

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И. Сатпаева

УДК 622.27

На правах рукописи

ХАЙРУЛЛАЕВ НУРСУЛТАН БАТЫРХАНОВИЧ

**Повышение эффективности ПСВ (подземное скважинное
выщелачивание) урана с активацией раствора**

6D070700- Горное дело

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Научные консультанты
Абен Е.Х., кандидат
технических наук,
ассоциированный
профессор

Алиев С.Б., доктор
технических наук,
профессор

Республика Казахстан
Алматы, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	3
ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ	6
1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	9
1.1 Краткая геология месторождения	9
1.2 Технология подземного скважинного выщелачивания	13
1.3 Вывод по главе	21
2 ПРЕДЛАГАЕМАЯ ТЕХНОЛОГИЯ	23
2.1 Анализ способов интенсификации подземного скважинного выщелачивания урана	23
2.2 Предлагаемая технология повышения эффективности ПСВ урана	26
2.3 Методика проведения исследования	28
2.4 Исследование влияния концентрации кислоты и температуры раствора на интенсивность выщелачивания	32
2.5 Выводы по главе	35
3 ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРЕДЛАГАЕМОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА ПРОЦЕССЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ	36
3.1 Влияние активации компонентов раствора на содержание урана в продуктивном растворе	36
3.2 Исследования влияния изменения активности выщелачивающего раствора на содержание урана в продуктивном растворе	39
3.3 Исследование влияния активации раствора на плотность продуктивного раствора	44
3.4 Установка для механической активации концентрированной серной кислоты	49
3.5 Блок автоматизированного управления активатором	53
3.6 Ожидаемый экономический эффект	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	60
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	61
ПРИЛОЖЕНИЕ А	63
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	64
ПРИЛОЖЕНИЕ В	65

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Настоящие правила составлены на основании следующих нормативных документов:

- 1 Закон Республики Казахстан «О науке» от 18.02.2011 г. № 407-IV ЗРК;
- 2 ГОСО РК 5.04.034-2011;
- 3 Государственный общеобязательный стандарт образования Республики Казахстан. Послевузовское образование. Докторантура. Основные положения (изменения от 23 августа 2012 г. № 1080);
- 4 Положение О диссертационном совете НАО «КазНКТУ имени К.И. Сатпаева» П 029-05-01.3.01 – 2021;
- 5 Межгосударственные стандарты: ГОСТ 7.32-2001 (изменения от 2006 г.). Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления;
- 6 ГОСТ 7.1 - 2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящей диссертации применяют следующие термины с соответствующими определениями.

Выщелачивание – химический процесс перевода одного или нескольких компонентов из твердых тел в жидкость с помощью раствора реагентов.

Подземное скважинное выщелачивание (ПСВ) – процесс переработки руд в естественных условиях в рудных телах, вскрытых технологическими скважинами и подготовленных к выщелачиванию специально выполненным комплексом работ, обеспечивающих закачку растворов через закачные скважины и вывод растворенного полезного ископаемого через откачные скважины, осуществление контроля за ходом процесса и возможно более полной переработки руды в недрах.

Реагент – химическое вещество (обычно в виде водного раствора), используемое для выщелачивания или ускорения извлечения полезного компонента.

Технологический (рабочий) раствор - водный раствор реагентов и продуктов их взаимодействия с вмещающей средой (рудой и вмещающими породами). При подземном выщелачивании технологические растворы подразделяются на выщелачивающие, продуктивные, маточные, сбросные.

Выщелачивающий раствор (ВР) - раствор, содержащий необходимые для извлечения полезного компонента реагенты и подаваемый в закачные скважины.

Продуктивный раствор (ПР) - раствор, сформировавшийся в недрах в результате физико-химического взаимодействия выщелачивающего раствора с минералами руд и вмещающих пород продуктивного горизонта и содержащий полезное ископаемое (ископаемые) в концентрации выше **минимально промышленной**.

Маточный раствор - продуктивный раствор, из которого извлечен полезный компонент. Маточный раствор используется для приготовления выщелачивающего раствора путем доукрепления его выщелачивающими реагентами.

Геотехнология – наука о геотехнологических методах добычи полезных ископаемых и средствах их осуществления.

Геотехнологические методы – методы добычи, основанные на переводе полезного ископаемого в подвижное состояние посредством осуществления в недрах тепловых, массообменных, химических и гидродинамических процессов, осуществляемых на месте залегания, что позволяет производить добычу полезного ископаемого из недр или отвалов, через специальные дренажные выработки или скважины.

Горнорудная масса (ГРМ) – часть общей массы продуктивного водоносного горизонта (включающего рудные тела и вмещающие породы), охваченная потоком технологических растворов, размерность – (т).

Дебит (производительность) скважины – объём жидкости или раствора, откачиваемого из скважины в единицу времени.

Окислительно–восстановительный потенциал (ОВП) -мера химической активности элементов или их соединений в обратимых химических процессах, связанных с изменением заряда ионов в растворах, или, проще, мера активности электронов в окислительно – восстановительных реакциях.

Отношение Ж:Т – количество выщелачивающего раствора (Ж), приходящегося на единицу выщелачиваемой рудной массы (Т) при заданной степени извлечения.

Приёмистость скважины – объём жидкости, закачиваемый в скважину в единицу времени при определенном давлении.

Продуктивный (рудовмещающий) горизонт – водоносный горизонт или его часть (подгоризонт, пласт), в котором локализованы рудные залежи.

Подземное скважинное выщелачивание (ПСВ) – процесс переработки руд в естественных условиях в рудных телах, вскрытых технологическими скважинами и подготовленных к выщелачиванию. В процессе добычи обеспечивается закачка растворов через закачные скважины и вывод растворенного полезного ископаемого через откачные скважины.

Скважина – цилиндрическая горная выработка, характеризующаяся малым поперечным сечением по отношению к её длине.

Скважины закачные – скважины, через которые в рудные тела подается выщелачивающий раствор.

Скважины откачные – скважины, через которые из рудного горизонта выдается на поверхность продуктивный раствор. В практике подземного выщелачивания закачные и откачные скважины могут меняться назначением.

Фильтрация - движение жидкости в пористой среде под действием гравитации или градиента напора.

Эксплуатационный блок ПСВ - геологический однородная часть залежи, обрабатываемая единой системой скважин, которые одновременно включаются в процесс добычи и одновременно выводятся из процесса.

Эффективная мощность - мощность области циркуляции технологических растворов в блоке.

ВВЕДЕНИЕ

Сырьевую базу предприятий, добывающих уран методом подземного выщелачивания, в настоящее время составляют главным образом бедные месторождения гидрогенного генезиса, залегающие в водопроницаемых песчано-глинистых отложениях депрессионных зон земной коры [1,2]. Эти месторождения, несущими в себе запасы урана до последнего времени не были вовлечены в промышленную разработку традиционными способами добычи по технико-экономическим соображениям. Эта важная задача, имеющая большое народнохозяйственное значение, к настоящему времени в значительной степени решена. Особенно в последнее десятилетие были проведены большие работы по разработке и внедрению в промышленных масштабах геотехнологической добычи урана, получившей название метод подземного выщелачивания [3-6].

Подземное выщелачивание – метод добычи урана путем избирательного его растворения химическими реагентами из руд на месте их залегания и последующего извлечения из урансодержащих растворов. Подземное выщелачивание является альтернативой методам открытой и подземной разработки. По сравнению с ними, подземное выщелачивание не требует большого объема выемок или непосредственного контакта рабочих с горными породами по месту их нахождения. Эффективно даже на бедных месторождениях, а также для разработки глубокозалегающих руд.

Несмотря на его преимущество имеется ряд недостатков, основными из которых являются повышение себестоимости добычи и снижение содержания полезного компонента в массиве. Как известно, выщелачивание сопряжено с переработкой больших количеств сырья, стоимость выщелачивающих реагентов в значительной мере определяет себестоимость конечного продукта, так как затраты на реагенты составляют 27 – 45% от эксплуатационных затрат на выщелачивание.

Существуют различные способы повышения извлечение содержания урана в продуктивном растворе [1,2,3,4]. Но они отличаются дороговизной и технологическими сложностями их применения. Поэтому, повышение эффективности подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) урана путем повышения содержания урана в продуктивном растворе и снижения себестоимости добычи является актуальной задачей.

Целью настоящей работы является повышение содержания урана в продуктивном растворе и снижение расхода реагента при подземном скважинном выщелачивании урана с активацией выщелачивающего раствора.

Задачами исследования являются:

- изучение геологических особенностей и анализ применяемой технологии ПСВ урана на месторождении «Центральный Мынкудук»;
- анализ литературных источников и научно-исследовательских работ по повышению эффективности ПСВ урана;
- разработка технологии активации выщелачивающего раствора;

- проведение исследований по установлению влияния активации компонентов рабочего раствора на содержание урана в продуктивном растворе;
- лабораторные исследования влияния активированного раствора на содержание урана в продуктивном растворе при различных концентрациях реагента и установление времени активации;
- лабораторные исследования по установлению влияния времени выдержки выщелачивающего раствора после активации на содержание урана в продуктивном растворе;
- опытно-промышленные испытания предлагаемой технологии;
- обработка результатов исследования и выдача рекомендации.

Новизна темы заключается в повышении содержания урана в продуктивном растворе и снижении расхода реагента путем механической активацией выщелачивающего раствора.

Положения, выносимые на защиту:

- активация выщелачивающего раствора до подачи его в закачную скважину приводит к повышению содержания урана в продуктивном растворе и снижает расход реагента. Например, в производственных условиях повышение содержания урана составило 8%, а расход реагента снизился за счет сокращения срока отработки блока;
- содержание урана в продуктивном растворе зависит от времени активации выщелачивающего раствора и времени выщелачивания. Например, с изменением времени выщелачивания до 5 минут, активация раствора в течение 3 минут приводит к повышению содержания урана в продуктивном растворе на 10%, при 5 минутах - на 21% и при 10 минутах – на 18%;
- с течением времени после активации выщелачивающего раствора наблюдается незначительное снижение ее активности, но его активность сохраняется до 30 дней. Например, при активации раствора в течении 3 минут и последующим выщелачиванием 5 минут получены следующие результаты: сразу после его активации содержание урана в продуктивном растворе повышается на 10%, после выдержки в течение 2 часов – на 9,5%, через 30 суток – на 9%.

Научная новизна работы:

- разработана технология повышения содержания урана в продуктивном растворе, отличающаяся обработкой выщелачивающего раствора на активационной установке до его подачи в закачную скважину;
- получена зависимость содержания урана в продуктивном растворе от времени активации выщелачивающего раствора, позволяющая установить оптимальное время активации и обеспечить максимальное содержание урана в продуктивном растворе;
- получена зависимость содержания урана в продуктивном растворе от времени выдержки выщелачивающего раствора после активации, что позволит установить снижение активности выщелачивающего раствора за время его транспортировки от места активации до пласта.

Связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами. Диссертационная работа выполнена в рамках хозяйственного договора №50 – ТОО – 19 от 20.02.2019г «Разработка технологии интенсификации процессов денитрации и выщелачивания в условиях участка «Центральный» месторождения «Мынкудук».

Объектом исследований является месторождение «Центральный Мынкудук», расположенный в Сузакском районе Туркестанской области.

Предметом исследований является технология активации рабочего раствора при ПСВ урана.

Методологическая база исследований:

- анализ современного состояния применения ПСВ урана и НИР по повышению ее эффективности;
- разработка методики проведения лабораторных исследований;
- проведение лабораторных и опытно-промышленных работ;
- сбор и анализ статистических данных;
- обработка результатов исследования и выдача рекомендации.

Практическая значимость диссертации заключается в разработке технологии активации рабочего раствора для повышения содержания урана в продуктивном растворе и снижения расхода реагента.

Публикации и апробация работы. Результаты работы докладывались на международных научно-технических и научно – практических конференциях:

- Сатпаевские чтения на тему «Инновационные технологии – ключ к успешному решению фундаментальных и прикладных задач в рудном и нефтегазовом секторах экономики РК» 2019 (год);
- Сборник научных трудов 15-й международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Минск – Тула – Донецк, 29 – 30 октября 2019 г.
- Сатпаевские чтения 2020 – 2021 на тему «Разработка рудных и нерудных ископаемых»; 2021 год.

Публикации, включают статьи в журналах «Горный Журнал Казахстана» (Алматы, 2021), «Новости науки Казахстана» (Алматы, 2021), а также в рейтинговых журналах «Mining of mineral deposits», (Днепр, 2019), «Известия» НАН РК (Алматы, 2021), «Уголь» (Москва, 2021).

Структура и объем работы: Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения, библиографического списка из 21 наименований и содержит 65 страниц машинописного текста, 35 рисунков, 13 таблиц и 3 приложения.

Автор выражает искреннюю признательность и благодарность научным консультантам ассоциированному профессору Абен Е.Х. и профессору Алиеву С.Б. за полезные советы, ценные замечания и постоянное внимание в ходе выполнения данной работы.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Месторождение Мынкудук является Центральным участком, который расположен в центральной части Чу–Сарысуйской провинций. Орографический район расположен поблизости месторождения Мынкудук на территории плато Бетпакдала, время от времени представлена массивными такырами. С севера и запада плато ограничивается изрезанным уступом, который относительно превышает 80-100 м, а на юге возвышенность перетекает в пологую наклонную пустынную равнину к долине реки Чу. В области месторождения на выразительных участках распространяется сохранившаяся древняя денудационная равнина с абсолютными отметками около 220 – 300 м.

Гидрографическая сеть представляет собой реку Сарысу и Чу, протекающие с востока на запад в 110 км южнее участка Центральный месторождения «Мынкудук» [5].

Район известен резко континентальным, пустынным климатом, характеризуется повышенными годовыми и суточными колебаниями температуры, малой облачностью, жарким летом, суровой зимой, короткой весной, незначительным количеством осадков, постоянством дующих ветров. Температура преимущественно в жаркие месяцы июня – июля достигает до +43 - +46°С, морозы в январе месяце - до - 40°С.

Поселок Шиели является ближайшей железнодорожной станцией, находящаяся в 240 км. Связь с железнодорожными станциями и районом работ производится спецавтотранспортом. Непосредственно поблизости Мынкудукского месторождения населенных пунктов нет. Самые ближние населенные пункты это – поселок Кыземшек, который находится в 96км, и поселок Тайконур, находящийся в 70км. Промышленность региона знаменита добычными предприятиями АО «НАК Казатомпром», связанные между собой асфальтированными дорогами.

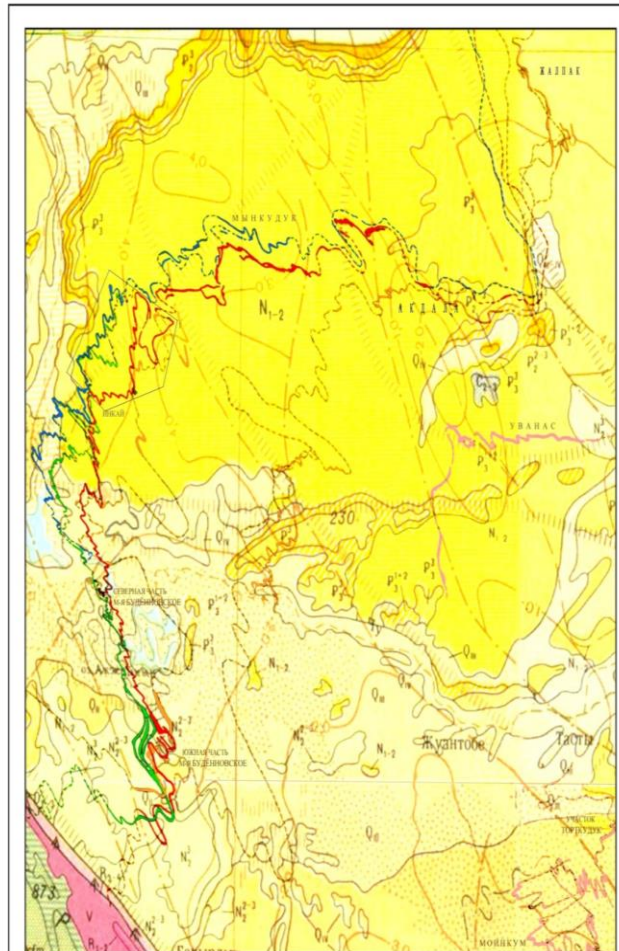
Техническое водоснабжение на территории месторождения «Мынкудук» производится благодаря подземным водам палеоцен - эоценового и мелового горизонта. Горизонты грунтовых вод местности из-за высокой общей минерализации (3.3 – 6.0 г/л) пригодны лишь для технических целей [5].

1.1 Краткая геология месторождения

Месторождение Центрального участка Мынкудук известно наличием мощных и мало мощных линзообразных глин сероватого цвета, распределенные как в нижней части горизонта, так и по всему горизонту [1]. Такое размещение обусловило довольно заметную литолого – фациальную неоднородность мынкудукского горизонта (mk1). Нижний подгоризонт представляет собой руслово – стрежневые фации, а в верхнем распространяется русловые песчаные образования. Вместе с тем роль глинистых прослоев повышается с востока на запад, наблюдается увеличение мощности прослоев и их протяженность. На рисунке 1.1 приведена геологическая карта месторождения Мынкудук.

Стратиграфиялық бағана

Неогеологиялық		Кайнозойлық		Мезозойлық		Палеозойлық		Протогеологиялық	
Қызыл	Жасыл	Қызыл	Жасыл	Қызыл	Жасыл	Қызыл	Жасыл	Қызыл	Жасыл
Жыныстардың қысқаша сипаттамасы.									
Қызыл, ұсақ: пен секесі бір қы.									
Жіліне майла тұйрықтасқан сарым-далалы қы.									
Далалы сұр, мөселгі майла тұйрықтасқан талас қылары бір қытайтас.									
Қызыл материалдардан көп мөлшері мен острональк микрофоссы бір қысайтас.									
Алаң қызыл, талас, мөселгі, сұр-жасыл қытайтас.									
Ферромифер қабырғасы, теңір-сульфид, балық қалдықтары бір сұр-жасыл мерзі.									
Балықты қабырғасы бір қалың қабаты сұр-жасыл қытайтас саз етегісіз ағуа тістері бір қытайтас қызыл.									
Ашық сұр кристалды саз, малоса қабырғасы бір саз, қабаты.									
Көкті-сұр қытайтас саз.									
Сазды қытайтас, жуық қызыл.									
Жоғары белгіде қарбытасы, сұр, майла тұйрықтасқан қызыл.									
Қытайтас сұрлар.									
Орта және төменгі бөліктегі ашық-сұр, ашық-сары майла тұйрық қызылмен көтерілген.									
Қабатсыз ағыл түсі қытайтас.									
Сазды, ашық, ашық-сары, майла тұйрықтасқан таласқан қызыл және қы.									
Сазды, ашық-түсті, қабатыс қытайтас.									
Қызыл сұр, орта ашық, ашық көгеріс, қы, көгер сары ашық сұр, ашық, тұрп тұйрықтасқан қабатыс көгеріс.									
Қызыл, қабатыс қытайтас.									
Сұр-жасыл, майла тұйрықтасқан қы және көгеріс.									
Сазды қызыл майла тұйрықтасқан қызыл.									
Қызыл мен сары түсті иішар біленген қы мен қызыл, ашық және қабаты мен мөселгі, таласқан, ашық түсі қытайтас.									
Гостроизден палеозойда қалдықтары.									
Палеозой жыныстарының бөліктері бір қалың қабатыс қысайтас сазбен желдету тақыры.									



Шартты белгілері

- Миоцен. Қызыл қытайтас.
- Жоғары эоцен. Жасыл саз.
- Ортаны эоцен. Мергілі сұр-қызыл саз.
- Төменгі эоцен. Сұр саз глауканитті қы қабатымен.
- Палеоцен. Эктас, доломит, гипс, сұр-көк қызыл қытайтас және құлтас.
- Камапан. Құлтас, қы, сұр, сары, қызыл, құмайтас.
- Селтон. Қызылқытас, қы, құлтас, сұр-сары, қызыл қытайтас.
- Көкжық. Қызылқытас, қы, құлтас, сұр-сары, қызыл қытайтас.
- Жоғары турон. Жасыл-сұр қы, сұр қытайтас қабаты.
- Төменгі турон-сенонан құмдал. Құлтас, сұр, қызыл қытайтас.
- Ортаны девон және жоғары бөлігі Конгломерат, кварц құлтасы.
- Палеозой. Кристалды іретас.
- Стратиграфиялық белгішелердің шеңбері.
- Негізгі платформалық құрылым острері, антиклинальдық, синклинальдық.
- Көне регионалды ұзақ өмірлі сынықтар зоналары.
- Регионалды сынықтары.
- Ұрандық кентері, балансы кентүрші сызық.
- Қима сызығы.
- Изогипс қамапан қабатының түйнігі.

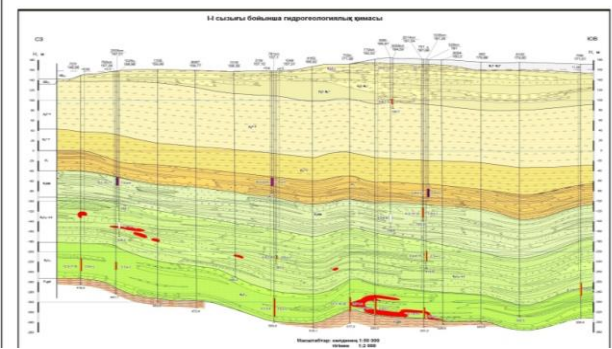


Рисунок 1.1 – Геологическая карта Месторождения Мынкудук

Урановая и сопутствующая минерализация.

