизить себестоимость выпускаемой цехом продукции, а также снижается риск загрязнения почвы и окружающей среды за счет уменьшения потребления оборотной воды применяемой для охлаждения оборудования цеха.

Для последующего снижения дорогостоящего энергоносителя – пара и улучшения технологических параметров процесса реэкстракции было предложено изменить процесс подготовки реэкстрагирующего раствора (пермеата) с установки СОКОЛ-М путем подогрева за счёт температуры рафинатов в процессе их нейтрализации.

В процессе экстракционного аффинажа ХКПУ в качестве реэкстрагирующего раствора используется пермеат и раствор пермеата с азотной кислотой. Пермеат с установки СОКОЛ-М поступает с температурой 5-8°С. Для проведения процесса реэкстракции урана из органической фазы в водную необходима температура процесса не ниже 60°С, для обеспечения данного условия пермеат и раствор пермеата с азотной кислотой подогревают до температуры 70-80°С паром. Кроме этого, рафинаты с процесса экстракции урана поступают в процесс нейтрализации с температурой 45-60°С, где температура дополнительно увеличивается до 70-80°С за счет реакции нейтрализации азотной кислоты аммиачной водой. Так для подогрева полученного пермеата с установки СОКОЛ-М и снижения потребления пара затрачиваемого для его нагрева, а также снижения температуры процесса нейтрализации рафинатов предложено провести теплообмен между пермеатом и пульпой в реакторе нейтрализации. Таким образом, в 2023 было защищено техническое обоснование, а в 2024 проведены строительные-монтажные работы по интеграции змеевика в реакторе нейтрализации рафинатов, через который пропускается пермеат для его нагрева и охлаждения пульпы нейтрализации. Сбор подогретого пер-

меата организован в существующий бак объемом 6 м³, с последующей подкачкой подогретого пермеата существующими насосами в напорную емкость. Данная модернизация позволила снизить температуру процесса нейтрализации рафинатов и снизить затраты пара на подогрев пермеата.

Опытным путем определено снижение потребления пара на 7,67%.

Таблица 3. Удельные нормы расхода ТЭР

	Наименование	Единица измерения	До реализации	После реализации
1	пар	Гкал/кг	0,0031	0,0028621

Годовой экономический эффект составил 14 555 000 тенге.

По итогам проведения промышленных испытаний и лабораторных исследований было освоено применение инновационного оборудования с применением новой технологической схемы в процессе экстракционного аффинажа урана.

Таким образом при реализации этих проектов было снижено потребление энергоносителя – в виде пара на 60,67% и потребление оборотной воды на 72%, что позволило снизить риск загрязнения окружающей среды и снизить себестоимость производства закиси-оксида природного урана. Получить снижение себестоимости конечного продукта без потери качества. Суммарный годовой экономический эффект 141 140 723 тенге в год.

В совокупности ряд этих мероприятий позволяет выполнять цели Республики Казахстан по устойчивому развитию энергетики, снижению загрязнения окружающей среды, уменьшению затрат на производство продукции и эффективному использованию ресурсов с инновационным подходом.



Приложение 1.

Физико-химические характеристики порошков закиси-оксида урана

Химические примеси	Содержание примесей, мкг/г U		Требования спецификации на закись-окись для прямого фторирования
	корп. 4.4 А	установка «Сокол-М»	
Cr	1,0	1,17	10
Ca	65	32	
Mn	1,0	1,0	
Cu	1,0	1,0	
Ni	0,5	0,5	
Mg	5,2	3,0	
Th	7,3	7,5	
Ba	0,5	0,5	
Be	0,2	0,2	
Bi	0,5	0,5	
Cd	0,1	0,1	≤ 300 в сумме
Fe	10	10	
Pb	3	3	
Li	0,5	0,5	
K	15	15	
Na	6,9	5,0	
Ag	0,5	0,5	
Sr	1,0	1,0	
Sn	0,5	0,5	
Al	10	10	
Zn	3	3	
Zr	0,5	0,5	
B	0,18	0,54	1
Si	52	39	100
As	0,5	0,5	3
Sb	0,5	0,5	1
W	0,5	0,5	1,4
Ta	0,5	0,56	1
Ti	0,8	0,5	1
Mo	0,52	0,5	1,4
V	0,5	0,5	1,4
P	10	14	50
Ru	0,5	0,5	1
Nb	0,5	0,5	1
U	84,5	84,53	≥ 84,4
Насыпная плотность б/у, г/см ³	1,04	1,05	-
Насыпная плотность с/у, г/см ³	2,8	2,9	≤ 3,2

Начальник ЦНИЛ

И.о. начальника лаборатории урана

Рассылка: дело, УП
Исп. Н.Н. Ярошенко
Тел. 9-66-09

Б.Л. Зорин

Г.М. Шевченко

ЛИКВИДАЦИЯ И РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ БЛОКОВ ГТП, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРОМПЛОЩАДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «УВАНАС»

Н.Ж. Жолдасов

ТОО «Kazatomprom-SaUran», Шымкент, Казахстан

ВВЕДЕНИЕ

Месторождение «Уванас» – это первое урановое месторождение, открытое в Казахстане, которое сыграло ключевую роль в развитии атомной промышленности страны. На руднике применялись как подземные, так и открытые методы добычи урана, а добытая руда перерабатывалась для получения уранового концентрата. Сегодня, по завершении добычи, важной задачей является ликвидация последствий недропользования и рекультивация земель, нарушенных в процессе добычи.

1. Регулирование ликвидации последствий недропользования

Ликвидация последствий недропользования регулируется законодательством Казахстана, в частности, Кодексом Республики Казахстан «О недрах и недропользовании» и Правилами консервации и ликвидации. Последние были утверждены Приказом Министра энергетики РК от 22 мая 2018 года. Эти нормативные документы обеспечивают безопасное завершение эксплуатации месторождений и минимизацию негативных последствий для экологии и здоровья населения.

2. Цель ликвидации

Основной целью ликвидации последствий эксплуатации месторождений является восстановление экологической безопасности территории, защита здоровья людей и восстановление экологических систем. Работы по ликвидации направлены на приведение земель и производственных объектов в безопасное состояние, соответствующее санитарным и экологическим стандартам.

