

УДК 622.245.42

DOI: 10.52531/1682-1696-2025-25-3-96-110

Научная статья

АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЗОЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ, РЕМОНТА И ЛИКВИДАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН СКВАЖИННОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

А.Г. ИВАНОВ¹,
Ю.А. АРСЕНТЬЕВ²,
Н.В. СОЛОВЬЕВ²,
А.А. ВИЛЬМИС², Д.Д. ОРЕХОВ²

¹ Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии, Москва, Российская Федерация

² Российский Государственный Геологоразведочный институт имени Серго Орджоникидзе – МГРИ, Москва, Российская Федерация

Добыча урана с использованием метода скважинного подземного выщелачивания (СПВ) предусматривает выполнение следующих действий: сооружение, эксплуатацию и ликвидацию технологических скважин. Каждый этап является сложным процессом, требующим решения отдельных ответственных задач, касающихся выбора материалов для гидроизоляции заколонного пространства с целью устранения перетоков рабочих растворов, а также ликвидации выведенных из эксплуатации скважин с гарантированной изоляцией продуктивного горизонта от возможного контакта с водами вышележащих водоносных горизонтов. В статье приведены результаты лабораторных исследований различных видов растворов, созданных на основе золы-уноса – отходов угольных ТЭЦ, позволивших авторам статьи сформулировать рекомендации по их применению для ремонта и ликвидации скважин СПВ урана.

Ключевые слова: скважинное подземное выщелачивание, технологические скважины, сооружение, эксплуатация, ликвидация, гидроизоляция заколонного пространства, зола-унос с электрофильтров ТЭЦ, кольматация, сорбционные свойства, эффективность

А.Г. ИВАНОВ, Ю.А. АРСЕНТЬЕВ,
Н.В. СОЛОВЬЕВ, А.А. ВИЛЬМИС, Д.Д. ОРЕХОВ
АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЗОЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ
ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ, РЕМОНТА И ЛИКВИДАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН СКВАЖИННОГО
ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

EDN: SNQXEO

Original article

**ANALYSIS OF THE PROPERTIES
OF ASH SOLUTIONS TO DETERMINE
THE POSSIBILITY OF THEIR USE FOR
THE CONSTRUCTION, REPAIR AND
ABANDONMENT OF PROCESS WELLS
OF IN-SITU URANIUM LEACHING**

A.G. IVANOV¹, YU.A. ARSENTYEV²,
N.V. SOLOVYOV², A.L. WILMIS²,
D.D. OREKHOV²

¹ LEADING DESIGN, SURVEY AND RESEARCH
INSTITUTE OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY,
MOSCOW, RUSSIA, MOSCOW, RUSSIAN
FEDERATION

² RUSSIAN STATE GEOLOGICAL PROSPECTING
INSTITUTE NAMED AFTER SERGO
ORDZHONIKIDZE – MGRI, MOSCOW, RUSSIAN
FEDERATION

Uranium mining using the in-situ leaching (ISL) method involves the following steps: construction, operation and liquidation of process wells. Each stage is a complex process requiring the solution of individual critical tasks related to the selection of materials for the waterproofing of the annular space in order to eliminate the flow of working solutions, as well as the liquidation of decommissioned wells with guaranteed isolation of the productive horizon from possible contact with waters of overlying aquifers. The article presents the results of laboratory studies of various types of solutions created on the basis of fly ash - waste from coal-fired thermal power plants, which allowed the authors of the article to formulate recommendations for their use in the repair and liquidation of uranium ISL wells.

KEY WORDS: in-situ leaching, process wells, construction, operation, liquidation, waterproofing of casing space, fly ash from electrostatic precipitators of thermal power plants, colmatation, sorption properties, efficiency

Скважинные системы добычи металлов методом подземного выщелачивания (ПВ) применяются при разработке гидрогенных месторождений, приуроченных к проницаемым водоносным горизонтам. Геологические условия указанных месторождений освещены в ряде работ [3, 10]. Литологический разрез представлен породами осадочного комплекса II–VII категории по буримости механического вращательного бурения [11, 16].

Наиболее сложными с точки зрения предотвращения загрязнения недр технологическими растворами являются месторождения, имеющие в литологическом разрезе проницаемые горизонты, залегающие выше отрабатываемого продуктивного горизонта. Эти проницаемые горизонты, как правило, представлены песками различной крупности и слабосцементированными песчаниками.

Наличие в литологическом разрезе глинистых пород с большим содержанием карбонатных включений приводит к образованию на стенках скважин в интервалах проницаемых пород глинистой корки, легко разрушаемой при воздействии на нее кислых растворов.

Следует иметь в виду, что при возникновении утечек рабочих растворов в местах нарушения герметичности эксплуатационных колонн, каналы заколонного распространения растворов замыкаются на интервалы проницаемых пород. В связи с этим методика проведения лабораторных исследований растекания предусматривает выбор в качестве объекта исследований механизма кольматации твердой фазой раствора породы водоносных горизонтов, которые можно отнести к классам А 1а и Б 1б по классификации, приведенной в работах [2]. К указанным классам относятся неустойчивости породы с пористым (рыхлым) коллектором и слабоустойчивые породы с пористым проницаемым коллектором. Основными представителями этих пород являются пески различного гранулометрического состава и слабосцементированные песчаники.

В настоящее время наиболее широко распространенными для гидроизоляции заколонного пространства являются: цементный, глиноцементный, гельцементный, отработанный глинистый, некоторые полимерные растворы [6, 7, 8, 11, 14]. В некоторых случаях, при отсутствии по литологическому разрезу проницаемых горизонтов в пластических породах верхнего (над продуктивным горизонтом) водоупора специальных мероприятий по гидроизоляции не производится.

Основным способом подачи материала гидроизоляции является его закачка по заливочным трубкам, опущенным в кольцевое пространство между стенками скважины и эксплуатационной колонной, или по внутриколонному пространству через цементировочные узлы или заливочные муфты, установленные на обсадных трубах.

Центраторы на эксплуатационной колонне, как правило, не устанавливаются.

Приготовление материала гидроизоляции выполняется одним из следующих способов: централизованно с применением различных смесителей; с применением цементировочной техники; вручную в емкостях непосредственно на буровых установках.

Наиболее широко применяемыми для целей гидроизоляции заколонного пространства являются цементные растворы. Основным показателем качества разобшения пластов является полнота замещения промывочной жидкости в заколонном пространстве цементным раствором, причем полнота замещения выражается через коэффициент замещения (коэффициент вытеснения) K_v [1], представляющий собой отношение оставшегося в скважине тампонажного раствора к объему зоны гидроизоляции.