Руды мынкудукского горизонта по минералогическому составу месторождения Мынкудук, и участка Центральный в особенности, являются коффинит – настурановыми. На общем балансе урановых минералов по району, которые подсчитаны по показателям рентгенофазового анализа и электронно-микроскопических исследований, коффинит составляет 15%, а настуран – 85%. Размещение урановых минералов в разных уранонакопителях на районе Центральный указано в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Распределение урановых минералов в различных ураноаккумуляторах

	Настуран				Коффинит			
	Всего определено	в том числе			Всего определено	в том числе		
		в обугленном растительном детрите	в рыхл. алевроито гл. запол.	в тяжелой фракции		в обугленном растительном детрите	в рыхл. алевроито-глин. заполнителе	в тяжелой фракции
к-во	108	19	64	25	19	6	12	1
вес, %	100	0,4	99,2	0,4	100	0,6	99,3	0,1

Во взаимосвязи настурана и коффинита в различных элементах рудных залежей конкретной закономерной зависимости не обнаружено [6].

Настуран (UO_2) и коффинит ($USiO_4$) в образцах керна и под микроскопом, в сущности, не различить. В какой – то мере это можно объяснить тем, что оба минерала практически всегда встречаются вместе и не редко формируют тесные микросрастания настурана и коффинита, что можно заметить лишь под электронным микроскопом. Макроскопическим коффинит настуран представлены мягкими, черными, сажистыми минералами, которые образуют дисперсную вкрапленность в рыхлом проницаемом цементе песков, корочки терригенных зеренна поверхности, мономинеральные обособления в микротрещинах и порах этих зерен. Реже, в сравнительно богатых рудах, коффинит и настуран формируют гнездав песке с базальным цементом, в полном объёме замещают обугленную растительную органику и развиваются по зернам лейкоксенов.

Участок Центральный включает в себя залежи 8 и 10, локализованные в мынкудукском горизонте, приведены в таблице 1.2.

Основные параметры этих залежей. Ниже приводится описание морфологических особенностей рудных залежей участка Центральный, разведанных во втором этапе детальной разведки месторождения.

Залежь 8 расположена в восточной части рудоносной полосы Центрального участка. Работы второго этапа разведки проводились в восточной части залежи, где она сужается (50 – 350 м) и приобретает линейный характер. Как отмечалось в отчете по первому этапу детальной разведки (10), залежь характеризуется очень сложным строением в вертикальном разрезе. Обилие многочисленных непротяженных линз глин обуславливают сложную конфигурацию границ ЗПО и сложную морфологию оруденения с образованием раздувов, ролловых тел неправильной формы, останцовых рудных линз, мешковых тел, связанных с фильтрационными окнами в нижней части горизонта. Залежь характеризуется неравномерным содержанием пустых прослоев, занимающих в ее объеме значительное место.

Таблица 1.2 – Характеристика размеров рудных залежей участка Центральный месторождения Мынкудук

Номера залежи	Интервал профилей		Протяженность, км	Ширина залежи, м		Глубина залегания подошвы залежи, м	Положение по отношению к нижнему водопороду, в % к площади залежи		Доля запасов от общего по месторождению, в %
	от	до		от	до		менее 10м	более 10м	
8	288	212	8,8	50	1300	305-345	82	18	9,2
10	212	48/1	26,4	50	800	340-365	84	16	27,1
18	48/1	620	1,1	50	320	300-315	65	35	0,3
Итого по участку			36,3				77	23	36,6

Содержания урана и мощности рудных тел варьируются в широких пределах: от 0,015 до 0,177% и от 0,90 до 16,80 м соответственно.

Залежь 10 является самой крупной на месторождении. За второй этап разведки около 65% площади залежи было переведено из категории С₂ в С₁. При этом, протяженность залежи была увеличена на 5,5 км за счет увеличения протяженности рудоносной полосы на крупных изгибах, установленных на первом этапе разведки. В этих местах залежь имеет максимальную ширину, достигающую 800 м. В плане залежь имеет облик слабо извилистой ленты северо-западного направления. В разрезе залежи преобладают роллы с развитыми мешковыми частями, приуроченными к нижнему подгоризонту и залегают непосредственно на палеозойском основании. Она характеризуется наиболее высокими содержаниями урана, распространенными на значительную мощность. Помимо главного роллового тела, в составе залежи выделяются обособленные в плане тела, связанные с осложнениями границы ЗПО в средней и верхней частях горизонта, представленные роллообразными формами с короткой мешковой частью и неразвитыми крыльями, а также тела, приуроченные к верхней границе ЗПО, представляющие собой неправильные линзы. В составе залежи выделяются непротяженные рудные линзы, являющиеся отторгнутым верхним крылом. Содержания урана в залежи варьируются от 0,014 до 0,240%, мощности 0,90 – 20,7 м.

bv, локализованная в нижнем подгоризонте инкудукского горизонта, на две трети расположена на участке Осенний, и в пределы геологического отвода участка Центральный заходит своей северной частью. В плане – это ряд отдельных рудных линз, очень извилистых и сложно построенных, имеющих С – 3 ориентировку. Рудные тела с трудом увязываются между собой по соседним

разрезам, представлены роллами, линзами и останцами крыльев. Большая часть залежи имеет выдержанный нижний водоупор – глины в кровле мынкудукского горизонта. Содержание урана низкое, не превышает 0,015 – 0,092%, а мощность от 1,5 до 10,8 м.

1.2 Технология подземного скважинного выщелачивания

Проблема оптимальности сетей образовалась, с начала возникновения первых добычных полигонов в 70–ые годы, и тогда же был установлен главный критерий оптимальности: приобретение максимального количества урана при минимально доступных затратах при данных геотехнологических свойствах руд обрабатываемого участка.

В соответствии с проектом промышленной обработки месторождение Центральный Мынкудук разделено на три добычных участка: Центральный, Западный и Восточный.

Запасы участка «Центр» практически полностью вскрыты до 2014 года.

Всего запасов на начало отработки 46 638 тыс. тонн

Погашено 18 274 тыс. тонн на 25.09.18г.

Остаток 28 364 тыс. тонн. на 25.09.18г.

Протяженность месторождения 29 км.

Принимая во внимание незначительный спектр возможностей управления процессом ПСВ (возможно регулировать лишь дебиты/приемистости скважин и концентрацию кислоты в ВР, добавку активаторов процесса, в какой – то степени и при дополнительных затратах – направления потоков в прорабатываемом объеме ГРМ), разработка оптимальной схемы вскрытия имеет важнейшее значение для получения успеха всего процесса отработки блока или участка.

По состоянию на 01.10.2018 года на участке «Центральный» месторождения «Мынкудук» на этапе активного выщелачивания работают 70 технологических блоков из них 58 технологических блоков (данные без учёта объединения технологических блоков) вскрыты гексагональной схемой, а 12 технологических блоков вскрыты рядной схемой. Гексагональная схема вскрытия приведена на рисунке 1.2, а рядная схема вскрытия приведена на рисунке 1.3.

Техническая характеристика гексагональной схемы вскрытия:

- радиус ячейки 50 м;
- сеть 50 – 30 – 25;

Техническая характеристика рядной схемой вскрытия:

- радиус 45 – 50 м;
- сеть 50 – 30 – 25 м;

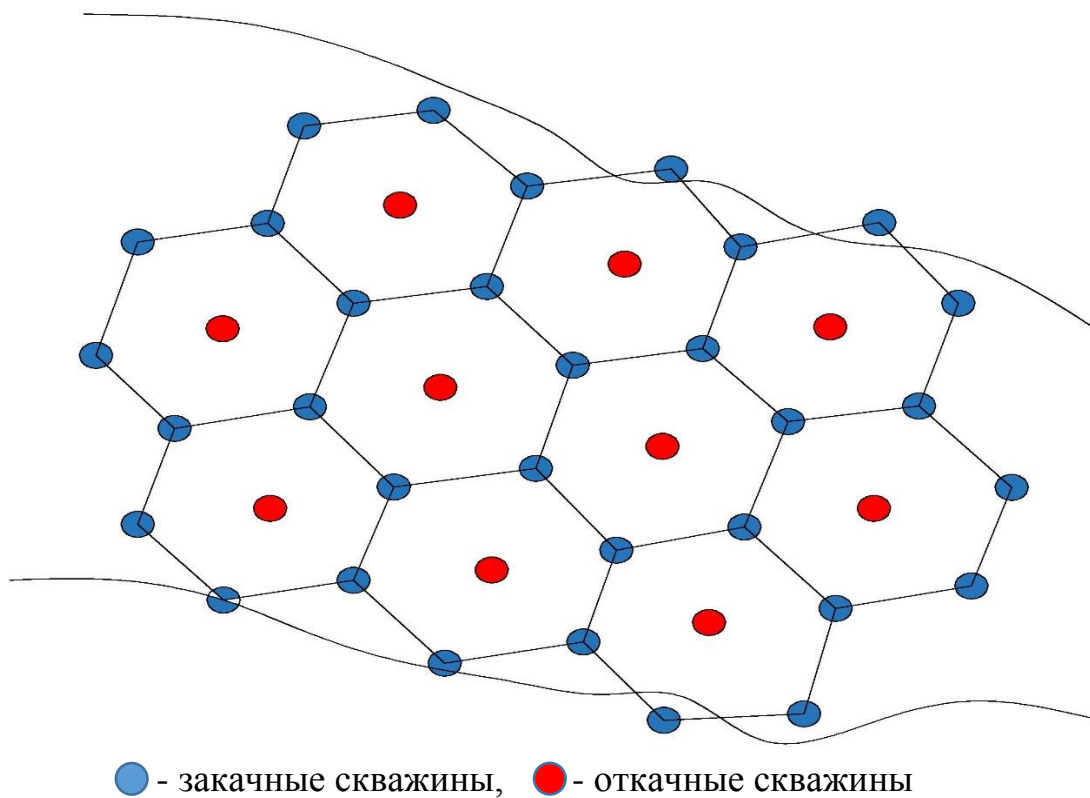


Рисунок 1.2 - Гексагональная схема вскрытия

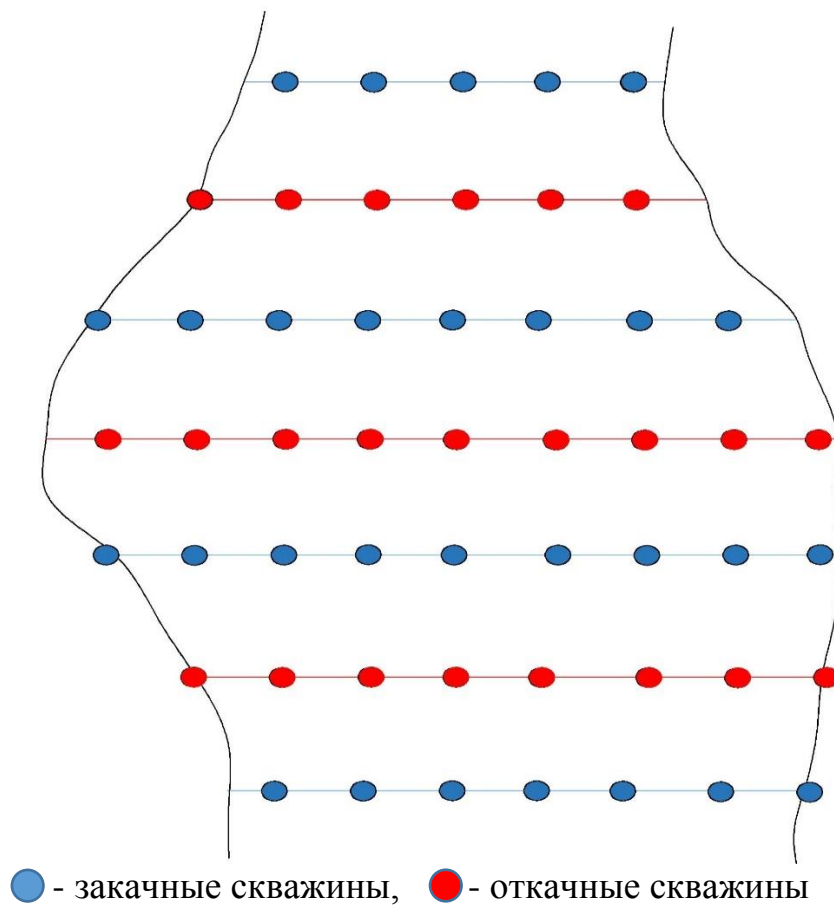


Рисунок 1.3 - Рядная схема вскрытия

Взяв за основу вышеупомянутое принята сеть бурения 50×30×25м. Согласно данным геологических и разведочных исследований, предоставленных ТОО «ДП Орталык», для бурения скважин применяется бурильная установка – ЗИФ 1200МРК. По своим техническим характеристикам ЗИФ 1200МРК способна бурить с диаметром 93 мм – 1500 м, а с диаметром 59 мм – до глубины 2000 м [5]. На рисунке 1.4 приведена фотография бурильной установки ЗИФ 1200.



Рисунок 1.4 – Бурильная установка ЗИФ 1200

Обвязка технологических скважин производится традиционным способом, т.е. проводится магистральный трубопровод для выщелачивающего раствора, из которой раствор распределяется по закачным скважинам (рисунок 1.5). Для продуктивного раствора так же проводится магистральный трубопровод, куда подается продуктивный раствор из откачных скважин.

Конструкция закачных и откачных скважин разная, так как в верхней части откачной скважины располагается погружной насос, поэтому часть скважины разбуривается большим диаметром, обсаживается трубами большего размера и оборудуется верхний торец скважины соответственно более дорогим оголовком. К месту расположения технологического узла и каждой такой скважины от трансформаторной подстанции и от узлов распределения растворов прокладываются электрокабели. Конструкция эксплуатационных скважин приведена на рисунке 1.6.

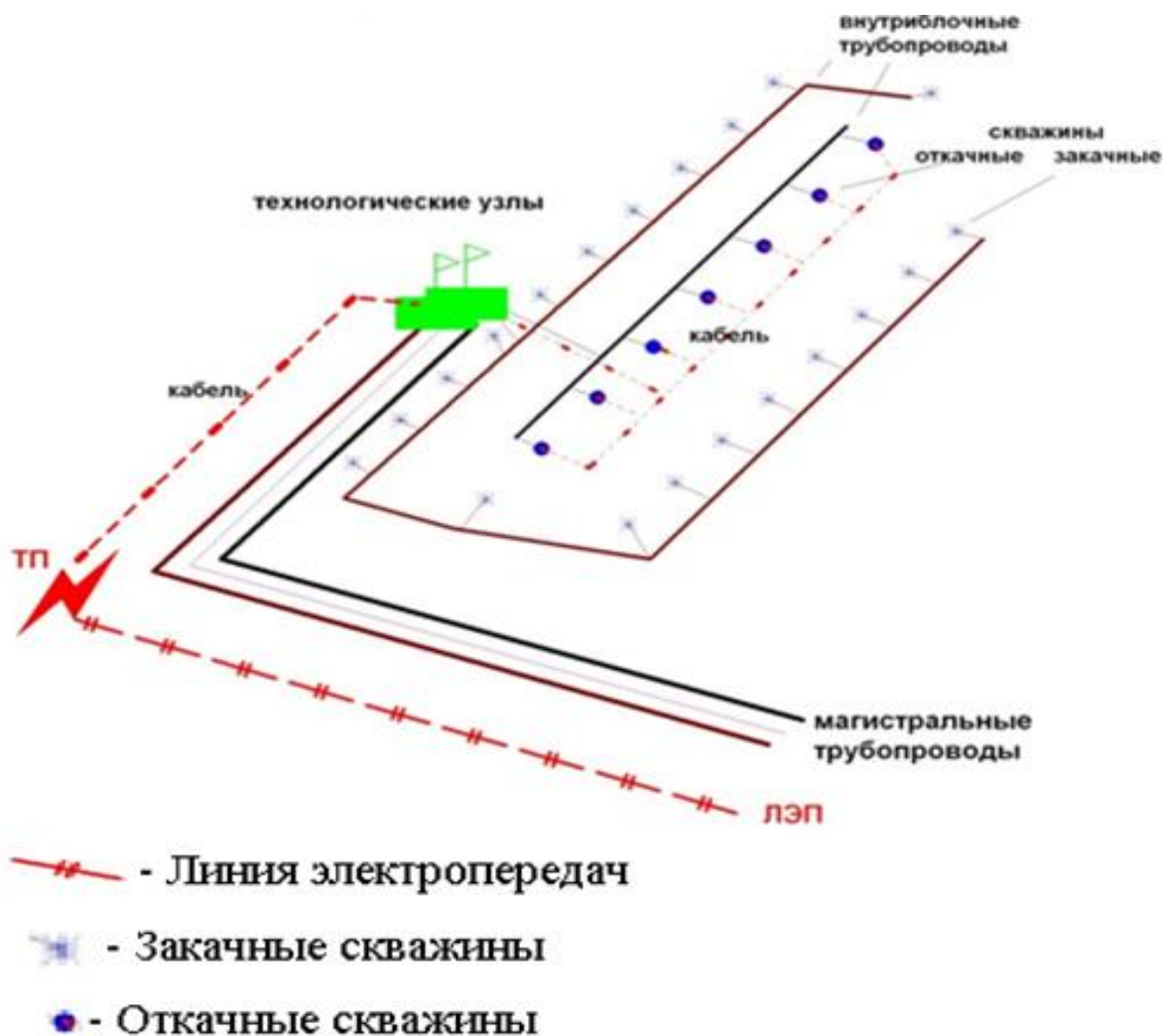


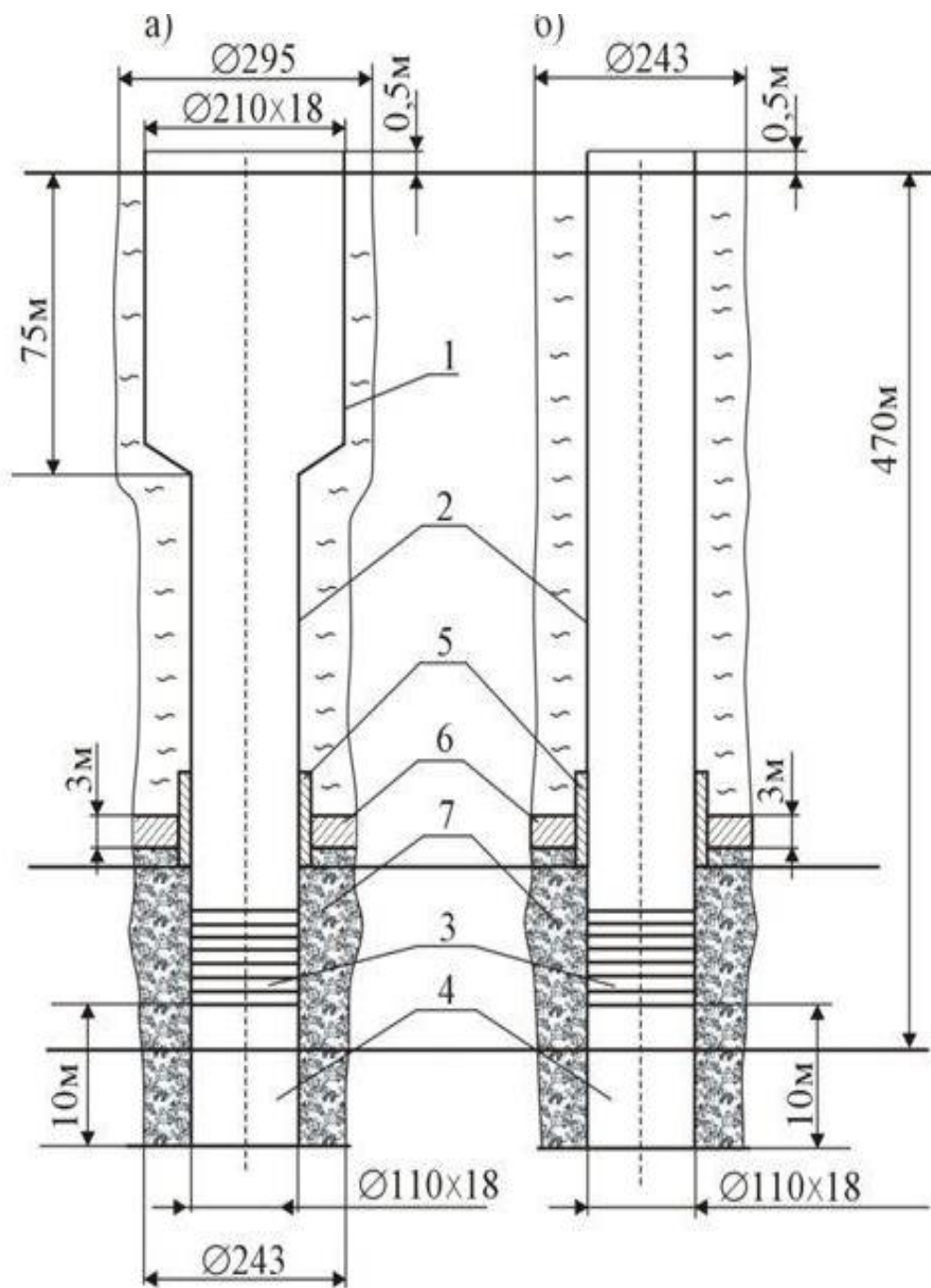
Рисунок 1.5 – Схема обвязки технологических блоков

Основываясь на морфологические параметры рудных тел, принятой сети размещения скважин, вещественного состава руд и вмещающих пород, водно-физических свойств продуктивного горизонта, закисление будет проводиться выщелачивающими растворами с концентрацией серной кислоты до 25 г/л с продолжительностью от 1,3 до 4,7 месяцев для получения продуктивных растворов с промышленной концентрацией урана (40 – 50 мг/л) и $pH < 3$.

По результатам опытно-экспериментальных работ на месторождении дебит откачных скважин варьируется от 5,8 до 7,2 м³/час; при этом приемистость закачки составляет 2 – 4 м³/час.

Стадия активного выщелачивания отмечается интенсивностью перехода урана в продуктивный раствор и его переносом в откачные скважины.