3. Место реализации

Работы по ликвидации и рекультивации проводятся на месторождении «Уванас», расположенном в Туркестанской области, Созанском районе, в поселке Кыземшек.

4. Подготовительный этап

Перед началом работ необходимо выполнить несколько подготовительных шагов:

- Издание Приказа «О завершении обработки месторождения», что подтверждает официальное прекращение добычи полезных ископаемых.
- Прекращение работ по добыче урана и выпуску продукции.
- Разработка проектно-сметной документации, которая включает необходимые расчеты и планы ликвидации и рекультивации.
- Обследование нарушенных земель для оценки масштабов работ.
- Запрос доступа к ликвидационному фонду для получения финансовых средств.
- Разработка дорожной карты, которая определяет все этапы ликвидации и рекультивации.
- Согласование бюджета и проведение закупок, включая специальную технику и инвентарь для работ.

5. Проектно-сметная документация

Проектно-сметную документацию разработала компания ТОО «Актино-СКБ». Сроки реализации проекта – 2023-2024 годы, а стоимость работ составляет 2 073 709,596 тыс. тенге с НДС.

6. Согласования и заключения

Для реализации проекта необходимо пройти несколько этапов согласования:

- Получение санитарно-эпидемиологического заключения.
- Согласование с ГУ «Управление земельными отношениями» Туркестанской области.
- Получение разрешений на выбросы в окружающую среду.
- Проведение комплексной вневедомственной экспертизы проекта и его утверждение Министерством энергетики РК.

7. Технический этап ликвидации

На этом этапе проводятся работы по ликвидации объектов ГТП, сносу зданий и сооружений:

- Ликвидация ГТП включает вывоз загрязненных грунтов, захоронение загрязненных материалов и выравнивание территорий.
- Снос зданий и сооружений (в том числе административных и бытовых комплексов) осуществляется подрядной организацией с последующим захоронением низкорadioактивных отходов.
- Тампонаж технологических скважин и ликвидация пескоотстойников – важные этапы для предотвращения дальнейшего загрязнения.

8. Биологический этап

После завершения технических работ начинается биологический этап, который включает подготовку почвы, посев трав и уход за растительностью:

- Подготовка почвы с боронованием и рыхлением.
- Посев трав с последующим уходом, поливом и мониторингом состояния растительности.

9. Закупочные процедуры

Для выполнения работ по ликвидации и рекультивации предусмотрены закупки:

- Инжиниринговых услуг для технического надзора.
- Специализированной техники для работы на загрязненных участках.
- Оборудования для радиационного контроля.
- Материалов для подготовки глинисто-цементных растворов и других необходимых ресурсов.

10. Порядок захоронения низкорadioактивных отходов (НРО)

Процесс захоронения НРО включает несколько этапов:

- Взвешивание отходов и фотофиксация процедуры.
- Отбор проб грунта для измерения активности радионуклидов.
- Оформление паспорта РАО и внесение данных в систему.
- Захоронение отходов в специально отведенных для этого местах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работы по ликвидации и рекультивации на месторождении «Уванас» являются важным шагом в восстановлении экосистемы региона и минимизации воздействия на здоровье населения. Эффективное выполнение всех этапов, от проектирования до финальной биологической рекультивации, обеспечит долгосрочную экологическую безопасность и устойчивое использование земель в будущем.



ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА ПО ЗАКАЧКЕ И ОТКАЧКЕ РАСТВОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО БЛОКА УЧИТЫВАЮЩИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИЕМИСТОСТИ

Ланде М.А.

ТОО «СП «ЮГХК», Шымкент, Казахстан

ВВЕДЕНИЕ

Казахстан, в качестве крупнейшего производителя урана в мире, играет ключевую роль на мировом рынке этого стратегически важного ресурса. Он обладает огромными запасами урана, оцениваемыми по разным источникам от 17 до 19% от достоверно разведанных мировых запасов. Это делает Казахстан одним из ведущих географических регионов с богатыми урановыми месторождениями.

Особенно значимо, что около 70% урановых запасов в Казахстане пригодны для добычи методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ), что является эффективным и современным способом добычи урана.

С учетом этого факта, Казахстан играет ключевую роль в мировом производстве урана, охватывая около 40-45% от общего объема добычи. Его влияние на рынок урана значительно и определяется как его доля в мировом производстве, так и размерами его запасов. Такое лидерство помогает стране занимать ведущие позиции на мировой энергетической арене и обеспечивает ей стратегическое значение в сфере ядерной энергетики.

Подземное выщелачивание (ПВ) металлов в условиях их естественного залегания – один из новых прогрессивных, так называемых геотехнологических методов добычи полезных ископаемых. Общим для геотехнологических методов является частичная или полная технологическая переработка добываемого полезного ископаемого в недрах в условиях естественного залегания путем перевода полезного компонента в подвижное состояние на основе тепловых, массообменных, химических и гидродинамических процессов. Для ПВ металлов таким перенесенным в недра этапом технологического передела является избирательное извлечение их из руды в раствор фильтратного потока реагента [1].

В условиях быстрого развития атомной энергетики высока актуальность вопроса об обосновании геотехнологических параметров и характеристик технологических систем подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) для добычи урана с бедных месторождений и в сложных геологических условиях. Особенно важно это в контексте низкого содержания урана в рудах, что характерно для таких месторождений.

При добыче урана методом ПСВ встречаются некоторые неблагоприятные факторы, такие как значительная глубина залегания месторождений, сложная морфология рудных тел, неоднородность проницаемости пород, наличие водоносных горизонтов и другие. Несмотря на эти сложности, ПСВ используется

все чаще из-за значительного технико-экономического эффекта, связанного с этим методом.

Ранее были разработаны оптимизационные модели для определения параметров ячейки в зависимости от различных критериев, однако они не учитывали коэффициента приемистости закачных скважин.

Целью работы является создание математической модели составления регламента работы технологического блока на всех стадиях ПСВ учитывающий коэффициент приемистости закачных скважин. Это позволит повысить эффективность добычи урана и снизить затраты на эксплуатацию.