Вопросом цементирования скважин и определения факторов, влияющих на величину коэффициента замещения, занимались многие исследователи как в России, так и за рубежом: М.О. Ашрафьян, А.И. Булатов, М.П. Гулизаде, Д.Я. Крылов, А.Х. Мирзаджанзаде, В.В. Сутягин, Р.В. Уханов, Г.С. Говард, Д.Б. Кларк и др. [1, 2, 5 и др.].

В результате выполненных работ было установлено, что основными факторами, определяющими величину K_v , являются следующие:

1. Положение обсадной колонны в скважине.
2. Скорость восходящего потока цементного раствора.
3. Реологические свойства вытесняющей и вытесняемой жидкости.
4. Наличие напорных водоносных горизонтов в интервале гидроизоляции.
5. Толщина и физико-химические свойства глинистой корки в интервале проницаемых пород.
6. Удаление глинистой горки стенок скважины в интервалах проницаемых пород.
7. Вращение и расходка обсадных колонн в процессе цементирования.
8. Применение эксцентриков, установленных на колонне в интервалах кавернозных участков ствола с вращением колонны в процессе цементирования.
9. Цементирование обсадных колонн с применением центраторов, диаметр которых больше 80% диаметра ствола скважины.
10. Применение буферных жидкостей для разделения промывочной жидкости и цементного раствора.
11. Использование разделительных пробок при внутриколонной подаче цементного раствора в скважину.

Несмотря на достаточно большую изученность вопроса применения цементных растворов для крепления скважин, в технической литературе указывается на сложность достижения надежной гидроизоляции заколонного пространства с использованием этих

растворов. В частности, С.А. Рябokonь и В.В. Гольдштейн в работе [15] отмечают следующее: «Анализ состояния крепления скважин за последние 10–15 лет показывает, что около 10% из них сразу после сдачи в эксплуатацию требуют проведения повторных изоляционных работ; в остальных скважинах указанные работы необходимы или целесообразны уже в первые 2–3 года эксплуатации». И.Я. Серенко, Н.Я. Сидоров и А.Т. Кошелев отмечают: «Первоначальное цементирование обсадных колонн может оказаться некачественным даже при условии использования самой современной технологии, новейших технических средств, соответствующих тампонажных материалов и химических реагентов для регулирования свойств раствора и камня. Это связано с тем, что качество цементировочных работ зависит от множества факторов, воздействие которых на процесс цементирования моделировать не только сложно, но и подчас невозможно» [17].

Анализируя возможность применения цементного раствора для гидроизоляции заколонного пространства технологических скважин, оборудованных эксплуатационными колоннами из полиэтилена, можно отметить дополнительные сложности:

1. Значительное различие коэффициентов температурного расширения цементного камня и полиэтилена. В работе Сергиенко И.А. и др. [16] отмечается, что при перепаде температур рабочих растворов 15–22°C в теле трубы ПНД-110СТ возникают напряжения 22–46 кН, что может привести к нарушению целостности колонны, особенно по резьбовым соединениям.

2. Слабое сцепление полиэтилена с цементным камнем, составляющее (на сдвиг) 0,01–0,8 МПа /13/ (для сравнения: сцепление цементного камня составляет 0,21–0,89 МПа).

3. Практическая невозможность осуществления большинства вышеперечисленных технологических операций и приемов, обеспечивающих достижение высокого коэффициента замещения $K_v=1,0$.

4. Небольшая величина интервала цементирования заколонного пространства (в основном до 200–250 м, реже до 100 м).

По заключению специалистов ВНИИКРнефть, максимально лучшие показатели качества гидроизоляции заколонного пространства технологических скважин могут быть достигнуты при применении обратного цементирования. Однако на сегодняшний день такая технология применительно к скважинам подземного выщелачивания отсутствует. Эта технология обладает существенным недостатком: практической невозможностью фиксации времени входа цементного раствора внутрь эксплуатационной колонны.

В связи с вышеизложенным представляется, что совершенствование технологии цементирования заколонного пространства позволит ограниченно решить вопрос качества сооружения скважин подземного вы-

А.Г. ИВАНОВ, Ю.А. АРСЕНТЬЕВ,
Н.В. СОЛОВЬЕВ, А.А. ВИАЛЬМИС, А.А. ОРЕХОВ
АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЗОЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ
ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ, РЕМОНТА И ЛИКВИДАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН СКВАЖИННОГО
ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

щелачивания (ПВ) и не решит проблему в целом.

При анализе возможности использования цементного раствора для гидроизоляции заколонного пространства следует учитывать также дефицит и стойкость цементного камня к воздействию кислых растворов. В частности, вследствие перебоев с поставками для приготовления цементного раствора используются любые марки цемента.

Для определения химической стойкости цементного камня к воздействию растворов H_2SO_4 был выполнен следующий опыт.

В магистраль выщелачивающих растворов, в которую растворы из зумпфа подавались насосом, были врезаны три трубы диаметром 25 мм с включением в магистраль запорных кранов. Длина труб составляла 3 м. На конце труб непосредственно над зумпфом были размещены три образца цементного камня, приготовленные заливкой и твердением в стакане из нержавеющей стали диаметром 57 мм. Длина (высота) образца составляла 50 мм. Соединение труб с стаканом осуществлялось через переходные фланцы.

Плотность материала образцов составляла 1,74 г/см³, ожидание затвердения цементного раствора (ОЗЦ) происходило в водной среде в течении 7 суток. Выдержка образцов после ОЗЦ (до установки в магистраль) составила 60 суток.

Продолжительность эксперимента (контакта поверхности цементного камня с раствором H_2SO_4) составила 250 суток. Давление подачи выщелачивающих растворов – 3,5 ÷ 4,0 кгс/см², среднее содержание кислоты в растворе – 10 г/л.

После окончания работ был замерен объем растворенного рабочими растворами цементного камня. Замер проводился объемным методом. Растворенные образцы соответственно составили 19,5; 19,0 и 17,8 мм³.

Наряду с применением цементных растворов для гидроизоляции заколонного пространства возможно применение глиноцементных растворов, под которыми понимаются растворы, твердеющие с образованием глиноцементного камня. По сравнению с цементным, глиноцементные растворы имеют преимущества: высокую стабильность системы «цемент-глина-вода» и выход тампонажного камня 100%; устойчивость растворов размыву подземными водами; глиноцементный камень пластичен, легко разбушивается, обладает высокой водопроницаемостью.

Реологические свойства глиноцементных растворов в условия их твердения изучались Б.И. Кравцовым применительно к тампонированию обводненных пород при проходке стволов шахт.

Количество глины в глиноцементных растворах, применяемых при сооружении скважин на нефть и газ, допускается до 30% от сухих компонентов.