Концентрацию рабочих растворов серной кислоты на данном этапе, в условиях месторождения, необходимо поддерживать на уровне 6 – 8 г/л. При этом, варьируя содержание серной кислоты в указанных пределах, нужно обеспечивать поддержание pH в продуктивных растворах на уровне 2,0 – 2,2 ед. и Eh – 400 – 500 мВ. Регламент работы откачных и закачных скважин точно такой же, как и в период закисления.



- 1 – обсадная труба под погружной насос; 2 – обсадная труба; 3 – фильтр;
 4 – отстойник; 5 – утяжелитель; 6 – цементная пробка; 7 – гравийная засыпка.
 а) откачная скважина б) закачная скважина

Рисунок 1.6 – Конструкция эксплуатационной скважины

Выщелачивание урана проводят рабочими растворами, полученными путем дополнительного укрепления серной кислотой до заданной концентрации (6 – 8 г/л) оборотных и маточных растворов.

Данные о содержании урана и величине рН в продуктивных растворах, кислотности выщелачивающих растворах приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Содержание урана и величина рН продуктивных, кислотность выщелачивающих растворов участка ОПВ

Показатель	2007											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
рН растворов, ед.							6,00	4,95	3,89	2,46	2,33	2,27
Кислотность ВР, г/л.							19,5	25,1	25,4	15,4	12,2	10,1
Содержание U в ПР, мг/л							0	4	47	128	151	137

Показатель	2008											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
рН растворов, ед.	2,07	2,00	1,94	1,88	1,86	1,76	1,74	1,72	1,65	1,56	1,71	1,73
Кислотность ВР, г/л.	10,3	9,9	10,0	10,2	9,9	9,3	9,5	9,7	8,2	6,9	9,0	8,0
Содержание U в ПР, мг/л	159	160	162	167	201	224	212	205	198	199	179	153

Показатель	2009											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
рН растворов, ед.	1,80	1,83	1,69	1,65	1,70	1,78	1,82	1,86	1,85	1,71	1,54	1,57
Кислотность ВР, г/л.	10,8	10,3	7,2	6,2	5,0	4,4	5,6	6,7	6,6	8,6	6,9	6,2
Содержание U в ПР, мг/л	149	145	150	148	140	135	133	106	101	102	99	92

Показатель	2009											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
рН растворов, ед.	1,71	1,71	1,59	1,66	1,58	1,61	1,53					
Кислотность ВР, г/л.	6,4	6,0	5,1	4,2	6,0	5,5	6,2					
Содержание U в ПР, мг/л	90	92	72	79	79	81	76					

На рисунке 1.7 приведена динамика изменения содержания урана в ПР, величины рН продуктивных растворов и кислотности ВР.

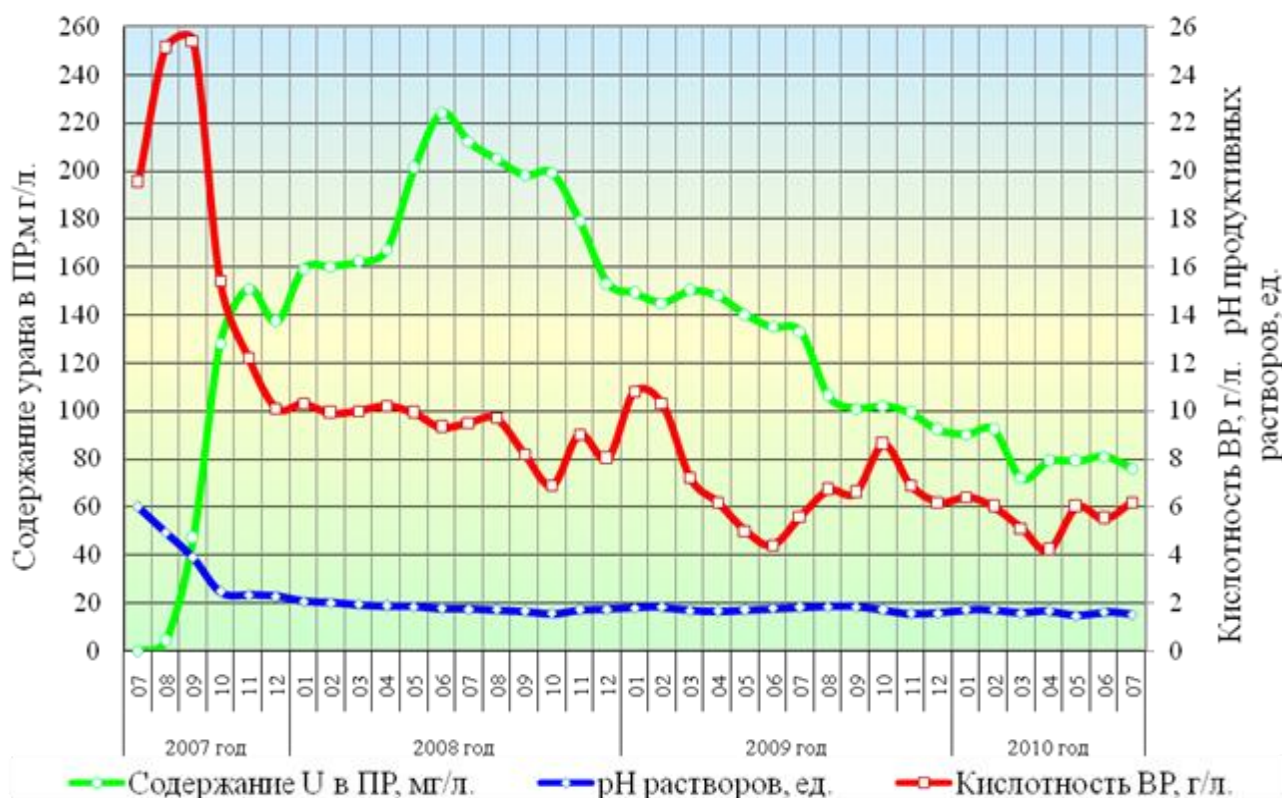


Рисунок 1.7 – Динамика изменения содержания урана в ПР, величины рН продуктивных растворов и кислотности ВР

Характеристика продуктивных растворов (содержание урана, величины рН и Eh, концентрации 2-х и 3-х валентного железа) откачных скважин опытного участка, а также кислотность выщелачивающих растворов приведена в таблице 1.4.

Таблица 1.4 - Характеристика продуктивных растворов

Дата пробоотбора		U	Fe ⁺²	Fe ⁺³	Ca	Mg	Al	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	P	Cl	SiO ₂	pH	ОВП	Мех. ВЗВЕСИ
		мг/л	г/л	г/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	г/л	мг/л	г/л	мг/л	ед. рН	мВ	мг/л
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2007	июль	0	0,34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,00	23	0
	август	16	0,58	0	480	243	162	12	3,2	14	1,24	30	4,85	87	18
	сентябрь	61	0,77	0,01	540	383	176	24	6,5	18	1,40	46	3,85	143	14
	октябрь	146	0,85	0,01	480	353	189	32	8,8	39	1,53	42	2,64	209	12
	ноябрь	159	1,13	0,01	500	353	203	44	8,5	32	1,57	56	2,40	279	10
	декабрь	144	1,24	0,01	480	383	223	48	8,8	30	1,54	48	2,22	309	31
2008	январь	163	1,34	0,01	500	243	162	50	8,7	28	1,62	57	2,09	326	36
	февраль	178	1,43	0,06	540	401	202	76	8,4	23	1,97	60	2,00	343	43
	март	172	1,40	0,05	480	484	176	68	10,0	32	2,05	55	1,90	352	45

Продолжение таблицы 1.4

	апрель	181	1,44	0,11	540	522	189	117	11,8	30	1,92	58	1,79	365	82
	май	197	1,53	0,08	540	499	203	147	13,0	46	1,83	46	1,64	373	40
	июнь	180	1,57	0,14	541	450	223	145	12,2	34	2,02	48	1,72	374	29
	июль	155	1,54	0,05	541	450	263	123	11,6	36	2,03	45	1,68	375	18
	август	160	1,62	0,06	540	383	283	144	12,8	42	2,03	52	1,67	370	39
	сентябрь	163	1,75	0,07	541	353	283	160	14,1	56	2,04	56	1,67	365	51
	октябрь	165	1,86	0,06	540	353	338	174	15,7	70	2,17	60	1,66	359	181
	ноябрь	149	1,82	0,11	500	383	410	281	16,2	42	2,04	59	1,66	358	190
	декабрь	137	1,91	0,07	490	370	475	296	15,0	44	1,90	67	1,72	366	137

2009	январь	126	1,99	0,21	500	401	429	333	13,6	36	1,77	62	1,70	372	134
	февраль	122	1,77	0,10	500	346	319	330	14,4	53	1,89	42	1,68	377	33
	март	111	1,92	0,12	520	346	353	408	15,0	46	1,63	58	1,64	379	54
	апрель	106	1,82	0,14	560	295	537	384	15,0	45	1,67	58	1,63	375	104
	май	100	1,87	0,14	460	258	518	504	14,0	45	1,88	58	1,73	375	105
	июнь	98	1,85	0,07	540	258	432	516	15,4	42	1,98	55	1,76	372	103
	июль	90	2,04	0,08	500	292	486	464	14,1	39	1,97	54	1,78	374	173
	август	87	2,10	0,11	480	438	535	458	15,2	42	1,87	54	1,72	374	96
	сентябрь	84	2,13	0,14	500	413	389	618	14,9	40	1,77	54	1,68	375	40
	октябрь	75	2,20	0,15	480	328	602	520	18,2	70	1,77	62	1,62	382	24
	ноябрь	71	2,25	0,14	500	292	486	516	16,4	53	1,88	58	1,58	386	18
	декабрь	67	2,17	0,14	520	307	396	462	14,3	46	1,88	54	1,54	383	14

2010	январь	68	1,79	0,13	520	437	373	648	14,5	57	1,77	58	1,75	365	12
	февраль	74	1,76	0,08	460	307	491	462	14,7	64	1,87	65	1,89	367	10
	март	76	1,93	0,14	420	306	467	486	16,5	66	1,84	64	1,81	369	31
	апрель	71	1,95	0,14	420	292	432	520	15,2	53	1,88	62	1,72	373	36
	май	68	1,98	0,14	380	365	398	656	13,6	58	1,92	57	1,64	377	43
	июнь	66	2,00	0,17	440	346	373	618	15,4	46	1,87	62	1,64	375	30
	июль	64	2,02	0,19	540	328	353	590	16,3	58	1,91	60	1,64	374	28

Динамика изменения содержания урана, величин рН и Eh, концентрации 2-х и 3-х валентного железа в продуктивных растворах по ячейкам откачных скважин представлены на рисунке 1.8.

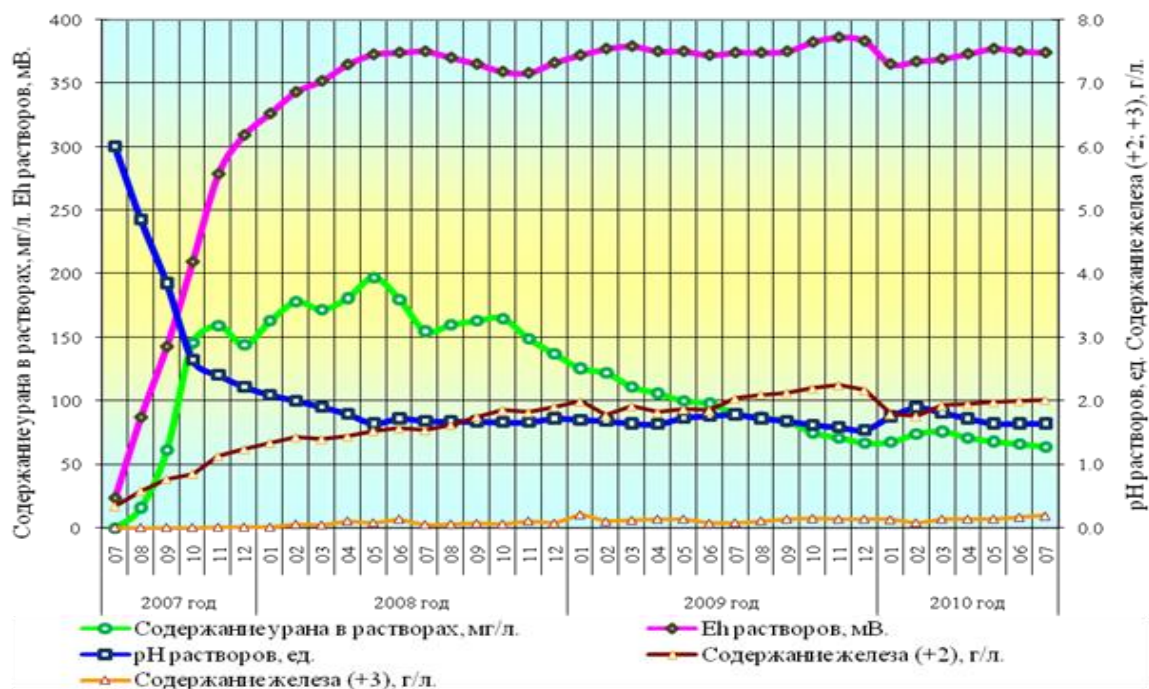


Рисунок 1.8 – Динамика изменения содержания урана, величин рН и Eh, концентрации 2-х и 3-х валентного железа в продуктивных растворах по ячейкам откачных скважин

1.3 Выводы по главе

Анализ технологии выщелачивания на данном месторождений показал, что при повышении концентрации серной кислоты до 25 – 26 г/л наблюдается повышение содержания урана в продуктивном растворе до 220 мг/л. После снижения кислотности выщелачивающего раствора до уровня 8 – 10 г/л, наблюдается снижение содержания урана в продуктивном растворе.

Как известно, для выщелачивания урана применяются серная, азотная и соляная кислоты, сода, бикарбонат натрия (двууглекислые соли) и карбонат (соли и эфиры угольной кислоты) аммония. Поскольку выщелачивание сопряжено с переработкой больших количеств сырья, стоимость выщелачивающих реагентов в значительной мере определяет себестоимость конечного продукта. На добывающих предприятиях масштабно используют при закислении пласта серную кислоту (H_2SO_4), и для того чтобы снизить расход на кислоту, проводят много опытов, так как затраты на реагенты составляет 27 – 45% от эксплуатационных затрат на выщелачивание. Некоторые из них это использование разных окислителей, такие как: кислород, озон, пероксид водорода, хлораты, гипохлориты и хлорамины.

Поведение урана при ПСВ в значительной мере зависит как от минерального состава месторождения, так и от его типа и возраста. Например, лучше всего растворяются черни и окисленные минералы, хуже – настуран, уранинит и смолка. При этом минералы U^{4+} (уранинит, настуран, коффинит) эффективно растворяются только в присутствии окислителей, которые

способствуют повышению окислительно – восстановительного потенциала в пласте [2].

При выщелачивании урана сернокислыми растворами существенную роль играет величина окислительно – восстановительного потенциала (ОВП) выщелачивающих растворов, значение которого определяется соотношением концентраций Fe (III) и Fe (II). Как известно, ионы трехвалентного железа применяются в сернокислом растворе в процессе выщелачивания урановых руд. Повышение доли трехвалентного железа способствует увеличению окислительно – восстановительного потенциала, что в свою очередь интенсифицирует процесс подземного скважинного выщелачивания и снижает удельную норму серной кислоты на выщелачивание и закисление. Поэтому выбор оптимального значения ОВП и оптимального окислителя для его повышения может играть большую роль [3]. Однако, применение различных окислителей приводит к повышению себестоимости выщелачивания.

Необходимо изыскивать новые технологические решения, позволяющие повысить содержание урана в продуктивном растворе, сократить срок отработки, что позволит снизить себестоимость ПСВ.

2. ПРЕДЛАГАЕМАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

2.1 Анализ способов интенсификации подземного скважинного выщелачивания урана

Для повышения эффективности подземного скважинного выщелачивания проведены ряд научно-исследовательских работ, опытно-промышленные испытания.

Способы интенсификации ПСВ делятся на 4 класса – гидродинамические, физические, физико-химические и химические.

Рациональность применения тех или иных способов зависит от характера конкретного месторождения (условий залегания, минерального состава и свойств вмещающих пород и урановых руд и пр.) [7].

Гидродинамические способы приводят к увеличению скорости фильтрации растворов в целом и обеспечивают максимальную равномерность скорости фильтрации. Физические, химические и физикохимические способы, как правило, повышают интенсификацию химических превращений, хотя некоторые из них могут также обеспечить увеличение скорости фильтрации растворов. Физические и физико-химические способы интенсификации процесса ПСВ в настоящее время применяются весьма ограниченно из-за высоких энергозатрат, хотя в регионах с низкой стоимостью электроэнергии в ряде случаев их применение может быть весьма эффективным. Например, разработанный в Республике Казахстан (РК) физико-химический способ, предусматривающий получение раствора для выщелачивания металлов из руд путем электролиза серной кислоты (в результате чего образуется сильный окислитель — пероксосульфатная кислота) и последующего разбавления отработанного анолита [8], не нашел применения в РК вследствие резкого роста стоимости электроэнергии в ураноносных регионах (до 0,075 долл/кВт·ч в конце 2008 г.). Однако для ураноносных регионов РФ, где стоимость электроэнергии составляет всего 0,016—0,028 долл/кВт·ч, указанный способ представляется вполне перспективным. Таким образом, наиболее эффективными из способов интенсификации процесса ПСВ являются химические и гидродинамические, причем гидродинамические способы более эффективны, когда процесс лимитируется скоростью фильтрации (т.е. при извлечении урана из легко выщелачиваемых руд, либо при пониженной проницаемости пласта). Химические же способы более эффективны, когда процесс лимитируется скоростью химической реакции (т.е. при извлечении урана из трудно выщелачиваемых руд). Следовательно, выбор того или иного способа интенсификации процесса ПСВ определяется тем, какая из стадий процесса является лимитирующей — кинетическая или диффузионная.

В практике ПСВ в первые десятилетия (60–70 годов) одним из распространенных физических методов интенсификации являлось изменение направления фильтрационных потоков (метод реверсирования) по отношению к технологическим скважинам. Переоборудование нагнетательных скважин в откачные (дренажные) и наоборот [9,10]. Застойные («мертвые»)

гидродинамические зоны, формируемые в результате искривления, линия тока растворов (2-х мерная фильтрация в плане), не позволяли эффективно, путем создания соответствующего фильтрационного режима, прорабатывать рудные участки, приуроченные к таким зонам. Выщелачивание урана на участках зон происходит, в основном, в диффузионном режиме, скорость выщелачивания которого несравнима (на несколько порядков ниже) со скоростью фильтрации. Технология реверсирования потоков позволяла на заключительной стадии процесса ПВ, когда содержания урана в продуктивных растворах снижалось до уровня 10 – 12 мг/л, путем создания фильтрации растворов через застойные зоны повысить средние значения концентрации урана в откачиваемых растворах.

Представляет интерес промышленная установка в Клей Уэсте по ПСВ урана карбонатными растворами, запущенная в эксплуатацию в штате Техас, США [11]. Её производительность было намечено довести до 450 т U_3O_8 /год.

Установка создана в районе обводненного месторождения пластового типа. Выщелачивание проводят из пласта ураноносного песчаника на максимальной глубине 165 м. Содержание урана колеблется в пределах 0,05÷0,5%. Здесь имеется водоносный горизонт с естественной скоростью потока примерно 3,6 м/год, имеющий уклон 0,015 в сторону Мексиканского залива и являющийся источником снабжения пресной водой ряда населённых пунктов.

Однако вблизи уранового месторождения вода имеет высокий уровень естественной радиоактивности и не пригодна для питья. Этим воспользовались для организации ПСВ урана, приняв ряд мер по охране окружающей среды и для исключения проникновения урана за пределы зоны выщелачивания в источники питьевой воды.

Фирма «Вайоминг минералз» (США) [11] эксплуатирует две установки ПСВ урана карбонатными растворами сравнительно небольшой производительности – 112,5 и 225 т U_3O_8 /год. Эта же фирма наметила ввод ещё одной установки такого типа в ближайшие годы. В штате Техас (США) построена установка опытного характера ПСВ урана с использованием растворов карбоната аммония и с последующей ионообменной сорбцией урана из растворов. На всех этих установках предусмотрены специальные меры по предотвращению утечки выщелачивающих растворов за пределы производственной зоны.

Описанные установки применяют для выщелачивания урана из обводненных месторождений пластового типа. Вместе с тем в зарубежных странах планируется ввод в эксплуатацию предприятий по ПВ урана в горных выработках.

На уранодобывающих предприятиях Казахстана были проведены исследования по влиянию температуры на геотехнологические показатели процесса ПСВ [11]. Исследовано влияние температуры растворов в интервале 20 – 50 °С.

Повышение температуры растворов в исследуемых пределах привело к сокращению времени выщелачивания и увеличению среднего содержания урана в растворах примерно в 2 раза. Были проведены лабораторные исследования зависимости извлечения урана из руд одного из месторождений Казахстана от температуры ВР в интервале 15 – 35 °С. Исследовалась руда с исходным содержанием урана 0,055, 0,059 и 0,063%. В качестве ВР применяли раствор H_2SO_4 - 10 г/л, и раствор NH_4HCO_3 - 2 г/л. В исследуемых пределах при сернокислотном выщелачивании повышение температуры ВР от 15 до 25 °С привело к повышению извлечения урана на 7 – 12%, а повышение температуры от 15 до 35 °С, на 16 – 18%. В бикарбонатных растворах повышение температуры от 15 до 35 °С привело к повышению извлечения урана на 3 – 5%. Таким образом, также, как и при гидрометаллургическом выщелачивании руд, воздействие тепловой энергии на процесс ПВ приводит к положительному эффекту. Однако практическое осуществление этого воздействия связано с определенными трудностями: поскольку в процессе ПСВ в переработку вовлечены большие объемы рудной массы и растворов, повышение температуры реакции связано с огромными затратами энергии. Тем не менее, существуют технические решения такого воздействия, правда, косвенные: с помощью глубинного излучателя электромагнитной энергии, помещенного в скважину, воздействуют на породу, при этом электромагнитная энергия преобразуется в тепловую, что приводит к нагреву пласта, в том числе растворителя, снижает вязкость последнего и увеличивает подвижность.