1. Алгоритм составления регламента работы технологического блока

Согласно Кодексу Республики Казахстан «О недрах и недропользовании» при проведении опытно-промышленной добычи и добычи разубоживание продуктивных растворов подземными водами или растекание выщелачивающих растворов за контур эксплуатационного блока не допускается [2]. Разубоживание продуктивных растворов или растекание выщелачивающих растворов за контур блока приводит к увеличению сроков отработки, перерасходу реагентов, увеличению себестоимости урана. Соотношение между подачей в недра рабочих растворов и откачкой продуктов их взаимодействия с рудами – одно из основных условий, определяющих возможность загрязнения поверхностных и подземных вод. Основными составляющими баланса являются приход и расход рабочих растворов.

В настоящее время технологический регламент по закачке и откачке растворов в закачные и откачные скважины технологического блока разрабатывается следующим образом:

В первую очередь по проекту и в зависимости от дебита, концентрации урана определяется, сколько кубов раствора в час должна откачиваться из каждой откачной скважины. Затем по формуле ниже определяется, сколько кубов раствора закачивается в каждую закачную скважину в час:

$$a_1 = \frac{b_1}{n_1} + \frac{b_2}{n_2} + \dots + \frac{b_n}{n_n}$$

где a_1 – объем принимаемого раствора в час закачной скважины по регламенту, м³/ч.

b_1, b_2, b_n – регламент, установленный на откачные скважины, в которых работает данная закачная скважина, м³/ч.

n_1, n_2, n_n – количество закачных скважин, работающих на откачную скважину, ед.

На рисунке ниже (Рис.1) изображен регламент технологического блока, выполненный по этой формуле в файле MS EXELL.

№ п/п	номер скважины	Q, м3/ч	Факт Q, м3/ч	Примечания
1	1-1-1	1.8		
2	1-1-2	4.3		
3	1-1-3	5.1		
4	1-1-4	4.0		
5	1-1-5	1.4		
6	1-1-6	2.7		
7	1-1-7	4.8		
8	1-1-8	4.7		
9	1-1-9	2.6		
10	1-1-10	4.7		
11	1-1-11	4.1		
12	1-1-12	2.1		
13	1-1-1	3.3		
14	1-1-2	1.2		
15	1-1-3	2.0		
16	1-1-4	6.3		
17	1-1-5	5.1		
18	1-1-6	4.0		
19	1-1-7	1.4		
20	1-1-8	2.7		
21	1-1-9	4.8		
22	1-1-10	2.1		
23	1-1-11	6.8		
24	1-1-12	4.1		
25	1-1-13	2.1		
26	1-1-14	2.1		
27	1-1-15	3.3		
28	1-1-16	1.2		
29	1-1-17	1.2		
30	1-1-18	2.0		
31	1-1-19	2.0		
32	1-1-20	3.8		
Сумма		100.7		
1	1-2-1	7.0		
2	1-2-2	10.0		
3	1-2-3	7.0		
4	1-2-4	10.0		
5	1-2-5	10.5		
6	1-2-6	7.0		
7	1-2-7	13.5		
8	1-2-8	10.5		
9	1-2-9	10.5		
10	1-2-10	10.5		
Сумма		96.5		

Рисунок 1 - Технологический регламент работы технологического блока

Эта формула и технологический регламент, составленный на основе этой формулы, имеют следующие недостатки:

- в связи с определенными причинами (конструктивными нарушениями в скважине, нарушениями в оборудовании для подъема раствора (насос, эрлифт) или снижением концентрации урана от кондиционного и т.д.) при прекращении работы откачной скважины, придется пересмотреть регламент и внести коррективы.
- в этой формуле не учитывается коэффициент приемистости закачной скважины. Следовательно, поддерживать баланс растворов будет сложно. Следует отметить, что баланс растворов должен поддерживаться на самом последнем уровне, то есть в ячейке.

2. Оптимизация регламента работы технологического блока посредством внесения коэффициента приемистости

С целью устранения вышеперечисленных недостатков была разработана мною следующая формула:

$$a_1 = \left(\frac{b_1}{k_{a2} + k_{a3} + \dots + k_n + 1} + \frac{b_2}{k_{a4} + k_{a5} + \dots + k_n + 1} + \dots + \frac{b_n}{k_{a6} + k_{a7} + \dots + k_n + 1} \right) \times k_{a1}$$

где a_1 – объем принимаемого раствора в час закачной скважины по регламенту, м³/ч.

b_1, b_2, b_n – регламент, установленный на откачные скважины, в которых работает данная закачная скважина, м³/ч.

$k_{a2} + k_{a3} + \dots + k_n + 1, k_{a4} + k_{a5} + \dots + k_n + 1, k_{a6} + k_{a7} + \dots + k_n + 1$, – коэффициент приемистости закачных скважин, работающих на откачные скважины b_1, b_2, b_n .

k_{a1} – коэффициент приемистости закачной скважины a_1 .

На рисунке ниже (Рис.2) изображен регламент технологического блока, выполненный по этой формуле в файле MS EXELL.