Недостатки глиноцементных растворов следующие:

1. В технологии подачи глиноцементных растворов имеются те же сложности, что и при подаче цементного раствора.

2. Сроки схватывания стабильных глиноцементных растворов удлиняются по сравнению с чисто цементными растворами; начало схватывания – в 1,3–2,7 раза, конец схватывания – в 1,6–2,9 в зависимости от В/Т и величины добавки глины, что увеличивает промежуток времени от вскрытия продуктивного горизонта до начала освоения скважины.

3. Глиноцементный камень имеет значительно меньшие прочностные характеристики по сравнению с цементным камнем.

4. По данным Э.А. Бочко [4], при содержании глины более 50% конец схватывания наступает через 26 часов, а при содержании глины более 70% смесь практически не твердеет.

Гельцементный раствор представляет собой не твердеющий высоковязкий материал повышенной плотности, приготовленный с добавлением цемента в глинистый раствор в соотношении 50÷150 кг цемента на 1 м³ раствора. Гельцементный раствор в большинстве случаев обеспечивает создание избыточного гидростатического давления на водоносные горизонты, препятствуя возникновению межпластовых перетоков.

При возникновении утечек рабочих растворов через нарушения герметичности обсадных колонн этот раствор может «прошиваться» каналами, образованными вследствие реакции карбонатной составляющей глинистого раствора с серной кислотой, причем эти каналы могут замыкаться на водоносных горизонтах, загрязняя их.

Аналогичная картина может наблюдаться и при использовании в качестве гидроизоляционного материала отработанного глинистого раствора.

Использование пластических свойств глинистых пород для гидроизоляции заколонного пространства возможно только в определенных условиях, когда этими породами представлена кровля продуктивного горизонта, а по литологическому разрезу отсутствуют проницаемые породы. Однако такие благоприятные геологические условия в практике проведения работ встречаются весьма редко.

Опыт эксплуатации технологических скважин, оборудованных эксплуатационными колоннами из полиэтиленовых труб, показывает, что в процессе эксплуатации этих скважин частичная разгерметизация колонн отдельных скважин и возникновение утечек рабочих растворов [11], что предполагает проведение ремонтных работ по ликвидации каналов утечек растворов в заколонное пространство скважин.

Однако до настоящего момента времени практически неизвестны работы, посвященные решению комплекса проблем по заколонному ремонту скважин ПВ. В то же время существует задача заколонного ремонта

по ликвидации каналов движения рабочих растворов при значительных – в несколько миллиметров – геометрических размерах в поперечине.

Также каналы могут быть ликвидированы подачей зернистого материала до полного заполнения канала несвязными зернами (частицами). После закупоривания канала частицами подается раствор, вызывающий отверждение и схватывание частиц поданного раствора, обеспечивая непроницаемость канала.

До настоящего времени при рассмотрении вопросов цементирования и гидроизоляции заколонного пространства технологических скважин в основном определяются решаемые при этом задачи [16], но, как правило, не рассматриваются физико-химические свойства материалов по взаимосвязи с технологией их применения.

В этой связи, поскольку существующие материалы не могут быть признаны удовлетворительными с точки зрения надежного предотвращения загрязнения недр рабочими растворами, представляется, что основным требованием к такого рода материалам должно быть наличие у них компенсационных свойств, то есть способности улавливать и нейтрализовать попавшие в заколонное пространство растворы кислот с образованием нерастворимых осадков, коагулирующих каналы утечек. Наиболее предпочтительными является использование материалов, для которых кислые растворы являются отвердителем.

Основными компонентами таких материалов должны являться оксиды щелочных металлов, вступающих в реакцию с растворением серной кислоты с образованием металлов, например Al_2O_3 , CaO , MgO , FeO , Fe_2O_3 и т. д.

Таковыми материалами могут быть водозольные или глинозольные растворы на основе ТЭЦ с использованием минимальных реакций золь для обеспечения их максимальной проникающей способности в поры и каналы утечек рабочих растворов по заколонному пространству технологических скважин.

Золы ТЭЦ – крупнотоннажный отход, близкий по гранулометрическому составу к цементу, состоящий преимущественно из оксидов ряда элементов.

По происхождению золы можно разделить на три большие группы: растительные, углей и золы, образующие при сжигании жидкого топлива.

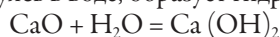
Растительные золы – это минеральный остаток от сжигания растительных веществ (древесины, соломы, кукурузных початков и др.). Растительные золы, как правило, обогащены солями и оксидом калия. Так, зола подсолнечника содержит в растворимой части от 15 до 35% K_2CO_3 , 3,5÷4,1% K_2SO_4 и 3,8÷5,1% KCl и используется для получения поташа – углекислого калия. Древесные золы более обогащены кальцием. Так, зола березы содержит около 50% CaO , 10% K_2O , 6,7% Na_2O , 6,7% MgO , 6,7% P_2O_5 , 3,3% SO_3 , 3,3% SiO_2 [8].

Наиболее распространены как отходы ТЭЦ – золы углей, более чем на 95% состоящие из оксидов. Различают золу легкоплавкую, переходящую в жидкое состояние при температуре 1200°C, плавкую (1200–1350°C) и тугоплавкую (1350–1500°C) [8]. Плавкость золы зависит от соотношения в ней оксидов:

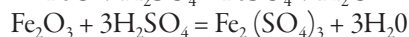
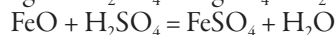
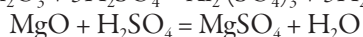
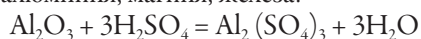
$$\frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}}$$

Тугоплавкость увеличивается с ростом этого соотношения.

Золы обладают высокой щелочностью: оксид кальция, гидролизуясь в воде, образует гидроксид:



Значительно выше потенциальная щелочность, т. е. нейтрализующая способность при взаимодействии с кислотами. Так, нейтрализаторами кислот являются оксиды алюминия, магния, железа:



Эти свойства зол приобретают важное значение при использовании их в буровой практике для ремонта и сооружения скважин. Обладая высокой щелочностью, золы нейтрализуют кислоту в случае растекания растворов, вследствие чего их часто применяют как добавки в цементные и глиноцементные растворы, применяемые при тампонировании скважин.

Шлаки – гранулированные или комовые отходы металлургических процессов (выплавки, переплавки и др.), образующиеся при плавлении разнородных оксидов. Это многокомпонентные системы, в которых оксидами, определяющими состав, являются CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO, FeO. Кроме того, они содержат оксиды марганца, фосфора, хрома, бария, серы, ванадия, титана и др. Шлаки соответствуют всем современным технологическим процессам производства черных металлов.