При отработке Зауральских месторождений, приуроченных к древним долинам и испытавшим масштабное вторичное восстановление, успешно используется нитрит натрия ($NaNO_2$). А также проводились испытания по использованию бихромата калия ($K_2Cr_2O_7$) [12].

В ходе экспериментов было подтверждено, что степень выщелачивания урана возвратными растворами без предварительного окисления железа очень низкая. Повышение концентрации серной кислоты в возвратных растворах несколько повышает степень выщелачивания урана. Однако, повышение концентрации H_2SO_4 практически в три раза приводит к увеличению степени выщелачивания всего на 4 – 5%. При этом добавки нитрита натрия и бихромата калия способствуют существенному росту концентрации урана в продуктивных растворах, который значительно превышает эффект, полученный при использовании выщелачивающих растворов с высокой концентрацией серной кислоты, и степени его извлечения.

При сравнении двух окислителей, которые были использованы при испытаниях, очевидно, что при применении бихромата калия был получен большой эффект по извлечению урана из образцов керна Далматовского месторождения урана, чем при использовании нитрита натрия. Однако с учетом высокого класса опасности соединений шестивалентного хрома на стадии опытно-промышленных опробований технологии рекомендуется использование нитрита натрия [13]. В то же время промышленные опыты показали, что в

результате разложения нитрита натрия одним из продуктов являлся веселящий газ N_2O , который также кольматировал поры.

Успешно были проведены опыты по применению $NaClO_3$ (хлорат натрия), который значительно дешевле, чем пероксид водорода, причем при рециркуляции неизрасходованный $NaClO_3$ полностью возвращается в цикл, тогда как непрореагировавший кислород, из раствора теряется на поверхности безвозвратно (в том числе кислород, образовавшийся в результате распада пероксида водорода). Наиболее эффективно применение хлоратов в кислых средах в случае наличия в растворе железа, катализирующего процесс окисления урана.

Главным недостатком хлоратов в качестве окислителей является то, что при восстановлении ионов ClO_3^- – образуются ионы Cl^- – которые при возвращении растворов в производственный цикл накапливаются в растворе. Наличие ионов Cl^- в продуктивных растворах повышает коррозию оборудования и ухудшает параметры сорбции урана из растворов, поэтому их количество в продуктивном растворе желательно минимизировать. Это ограничивает возможность применения хлорсодержащих окислителей [13].

Авторы работы [14] считают, что для повышения эффективности ПСВ урана необходимо усовершенствовать методику управления. Сложность управления ПСВ обусловлена недостатком информации о состоянии продуктивного горизонта и происходящих там процессах, их высокой инерционностью и ограниченными возможностями воздействия на движение растворов. В связи с этим, возрастает роль современных информационных технологий в повышении эффективности управления процессом ПСВ. Настоящая работа посвящена методике применения разработанного авторами геотехнологического информационно-моделирующего комплекса (ГТИМК) «Севмур» для оптимизации отработки блоков месторождения урана методом серноокислотного ПСВ. ГТИМК «Севмур» создан в среде программирования Borland C++ Builder, и представляет собой многопоточное, многооконное проблемно-ориентированное программное обеспечение, работающее на персональном компьютере под управлением операционной системы Windows.

2.2 Предлагаемая технология повышения эффективности ПСВ урана

Как известно, для выщелачивания урана применяются серная, азотная и соляная кислоты, сода, бикарбонат натрия (двууглекислые соли) и карбонат (соли и эфиры угольной кислоты) аммония. Поскольку выщелачивание сопряжено с переработкой больших количеств сырья, стоимость выщелачивающих реагентов в значительной мере определяет себестоимость конечного продукта. В добывающих предприятиях для того чтобы снизить расходы на кислоту, проводят много опытов, так как затраты на реагенты составляют 27 – 45% от эксплуатационных затрат на выщелачивание.

Для снижения расхода реагента применяются различные технологические решения, которые отличаются дороговизной и технологическими сложностями их применения.

Активация выщелачивающего раствора – увеличение химической активности раствора после его обработки в активационной установке. За счет активации выщелачивающего раствора увеличивается перевод в жидкую фазу как полезного компонента, так и активирующих элементов, что уменьшает вероятность их осаждения в форме кольматантов.

Активацией называется образование разрывов сплошности жидкости в результате местного понижения давления. Сущность технологии активации заключается в том, что перед подачей выщелачивающего раствора в рудную массу её активируют. В результате механического воздействия (активации) на сплошные среды изменяется её структура и температура, что сопровождается разрывом связей между атомами и разрушением кристаллической решетки (рисунок 2.1).

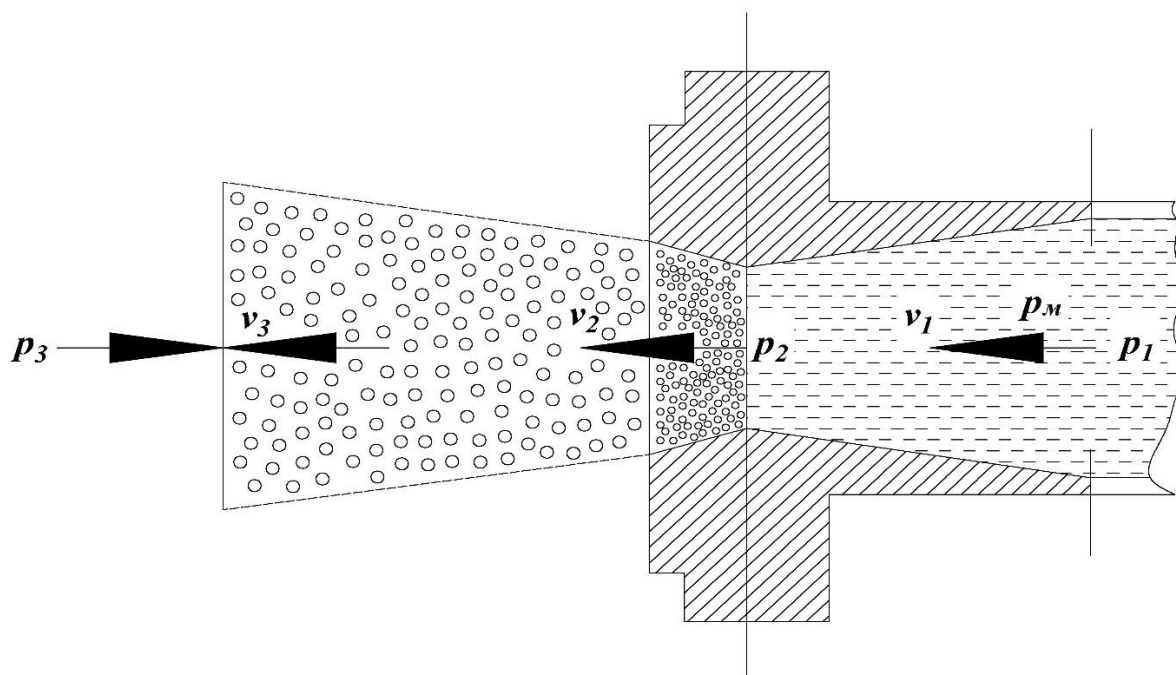


Рисунок 2.1 – p_1 , p_2 и p_3 – давление до, во время, и после активации;
 v_1 , v_2 , v_3 – скорость раствора до, во время, и после активации

Если понижение давления происходит вследствие возникновения больших местных скоростей в потоке движущейся капельной жидкости, то активация называется гидродинамической.

При активации происходит процесс парообразования и последующее схлопывание пузырьков пара с одновременным конденсированием пара в потоке жидкости, сопровождающийся шумом и гидравлическими ударами, образование в жидкости полостей (пузырьков или каверн), заполненных паром самой жидкости, в которой возникает. Раствор активируется в результате местного понижения давления в жидкости, которое может происходить либо при увеличении её скорости (гидродинамическая), либо при прохождении акустической волны большой интенсивности во время полупериода разряжения (акустическая), существуют и другие причины возникновения эффекта.

Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением или во время полупериода сжатия, пузырёк схлопывается, излучая при этом ударную волну.

Ведущую роль в образовании пузырьков при этом играют газы, выделяющиеся внутри образующихся пузырьков. Эти газы всегда содержатся в жидкости, и при местном снижении давления начинают интенсивно выделяться внутри указанных пузырьков. Следует также учитывать, что в растворённых в жидкости газах содержится больше кислорода в процентном отношении, чем в воздухе, и поэтому газы в пузырьках при активации химически более агрессивны, чем атмосферный воздух – вызывают в итоге окисление (вступление в реакцию) многих обычно инертных материалов.

Свободные H^* и OH^* радикалы могут диффундировать в раствор и вступать в реакции с растворителем или растворенными веществами, инициируя каскадные радикальные химические процессы. За счет гидродинамического термолита воды на H^* и OH^* происходит увеличение концентрации O_2 . Также термолит воды приводит к синтезу перекиси водорода (H_2O_2), что способствует понижению параметра pH.

Активация в жидкости сопровождается различными химическими реакциями, при этом происходит ускорение одних химических реакций и инициирование других. Эти реакции происходят в чрезвычайно короткое время.

Схлопывание пузырьков обычно не бывает симметричным и сопровождается образованием кумулятивной микроструйки, направленной в сторону фронта, т.е. спровоцировавшего схлопывание препятствия в виде поверхности или ударной волны. Длина кумулятивной струйки равна диаметру образовавшего ее пузырька. Она то и производит основной разрушительный эффект. Указанные и некоторые другие особенности рассматриваемого физэффекта позволяют в высокой степени регулировать воздействие созданного на основе активации инструмента на объект (материал). Например, разрушать (диспергировать) твердые, имеющие неоднородный состав (хрупкие) отложения, не разрушая при этом поверхности трубопроводов и в минимальной степени воздействуя на их конструкцию.

2.3 Методика проведения исследования

Исходя из конкретной задачи, поставленной в данной работе, основной характеристикой для ее проведения является активность выщелачивающего раствора при взаимодействии с рудой и материалами породы. Поэтому главным показателем при проведении лабораторных исследований является изменение активности раствора при различных способах его обработки.

Некоторые исследования по активации серноокислотного раствора, описанные выше, были проведены на растворах с содержанием кислоты от 5 г/л до 40 г/л, а некоторые при концентрации 10г/л. В лабораторных условиях в начале активировали весь выщелачивающий раствор, в последующем активировали только серную кислоту, так как учитывая, что в промышленных условиях в пласт подается большой объем выщелачиваемого раствора, а это

требует значительных энергетических затрат для механической ее активации. Обработанные растворы опробовали на выщелачивание урана.

Для проведения лабораторных работ были отобраны с Восточного фланга участка Центральный керновые материалы со скважин (рисунок 2.2).

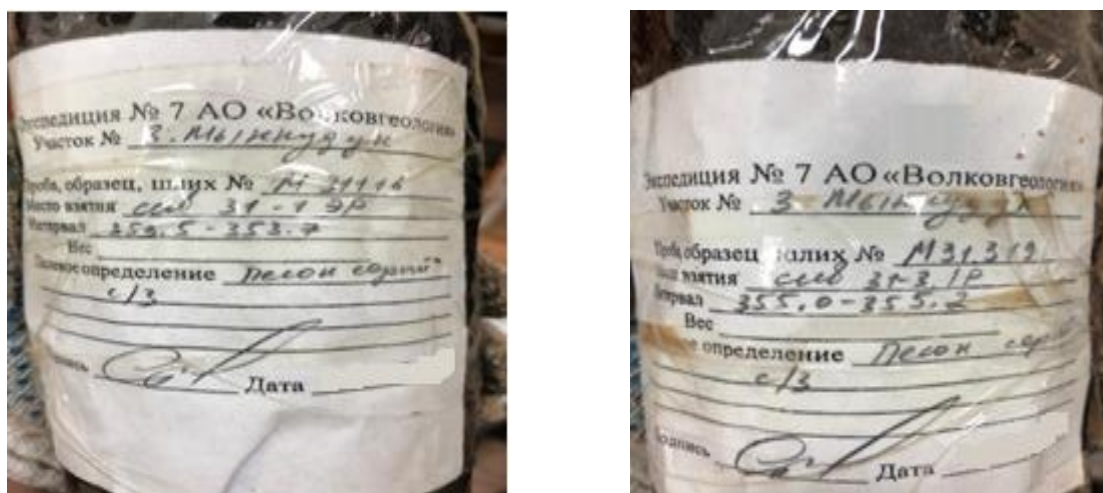


Рисунок 2.2 – Отобранные керновые материалы

Полевое определение кернового материала - песок серый. Отбор кернового материала произведен с различной глубины скважин с интервалом 20см, каждый керн описан. Всего было отобрано по 6 м керна. Для определения среднего содержания урана в керновом материале, все керны были измельчены, среднее содержание урана было определено в химико-аналитической лабораторий Центральной опытно-методической экспедиции и составило 0,091% (приложение А).

Пробы продуктивного раствора после выщелачивания отбирались в специальные емкости (рисунок 2.3) и отправлялись в лабораторию рудника «Аппак».



Рисунок 2.3 – Пробы продуктивного раствора

В лабораторных работах был использован проточный активатор, поэтому время активации раствора и серной кислоты измеряли количеством их прохода через активатор, например для обработки активатором в течение 3 минут (24 прохода через активатор), 5 минут (40 проходов), 10 минут (80 проходов) и 20 минут (160 проходов).

Перемешивание раствора кислоты и воды осуществляли включением насоса на 15 секунд, что соответствует примерно двукратному прохождению всего объема жидкости в установке через активатор. Перемешанный таким образом раствор принимали за исходный и на нем проводили первичное исследование интенсивности выщелачивания. Затем раствор в установке подвергали обработке в течение определенного времени, после чего сразу отбирали пробы на проведение эксперимента на выщелачивание, а основной объем сливали в отдельную емкость и в дальнейшем отбирали пробы через определенное время для проведения повторных исследований на том же растворе.

В качестве основного показателя эффективности действия активатора использовали не абсолютное значение содержания урана в выщелачивающем растворе, а изменение активности в процентах по отношению к исходному раствору. Исходя из анализа данных, полученных при изучении влияния температуры на активность раствора, было выбрано время для отбора проб при выщелачивании 5 мин., 10 мин., 20 мин. и 30 минут. Основным показателем приняли время выщелачивания 5 минут.

Для получения эффекта активации нами была изготовлена активационная установка (рисунок 2.4). Лабораторная установка состоит из замкнутого контура, в который входят центробежный насос (НС) с электроприводом, проточного активатора (R), трубопровода, емкости (V), сливного крана (K₁).

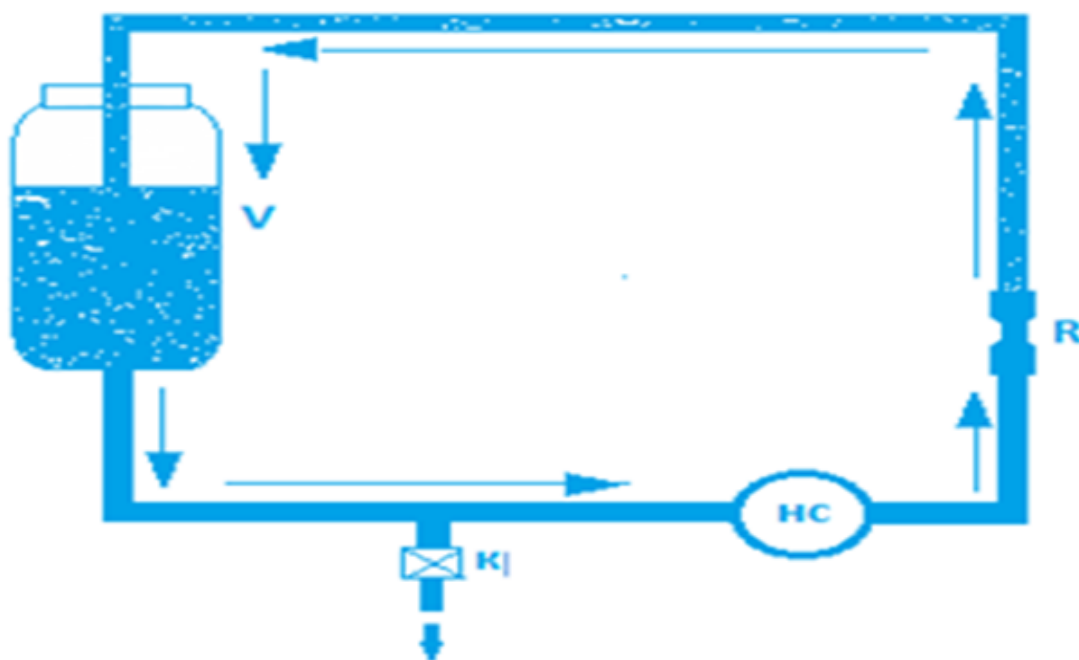


Рисунок 2.4 – Лабораторная активационная установка

В установку заливается 1,5 литров кислоты после чего проводилась ее обработка в течение 5 минут. Затем из активированной кислоты приготавливали раствор с содержанием 10г/л и после этого проверялась его активность при выщелачивании. Результаты сравнивались с таким же экспериментом, но без предварительной активации кислоты.

Рабочая установка для исследования выщелачивания состоит из термостата LAUDAECO-4, термостатированного стеклянного стакана и механической мешалки БП 8000 ЭКРОС. Внешний вид установки для выщелачивания представлен на рисунке 2.5. Эксперименты по выщелачиванию проводят следующим образом. Термостат включают и устанавливают необходимую температуру для проведения работы. В термостатированный стакан заливают необходимое количество раствора серной кислоты, опускают в раствор мешалку и задают таймером время, необходимое для того, чтобы раствор в термостатированном стакане достиг температуры термостата.



Рисунок 2.5 – Установка для исследования выщелачивания

Экспериментально с применением термометра было определено, что для достижения температуры опыта предварительное время перемешивания находится в пределах 7 – 10 минут. После этого в раствор помещали навеску урана и через определенное время отбирали пробу раствора для анализа. Перед началом серии экспериментов по выщелачиванию были проведены предварительные эксперименты, по результатам которых были выбраны объем раствора выщелачивания – 150 мг, скорость вращения мешалки – 45 об./мин и время выщелачивания. Расчетами было определено, что при концентрации в растворе 10 г/л серной кислоты навеска урана может быть 50 г.

2.4 Исследование влияния концентрации кислоты и температуры раствора на интенсивность выщелачивания урана

Как было сказано выше, при активации рабочего раствора происходит повышение температуры раствора. Для проверки влияния активации раствора, его температуры в зависимости от концентрации серной кислоты были проведены лабораторные исследования.

Изменение скорости реакции с ростом температуры является хорошо изученным явлением и описывается известным степенным уравнением Аррениуса. Однако в реальных условиях действуют многочисленные факторы, влияние которых можно выявить только экспериментами. В данном случае реакция протекает на поверхности твердого тела с образованием растворимого вещества, относится к классу топохимических.

В реальных условиях выщелачивания минералов из руды процесс на определенных стадиях можно считать протекающим при постоянных или мало изменяющихся во времени значениях концентрации выщелачивающего вещества и обрабатываемого материала.

Исходя из задачи исследований, основную работу проводили на 1% растворе серной кислоты с проведением модельного выщелачивания при температуре 35⁰С. Для того, чтобы в дальнейшем при дополнительном воздействии на выщелачивающий раствор иметь возможность исключать или оценивать влияние изменения концентрации серной кислоты или температуры раствора, нами были проведены эксперименты, которые представлены в таблице 2.1 и на рисунках 2.6.

Таблица 2.1 – Зависимость выщелачивания урана в зависимости от концентрации серной кислоты за разное время реакции

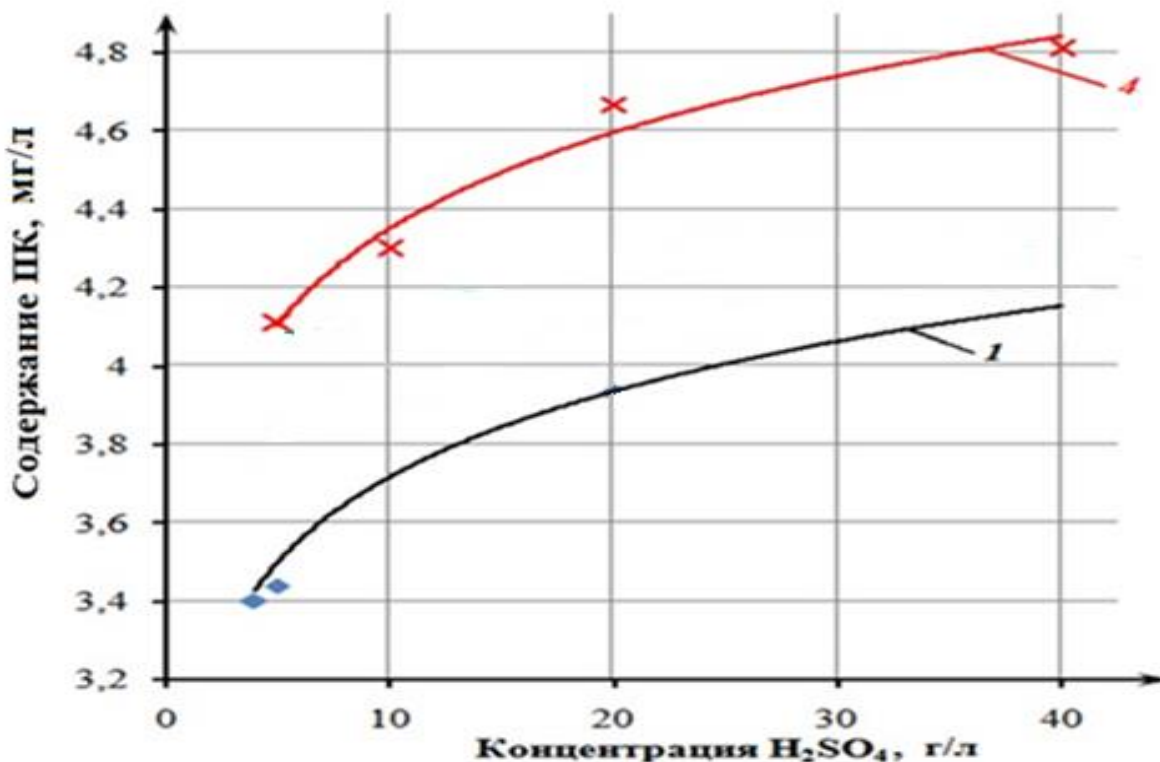
Время реакции, мин.	Концентрация кислоты, г/л			
	5	10	20	40
	Содержание урана в растворе, мг/л			
2	3,44	3,85	3,93	4,11
5	3,78	4,00	4,03	4,23
10	4,07	4,16	4,26	4,29
20	4,11	4,30	4,67	4,81

Эксперименты по изменению скорости выщелачивания урана с ростом температуры позволяют нам изучить на модельном веществе тенденции изменения в условиях, когда одновременно меняется концентрация серной кислоты и обрабатываемого материала.