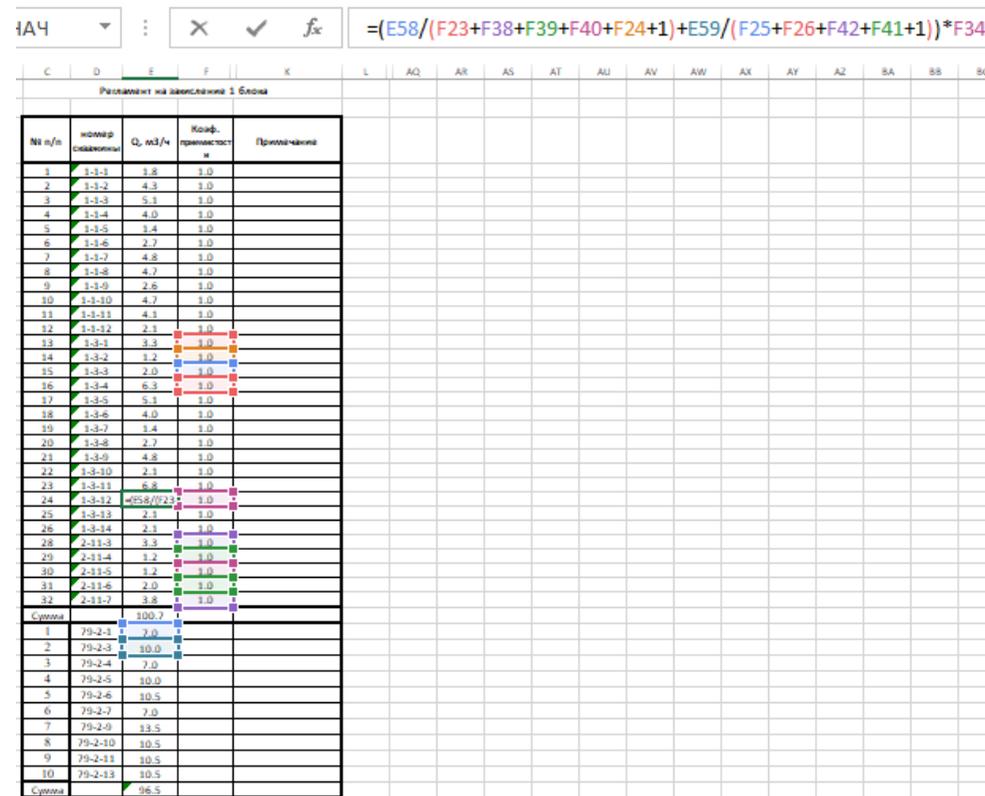


Рисунок 2 - Оптимизированный технологический регламент работы технологического блока учитывающий коэффициент приемистости

2.1 Расчет коэффициента приемистости

Если по регламенту закачная скважина a_1 должна принимать 3 м^3 в час, но при максимальном открытом положении задвижек она принимает только $1,8 \text{ м}^3$ в час, то рассчитаем коэффициент приемистости следующим образом:

$$k_{a1} = a_1 / c_1$$

где, a_1 – объем принимаемого раствора в час по регламенту закачной скважины, $\text{м}^3/\text{ч}$.

c_1 – объем принимаемого раствора в час при полном открытии задвижек закачной скважины $\text{м}^3/\text{ч}$.

$$k_{a1} = 1,8 / 3 = 0,6$$

Следовательно, коэффициент приемистости закачной скважины a_1 равен 0,6.

Если в закачных скважинах ведутся ремонтно-восстановительные работы или скважина перестает работать из-за конструктивных нарушений в скважине, то в файлах MS EXELL необходимо заполнить коэффициент приемистости в скважинах равным 0.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В завершение, разработка математической модели для оптимизации работы технологического блока на всех этапах подземного скважинного выщелачивания урана с учетом коэффициента приемистости закачных скважин представляет собой важный шаг в улучшении эффективности добычи этого стратегически важного ресурса. Это позволит не только повысить производительность и снизить затраты на эксплуатацию, но и сделает процесс более устойчивым к изменениям условий и факторов во время эксплуатации. Интеграция современных технологий и математических методов оптимизации в практику добычи урана в Казахстане подчеркивает важность инноваций в этой области и способствует развитию страны как ключевого участника мирового рынка урана и ядерной энергетики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Грабовников В.А. Геотехнологические исследования при разведке металлов. – М.: Недра, 1983.
2. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1800017131>



Товарищество с Ограниченной Ответственностью
«Совместное предприятие
«Южная горно-химическая компания»

СЕКЦИЯ:
«ПРОБЛЕМЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ И
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ»

РАЗРАБОТКА НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ ВВЭР-1000

Д.М. Секен^{1,2}, А.С. Сураев¹,
Р.А. Иркимбеков¹, Г.А. Витюк¹, О.М. Жанболатов¹,
В.А. Витюк³, Н.Е. Мухамедов¹

¹Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

²НАО «Университет имени Шакарима города Семей», Семей, Казахстан

³Национальный ядерный центр РК, Курчатов, Казахстан

ВВЕДЕНИЕ

Нейтронно-физическое моделирование ядерных энергетических установок представляет собой важный аспект научно-технической поддержки развития атомной энергетики в Республике Казахстан. Для казахстанских специалистов является важным освоить инструменты и методы, которые позволят обеспечить качественную проверку заявляемых потенциальными поставщиками реакторных технологий характеристик ядерных реакторов, будут способствовать организации будущей эффективной и стабильной работе АЭС, а также повышению знаний в области моделирования физики реакторных установок.

В настоящее время казахстанскими учеными, в первую очередь, сотрудниками Национального ядерного центра Республики Казахстан, наработаны существенные компетенции в численном моделировании нейтронно-физических и теплогидравлических процессов в исследовательских ядерных реакторах ИВГ.1М и ИГР. Полученные данные использованы при реализации проекта перевода активных зон на топливо пониженного обогащения [1], а также при подготовке внутриреакторных экспериментов [2].

Сегодня Республика Казахстан стоит на пороге решения о строительстве первой АЭС. Реактор ВВЭР-1000, или водо-водяной энергетический реактор, является одним из наиболее распространенных типов ядерных реакторов, предназначенных для производства электроэнергии. По данному реактору доступен представительный набор данных, позволяющих детально изучить физику реакторов с водой под давлением. В этой связи представляется целесообразным отработку методов и подходов к численному моделированию энергетических реакторов выполнить именно на базе этой установки. Номинальная электрическая мощность данного реактора составляет 1 000 МВт, а тепловая - 3 000 МВт. Вода в этом реакторе выполняет три функции: теплоносителя, замедлителя и отражателя нейтронов.

Разработка нейтронно-физической модели реактора ВВЭР-1000, в частности реакторного блока серии В-320, была выполнена с использованием программы MCNP6. Эта модель включает трехмерное представление активной зоны реактора, точно соответствующее реальной установке по геометрическим параметрам и материальному составу.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Активная зона реактора ВВЭР-1000 представляет собой центральную часть реактора, где происходит ядерный распад и управляемая цепная реакция. Активная зона реактора (рисунок 1) состоит из 163 тепловыделяющих сборок (ТВС), из которых 61 сборка содержит поглощающие стержни системы управления и защиты. Высота обогреваемой части активной зоны в холодном состоянии составляет 3 530 мм, а расстояние между ТВС – 236 мм. Корпус реактора имеет наружный диаметр 4 535 мм и внутренний диаметр 4 136 мм. Первая топливная загрузка активной зоны реактора сформирована из ТВС пяти типов [3].