В обычных доменных шлаках 90% химического состава составляют оксиды кальция, кремния, алюминия. В зависимости от содержания оксидов шлаки делят на основные, кислые и нейтральные [9], определяемые модулем основности M_0 :

$$M_0 = \frac{(\text{CaO} + \text{MgO})}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$$

При $M_0 > 1$ шлаки являются основными, при $M_0 < 1$ – кислыми и при $M_0 = 1$ – нейтральными.

В зависимости от повышенного содержания отдельных компонентов шлаки подразделяют на магнезиальные ($\text{MgO} > 10\%$), высокоосновные ($\text{CaO} > 44\%$), титанистые ($\text{TiO}_2 > 5\%$).

Шлаки являются крупнотоннажным отходом. По своему химическому составу приближаются к

А.Г. ИВАНОВ, Ю.А. АРСЕНТЬЕВ,
Н.В. СОЛОВЬЕВ, А.А. ВИЛЬМИС, Д.А. ОРЕХОВ
АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЗОЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ
ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ, РЕМОНТА И ЛИКВИДАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН СКВАЖИННОГО
ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

портландцементному клинкеру, отличаясь от него обычно меньшим содержанием CaO. Химико-минералогический состав шлака и способность его охлаждения определяют физико-химические свойства цемента на их основе: сроки схватывания, подвижность, плотность, механическую прочность. Активность шлака возрастает в результате щелочного или сульфатного воздействия.

Шлаки и золы широко применяются при тампонировании геологоразведочных и технологических скважин. Они используются как активные минеральные добавки, вступающие в химическое взаимодействие с основным веществом портландцемента в процессе твердения. Добавки зол облегчают цементный раствор.

Перспективным направлением использования золы-уноса ТЭЦ является возможность приготовления тампонажных растворов с затворением их на технической воде или глинистом растворе. Подобные растворы наряду с их использованием в качестве тампонажных могут применяться для ремонта и ликвидации скважин. Использование золы-уноса в смеси с цементом позволяет сократить расход цемента.

В зависимости от цели использования тампонажных растворов количество добавки к портландцементу может варьироваться. Так, для снижения плотности тампонажного раствора при одновременном увеличении прочности при изгибе цементного камня предложен тампонажный раствор, содержащий портландцемент (32–44%), пыль электрофильтров – золу-уноса (6–8%), отход производства кремния – кремниевую пыль, улавливаемую скрубберами (9–13%) и воду (остальное). В тампонажном растворе данного состава щелочность жидкой фазы повышается не только за счет гидратации портландцемента, но и за счет растворения в ней щелочных оксидов кальция из пыли электрофильтров (золы-уноса). Благодаря воздействию компонентов в растворе и при преобладающей концентрации в нем двуокиси кремния SiO₂ создаются условия для ускоренного образования устойчивых низкоосновных волокнистых гидросиликатов кальция серии CSH(B). Последние высокодисперсны, имеют микрокристаллическую структуру и характеризуются намного более высокой прочностью на сжатие и изгиб, чем высокоосновные гидросиликаты, преобладающие в рядовом тампонажном цементе.

С целью увеличения деформируемости и сцепления цементного камня с обсадной колонной предложен тампонажный раствор, содержащий портландцемент, воду, полиоксиэтилен, хлорид натрия и в качестве армирующей добавки королек, являющийся бросомым отходом производства шлаковаты, получаемые в результате переработки силикатного расплава доменного шлака с базальтовой лавой и представляющие собой микросферы диаметром 0,1–0,7 мм.

С целью снижения плотности при сохранении низкой водоотдачи предложен тампонажный раствор,

содержащий 50÷70% портландцемента; 30÷50% золы; 1,4÷2,0% хлористого кальция; 0,16÷0,21% полиакриламида и 72÷83% воды. Облегченный тампонажный раствор обладает низкой плотностью 1450–1540 кг/м³, хорошей растекаемостью 20,5–21 см, имеет удовлетворительные сроки схватывания. Использование золы-уноса в качестве наполнителя способствует экономии цемента и охране окружающей среды.

Для повышения темпов роста прочности цементного камня при одновременном увеличении подвижности раствора предложен тампонажный раствор, содержащий 10–12% шлакопортландцемента; 10–12% феррохромового шлака; 4,7% жидкого стекла; 50–60% тонкомолотого песка; 6,8% гидрата окиси натрия; 5% комплексной кремниевой органической добавки и остальное воду. Такой раствор обладает высоким темпом нарастания прочности и малой структурной вязкостью с сохранением подвижности.

Таким образом, в существующей практике тампонирующей скважин зола и шлаки, как правило, применяются в качестве облегчающих добавок [9], а также в качестве минеральных добавок.

Шлаки улучшают подвижность, но снижают седиментационную устойчивость при содержании более 10% по массе. Активные минеральные добавки повышают коррозионную стойкость портландцемента в сульфатных средах.

Добавка золы-уноса ТЭЦ к цементу увеличивает пластическую вязкость растворов. Так, при соотношении массы золы-уноса к массе цемента равном 2:3, пластическая вязкость увеличивается в 2–4 раза.

Шлаки для цементирования скважин используются и как чисто шлаковый тампонажный материал. Существенный недостаток шлаковых растворов – их седиментационная неустойчивость и большая водоотдача. Для устранения этих недостатков вводят дополнительные составляющие. С целью повышения темпов роста цементного камня при одновременном увеличении подвижности раствора в качестве вяжущих компонентов используют шлакопортландцемент и феррохромовый шлак, для ускорения схватывания и твердения используют жидкое стекло, а в качестве пластификатора используют кремнийорганическую добавку [30]. Использование шлакопесчаных смесей повышает прочность камня.

Возможность использования зол и шлаков в смеси с цементом для целей гидроизоляции не вызывает сомнений, позволяя при этом сократить расход цемента на гидроизоляцию заколонного пространства. Однако перспективным представляется дальнейшее совершенствование рецептур тампонажных растворов с использованием золы и шлаков и дальнейшим сокращением доли цемента или полным его отсутствием. Для решения этих задач необходимо изучение физико-химических параметров конкретных видов золы и шлаков, а именно определение гранулометри-

ческого состава, изучение реологических свойств растворов на их основе, определение кольматационных свойств и исследование процесса взаимодействия с технологическими растворами.

Для исследования физико-химических параметров зольных растворов были выполнены работы с золой-уносом – отходами ТЭЦ.

Химический состав исследуемых зол приведен в табл. 1.

Определение физических параметров золы и зольных растворов исключало:

- определение гранулометрического состава золы;
- определение насыпной плотности;
- определение реологических свойств зольных растворов: плотности, вязкости, водоотдачи, стабильности.