Заранее приготовленный раствор серной кислоты концентрацией 10 г/л в объеме 150 мг помещали в термостатированный стакан с температурой реакции, опускали мешалку и в течении 7 – 10 минут доводили раствор с комнатной до необходимой температуры, затем в раствор помещали навеску 50 г урана и через определенные промежутки времени отбирали раствор на анализ.

Как видно из таблицы 2.1 с повышением концентрации серной кислоты с 5 г/л до 40 г/л происходит повышение содержания урана в продуктивном растворе в среднем при времени выщелачивания 2 минуты до 19%, в дальнейшем, с увеличением времени выщелачивания до 20 минут и повышении концентрации серной кислоты наблюдается повышение содержания урана в продуктивном растворе до 17 %. С повышением времени реакции с 2 минут до 20 минут и при концентрации серной кислоты 10 г/л, содержание урана в продуктивном растворе повышается на 12%.

Обработкой данных таблицы 2.1 получены зависимости содержания урана в продуктивном растворе от концентрации серной кислоты при активации выщелачивающего раствора (рисунок 2.6).



Время реакции: 1 – 2 мин; 2 – 5 мин; 3 – 10 мин; 4 – 20 мин.

Рисунок 2.6 – Изменение интенсивности выщелачивания урана за время реакции в зависимости от концентрации H₂SO₄

Эксперименты показали, что по мере уменьшения кислоты в растворе и увеличения в нем содержания урана скорость реакции значительно уменьшается. Естественно, что максимальные скорости выщелачивания наблюдаются в первоначальный момент взаимодействия серной кислоты с ураном.

Исходя из представленных данных, температура пластовых вод на месторождении составляет 35⁰. Это значение было выбрано нами в качестве исходного для проведения всей серии экспериментов. Для сравнения скорости выщелачивания в зависимости от температуры были также получены данные при 50⁰С и 75⁰С (таблица 2.2).

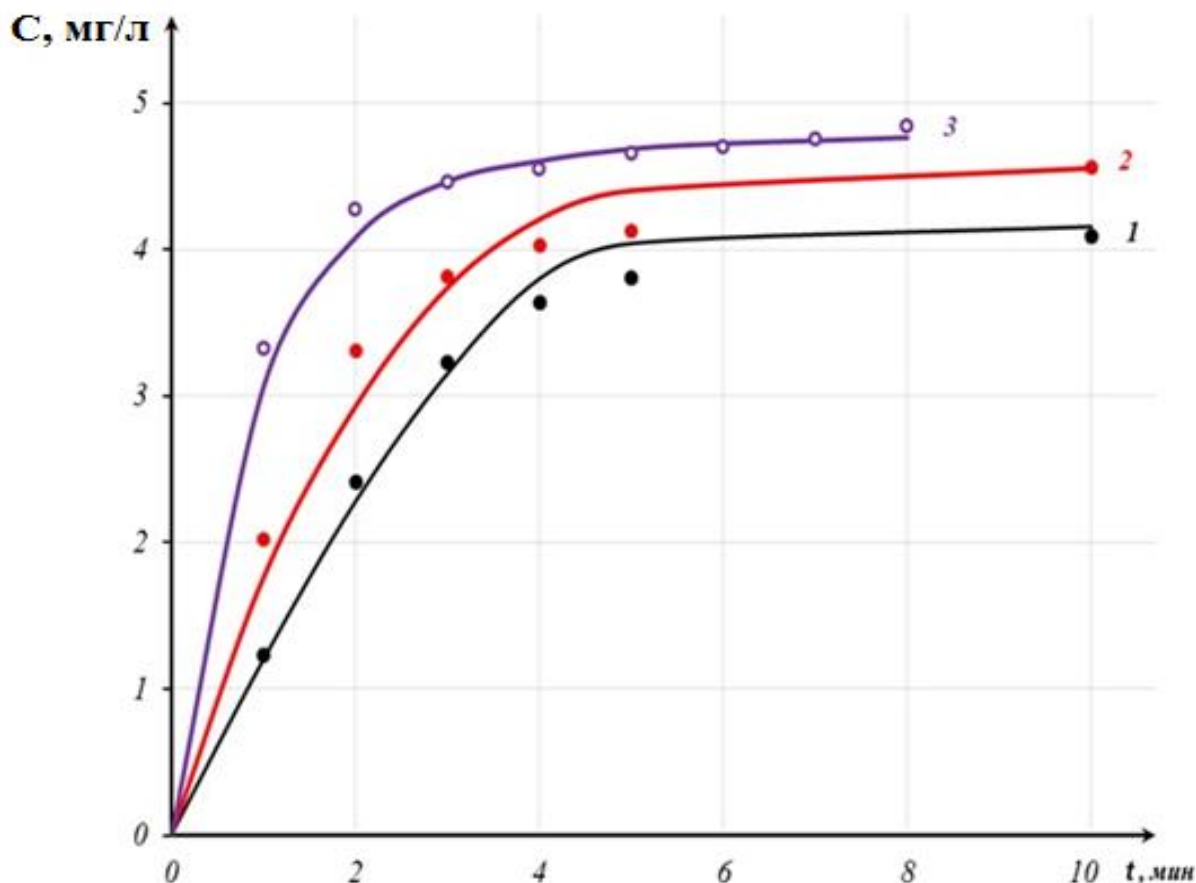
Таблица 2.2 – Изменение во времени содержания урана в выщелачивающем растворе (С, мг/л) в зависимости от температуры реакции

Время реакции, мин.	Температура, °С			Отношение показателей	
	35 ⁰ С С, мг/л	50 ⁰ С С, мг/л	75 ⁰ С С, мг/л	50 ⁰ /35 ⁰	75 ⁰ /35 ⁰
1	1,23	2,02	3,32	1,64	2,70
2	2,41	3,31	4,27	1,37	1,77
3	3,23	3,82	4,46	1,12	1,30
4	3,64	4,03	4,55	1,07	1,25
5	3,81	4,13	4,66	1,084	1,218
6			4,70		
7			4,75		
8			4,84		
10	4,09	4,56			
20	4,73				
30	4,81				
40	4,92				

Обработкой данных таблицы 2.2 получены зависимости содержания урана в продуктивном растворе от температуры выщелачивающего раствора и времени реакции при активации выщелачивающего раствора (рисунок 2.7).

Для времени реакции 1 минута (60с) при температурах 35⁰, 50⁰ и 75⁰, содержание урана составляет 1,23 мг/л, 2,02 мг/л и 3,32 мг/л. т.е. увеличение температуры реакции с 35 до 50⁰С приводит к росту скорости реакции в 1,64 раза, а с 35 до 75⁰С – в 2,7 раза.

За время протекания реакции в течение 5 минут, количество урана в растворе поднимается до 4 мг/л и более, а содержание кислоты уменьшается с 10 г/л до 2,35 г/л. Скорость реакции, относящаяся к 5 минутам взаимодействия, будет расти в 1,084 раз (на 8,4%) при 50⁰С и в 1,218 раз (на 21,8%) при 75⁰С. Полученные данные позволяют нам проводить сравнение изменения активности раствора при обработке его другими способами с действием температурного фактора.



1 – 35⁰С; 2 - 50⁰С; 3 - 75⁰С

Рисунок 2.7 – Зависимости содержания урана в продуктивном растворе от температуры выщелачивающего раствора и времени реакции при активации выщелачивающего раствора

2.5 Выводы по главе

1. Подземное скважинное выщелачивание сопряжено с переработкой больших количеств сырья, стоимость выщелачивающих реагентов в значительной мере определяет себестоимость конечного продукта. Для снижения расхода реагента применяются различные технологические решения, которые отличаются дороговизной и технологическими сложностями их применения.

2. Разработана технология механической активации рабочего раствора, позволяющая повысить ее химическую активность и отличающиеся низкими капитальными и эксплуатационными затратами.

3. Получены зависимости содержания урана в продуктивном растворе от температуры выщелачивающего раствора, концентрации серной кислоты и времени выщелачивания.

4. Полученные результаты позволяют проводить сравнение изменения активности раствора при выщелачивании с базовыми способами, с действием температурного фактора и концентрации серной кислоты.

3. ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРЕДЛАГАЕМОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА ПРОЦЕССЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ

3.1 Влияние активации компонентов раствора на содержание урана в продуктивном растворе

После установления влияния концентрации серной кислоты и температуры выщелачивающего раствора при ее активации были проведены лабораторные исследования с целью определения влияния механической активации выщелачивающего раствора на показатели ПСВ урана. Лабораторные исследования были проведены на мешалке, которая состоит из двигателя, пропеллерной мешалки и емкости для раствора.

Заранее приготовленный раствор серной кислоты с концентрацией 10 г/л в объеме 150 мг залили в термостатированный стакан с температурой реакции, опускали мешалку и в течении 7-10 минут доводили раствор с комнатной до необходимой температуры, затем в раствор помещали навеску кернового материала и через определенные промежутки времени отбирали раствор на анализ.

В процессе исследования влияния активации на активность выщелачивающего раствора возник вопрос, что именно является основной причиной изменения активности реагента, необходимо ли активировать весь выщелачивающий раствор, так как активировать весь выщелачивающий раствор требует значительных материальных затрат. Особенно остро этот вопрос возник после явного разложения под действием активации серной кислоты.

С целью определения реального действия активации был проведен эксперимент, когда по обычной технологии из воды и серной кислоты готовили выщелачивающий раствор и проверяли по обычной методике его активность. Второй раствор готовили с предварительно активированной водой в течении 5 минут. Исследования были проведены на растворах с содержанием кислоты 10г/л.

Результаты этих исследований приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Изменение во времени содержания полезного компонента в выщелачивающем растворе (С, мг/л) для исходного раствора и для раствора, в котором вода предварительно активирована в течение 5 мин.

Параметры	Время реакции, мин				Состояние раствора
	5	10	20	30	
С, мг/л	4,27	4,28	4,53	4,58	Исходный раствор
	4,16	4,29	4,41	4,63	После активации
	4,18	4,25	4,51	4,71	Через два часа после активации

Как видно из таблицы 3.1, при выщелачивании с базовым раствором и с течением времени выщелачивания содержание урана повышается с 4,27 мг/л до

4,58 мг/л, то при активации только воды, вначале наблюдается снижение содержания урана по сравнению с базовым раствором с 4,27 мг/л до 4,16 мг/л. Затем после выдержки раствора в течение 2 часов его активность восстанавливается, приближаясь по значениям к свойствам исходного раствора.

Обработкой данных лабораторных работ получены сравнительные зависимости содержания урана в растворе от времени реакции с базовым и активированным растворами (рисунок 3.1).

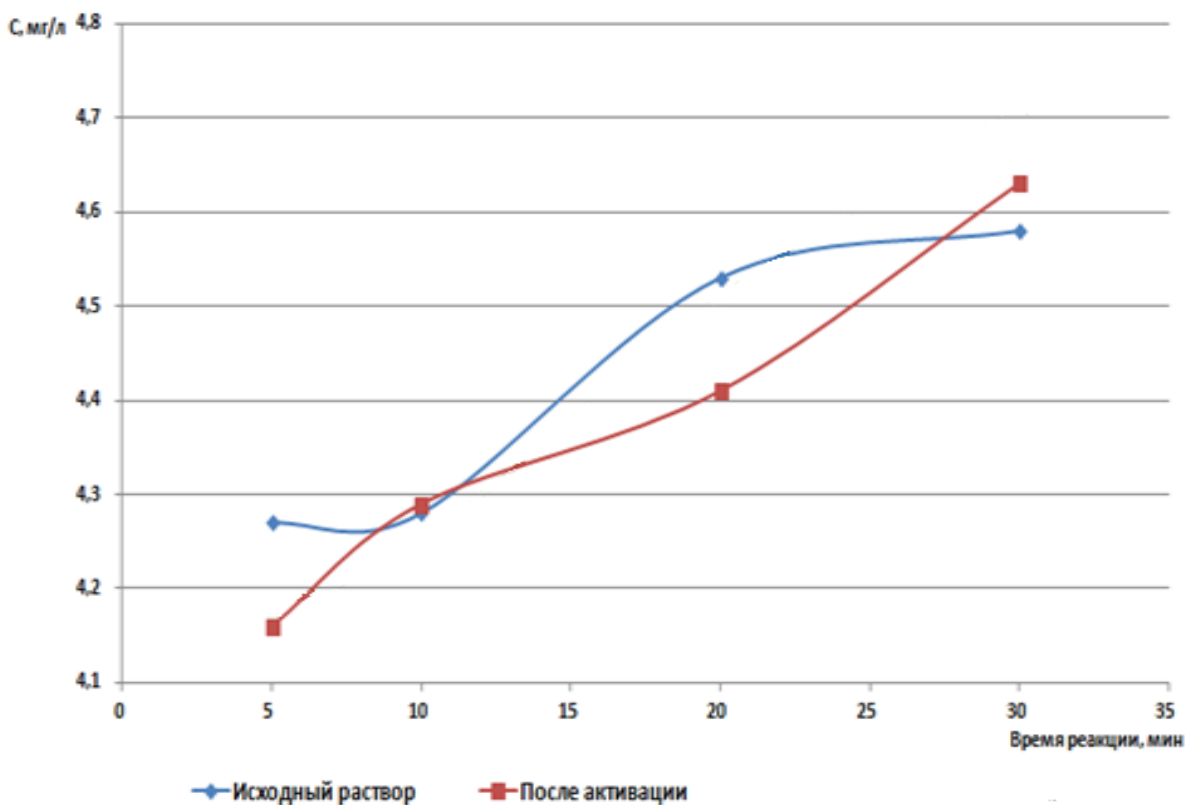


Рисунок 3.1 – Изменение содержания урана в выщелачивающем растворе в зависимости от времени реакции и выдержки раствора во времени после активации только воды в течение 5 минут

Однако, учитывая большой объем подаваемого выщелачиваемого раствора в промышленных условиях, что требует значительных энергетических затрат для механической его активации, нами были проведены исследования возможности активации только концентрированной серной кислоты, используемой для доукрепления маточного раствора.

В установку залили 1,5 литров кислоты и провели обработку в течение 5 минут. Затем из активированной кислоты приготовили раствор с содержанием 10 г/л и проверили его активность при выщелачивании. Результаты сравнили с таким же экспериментом, но без предварительной активации кислоты.

Результаты исследования изменения активности выщелачивающего раствора представлены в таблице 3.2 и на рисунке 3.2.

Таблица 3.2 – Изменение во времени содержания полезного компонента в выщелачивающем растворе (С, мг/л) для исходного раствора и для раствора, в котором кислота предварительно активирована в течение 5 мин.

Параметры	Время реакции, мин				Состояние раствора
	5	10	20	30	
С, мг/л	4,08	4,33	4,61	4,70	Исходный раствор
	4,78	5,80	5,18	5,23	После обработки
	4,48	4,51	5,08	5,22	Через 2 часа
	4,29	4,55	4,74	4,90	Через 24 часа
	4,45	4,76	5,06	5,1	Через 30 дней

Из анализа таблицы следует, что при выщелачивании с базовым раствором и с увеличением времени выщелачивания до 30 минут, наблюдается повышение содержания урана в растворе с 4,08 мг/л до 4,70 мг/л, а при выщелачивании активированным раствором сразу после активации соответственно наблюдается повышение содержания с 4,78 мг/л до 5,23 мг/л. Проведенная активация раствора привела к первичному увеличению выщелачивания за 5 минут на 17%.

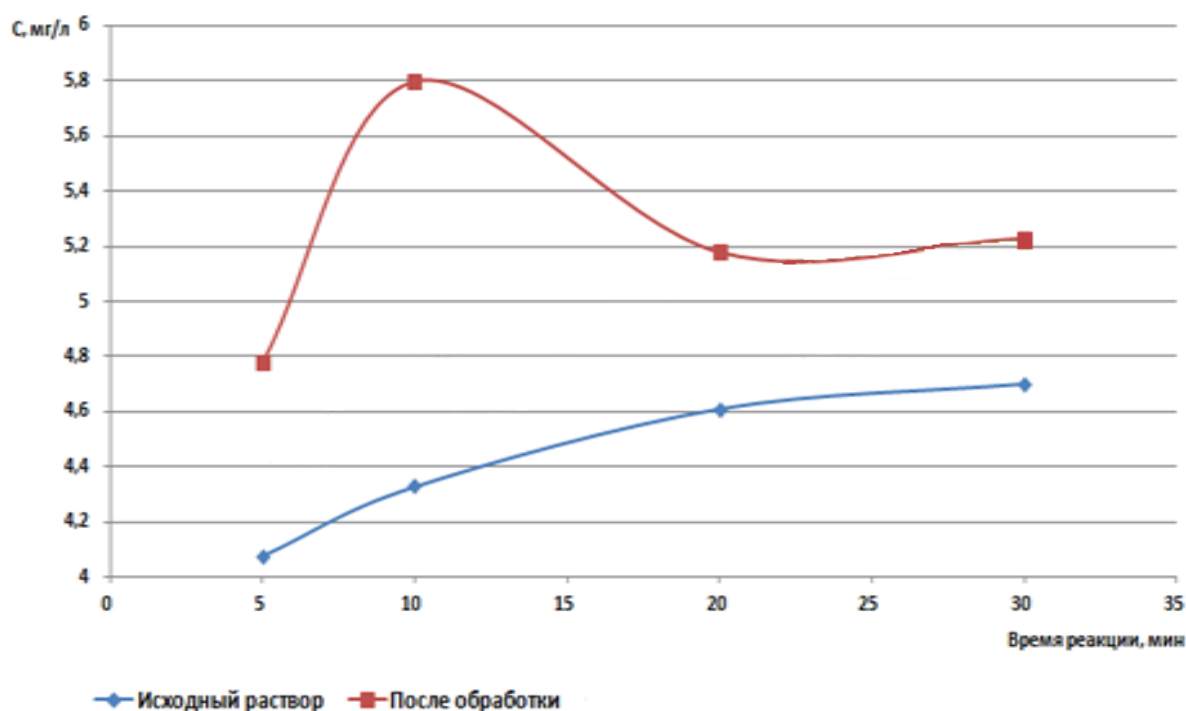


Рисунок 3.2 – Изменение содержания урана в выщелачивающем растворе в зависимости от времени реакции и выдержки раствора во времени после активации кислоты в течение 5 минут

Ожидавшегося значительного уменьшения активности раствора после выдержки его во времени не произошло. Данные, представленные в таблице показывают, что наибольшее изменение содержания урана в растворе

наблюдается при времени выщелачивания 5 минут, а затем эта разность снижается. В процессе активации раствора имело место некоторое выделение сернистого газа.

Сравнение результатов измерений содержания урана в растворах при активации только воды и только серной кислоты показал, что активность увеличилась на 14% [18]. Следовательно, в промышленных условиях нет необходимости проводить механическую активацию всего выщелачивающего раствора, следует ограничиться только активацией доукрепляющей концентрированной серной кислоты. Это резко снижает энергетические затраты.