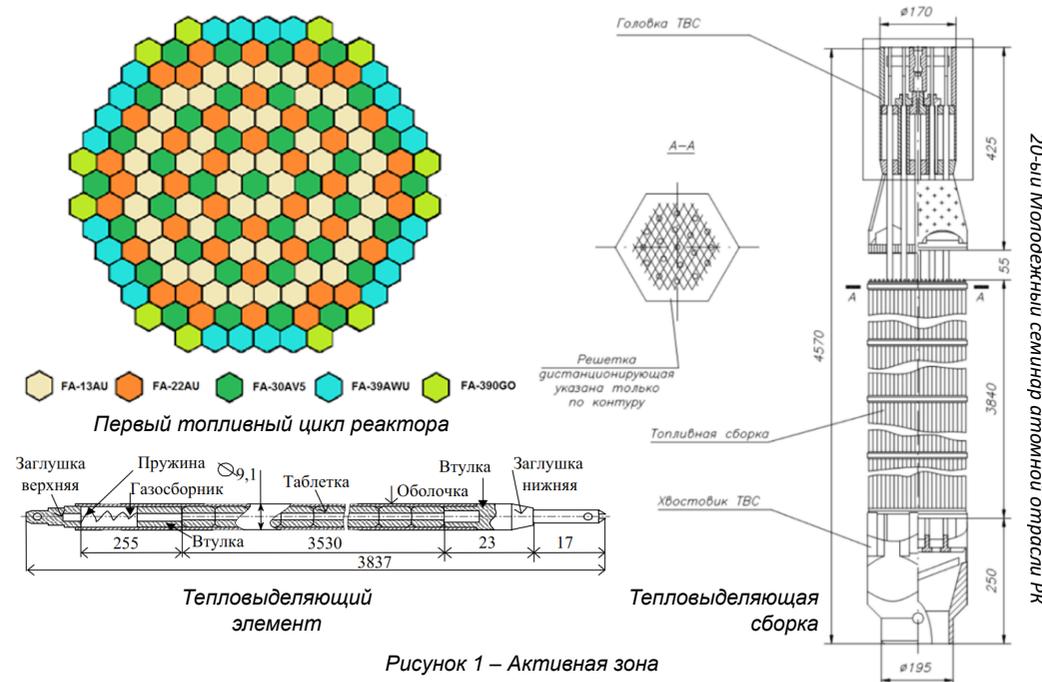


Рисунок 1 – Активная зона

ТВС реактора ВВЭР-1000 представляет собой конструкцию с размером «под ключ» 234 мм и включает 312 топливных элементов (ТВЭЛ), которые равномерно расположены по треугольной схеме с шагом 12,75 мм между ними. В каждой ТВС размещено 18 направляющих каналов и одна центральная труба для установки датчиков измерения энерговыделения. Направляющие каналы выполнены из нержавеющей стали, а для центральной трубы используется циркониевый сплав с добавлением 1% ниобия. Размер центральной трубы составляет 11 мм в диаметре с толщиной стенки 0,8 мм, а направляющие каналы имеют диаметр 12,6 мм с толщиной стенки – 0,8 мм. [4].

ТВЭЛ состоит из герметичной оболочки, внутри которой размещается топливо и локализуются продукты деления. В ТВЭЛ помещены цилиндрические та-

блетки из диоксида урана с плотностью $10\,400\text{ кг/м}^3$, каждая с наружным диаметром $7,53\text{ мм}$. Общая длина топливного столба – $3\,530\text{ мм}$. В середине топливной таблетки есть отверстие диаметром $1,4\text{ мм}$ с фасками по краям, что вместе с зазором между таблеткой и оболочкой позволяет компенсировать увеличение таблетки из-за радиационного распухания. Оболочка твэла из циркониевого сплава обеспечивает прочность конструкции, сохраняет её размеры стабильными и защищает топливо от коррозии и эрозии, вызванной теплоносителем. Внутренний радиус оболочки – $3,9\text{ мм}$, а внешний – $4,55\text{ мм}$. Оболочка изготовлена из циркониевого сплава с добавлением 1% ниобия, а зазор между топливом и оболочкой заполнен гелием.

В типовом проекте В-320 на реакторе ВВЭР-1000 установлен 61 кластер органа регулирования СУЗ. В системе используется 18 поглощающих элементов, верхняя часть которых выполнена из карбида бора с плотностью $1\,700\text{ кг/м}^3$ (B_4C), а нижняя – из титаната диспрозия с плотностью $4\,900\text{ кг/м}^3$ ($\text{Dy}_2\text{O}_3 \times \text{TiO}_2$). Полная высота поглотителя составляет $3\,530\text{ мм}$, при этом высота верхней части – $3\,230\text{ мм}$, а нижней – 300 мм . Внешний диаметр оболочки поглощающих элементов составляет $8,2\text{ мм}$ при толщине $0,6\text{ мм}$, и выполнена она из нержавеющей стали.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одним из основных инструментов для исследования нейтронно-физических характеристик экспериментальных устройств и реактора является программный комплекс MCNP (Monte Carlo N-Particle) [5].

Входной файл MCNP состоит из трех основных разделов: карты ячеек, карты поверхностей и карты данных. В карты ячеек вводятся параметры геометрии и материалов, определяющие структуру системы. Каждая ячейка описывается номером, материалом, плотностью и связанными поверхностями. Карты поверхностей определяют геометрические поверхности, которые разделяют пространство на различные области. Эти поверхности могут использоваться для определения границ ячеек и формы системы. Карты данных содержат параметры для расчетов, такие как количество нейтронов за цикл, начальное значение коэффициента размножения и другие настройки моделирования.

Коэффициент размножения нейтронов K_{eff} является ключевым параметром для определения состояния цепной реакции в ядерном реакторе. Для модели реактора рассмотрено три варианта расчета для сравнения эффективного коэффициента размножения нейтрона и долю запаздывающих нейтронов с данными из источника.

1. Расчет запаса реактивности на основе K_{eff} при первой загрузке топлива в реактор проводится без использования системы управления и защиты и без борного регулирования. В этом варианте температура теплоносителя и топлива равна 300 К . Реактивность реактора (ρ) можно вычислить с помощью коэффициента размножения нейтронов K_{eff} по формуле:

$$\rho = \left(1 - \frac{1}{K_{\text{eff}}}\right) / 0,0064 \quad (1)$$

где, ρ – реактивность,

K_{eff} – коэффициент размножения нейтронов,

$0,0064$ – это эффективная доля запаздывающих нейтронов.