Методика исследований заключалась в следующем.

При определении гранулометрического состава производили анализ высушенных проб с использованием сит стандартного ряда: 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 5; 7; 10 мм. Масса проб составляла около 50 и 1000 г, количество параллельных определений – не менее 5.

Насыпную плотность определяли взвешиванием просушенных проб золы в тиглях известной массы объема (125 см³). Количество параллельных определений – 6.

Определение реологических свойств зольных растворов выполняли с использованием стандартных приборов: ареометра АГ-3, вискозиметра СПВ-5, приборы для определения водоотдачи ВМ-6, отстойника ОМ-10.

Результаты измерений гранулометрического состава ТЭЦ-1 приведены в табл. 2, а ТЭЦ-2 – в табл. 3.

Полученные результаты показывают, что содержание в золе-уноса крупных фракций (более 10 мм) составляет не более 10% для ТЭЦ-2 и не более 0,06% – для ТЭЦ-1, причем в составе золы-уноса преобладают частицы крупностью менее 0,25 мм: 56,1÷61,3% для ТЭЦ-2 и почти 99% – для ТЭЦ-1.

Результаты определения насыпной плотности золы-уноса в ТЭЦ-2 и ТЭЦ-1 приведены в таблицах 4 и 5 соответственно.

Результаты определений показали, что средняя насыпная плотность непросеянной золы-уноса ТЭЦ-2 составила 1,16 г/см³ (т/м³), а ТЭЦ-1 – 1,31 г/см³ (т/м³).

Геологические свойства зольных растворов определялись при концентрации золы в воде 100, 200, 300 и 400 г/л.

Результаты определения реологических параметров ТЭЦ-2 и ТЭЦ-1 зольных растворов приведены в табл. 6 и 7 соответственно.

В приведенных таблицах и далее по тексту приняты следующие единицы измерения реологических параметров: плотность – г/см³; вязкость – секунды С; водоотдача – см³/30 мин.; содержание песка %.

ТАБЛИЦА 1.

Химический состав исследуемых зол

Место отбора пробы	Состав золы-уноса							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂
ТЭЦ-1	38,8	20,2	3,0	2,8	0,7	1,04	1,24	0,30
ТЭЦ-2	38,8	14,7	14,7	6,0	0,5	1,14	0,76	0,72

ТАБЛИЦА 2.

Гранулометрический состав золы-уноса ТЭЦ-1

Наименование	Размер фракций, мм				
	более 1,0	0,5–1,0	0,25–0,5	0,25–0,1	Менее 0,1
Масса фракций, г	38,8	20,2	3,0	2,8	0,7
Содержание фракций	38,8	14,7	14,7	6,0	0,5

ТАБЛИЦА 3.

Гранулометрический состав золы-уноса ТЭЦ-2

Размер фракций, мм	Количество, г/%				
	проба 1	проба 2	проба 3	проба 4	проба 5
более 10	89,57/9,0	97,40/9,8	111,1/10,4	80,2/7,9	62,7/6,3
7–10	21,10/2,1	19,10/1,9	23,4/2,2	40,3/4,9	18,4/1,9
5–7	16,30/1,5	16,40/1,6	14,8/1,4	16,9/1,6	17,2/1,7
3–5	23,30/2,4	23,70/2,4	25,6/2,4	24,4/2,4	25,1/2,5
2–3	22,30/2,3	21,30/2,1	22,30/2,1	20,0/2,0	30,2/3,0
1–2	71,40/7,2	70,20/7,0	72,20/6,7	69,80/6,9	78,9/8,0
0,5–1	39,20/4,0	41,90/4,2	92,9/8,7	35,7/3,5	37,1/3,7
0,25–0,5	118,90/12,0	111,2/11,1	107,3/10,0	105,5/10,4	183,7/10,5
менее 0,25	590,3/59,5	507,9/59,9	01,5/56,1	623,8/61,3	596,9/60,4
Всего	989,07/100	997,4/100	1070,1/100	1015,6/100	990,2/100

ТАБЛИЦА 4.

Насыпная плотность золы-уноса ТЭЦ-2

№ опыта	Вес бюкса, г	Масса непросеянной золы, г	Насыпная плотность непросеянной золы, г/см ³
1	7,500	143,2	1,1466
2	7,520	141,22	1,1298
3	7,525	146,5	1,164
4	7,528	149,1	1,1928
5	7,529	147,5	1,11

ТАБЛИЦА 5.

Насыпная плотность золы-уноса ТЭЦ-1

№ опыта	Вес бюкса, г	Масса непросеянной золы, г	Насыпная плотность непросеянной золы, г/см ³
1	7,525	161,4	1,291
2	7,500	165,1	1,321
3	7,532	163,9	1,311
4	7,534	166,2	1,390
5	7,522	163,1	1,305

ТАБЛИЦА 6.

Реологические параметры водозольных растворов ТЭЦ-2

Концентрация золы-уноса в воде, г/л	Параметры	Результаты замеров	Среднее значение параметров	Примечание
100	плотность	1,03; 1,03; 1,02; 1,03; 1,03	1,03	Корка рыхлая, выпадение золы в осадок интенсивное
—	вязкость	14; 18; 14; 15; 14; 14; 14; 14; 15; 14; 14; 14	14,5	
—	водоотдача	6 опытов – более 40	>40	
—	песок	2; 3; 2; 4; 3; 4; 4; 4; 3; 3; 4; 4; 4	3,4	
200	плотность	1,04; 1,03; 1,04; 1,04; 1,04; 1,04	1,04	Корка рыхлая, 6–7 м, выпадение золы в осадок интенсивное
—	вязкость	14; 15; 15; 14; 15; 15; 18; 14; 17; 15; 14	15,1	
—	водоотдача	6 замеров – более 40	>40	
—	песок	6; 7; 7; 8; 7; 8; 7; 7; 6; 7; 8; 7	7,1	
300	плотность	1,12; 1,11; 1,13; 1,13; 1,13; 1,13; 1,13; 1,13	1,124	Корка рыхлая 6–9 мм, раствор над осадком мутный
—	вязкость	15; 15; 15; 15; 15; 15	15	
—	водоотдача	5 замеров – более 40	>40	
—	песок	6; 7; 10; 10; 7; 9; 10; 10; 10; 10; 10	9	
400	плотность	1,15; 1,15; 1,14; 1,15; 1,15; 1,14; 1,15	1,15	Корка рыхлая 9–10 мм, раствор под осадком мутный
—	вязкость	16; 16; 15; 16; 16; 15; 16; 15; 16	16	
—	водоотдача	5 замеров – более 40	>40	
—	песок	10; 10; 10; 9; 10; 10; 10; 9; 10	10	

ТАБЛИЦА 7.