3.2 Исследования влияния изменения активности выщелачивающего раствора на содержание урана в продуктивном растворе

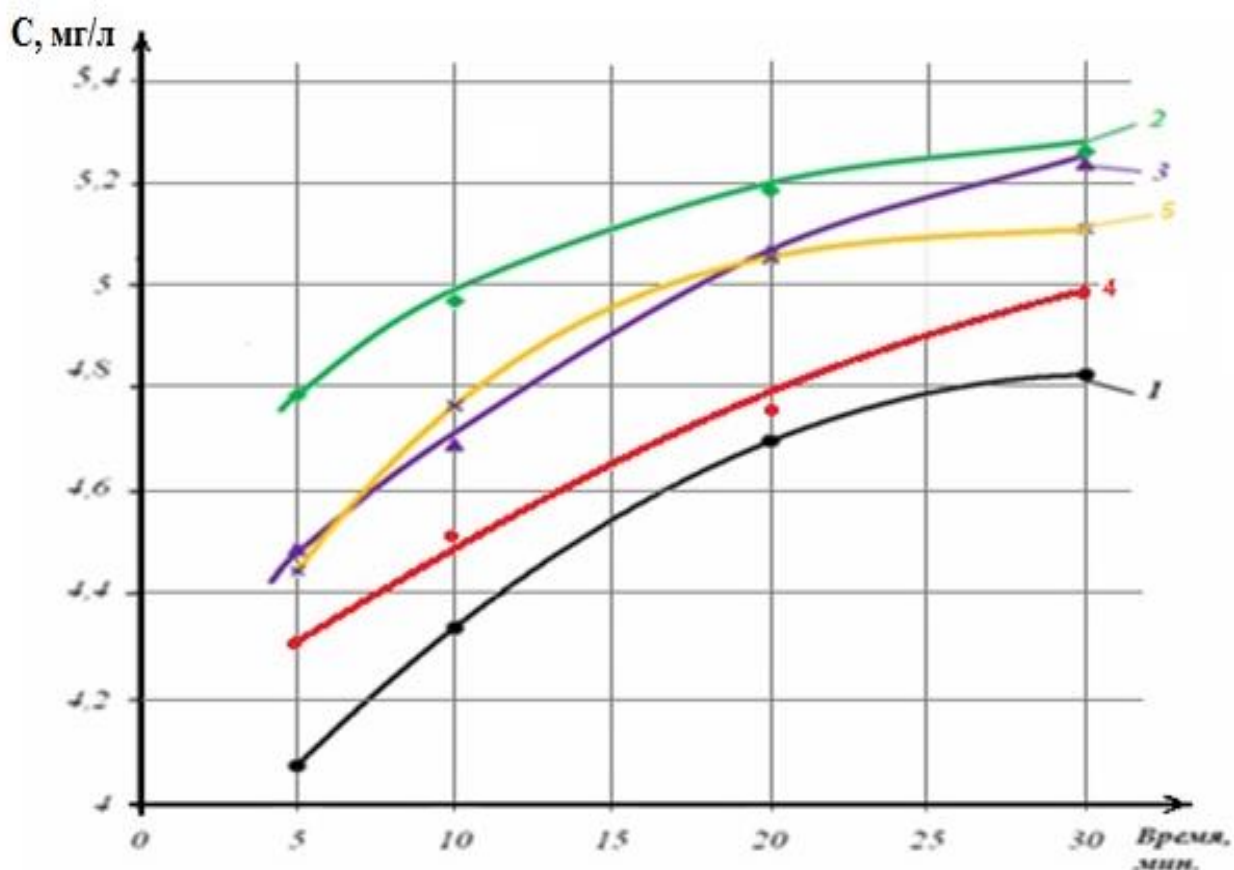
Результаты измерений содержания урана в растворах после выщелачивания показали, что активность кислоты после активационной обработки увеличилась на 14%. Следовательно, в промышленных условиях нет необходимости проводить механическую активацию всего выщелачивающего раствора, следует ограничиться только обработкой доукрепляющей концентрированной серной кислоты. Это резко снижает энергетические затраты.

Далее исследования были проведены на определение влияния времени активации выщелачивающего раствора, времени активации и времени выдержки раствора после активации на содержание урана в продуктивном растворе. Для сравнения лабораторные исследования в начале были проведены с исходным раствором, затем – активированным раствором. При этом время активации выщелачивающего раствора изменяли 3, 5 и 10 минут, время реакции 5, 10, 20 и 30 минут, а время выдержки раствора после активации сразу, через 2 часа, через 24 часа и через 30 дней.

Результаты исследования изменения активности выщелачивающего раствора при обработке его активатором в течение 3 минут представлены в таблице 3.3 и на рисунке 3.3.

Таблица 3.3 – Изменение во времени содержания урана в продуктивном растворе (С, мг/л) после обработки серной кислотой активатором в течение 3 минут.

Параметры	Время реакции, мин				Вид и время выдержки раствора
	5	10	20	30	
С, мг/л	4,08	4,33	4,61	4,70	Исходный раствор
С, мг/л	4,78	5,80	5,18	5,23	После обработки
С, мг/л	4,48	4,51	5,08	5,22	Через 2 часа
С, мг/л	4,29	4,55	4,74	4,90	Через 24 часа
С, мг/л	4,45	4,76	5,06	5,1	Через 30 дней



1 – исходное состояние раствора (до обработки); 2 – после обработки;
 3 – через 2 часа после обработки; 4 – через 24 часа; 5- через 30 дней

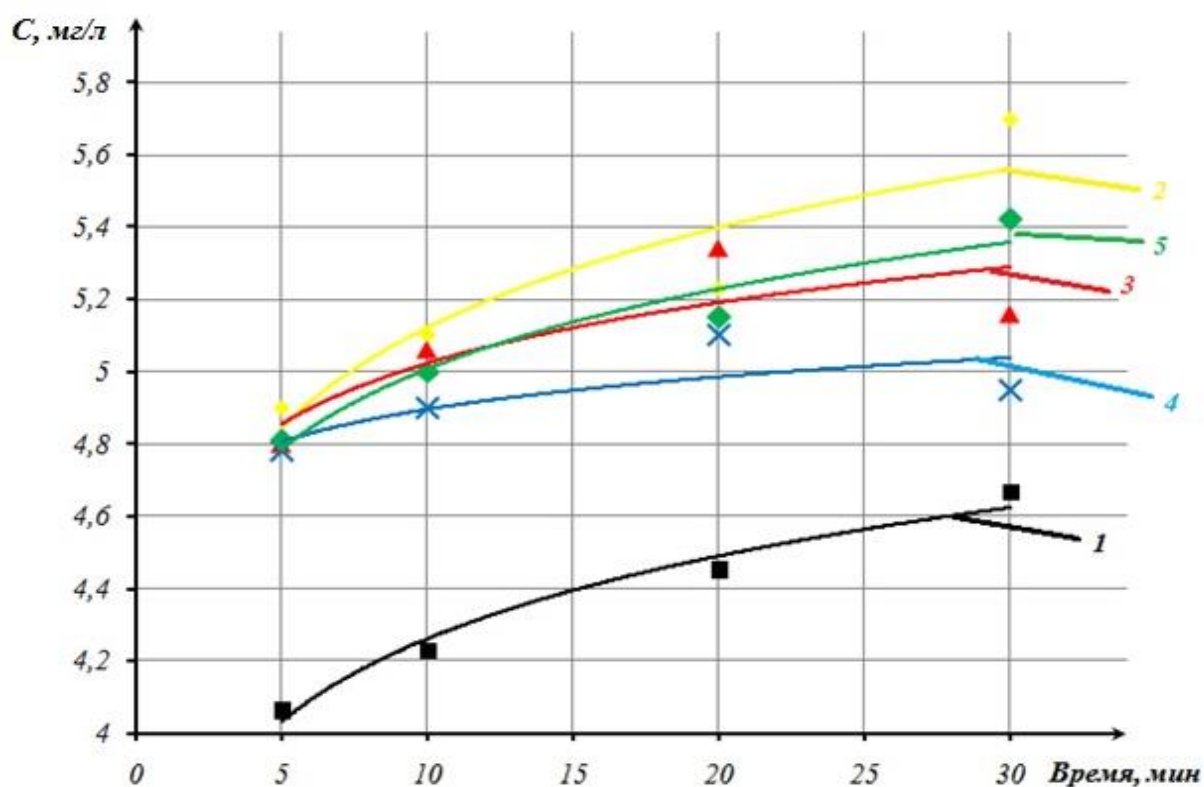
Рисунок 3.3 – Изменение содержания урана в продуктивном растворе в зависимости от времени реакции и выдержки раствора во времени после обработки в течение 3 минут активатором

Из анализа таблицы следует, что проведенная обработка раствора привела к первичному увеличению выщелачивания за 5 минут на 17%. Ожидавшегося значительного уменьшения активности раствора после выдержки его во времени не произошло. Кривые, представленные на рисунке 3.4 показывают, что наибольшие изменения в содержании урана в растворе наблюдаются при времени выщелачивания 5 минут, а затем эта разность снижается. С увеличением времени выдержки раствора после активации до 30 дней, содержание урана в продуктивном растворе незначительно снижается, т.е. активность раствора сохраняется.

Сведения об активности раствора после обработки его активатором в течение 5 минут представлены в таблице 3.4 и на рисунке 3.4.

Таблица 3.4 – Изменение во времени содержания урана в продуктивном растворе (С, мг/л) после обработки в течение 5 минут.

Параметры	Время реакции, мин				Вид и время выдержки раствора
	5	10	20	30	
С, мг/л	4,06	4,23	4,45	4,67	Исходный раствор
С, мг/л	4,9	5,10	4,90	5,09	После обработки
С, мг/л	4,80	5,06	5,34	5,16	Через 2 часа
С, мг/л	4,78	4,91	5,10	4,95	Через 24 часа
С, мг/л	4,81	5,01	5,15	5,42	Через 30 суток



1 – исходное состояние раствора (до обработки); 2 – после обработки; 3 – через 2 часа после обработки; 4 – через 24 часа; 5 – через 30 дней.

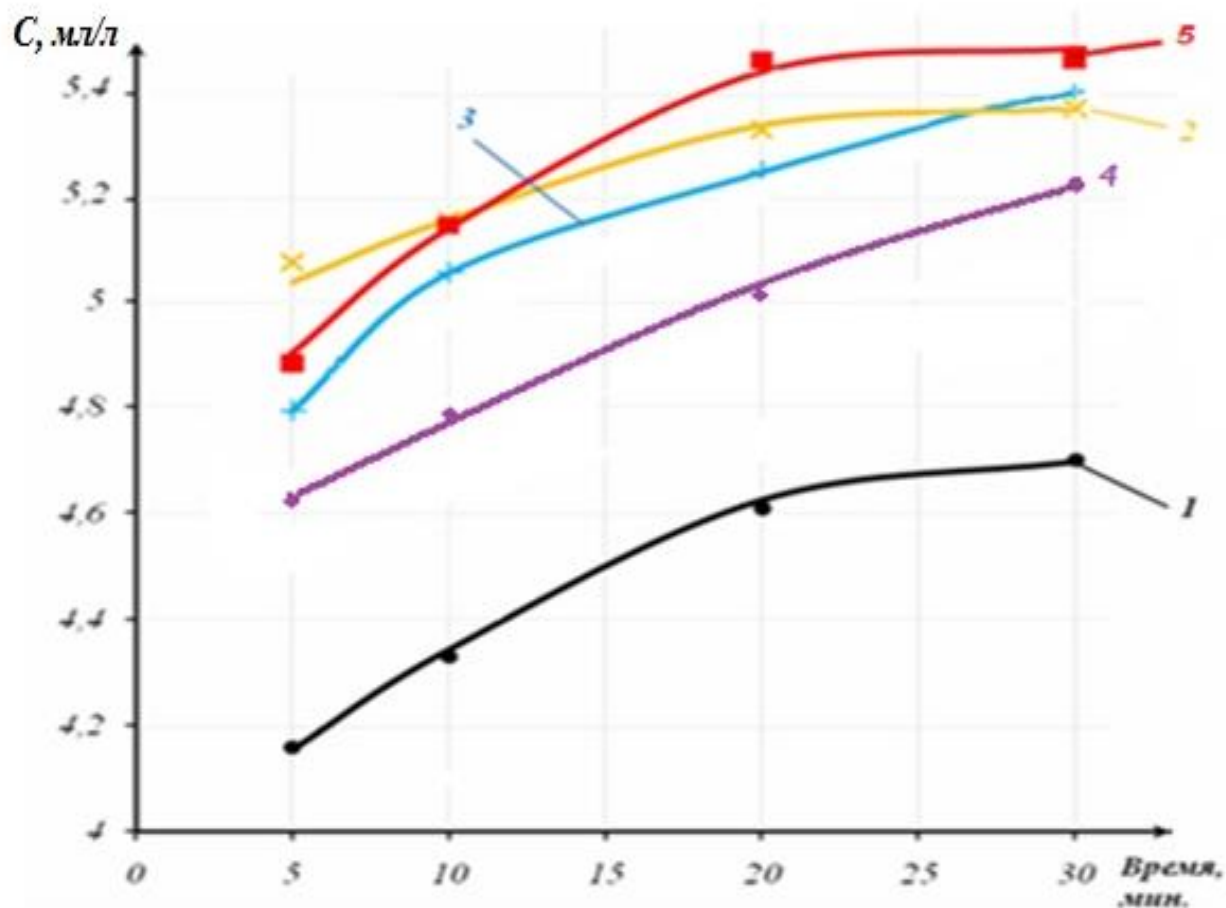
Рисунок 3.4 – Изменение содержания урана в продуктивном растворе в зависимости от времени реакции и выдержки раствора во времени после обработки в течение 5 минут активатором

Данные, приведенные в таблице 3.4 показывают, что первоначально активность раствора за 5 минут выщелачивания выросла на 20,5%, а через 10 минут – на 21%. При этом так же наблюдается незначительное снижение активности раствора после активации с течением времени до 30 суток. В целом можно считать, что первичная активность сразу после обработки раствора активатором и в течение 30 дней остается постоянным.

Данные о свойствах выщелачивающего сернокислотного раствора после обработки в активационной установке в течение 10 минут показаны в таблице 3.5 и на рисунке 3.5.

Таблица 3.5 – Изменение во времени содержания урана в продуктивном растворе (С, мг/л) после обработки раствора активатором в течение 10 минут.

Параметры	Время реакции, мин					Вид и время выдержки раствора
	5	10	15	20	30	
С, мг/л	4,11	4,36	4,47	4,61	4,68	Исходный раствор
С, мг/л	5,14	5,17	2,23	5,29	5,36	После обработки
С, мг/л	4,8	5,09	5,14	5,23	5,40	Через 2 часа
С, мг/л	4,62	4,78	4,91	5,09	5,23	Через 24 часа
С, мг/л	4,85	5,15	5,26	5,45	5,42	Через 30 суток



1 – исходное состояние раствора (до обработки); 2 – после обработки;
3 – через 2 часа после обработки; 4 – через 24 часа; 5- через 30 дней

Рисунок 3.5 – Изменение содержания урана в продуктивном растворе в зависимости от времени реакции и выдержки раствора во времени после обработки в течение 10 минут активатором

Увеличение времени обработки раствора до 10 минут привело к росту активности при 5 минутах проведения реакции выщелачивания на 25%. При обработке раствора имело место заметное выделение сернистого газа. Это объясняется не значительным испарением серной кислоты. В течение 2 часов активность раствора снизилась до 8,0% и удерживалась в таком состоянии длительное время.

Вместе с тем, по результатам исследования видно, что активность выщелачивающего раствора в начальный момент повышается, затем в течение 24 часов выдержки заметно снижается, а с течением 1 месяца – наблюдается повышение [19][20].

Исследованиями установлено, что активация выщелачивающего раствора приводит к повышению активности серной кислоты после обработки в активационной установке.

Для активации выщелачивающего раствора предлагается проводить активационную обработку кислоты перед доукреплением маточного раствора. Таким образом уменьшается объем обрабатываемого раствора и затраты на изготовление и эксплуатацию активатора.

Активация раствора приводит к увеличению содержания полезного компонента в продуктивном растворе от 18 до 26% и ее активность сохраняется длительное время (до 30 дней).

Предлагаемая технология отличается низкими капитальными затратами, легко интегрируется в существующую систему и экологически абсолютно безопасна.

Технология активации выщелачивающего раствора при подземном скважинном выщелачивании урана позволит повысить эффективность добычи.

На рисунке 3.6 приведена диаграмма сравнение содержания металла от времени обработки раствора.

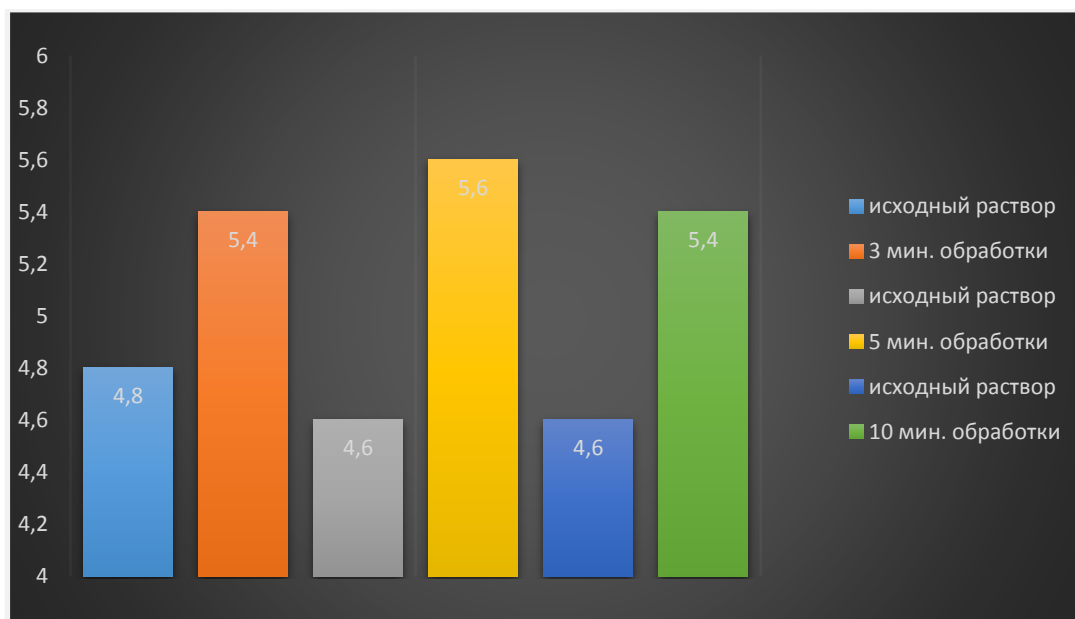


Рисунок 3.6 – Сравнение содержания урана от времени активации раствора

3.3 Исследование влияния активации раствора на плотность продуктивного раствора

Технологические растворы обладают повышенной плотностью и вязкостью по сравнению с подземными водами [21]. В однородной по проницаемости среде технологические растворы будут стремиться передвигаться преимущественно по нижней части водоносного горизонта. Практика подземного выщелачивания подтверждает опускание более тяжелых растворов в нижнюю часть водоносного горизонта. Чем больше концентрация раствора, а следовательно, и его плотность, тем выше скорость гравитационного опускания. Скорость гравитационного опускания растворов при отсутствии перемещения жидкости под действием разности напоров может быть приближенно определена из следующего выражения[8]:

$$v_{\Gamma} = \frac{K_{\phi}}{n_{\epsilon}} \frac{\Delta\gamma}{\gamma\eta}$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации;

$\Delta\gamma$ – разность плотностей вытесняющей и вытесняемой жидкости;

n_{ϵ} – эффективная пористость;

η – коэффициент анизотропности.

В проницаемых рудоносных песках обычно V_2 составляет около 1 см/ч.

Как известно, фильтр является основным элементом скважины определяющим:

-техническое состояние скважины;

-технологию всего процесса подземного выщелачивания.

Требования к фильтрам:

-обладать высокой стойкостью к химически агрессивным средам;

-высокой механической прочностью в условиях горного давления и гидродинамических нагрузок;

-уменьшать возможность прохождения в скважину твердой фазы (песка);

-площадь фильтрующей поверхности должна обеспечивать пропуск требуемого количества раствор.

Обычно фильтры устанавливают с учетом расположения рудного тела относительно верхнего и нижнего водоупора.

Фильтры технологических скважин чаще устанавливают в интервале залегания оруденения или на всю мощность при малых мощностях (менее 12 м) продуктивных горизонтов.

Если мощность горизонта более 12 - 15 м, то расположение фильтров скважин в основном определяется положением рудного тела в разрезе и фильтрационной неоднородностью пород. Рассмотрим несколько вариантов:

Рудное тело приурочено к нижнему водоупору. Фильтры закачных скважин устанавливаются на руду, фильтры откачных скважин устанавливаются на руду и до нижнего водоупора.

Рудное тело находится в верхней или центральной части горизонта большой мощности. Фильтры закачных скважин устанавливаются на руду. Фильтры откачных скважин должны располагаться ниже так, чтобы избежать потерь растворов за счет гравитационного опускания.

Рудное тело расположено в центральной части разреза, но имеет проницаемость значительно ниже, чем вмещающие породы. Фильтры закачных скважин устанавливаются над рудой, а фильтры откачных скважин – под рудой.

Исследования показывают, что при использовании фильтра ограниченного рудным интервалом, нижняя часть водоносного горизонта (ниже фильтра) подвергается воздействию реагента и, кроме того, в ней могут произойти потери растворов, наиболее богатых полезным компонентом.

Поэтому, для исследования влияния процесса активации на изменение плотности раствора и извлечению урана были проведены лабораторные исследования.

Для получения сравнительных данных, лабораторные исследования были проведены как с исходным раствором, так и активированным раствором.

Результаты исследования изменения плотности не активированного раствора и содержания полезного компонента в растворе представлены в таблице 3.6 и на рисунке 3.7.

Таблица 3.6 – Изменение плотности (А) и содержания урана в исходном не активированном выщелачивающем растворе (С, мг/л)

Параметры	Время реакции, мин					Исходный раствор
	5	10	20	25	30	
А	1,323	1,398	1,468	1,519	1,542	Исходный раствор
С, мг/л	4,06	4,23	4,45	4,58	4,67	

Как видно из таблицы с увеличением времени реакции с раствором без активации (исходный раствор) с 5 минут до 30 минут, плотность раствора повышается с 1,32 т/м³ до 1,54 т/м³, т.е. повышается на 17%, при этом содержание полезного компонента в продуктивном растворе повышается на 15%.

Обработкой данных таблицы – 3.6, получены графики изменения плотности и содержания урана в исходном выщелачивающем растворе (рисунок 3.7).