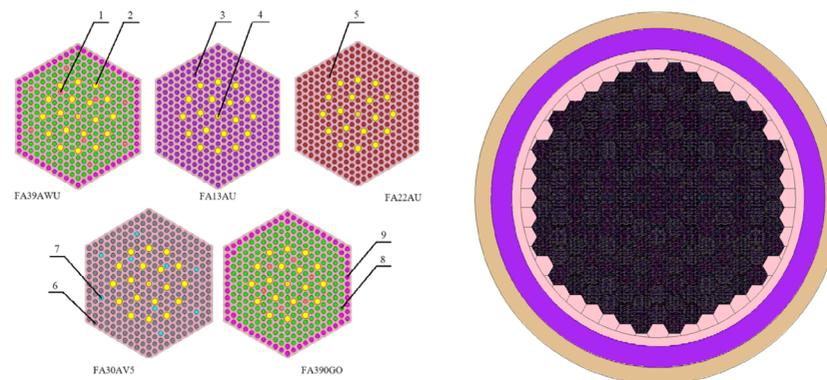
2. Расчет при полностью введенных в активную зону СУЗ и без борного регулирования с температурой топлива и теплоносителя 300 К . Органы регулирования СУЗ обеспечивает быстрое прекращения ядерной реакции, автоматическое поддержания мощности на заданном уровне и перевода реактора с одного уровня мощности на другой, предупреждения и подавления ксеноновых колебаний реактивности.

3. Расчет при борном регулировании.

Борное регулирование заключается в изменении концентрации борной кислоты в воде первого контура. Основная цель борного регулирования заключается в компенсации медленных изменений реактивности в течение работы реактора. На начальном этапе эксплуатации концентрация борной кислоты $0\text{--}16\text{ г/кг}$ (H_2O). С выгоранием топлива концентрация борной кислоты постепенно уменьшается, чтобы поддерживать стабильную нейтронную мощность.

На этом этапе концентрация борной кислоты 6 г/кг (H_2O), а все группы регулирующих стержней выведены из активной зоны. Температура топлива и теплоносителя по 300 К .

НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АКТИВНОЙ ЗОНЫ



- 1 – твэл с обогащением топлива $3,3\%$ и содержанием оксида гадолиния 5% ,
 2 – направляющие трубки, 3 – твэл с обогащением топлива $1,3\%$, 4 – центральный канал, 5 – твэл с обогащением топлива $2,2\%$, 6 – твэл с обогащением топлива $3,0\%$,
 7 – твэл с обогащением топлива $2,4\%$ и содержанием оксида гадолиния 5% ,
 8 – твэл с обогащением топлива $4,0\%$, 9 – твэл с обогащением топлива $3,6\%$.

Рисунок 2 – Графическое представление расчетной модели реактора

На рисунке 2 показана графическое представление расчетной модели реактора в визуальном редакторе MCNP (VisEd). Использование VisEd позволяет наглядно представлять структуру и компоновку реактора, что облегчает построение модели и ее отладку.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Коэффициент размножения нейтронов при первой загрузке топлива без СУЗ и борного регулирования равен $1,17695 (\pm 0,00003)$. Таким образом, запас реактивности реактора составил $23,5\beta$ [6,7].

При полностью опущенных СУЗ без борного регулирования коэффициент размножения нейтронов $1,11358 (\pm 0,00002)$, а реактивность составила $15,9\beta$.

При борном регулировании коэффициент размножения нейтронов $1,00128 (\pm 0,00002)$, а реактивность реактора составило $0,21\beta$.

Таким образом, чтобы снизить реактивность реактора при первой загрузке топлива, требуется эффективное использование систем регулирования и добавить борную кислоту в воду.

Один из методов проверки модели реактора это – сравнение эффективной доли запаздывающих нейтронов, вычисленной с помощью кода MCNP_NNC, со справочными данными. Рассчитанная эффективная доля запаздывающих нейтронов в сравнении со справочными данными приведена в таблице 1.

Таблица 1. Рассчитанная эффективная доля запаздывающих нейтронов в сравнении со справочными данными

	$K_{\text{eff}} \pm \sigma$ (расчет MCNP_NNC)	β_{eff} (расчет MCNP_NNC)	β_{eff} (справочные данные)
Вариант 1	$1,17695 \pm 0,00003$	$0,00686 \pm 0,00006$	$0,00724$ [3] $0,00639$ [8]
Вариант 2	$1,11358 \pm 0,00002$	$0,00684 \pm 0,00007$	
Вариант 3	$1,00900 \pm 0,00004$	$0,00698 \pm 0,00006$	

Таблица 1 иллюстрирует, что рассчитанная эффективная доля запаздывающих нейтронов коррелирует с приведенными справочными данными, что подтверждает достоверность модели.

ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ

На рисунке 3 приведены интегральная и дифференциальная эффективность рабочей (№10) группы СУЗ при выводе из активной зоны с шагом 350 мм. Группы СУЗ №1-9 выведены из активной зоны, где концентрация борной кислоты $4 \text{ г/кг } (\text{H}_2\text{O})$, а температура теплоносителя и топлива 600 К . Показано сравнение расчетных данных MCNP_NNC с литературным источником [9], где есть экспериментальные и расчетные данные программного комплекса РАДУГА.

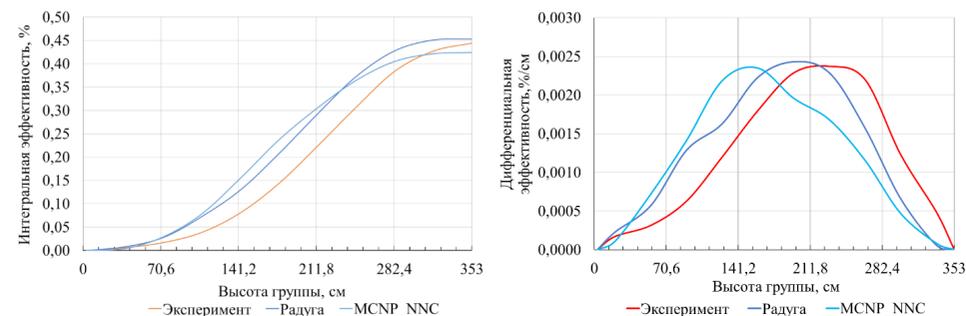


Рисунок 3 – Интегральная и дифференциальная эффективность СУЗ

Сравнение измеренных значений с данными, полученными при моделировании с помощью MCNP_NNC, выполнено для группы №10 СУЗ при выводе из активной зоны. Для интегральной характеристики №10 группы СУЗ расхождение экспериментальных и расчетных данных Радуга составило $0,009$. А для данных с эксперимента и расчета MCNP_NNC $0,02$. Относительная погрешность пика дифференциальной характеристики $2,35\%$ для значения эксперимента и программного комплекса Радуга. Относительная погрешность для эксперимента и MCNP_NNC составила $1,028\%$.