Реологические параметры водозольных растворов ТЭЦ-1

Концентрация золы-уноса в воде, г/л	Параметры	Среднее значение параметров
100	плотность	1,03
—	вязкость	29,84
—	водоотдача	>40
—	песок	<4
200	плотность	1,04
—	вязкость	28,99
—	водоотдача	>40
—	песок	<4
300	плотность	1,06
—	вязкость	26,18
—	водоотдача	>40
—	песок	<4
400	плотность	1,13
—	вязкость	19,8
—	водоотдача	>40
—	песок	<4

Перед приготовлением зольных растворов зола просушивалась и просеивалась через сито 0,4 мм. При выполнении замеров водоотдачи для данного цикла опытов, а также последующих циклов применяли глинистый и глинозольный растворы и прибор ВМ-6.

Водоотдача 40 см³ для опытов с водозольным раствором 300 г/л достигалась через 8–9 секунд после начала опыта, а для водозольного раствора 400 г/л – через 6–8 секунд, что свидетельствует о полной нестабильности водозольных растворов и невозможности использования их для промывки ствола скважин в процессе бурения.

Для исследования реологических свойств глинозольных растворов используют глинистый раствор, реологические параметры которого приведены в табл. 8.

Для приготовления глинистых растворов использовали бентонитовый глинопорошок. Растворы затворялись за 48 часов до выполнения замеров. Как видно из таблицы 8, глинистый раствор с концентрацией глины 200 г/л обладает высокой вязкостью, практически «не течет» при проведении замеров с использованием прибора СПВ-5.

Реологические свойства глинозольных растворов изучались с использованием золы-уноса Чимкентской ТЭЦ.

Основные изученные характеристики глинозольных растворов приведены в табл. 9.

ТАБЛИЦА 8.

Реологические параметры глинистого раствора

Параметры	Значение параметров		Примечание
	Концентрация глины в воде, г/л		
	100	200	
Плотность	1,07	1,12	по 6 замеров
Вязкость	22	более 1800	по 5 замеров
Водоотдача	15	13	по 5 замеров
Содержание песка	4	2	по 6 замеров

ТАБЛИЦА 9.

Основные характеристики глинозольных растворов

Параметры	Концентрация глины, г/дм³	Средние результаты замеров			Примечание
		Концентрация золы, г/л			
		100	200	300	
Плотность	100	1,1÷1,11	1,13÷1,14	1,16÷1,20	По 6 замеров каждого параметра
Вязкость	–	32	31	28	
Водоотдача	–	23–24	34–35	37–39	
Песок	–	4,6	5,1	6,3	
Плотность	200	1,18÷1,19	1,21÷1,23	1,26÷1,27	–
Вязкость	–	не течет			–
Водоотдача	–	30	19–20	16–18	
Песок	–	9	10	11	

При проведении замеров на приборе ВМ-6 глинистая корка на фильтре для раствора с концентрацией глины 100 г/л составила 3–5 мм, а для раствора с концентрацией 200 г/л – 5–6 мм.

Замер водоотдачи глинозольного раствора с концентрацией глины и золы 100 г/л показал, что на фильтре образуется глинистая корка толщиной 9–10 мм, причем верхняя часть корки (7 мм) является рыхлой, а нижняя, прилегающая к фильтру, – плотная (2–3 мм).

Глинозольная корка практически не прилипает к фильтровальной бумаге, а при высыхании становится весьма твердой, тяжело разрушается ножом.

Глинозольные растворы, приготовленные с добавками золы к высоковязкому глинистому раствору при концентрации глины 200 г/л, представляют собой кремообразную массу серо-черного цвета с вязкостью «не течет» по СПВ-5.

Очевидно, такие растворы при разработке технологии их подачи в скважину и проведение дополнительных исследований по определению стабильности и характера физико-химических процессов взаимодействия с растворами кислот могут быть использованы для гидроизоляции заколонного пространства технологических скважин.

Следует иметь в виду, что перед выполнением заме-

ров эти растворы протирались через сито с размером ячейки 0,3–0,4 мм для предотвращения агрегирования твердой фазы образования глинозольных агрегатов.

Исследование кольматационных скважин свойств растворов проводили на установке по исследованию проницаемости керна (УИПК). По результатам определения реологических характеристик для исследования были выбраны растворы:

1. Водозольный с концентрацией золы 200 г/л.
2. Глинозольный (100 г глины + 1,0 дм³ воды + 100 г золы).
3. Глинозольный (200 г глины + 1,0 дм³ воды + 100 г золы).

Кольматацию образцов выполняли при следующих условиях: высота образцов не менее 45 мм; давление обжима образцов 2,2 МПа; давление подачи растворов при кольматации – 1,0 МПа. Кольматации подвергались образцы, отобранные из монолитов среднезернистых песков с величиной $K_d = 100 \div 150$ мД при давлении подачи воды 1,0 МПа.

Декольматацию образцов выполняли созданием противодавления, в качестве жидкости декольматации использовали техническую воду. При декольматации производилось постепенное увеличение давления подачи воды на закольматированный образец. При

этом фиксировали давление начала декольматации, которое затем повышали до 1,9 МПа. После стабилизации процесса определяли степень восстановления проницаемости образцов.

Характеристика образцов, использованных для исследований кольматационных свойств зольных растворов, приведена в табл. 10.

Характеристика зольных растворов, использовавшихся для кольматации образцов песка, приведена в табл. 11.

Результаты исследований показали следующее.

При подаче водозольного раствора на поверхность образца кольматирующий слой представлен твердой фазой раствора. Проницаемость образца при этом снижается в несколько десятков раз. При создании противодействия технической водой, равного давлению кольматации водозольным раствором, проницаемость образца восстанавливается до исходного значения.

Наличие твердой фазы в глинозольном растворе позволяет значительно снизить кольматацию образцов. При декольматации потеря эффективной проницаемости составляет 30% (образец №3), что значительно меньше по сравнению с аналогичными опытами по кольматации глинистыми растворами. Для последних восстановление эффективной проницаемости в лучшем случае не превышает 50%. Это обстоятельство дает основание использовать указанные растворы как

для вскрытия продуктивных водоносных горизонтов, так и для ликвидации технологических скважин.

С целью исследования возможности предотвращения дренирования рабочих растворов кислот через закольматированные водозольным и глинозольным растворами образцы песчаного керна было выполнено работа по следующей методике.

Глинозольные растворы.