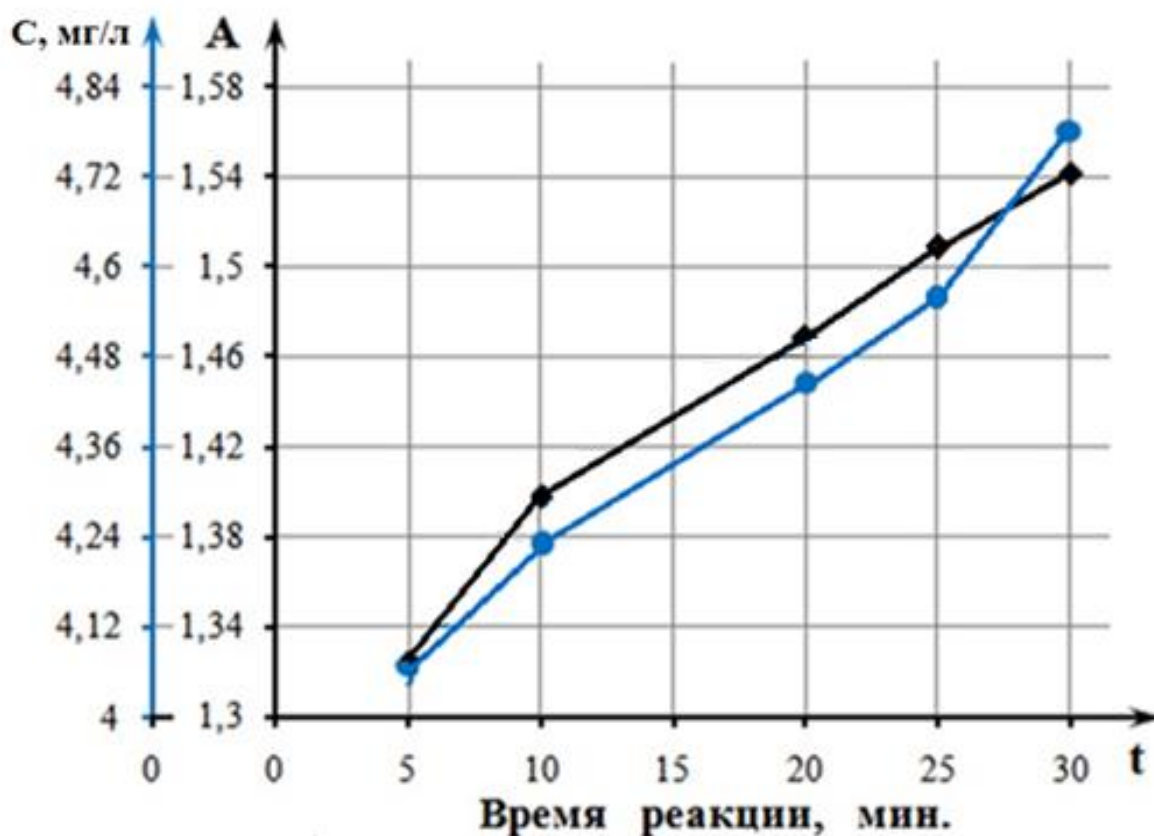


Рисунок 3.7 – График изменение плотности (А) и содержания урана в исходном выщелачивающем растворе (С, мг/л)

Результаты исследования изменения плотности раствора и содержания полезного компонента в растворе при обработке его активатором от 3 до 20 минут представлены в таблице 3.7 и на рисунке 3.8.

Таблица 3.7 – Изменение во времени плотности (А) и содержания полезного компонента в выщелачивающем растворе (С, мг/л) после обработки раствора активатором.

Параметры		Время реакции, мин			
		5	10	15	20
Обработка раствора активатором в течение 3 мин.	Плотность (А)	1,42	1,492	1,494	1,339
	Содержания урана в продуктивном растворе (С, мг/л)	4,48	4,51	4,68	4,81
Обработка раствора активатором в течение 5 мин.	Плотность (А)	1,34	1,432	1,451	1,315

Продолжение таблицы 3.7

	Содержания урана в продуктивном растворе (С, мг/л)	4,80	5,06		
Обработка раствора активатором в течение 10 мин.	Плотность (А)	1,4	1,463		
	Содержания урана в продуктивном растворе (С, мг/л)	4,80	5,09		
Обработка раствора активатором в течение 20 мин.	Плотность (А)	1,419	1,54		
	Содержания урана в продуктивном растворе (С, мг/л)	4,30	4,67		

Обработкой данных таблицы – 3.6, получены графики изменения плотности (А) и содержания урана в выщелачивающем растворе (С, мг/л) при времени реакции 5 мин.

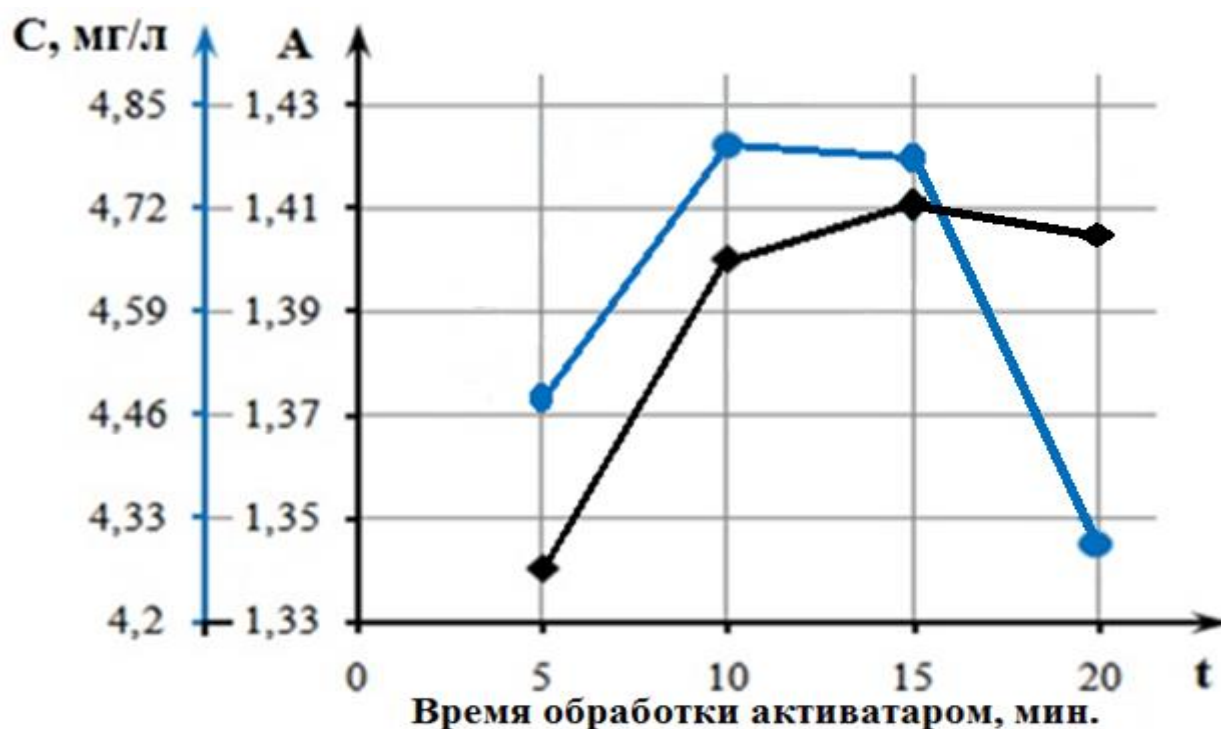


Рисунок 3.8 – График изменение плотности (А) и содержания урана в выщелачивающем растворе (С, мг/л) при времени реакции 5 мин.

Из анализа таблицы следует, что при обработке раствора активатором в течение 3 минут плотность раствора составляет $1,42 \text{ т/м}^3$, при возрастании времени активации до 5 минут привело к снижению плотности до $1,34 \text{ т/м}^3$, а дальнейшее возрастание времени активации до 10 – 20 минут уже привело к повышению плотности раствора до $1,42 \text{ т/м}^3$. Содержание полезного компонента в продуктивном растворе при активации 3 минуты составляло $4,48 \text{ мг/л}$, а при 5, 10 – 20 минутах соответственно $4,8 \text{ мг/л}$ и $4,3 \text{ мг/л}$.

Изменения плотности продуктивного раствора и содержания полезного компонента в продуктивном растворе при 10 минутах реакции приведены на рисунке 3.9.

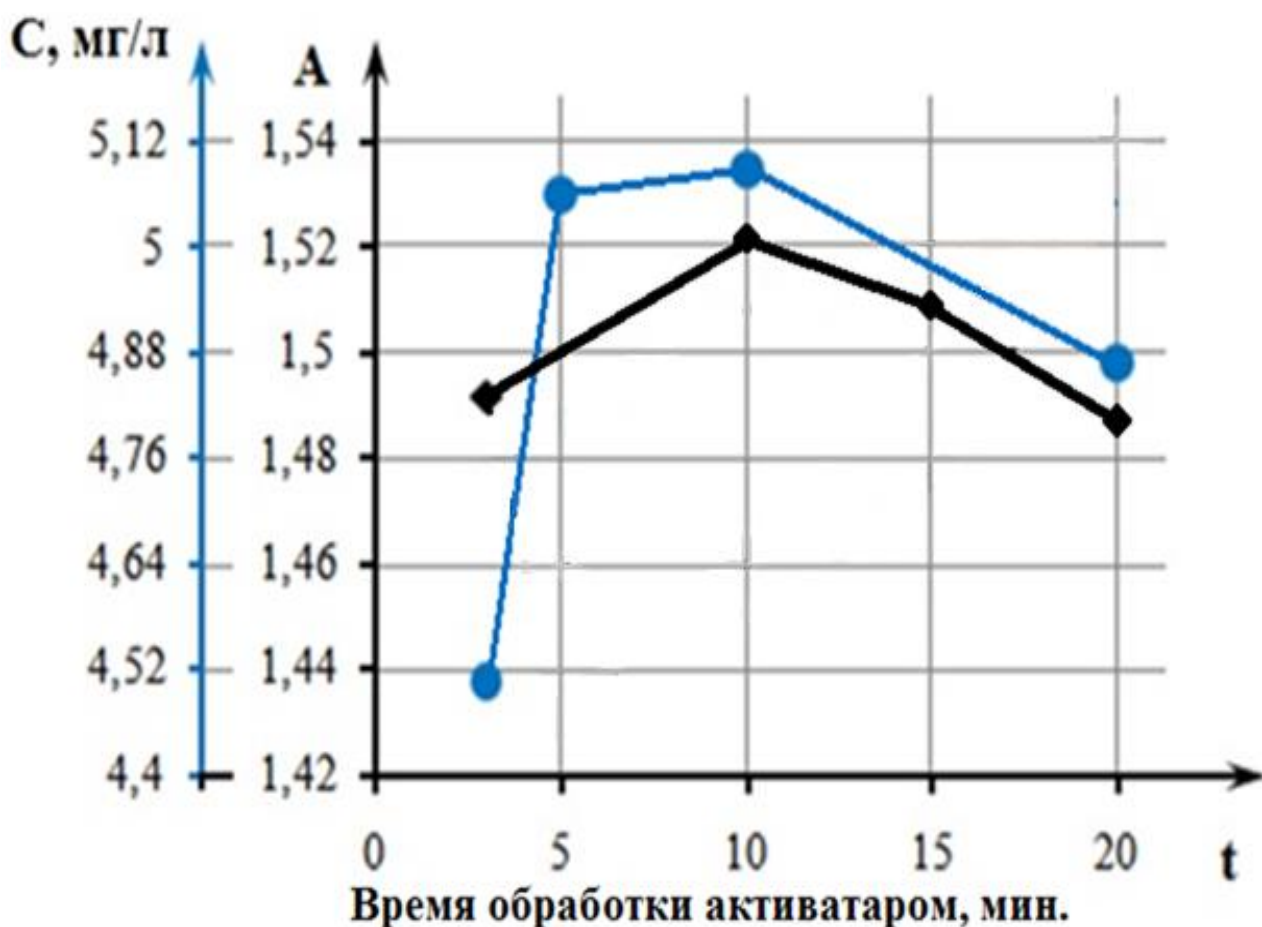


Рисунок 3.9 – График изменение плотности (А) и содержания урана в выщелачивающем растворе (С, мг/л) при времени реакции 10 мин.

Из анализа таблицы следует, что при обработке раствора активатором в течение 3 минут плотность раствора составляет $1,49 \text{ т/м}^3$, при возрастании времени активации до 5 минут привело к снижению плотности до $1,43 \text{ т/м}^3$, а дальнейшее возрастание времени активации до 10 – 20 минут уже привело к повышению плотности раствора до $1,54 \text{ т/м}^3$. Содержание полезного компонента в продуктивном растворе при активации 3 минуты составляло $4,51 \text{ мг/л}$, а при 5, 10 – 20 минутах соответственно $5,06 \text{ мг/л}$ и $4,67 \text{ мг/л}$.

При проведении исследований с не активированным раствором и активированным раствором в течение 5 минут, и времени реакции 5 минут плотность выщелачивающего раствора составляет соответственно 1,32 т /м³ и 1,34 т/м³, а содержание полезного компонента в продуктивном растворе соответственно 4,06 мг/л и 4,48 мг/л. т.е. при одинаковой величине плотности продуктивного раствора и времени реакции, содержание полезного компонента в активированном растворе больше на 10%. При времени реакции 10 минут, содержание полезного компонента в активированном растворе больше на 19%.

3.4 Установка для механической активации концентрированной серной кислоты

На основании выше проведенных лабораторных испытаний определена времени активации рабочего раствора, при которой кольматанты переходят в жидкое состояние, что не позволяет кольматироваться продуктивному слою и рабочему оборудованию, а также с учетом производительной мощности опытного участка, который использует концентрированную серную кислоту в объеме 2 тонны в час, определены основные параметры кавитационного генератора (рисунки 3.10 и 3.11). После окончательного определения опытного участка (места установки и способа подключения к линии подачи кислоты), а также объема и скорости используемой концентрированной серной кислоты для доукрепления маточного раствора будут уточнены параметры и изготовлен генератор.

На изготовленном генераторе будут проводиться полупромышленные испытания, которые позволят на практике уточнить время активации, выщелачиваемого раствора (при необходимости будет осуществляться доработка). Затем работа генератора будет апробирована на опытном участке и при необходимости еще раз будет осуществляться доработка.

С учетом проведенных исследований были разработаны чертежи роторного генератора и ротора для активаций доукрепляющей концентрированной серной кислоты (рисунки 3.10 и 3.11). Для предполагаемого опытного участка необходим генератор с производительностью 2,0 т/час концентрированной серной кислоты, мощность привода 5 кВт.

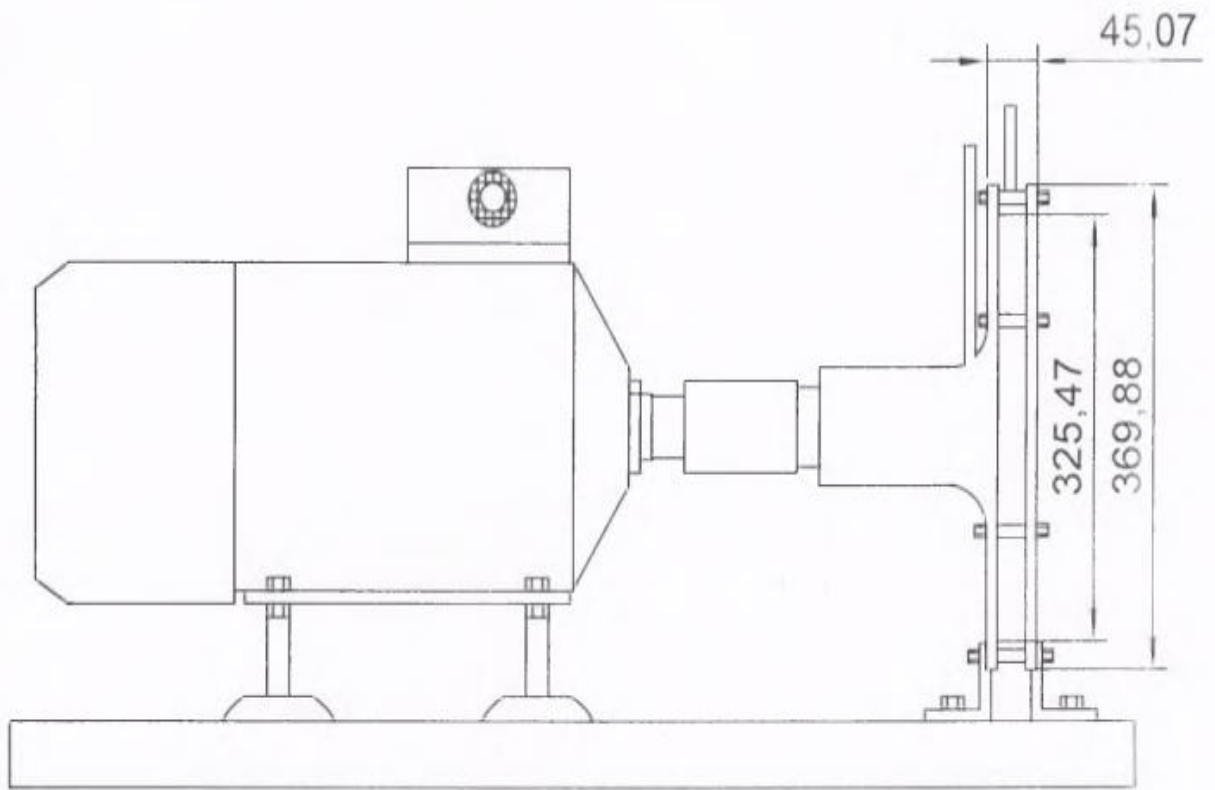


Рисунок 3.10 – Общий вид активатора

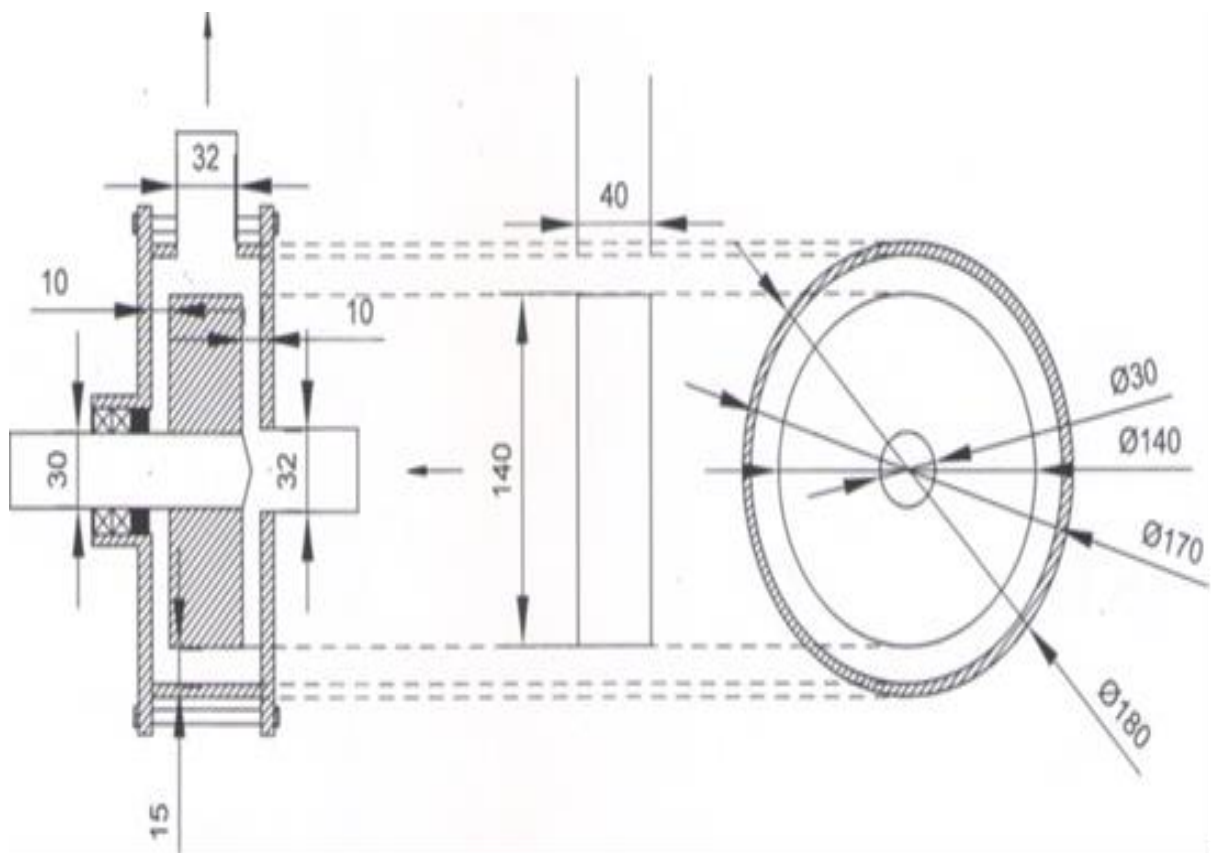
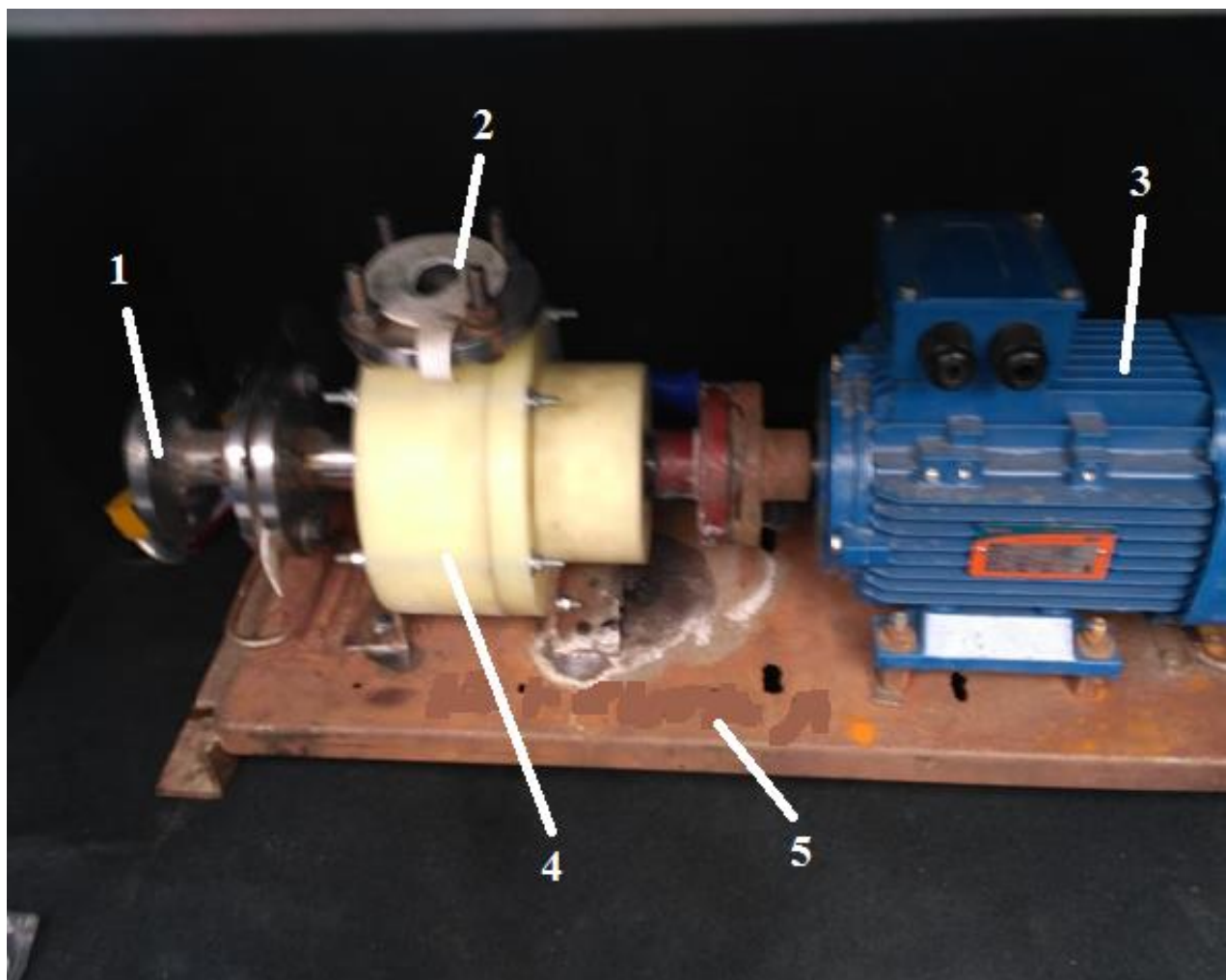


Рисунок 3.11 – Ротор активатора

По разработанным чертежам была изготовлена установка для активации серной кислоты (рисунок 3.12).