На рисунке 4 показано сравнение результатов между расчетными данными MCNP_NNC, данными Nгуен Нuu Тiер (MCNP5) из источника [10] и программного комплекса SRAC. В этих вариантах температура замедлителя принималась равной 600 К , борная кислота и ОР СУЗ не моделировались. Температура топлива изменялась шаг за шагом с 600 до 1200 К (шаг 100 К). Как показано на рисунке 11, обнаружено, что K_{eff} уменьшается с повышением температуры топлива, что является ожидаемым.

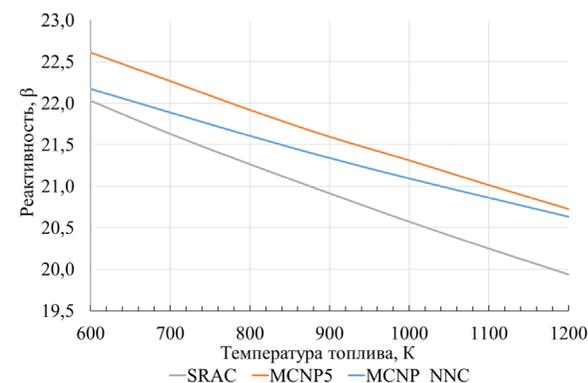


Рисунок 4 – Изменение реактивности в зависимости от изменения температуры топлива

Для сравнения коэффициента Доплера сначала рассчитано изменение реактивности с помощью уравнения (2).

$$\Delta\rho = \frac{K_{eff}^{T_2} - K_{eff}^{T_1}}{K_{eff}^{T_2} \cdot K_{eff}^{T_1}} \quad (2)$$

где, $K_{eff}^{T_1}$ и $K_{eff}^{T_2}$ соответствуют эффективному коэффициенту размножения нейтронов для температуры T_1 и T_2 . Коэффициент Доплера (D_c) затем рассчитан как соотношение изменения реактивности к изменению температуры топлива с использованием уравнения (3) и выражается в pcm/K.

$$D_c = \frac{\Delta\rho}{\Delta T} \quad (3)$$

где, ΔT это изменение температуры топлива ($\Delta T = 600$ К в данном случае).

Установлено, что снижение реактивности (эффект Доплера) из-за повышения температуры с 600 К до 1 200 К составило -2,03969 pcm/K (MCNP5), -2,263647 pcm/K (SRAC) и -1,665 pcm/K (MCNP_NNC). Этот результат соответствует некоторым результатам расчетов для легководяного реактора и не превышает значения, рекомендованные в ISAR [11] (от -3,3 до -1,7 pcm/K).

На рисунке 5 показано сравнение расчетных данных с источником литературы [12] (программа САПФИР, где концентрация топлива больше так как в состав топливной загрузки входят ТВС с обогащением 3,3 % и 4,4 %, а также с профилированием твэлами обогащением 3,6 %.) при изменении плотности теплоносителя (температура теплоносителя и топлива 300 К). Борная кислота с достаточно высокой концентрацией (16 г/кг H_2O) используется для того, чтобы обеспечить подкритичность в аварийной ситуации или при перегрузке. Результаты расчета K_{eff} представлены на рисунке 12.

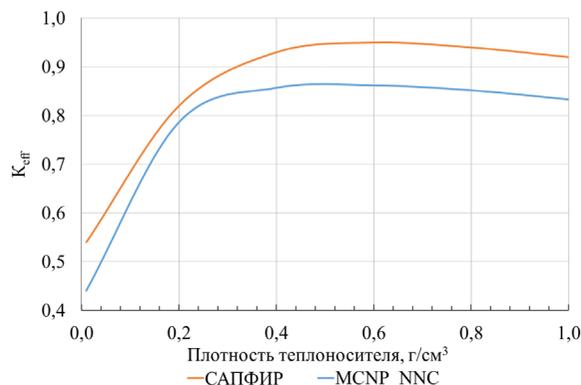


Рисунок 5 – Зависимость эффективного коэффициента размножения от плотности теплоносителя при концентрации борной кислоты 16 г/кг (H_2O)

Расхождение зависимости эффективного коэффициента размножения нейтронов от плотности теплоносителя при 1 000 кг/м³ составила 0,0872.

Расчет эффективных коэффициентов размножения в диапазоне изменения

концентрации борной кислоты от 16,0 г/кг (H_2O) до нуля проведен для первичной топливной загрузки активных зон. Результаты расчета K_{eff} представлены на рисунке 6 в сравнении с литературным источником [12].

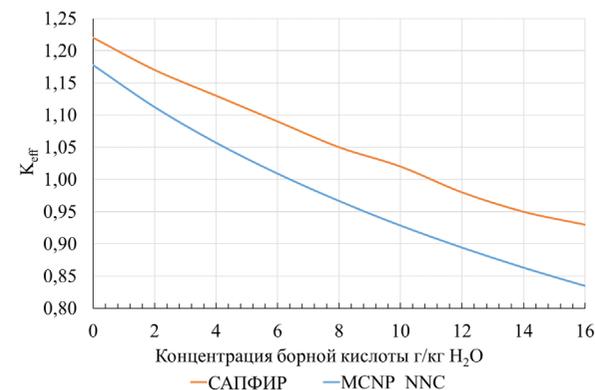


Рисунок 6 – Зависимость эффективного коэффициента размножения от концентрации борной кислоты в теплоносителе

Результаты расчетов показывают, что на момент начала кампании критичность достигается при концентрации борной кислоты 6,4 г/кг (H_2O). Полный вывод борной кислоты из теплоносителя приводит к росту коэффициента размножения до 1,17763.