На образцах №7 и 8 замерялась проницаемость на технической воде при создании избыточного давления 1,0 МПа. После этого производилась кольматация образцов песчаного керна глинозольными растворами при создании избыточного давления 1,0 МПа. Глинозольный раствор приготавливали смешиванием 200 г золы-уноса + 100 г глинопорошка + 1000 см³ воды. Параметры раствора были следующие: плотность – 1,14 см³, условная вязкость СПВ-5–31С; водоотдача – 30–35 см³/30 мин.

После достижения полной кольматации образцов глинозольными растворами (через 11–13 минут после начала опыта) на закольматированный участок образца подавался раствор H₂SO₄ концентрации 10 г/л под давлением 1–1,5 МПа.

На следующем этапе к закольматированному образцу прикладывалось противодействие для достижения декольматации технической водой. В образце №6 декольматация начиналась при противодействии 0,5 МПа (33,3% от максимального давления подачи

ТАБЛИЦА 10.

Характеристики песков образцов при проведении исследований

№ образца	Грансостав	Давление обжима, МПа	Проницаемость в воде, ΔP=1,0 МПа, мД	Высота образца, мм
1	Песок среднезернистый	2,2	742,8	48
2	Песок среднезернистый	2,2	714	50
3	Песок среднезернистый	2,2	600	50
4	Песок среднезернистый	2,2	785,7	50
5	Песок среднезернистый	2,2	671,4	48

ТАБЛИЦА 11.

Характеристики зольных растворов

№ образца	Состав вольного раствора			Свойства раствора			
	Вода, дм ³	Глина, г	Зола, г	Плотность, г/см ³	Вязкость, С	Водоотдача, см ³ /30 мин	Содержание песка, %
1	1	–	200	1,04	15	Более 40	7
2	1	–	200	1,04	15	–	7
3	1	100	100	1,11	32	24	5
4	1	200	100	1,14	31	35	5
5	1	200	100	1,14	31	35	5

кислых растворов или 50% от давления кольматации глинозольными растворами). Декольматация продолжалась при противодавлении 1,0 МПа.

В образце №7 декольматация начиналась при противодавлении 0,8 МПа (53,3% от давления кислых растворов или 80% от давления кольматации глинозольными растворами). Декольматация продолжалась при противодавлении 1,0 МПа.

Для водозольных растворов методика проведенных работ была аналогичной.

Сравнительные данные по изменению проницаемости образцов при противодавлении через них различных видов растворов приведены в табл. 12.

При проведении исследований было отмечено, что при пропускании через образцы №8 и 9, закольматированных водозольным раствором технической воды, на выходе вытекал фильтрат от темно-желтого до зеленого цвета при нейтральной реакции (рН=7).

Было также отмечено, что водозольный раствор не обеспечивает полной кольматации песков различного гранулометрического состава. Подача через образец, закольматированный зольными частицами, раствора H_2SO_4 приводит к частичной его декольматации, причем проницаемость по отношению к закольматированному образцу увеличивается в десятки раз, но не превышает 32–53%, в то время как создание противодействия ведет к восстановлению проницаемости 92,2% (образец №8); 69,4% (образец №9); 92,6% (образец №6) 80,7% (образец №7).

Из выполненных исследований также следует, что водозольные растворы в чистом виде не пригодны для целей гидроизоляции, также как и для целей заколонного ремонта технологических скважин, поскольку зольные частицы не обеспечивают полную механическую кольматацию пористых коллекторов и не снижают полностью проницаемость механических экранов.

В то же время глинозольные растворы, обеспечивая удержание зольных частиц во взвешенном состоянии, позволяют создать на границе пористого коллектора непроницаемый экран для растворов кислот,

ТАБЛИЦА 12.

Сравнительные данные по изменению проницаемости образцов

№ образца	Проницаемость, мД			
	K_n	$K_{пр}$	$K_{тк}$	K_n^1
6	385,7	0	0	357,1
7	376,2	0	0	303,5
8	728,5	4,5	385,7	671,4
9	700	4,5	228,5	485,7

K_n – проницаемость образцов по технической воде при $\Delta p = 1,0$ МПа; $K_{тк}$ – проницаемость образцов по раствору H_2SO_4 концентрации 10 г/л при $\Delta p = 1,0$ МПа; K_n^1 – восстановленная проницаемость созданием противодействия $\Delta p = 1,0$ МПа.

А.Г. ИВАНОВ, Ю.А. АРСЕНТЬЕВ,
Н.В. СОЛОВЬЕВ, А.А. ВИАЛЬМИС, Д.А. ОРЕХОВ
АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЗОЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ
ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ, РЕМОНТА И ЛИКВИДАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН СКВАЖИННОГО
ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

выдержавший избыточное давление подачи кислых растворов в направлении кольматации, превышающее в 1,5 раза давление, при котором образец кольматируется глинозольным раствором.

Опыты, выполненные с образцом №6 и 7, позволяет сделать вывод о возможности применения глинозольных растворов для целей ремонта, гидроизоляции и ликвидации технологических скважин, а также для ликвидации разведочных скважин.

Результаты исследований химических свойств золы-уноса для ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 приведены в табл. 13 и 14 соответственно.

Исследования показали, что при взаимодействии золы с водными растворами кислот проницаемость золы не снижается.

При взаимодействии с маточниками, дополнительно укрепленными кислотой, наблюдается некоторое снижение проницаемости.

Данная нейтрализация кислоты происходит при расходе кислоты более 500 кг/т.

При пропускании через воду маточников сорбции полная нейтрализация кислоты происходит при отношении Ж:Т = 65,0, при пропускании выщелачивающих растворов с концентрацией кислоты 20 г/л – при соотношении Ж : Т = 80,0. Поскольку при подземном выщелачивании руд конкретного месторождения при давлении растворов по рудному телу максимальное отношение Ж:Т не превышает 5,0, при растекании растворов за контуры рудной залежи или заколонное пространство эта величина должна быть значительно меньше, то есть значительно превышает реальную. Возможность нейтрализации золы растворами при растекании.

Помимо нейтрализующей роли, зола-уноса может выступать как компонент осаждения вредных примесей из растворов. Известны методы нейтрализации и очистки промышленных растворов и вод: электрохимические, мембранные, термохимические кондиционирование, химическая нейтрализация и осаждение. Для реализации наиболее доступного, последнего метода применяют известь [12], соли бария, карбонат кальция [13]. Использование первого метода не позволяет достичь высокой степени очистки ввиду достаточно высокой для этих целей растворимости гипса [16], второго – токсичности бариевых солей, дефицитности, высокой стоимости реагента и технологических сложностей (например, выделения H_2S при использовании BaS). Осаждение карбонатом кальция связано с высоким расходом реагентов. Этих недостатков лишен метод нейтрализации с осаждением труднорастворимых сложных солей, например, ГСАК – гидросульфалюмината кальция:

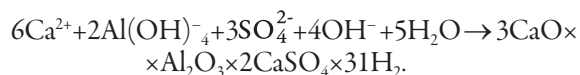


ТАБЛИЦА 13.