1- входной патрубок; 2- выходной патрубок; 3- электродвигатель;
4 - генераторный блок; 5 - платформа

Рисунок 3.12 – Устройство для активации раствора

Устройство для активации растворов смонтировано на платформе 5, где соосно расположены генераторный блок 4 с входящим патрубком 1, выходящим патрубком 2, и электродвигатель 3, приводящий во вращательное движение ротор генераторного блока. Пуск и остановка производится блоком управления активатором (БУА), к которому подключена электросеть.

Устройство подключается в линию подачи доукрепляющей серной кислоты и работает следующим образом: к входящему патрубку 1 подключается непрерывный поток обрабатываемого раствора (доукрепляющий) и когда генераторный блок 4 наполняется на 1/3 раствором, осуществляется пуск электродвигателя 3 блоком БУА. Генераторный блок 4 после обработки раствора самостоятельно осуществит подачу обрабатываемого раствора через выходящий патрубок 2.

Не рекомендуется осуществлять запуск генераторного блока, предварительно не подключив непрерывную подачу обрабатываемого раствора и не наполнив на 1/3 что составляет 0,5 л.

Для безаварийной работы перед запуском установки обязательно должен быть обеспечен беспрепятственный выход обработанного раствора через выходящий патрубок 2. В том случае, если не будет обеспечен беспрепятственный выход раствора из генераторного блока, внутри генератора мгновенно создается область высокого давления, которая может привести к разгерметизации генераторного блока.

Устройство для активации раствора было установлено в технологический узел закисления (ТУЗ) блока 8-9-3 рудника «Центральный Мынкудык» (рисунок 3.13). Акт установки активатора приведен в приложении Б.

Опытно-промышленные испытания были проведены в течение 17 дней. Для сравнения результатов опытно-промышленных испытаний, заранее были собраны статистические данные по данному блоку при базовой технологии, которые сведены в таблицу 1 приложения В. Во время проведения опытно-промышленных испытаний работниками лаборатории рудника отбирались пробы, результаты проб приведены в таблице 2 приложения В. По результатам анализа проб содержания урана в продуктивном растворе повысилось в среднем на 8%.



Рисунок 3.13 – Активатор с блоком управления, установленный на месторождении «Центральный Мынкудык»

3.5 Блок автоматизированного управления активатором

Устройство для активации раствора управляется блоком управления активатором (БУА) в автоматизированном режиме.

БУА состоит из металлического корпуса TDM ЩМП-1 IP54 (395×310×220) (рисунок 3.14), внутри которого установлен частотный преобразователь CHF 100A-004G/ 5R5P-4 (рисунок 3.15), вводной автоматический выключатель и модуль таймера (рисунок 3.16)



Рисунок 3.14 – Корпус для защиты от агрессивной среды



Рисунок 1.15 – Частотный преобразователь и вводной автомат



Рисунок 3.16 – Модуль таймера

Технические характеристики

Частотный преобразователь:

- Три режима управления: векторное без датчика обратной связи, вольт-частотное и управление крутящим моментом;
- Пусковой момент: 150% от номинального на 0,5 Гц при векторном управлении без датчика обратной связи;
- Встроенный инверторный сглаживающий реактор постоянного тока в моделях номинальной мощностью 18,5-90 кВт для улучшения входного коэффициента мощности, а также для повышения общего коэффициента полезного действия и стабильности;
- Внутренний тормозной блок для всех модификаций с номинальной мощностью 0,75-15 кВт, возможность прямого подключения тормозного резистора для быстрого останова;
- Простой ПЛК, ступенчатое переключение скорости и ПИД-управление;
- Программируемые функции входных и выходных клемм, что позволяет комбинировать необходимые режимы работы;
- Функция пропуска частоты, позволяющее предотвратить механический резонанс и повышающая стабильность и надёжность системы;
- Функция мгновенного восстановления характеристик работы после сбоя питания;
- Возможность задания задержки перехода в режим ожидания;
- Обнаружение превышения крутящего момента;
- Кнопка двунаправленного сдвига, позволяющая просматривать параметры в реальном времени;
- Функция повторного пуска с отслеживанием скорости вращения: позволяет запустить управление вращающимся двигателем плавно, без рывков;
- Функция QUICK/JOG: позволяет программировать кнопки быстрого вызова, что даёт возможность, при нажатии соответствующей кнопки, быстро просматривать параметры, отличные от заданных по умолчанию;
- Автоматическая подстройка напряжения, эффективно устраняющая проблему низкочастотных вибраций мощных двигателей;
- Большое количество защит: от перегрузки по току и по напряжению, от просадки напряжения, от перегрева двигателя, от обрыва фазы, от перегрузки по мощности и пр.

Модуль таймера:

- Возможность установки паузы между запуском двигателя и остановкой;
- Возможность установки паузы между остановкой двигателя и запуском.

Настройка модуля таймера

Модуль таймера имеет четыре кнопки управления (рисунок 3.17). Кнопка 1 -START+ запускает двигатель, Кнопка 2 – PAUSE- останавливает двигатель и переводит в режим паузы, Кнопка 3 – EXIT функция выхода в режимах настройки, Кнопка 4 – PROG функция установки параметров в меню настроек.

При включении устройства на дисплее отображается информация об установленной ранее длительности времени работы двигателя WORK: _____ MIN в минутах и длительности паузы PAUSE: _____ MIN.



Рисунок 3.17 – Информация об установленной ранее длительности времени работы двигателя

Если нажать на кнопку 1 START, двигатель запустится и войдет в режим работы согласно установленным параметрам. Например, согласно параметрам, указанным на рисунке, двигатель будет 8 минут работать, 4 минуты простаивать.

Для изменения параметров, необходимо нажать на кнопку 4 PROG. Выйдет меню (рисунок 3.18)



Рисунок 3.18 – Изменение параметров с помощью меню

При этом цифровые значения будут моргать. При нажатии на кнопку 1 START, будет моргать только верхнее значение PROGWORK, сигнализируя о готовности к изменению. Теперь можно увеличивать или уменьшать данное значение с помощью кнопок 1 START+ и 2 PAUSE- соответственно. После установки необходимого значения для выхода нужно нажать кнопку 3 EXIT. Для изменения нижнего значения необходимо повторить процедуру 4 PROG - 2 PAUSE- и далее изменить значение, в конце нажать на 3 EXIT.

После установки необходимых значений и выхода в исходное меню, после нажатия кнопки 1 START, запускается двигатель и выходит информация (рисунок 3.19)



Рисунок 3.19 – Запуск двигателя

С отсчетом времени в секундах, т.е. если установлено время работы 8 минут, то таймер отсчитает 480 секунд, и переключит двигатель в режим простоя, где выйдет информация (рисунок 3.20)



Рисунок 3.20 – Режим простоя

С отсчетом времени простоя в секундах. Если установлено 4 минуты, таймер отсчитает 240 секунд и включит двигатель и т.д. бесконечно.

В любом из режимов работ можно нажать кнопку 3 EXIT чтобы остановить двигатель выйти в исходное меню.

3.6 Ожидаемый экономический эффект

Ожидаемый экономический эффект рассчитан с учетом снижения расхода серной кислоты за счет сокращения срока отработки запасов блока при условии применения технологии активации выщелачивающего раствора. Для расчета принят блок с запасом урана 278,7 тонны, среднее содержание урана в продуктивном растворе 112 мг/л.

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{ск} - \mathcal{Z}_{пт}, \text{ тг/год}$$

где $\mathcal{E}_{ск}$ – экономия средств за счет снижения расхода серной кислоты, тг;
 $\mathcal{Z}_{пт}$ – дополнительные затраты при применении предлагаемой технологии, тг.

Экономия средств за счет снижения расхода серной кислоты

$$\frac{\mathcal{E}_{ск} = (T_б - T_п) Q_{вр} \cdot q \cdot C_{ск}}{1000000} = \frac{(17\,299 - 15\,915) 130\,000 \cdot 6,0 \cdot 24\,600}{1000\,000} = 26\,556\,192 \text{ тг.}$$

где $T_б$, $T_п$ – соответственно время отработки запасов блока при базовой и предлагаемой технологиях, час;

$Q_{вр}$ – расход выщелачивающего раствора на блок, л/час;

q – расход серной кислоты на доукрепление 1 л раствора, г/л;

$C_{ск}$ – цена 1 тонны серной кислоты, тг/т.

Дополнительные затраты при применении предлагаемой технологии

$$\mathcal{Z}_{п} = C_в + 2C_{кр} + C_м + C_р = 600000 + 2 \cdot 250000 + 15000 + 15000 = 1\,130\,000 \text{ тг}$$

где $C_в$ – цена активатора, тг;

$C_{кр}$ – цена запорного крана, тг;

$C_м$ – цена манометра для параллельной линий, тг;

$C_р$ – цена расходомера, тг.

Тогда

$$\mathcal{E} = 26\,556\,192 - 1\,130\,000 = 25\,426\,192 \text{ тенге на 1 блок}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Подземное скважинное выщелачивание сопряжено с переработкой больших количеств сырья, стоимость выщелачивающих реагентов в значительной мере определяет себестоимость конечного продукта. Для снижения расхода реагента применяются различные технологические решения, которые отличаются дороговизной и технологическими сложностями их применения.

2 Разработана технология механической активации рабочего раствора, позволяющая повысить ее активность и отличающиеся низкими капитальными и эксплуатационными затратами.

3 Для активации выщелачивающего раствора предлагается проводить механическую обработку только серной кислоты перед доукреплением маточного раствора. Сравнение результатов измерений содержания урана в растворах при активации только воды и только серной кислоты показали повышение содержания урана в растворе на 14% при активации только серной кислоты. Следовательно, в промышленных условиях нет необходимости проводить механическую активацию всего выщелачивающего раствора, следует ограничиться только активацией доукрепляющей концентрированной серной кислоты. Таким образом уменьшается объем обрабатываемого раствора и затраты на изготовление и эксплуатацию активатора.

4 Получены зависимости содержания урана в продуктивном растворе от времени активации рабочего раствора и времени выдержки после активации, что позволит регулировать время активации раствора в зависимости от расстояния ее транспортировки. Например, активация раствора приводит к повышению содержания урана в продуктивном растворе от 9 до 21%, а его активность сохраняется длительное время (до 30 дней).

5 При проведении исследований с не активированным и активированным раствором плотность выщелачивающего раствора изменяется незначительно, что не оказывает влияния на гравитационное опускание продуктивного раствора.

6 Для применения данной технологии в производственных условиях изготовлен активатор, который установлен в блок 8-9-3 рудника «Центральный Мынкудык, фактическое повышение содержания урана в продуктивном растворе составило 8%.

7 Ожидаемый экономический эффект рассчитан с учетом снижения расхода серной кислоты и электроэнергии за счет сокращения срока отработки запасов блока при условиях применения технологии активации выщелачивающего раствора. На один технологический блок с запасом урана 278,7 тонны эффект составит 25 426 192 тенге.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Отчёт о результатах детальной разведки участка «Центральный» месторождения «Мынкудук» с подсчётом запасов урана (Том I-II), - 789 с.
- 2 Бушков К.Ю., Тимофеев В.П., Шалагин М.В. Специфика гидрогеологических условий залежей Хиагдинского месторождения и его возможное влияние на отработку месторождения методом скважинного подземного выщелачивания // Тезисы Третьего международного симпозиума «Уран: геология, ресурсы, производ-ство». – М.: ФГУП «ВИМС», – 2013. – С. 31-32.
- 3 Принзин Н.А., Садыков М.Ж., Алыбаев Ж.А., Дуйсебаев Б.О. Применение термогидролиза для разделения урана и алюминия. Комплексное использование минерального сырья. №5 (2010).
- 4 Абишева З.С., Загородняя А. Н., Садыканова С.Э. Боброва В.В., Шарипова А.С. Сорбционная технология извлечения урана из урансодержащих растворов с использованием слабоосновных анионитов. Комплексное использование минерального сырья. №3, 2011. www.kims-imio.kz
- 5 Yusupov Kh. A., Dzhakupov D. A. Ammonium bifluoride in chemical treatment of boreholes in in-situ uranium leaching. Gornyy zhurnal. 2017, no 4, pp. 57—60. [In Russ].
- 6 Пирсол И. Кавитация / Пер. с англ. Ю.Ф. Журавлёва; Под ред. Л. А. Эпштейна. — М.: Мир, 1975. —96 с.
- 7 Савченко Г.А. и др. Типовая инструкция по геотехнологии добычи урана на месторождениях, обрабатываемых методом СПВ 2002 г., РУМЦ «Геотехнология»).
- 8 Предварительный патент РК №19465 «Способ получения раствора для выщелачивания металлов из руд», 15.05.2008).
- 9 Аликулов Ш.Ш. Совершенствование гидродинамического режима подземного выщелачивания урана с учетом кольматации руд. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., 2011, с. 25.
- 10 Цирулин В.Е., Абрамов В.А. Применение пулевых перфораторов в скважинах // Сер. «Разведочная геофизика». – М., 1991).
- 11 Дементьев А.А., Бабкин А.С., Истомин А.Д. и др. Инновационная технология управления разработкой месторождений урана методом скважинного подземного выщелачивания // Тезисы Третьего международного симпозиума «Уран: геология, ресурсы, производство». – М.: ФГУП «ВИМС», – 2013. – С. 30-31).
- 12 Забельский В.К. Перспективы применения скважинной технологии подземного выщелачивания при разработке месторождений полезных ископаемых // Горный журнал. – №7. – М., 1991. – С. 48-52.
- 13 Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Интенсификация процесса добычи с применением окислителей в процессе выщелачивания на участке «Центральный» месторождения «Мынкудук»», Казахский

национальный исследовательский технический университет им.К.И. Сатпаева. Алматы, 2021. с.61.

14 Жиганов А.Н., Истомин А.Д., Носков М.Д. и др. Программный комплекс для моделирования процесса подземного выщелачивания урана//В кн.: Подземное и кучное выщелачивание урана, золота и других металлов. В 2 т. Т.1. М.: «Руда и металлы»).

15 Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация. — М.: Мир, 1974. 678 с.

16 E. Aben, Zh. Markenbayev, N. Khairullaev, S. Myrzakhmetov, Kh. Aben, “Study of change in the leaching solution activity after treatment with a cavitator”. Mining of Mineral Deposits”, volume 13(2019), Issue 4, pp. 114-120.

17 Абен Е.Х., Рустемов С.Т., Бахмагамбетова Г.Б., Ахметханов Д. Повышение извлечения металла на основе активации выщелачивающего раствора. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2019;(12). – С.169-179.

18 Абен Е.Х., Хайруллаев Н., Мырзахметов С., Юсупова С.А. Влияние активации компонентов раствора на содержание урана в продуктивном растворе. Горный журнал Казахстана. №5 2021г. стр. 10 – 14. Алматы.

19 Юсупов Х.А., Абен Е.Х., Омиргали А.К., Хайруллаев Н. Исследование изменения активности выщелачивающего раствора во времени после обработки кавитатором. Новости науки Казахстана. №1 (148). стр 100 – 107. Алматы 2021.

20 Хайруллаев Н., Алиев С.Б., Юсупова С.А., Елузах М., Ахметканов Д.К.. Исследование активации раствора при геотехнологических процессах добычи. Уголь. 2021. № 9. С. 55-57. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-9-55-57.

21 Khairullayev N.B., Aliev S.B., AbenY.Kh., Uisimbek A.A. Study of the effect of solution activation on the density of the pregnant solution and on the content of the useful component. OF THE NATONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES ISSN 2224-5278 Volume 4, Number 448 (2021), 36-41 <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.79>

ПРИЛОЖЕНИЯ А



"Центральная опытно-методическая экспедиция"
Химико-аналитическая партия (лаборатория)

Республика Казахстан, 050016, г. Алматы, ул. Грибозова, 68,
 телефон (8-727) 3822380, факс (8-727) 3822381.

KZ.И.02.1029

Аттестат аккредитации № KZ.И.02.1029 от "13" ноября 2015 года. Действителен до "13" ноября 2020 года

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№ от " " г.

Лист 1
Листов 1

Заказчик: Орталык

Заказ: №00019

ИД на методику испытаний: KZ.07.00.03708-2018

Наименование образцов: руда

Количество образцов: 1

Дата получения образцов: 02.09.2019

Дата выполнения заказа: 02.09.2019

№ п.п.	№ пробы	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1	2.2	0.47	<0.0020	0.23	0.0048	0.0049	0.041	0.93	<0.0010	0.0025	0.0010	0.0015	0.00081	<0.0010
№ п.п.	№ пробы	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ba	Ta	W	Pb	Bi	Th	U
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	2	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	1	0.00042	0.0099	0.0087	0.0015	0.015	0.00081	<0.00030	0.042	<0.0010	<0.0010	0.00057	<0.00020	0.00051	0.091

ПРИЛОЖЕНИЯ Б

«ОРТАЛЫҚ»
Қазақ шығаратын кәсіпорны»
Жауапкершілігі шектеулі
серіктестігі
«ОРТАЛЫҚ МЫНҚУДЫҚ»
кәсіпші



Товарищество
с ограниченной
ответственностью
«Добывающее предприятие
«ОРТАЛЫҚ»
рудник «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
МЫНҚУДУҚ»

АКТ 2387

«06.» 12 2019г.

Установка актигатора

Председатель комиссии: Директора рудника

Батталов Е.О.

Члены комиссии: Заместитель начальника ГПП
Мастер ГПП
Механик ГПП

Амиреев Н.М.
Искаков Ж.А.
Ахметов Б.Н.






Представитель КазННТУ и.п. К.Н.Сатпаева
Научный сотрудник

Джакупов Д.А.

Мы, ниже подписавшиеся комиссия, составили настоящий акт о том, что согласно по. овору № 50-ТОО-19 от 20.02.2019г. установили механический актигатор на линию серной кислоты в ТУЗ 8-9-3 для активация хим. реагента подаваемого на обогащение.

Председатель комиссии:

Члены комиссии:


Е.О. Батталов

Н.М. Амиреев

Ж.А. Искаков

Б.Н. Ахметов

Д.А. Джакупов

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В1 – Содержание урана в продуктивном растворе при базовой технологии откачной скважины №41-1в-07

№	Время отбора пробы	Содержание урана в продуктивном растворе, мг/л
1	05.10.2019	166
2	05.10.2019	162
3	11.10.2019	139
4	11.10.2019	133
5	16.10.2019	106
6	16.10.2019	104
7	22.10.2019	81
8	22.10.2019	83
9	08.11.2019	90
10	08.11.2019	84
11	20.11.2019	102
12	20.11.2019	98
13	22.11.2019	84
14	22.11.2019	86
15	28.11.2019	70
16	28.10.2019	70
17	11.12.2019	68
18	11.12.2019	69
19	22.12.2019	62
20	22.12.2019	63

Таблица В2 – Содержание урана в продуктивном растворе при активации раствора откачной скважины №41-1в-07

№	Время отбора пробы	Содержание урана в продуктивном растворе, мг/л
1	26.12.2019	65
2	26.12.2019	64
3	30.12.2019	70
4	30.12.2019	71
5	04.01.2020	69
6	04.01.2020	68
7	08.01.2020	64
8	08.01.2020	65
9	12.01.2020	58
10	12.01.2020	58
11	16.01.2020	55
12	16.01.2020	56