Результаты расчетов подтверждают адекватность моделирования нейтронно-физических процессов, протекающих в активной зоне реактора, по программному комплексу MCNP.

ВЫВОДЫ

Разработана нейтронно-физическая модель реактора ВВЭР-1000 в программе MCNP6. Разработанная модель продемонстрировала высокую точность при выполнении нейтронно-физических расчетов. Основное внимание было уделено таким параметрам, как коэффициент размножения нейтронов и реактивность в разных режимах работы. Также были исследованы интегральная и дифференциальная эффективность системы управления и защиты, влияние изменения температуры топлива, плотности теплоносителя и концентрации борной кислоты и коэффициент Доплера. Сравнение расчетных данных с существующими справочными материалами показало их хорошее согласование, что подтверждает достоверность нейтронно-физической модели. Применение программы MCNP6 продемонстрировало высокую точность моделирования и согласованность с экспериментальными и литературными данными, что подтверждает правильность подхода к верификации модели.

Работа была выполнена в рамках проекта НИР по обоснованию выбора и реализации технологии переработки твердых радиоактивных отходов (BR24993118).

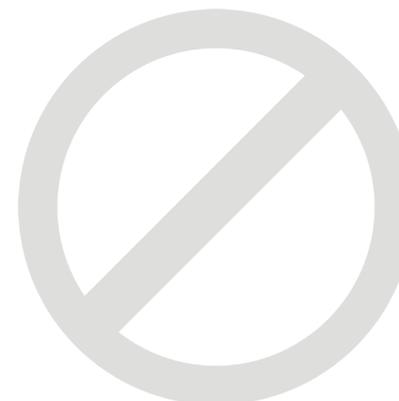
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Irkimbekov, R., Vurim, A., Vityuk, G., Zhanbolatov, O., Kozhabayev, Z., Surayev, A. Modeling of Dynamic Operation Modes of IVG.1M Reactor (2023) Energies, 16 (2), № 932 DOI: 10.3390/en16020932
2. Erlan Batyrbekov, Vladimir Vityuk, Alexander Vurim, Galina Vityuk. Experimental opportunities and main results of the impulse graphite reactor use for research in safety area // Annals of Nuclear Energy. –2023. –Vol. 182. 109582. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2022.109582>.
3. Louis, Heba. (2021). Sensitivity Analysis of the Kinetic Parameters to Physical Parameters Variation in VVER Reactor. Journal of Nuclear and Particle Physics. 11. 15-26. 10.5923/j.jnpp.20211101.03.
4. Колпаков Г. Н., Селиванникова О. В. Конструкции твэлов, каналов и активных зон энергетических реакторов. – 2009.
5. MCNP6 Monte Carlo N–Particle Transport Code System, MCNP6.1. LANL, 2013.
6. Алексеев Н. Н. Борное регулирование //Интеллектуальные энергосистемы: труды V Международного молодежного форума, 9-13 октября 2017 г., г. Томск. Т. 2.—Томск, 2017. – 2017. – Т. 2. – С. 79-82.
7. Tran H. N., Hoang H. T. P., Liem P. H. Feasibility of using Gd₂O₃ particles in VVER-1000 fuel assembly for controlling excess reactivity //Energy Procedia. – 2017. – Т. 131. – С. 29-36.
8. Никулина Е.Н., Северин В.П., Лукинова Д.А. Математические модели для исследования переходных режимов ядерного реактора ВВЭР-1000 серии В-320. – 2018.
9. Кавун О.Ю., Попыкин А.И. Верификация программного средства «Rainbow-TRP» на основе моделирования первых 3-х топливных кампаний энергоблока № 1 Ростовской АЭС //Вопросы атомной науки и техники. Серия: Обеспечение безопасности АЭС. – 2014. – №. 34. – С. 93-98.
10. Nguyen H.T. et al. Some neutronics calculations for the VVER-1000 reactors using SRAC and MCNP5. – 2015.
11. Risk Engineering LTD., Belene ISAR - Training course provided for Vietnam Atomic Energy Institute VINATOM, Sofia, Bungari, 15 Jan – 9 March 2012.
12. Борисенков А.Э. и др. ВОПРОСЫ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПЕРЕГРУЗКАХ РЕАКТОРА ВВЭР-1000 // Вестник СГТУ выпуск 5. – 2006. – С. 82.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ: «РАЗВИТИЕ УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»	3
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕГЕНЕРАЦИИ И ИНГИБИРОВАНИЯ ГИПСА В РУДОНОСНОМ ПЛАСТЕ, ВОЗНИКАЮЩЕГО В РЕЗУЛЬТАТЕ ХИМИЧЕСКОЙ КОЛЬМАТАЦИИ, ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПСВ Кыдыров Б.П.	4
ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ И КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОГО ВЕДЕНИЯ РАБОТ НА РУДНИКЕ ТОО «ХАРАСАН-2» Сайпов Г.Н.	8
КРЕМНИЙ В ПОДЗЕМНОМ СКВАЖИННОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ УРАНА Золин А.А., Оспанов А.Т., Теменұлы Ж.	14
ПОЛУЧЕНИЕ ОЧИЩЕННОЙ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ СОКОЛ-М(О)5 И ПОДОГРЕВ ПОЛУЧЕННОГО ПЕРМЕАТА В РЕАКТОРЕ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ РАФИНАТОВ С.Н. Демидов, Д.А. Сурип	17
ЛИКВИДАЦИЯ И РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ БЛОКОВ ГТП, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРОМПЛОЩАДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «УВАНАС» Н.Ж. Жолдасов	22
ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА ПО ЗАКАЧКЕ И ОТКАЧКЕ РАСТВОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО БЛОКА УЧИТЫВАЮЩИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИЕМИСТОСТИ Ләнде М.А.	25
СЕКЦИЯ: «ПРОБЛЕМЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ И ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ»	30
РАЗРАБОТКА НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ ВВЭР-1000 Д.М. Секен, А.С. Сураев, Р.А. Иркимбеков, Г.А. Витюк, О.М. Жанболатов, В.А. Витюк, Н.Е. Мухамедов	32

ДЛЯ ЗАМЕТОК



Формат 148 x 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.