Результаты исследования химических свойств золы-уноса ТЭЦ-1

Матрица раствора	Концентрация, г/л	Расход кислоты на взаимодействие, кг/т	Отношение Ж:Т	Примечание
Вода	2	49,2	30:1	Полной нейтрализации золы не достигнуто
	20	181,4	30:1	
	100	426,6	30:1	
Маточник сорбции	2	50,6	30:1	—
	20	199,8	30:1	
	100	513,8	30:1	

ТАБЛИЦА 14.

Результаты исследования химических свойств золы-уноса ТЭЦ-2

Матрица раствора	Концентрация, г/л	Расход кислоты на взаимодействие, кг/т	Отношение Ж : Т	Примечание
Вода	2	20	10:1	Полной нейтрализацию золы не достигнуто
	20	140,2	10:1	
	100	397,8	10:1	
Маточник сорбции	2	19,7	10:1	—
	20	109,6	10:1	
	100	356,1	10:1	

Осадки ГСАК труднорастворимы, их можно хранить, либо использовать для производства строительных изделий, цемента или вяжущего материала.

Тяжелые металлы и токсичные элементы захватываются твердой фазой и вторично не растворяются. В качестве реагентов при этом методе осаждения используется алюминат натрия, оксихлорид и хлорид алюминия, глиноземнистый цемент, алюминий-содержащие шлаки. Использование указанных реагентов требует или их получения, или предварительной специальной подготовки.

В этом плане практический интерес представляет зола-унос. При контакте кислых технологических растворов и вод с золой-уносом одновременно с нейтрализацией этих растворов происходит образование труднорастворимых солей новых образований типа алаунитов и арозитов, а также сульфаламинатов кальция типа ГСАК с захватом металлов и загрязненных примесей. Наибольший эффект дает зола-унос, улавливаемая в электрофильтрах ТЭЦ, полученная при различных методах сжигания.

Обладая щелочной реакцией, зола-унос эффективно нейтрализует как сильнокислые высокосолесые растворы (общее содержание анионов до 100 г/л), так и минерализованные воды.

Результаты исследования в лабораторных условиях степени очистки золой-уносом с общей концентрацией анионов 100 г/л в зависимости от соотношения

Ж : Т при полной нейтрализации раствора H_2SO_4 приведены в табл. 15.

По значению Ж : Т = 2,0 остаточное содержание в растворах по железу и сульфату не превышало 100 мг/л. Эффективность нейтрализации и очистки растворов и вод зависит прежде всего от состава растворов и золы, состав последней определяется типом углей. Так, при соотношении раствор : зола-унос = 3,0, практически полностью очищают растворы от сульфатов при их исходном содержании в растворах 100 г/л. Максимальная емкость золы-уноса по сульфату до полной нейтрализации растворов была достигнута при соотношении Ж : Т = 3,0 и исходном содержании кислоты в растворах равном 5 г/л.

ТАБЛИЦА 15.

Результаты исследований очистки золой-уносом кислого раствора H_2SO_4

Ж : Т	Остаточное содержание солей, % от исходного	Примечание
1,0	0,0	С полным захватом всего объема раствора
1,5	3,0	
2,0	12,0	
4,0	34,0	

Данные по очистке сточных вод оксихлоридом алюминия, глиноземным цементом, золой-уноса после улавливания в электрофильтрах и шлаком приведены в табл. 16.

Из таблицы 16 следует, что степень очистки растворов оксихлоридом алюминия составила 79%, глиноземным цементом – 93,6%, золой-уноса – 94,0%, шлаком 93,2%.

Высокоразвитая поверхность золы-уноса позволяет эффективно осуществлять сорбцию (захват) технологических растворов до значения $J : T = 1:1,5$. При наличии в золе железа и алюминия наблюдается отверждение зольной системы. Добавка примерно 5% CaO или Na_2CO_3 ускоряет процесс отверждения и увеличивает прочность камня до 15 МПа и более. Эти характеристики можно регулировать рецептурой смеси.

ВЫВОДЫ

1. Выполнен краткий анализ состояния работ по гидроизоляции заколонного пространства технологических скважин, показавший, что на современном этапе отсутствуют доступные и дешевые материалы, обеспечивающие гарантированное предотвращение распространения рабочих растворов по заколонному пространству.

2. Основным требованием к таким материалам является способность улавливать и нейтрализовывать попавшие в заколонное пространство растворы кислот с образованием нерастворимых осадков, колюматизирующих каналы утечек. Химический состав золы-уноса и шлаков удовлетворяет этому требованию, а их доступность и дешевизна позволяет значительно снизить расходы на ремонт и сооружение скважин.

А.Г. ИВАНОВ, Ю.А. АРСЕНТЬЕВ,
Н.В. СОЛОВЬЕВ, А.А. ВИЛЬМИС, Д.А. ОРЕХОВ
АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЗОЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ
ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ, РЕМОНТА И ЛИКВИДАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН СКВАЖИННОГО
ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

3. Проведены исследования физико-химических реологических параметров зольных растворов на основе золы-уноса для ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, результаты которых показали, что:

– водозольные растворы не обеспечивают полной колюматации песков различного гранулометрического состава;

– глинозольные растворы, обеспечивающие удержание зольных частиц во взвешенном состоянии, позволяет создать на границе пористого коллектора непроницаемый экран для растворов кислот, выдерживающих избыточное давление подачи кислых растворов в направлении колюматации, превышающее в 1,5 раза давление, при котором образец колюматирован глинозольным раствором:

– водозольные растворы обладают значительной кислотоемкостью, превышающей реальную возможность нейтрализации золы растворами при растекании, и могут быть использованы для нейтрализации кислых растворов при проведении работ по заколонному ремонту скважин при условии последующей подачи тампонажного раствора;

– зола-унос эффективно нейтрализует как сильно-кислые высокосолевые растворы (общее содержание анионов до 100 г/л), так и минерализованные и шахтные воды;

– помимо нейтрализующей роли, зола-унос выступает как компонент для осаждения вредных примесей из растворов. Так, степень очистки раствора с исходным содержанием солей 100 г/л составила 94,0%.

4. Проведенные исследования показывают перспективность использования зол при ремонте и сооружении скважин. Особая эффективность может проявляться при задавливании зольных растворов в

ТАБЛИЦА 16.

Качество очистки сточных вод различными реагентами

Компонент	Исходное содержание, мг/л	Содержание после очистки, мг/л, с применением			
		оксихлорида алюминия	глиноземистого цемента	золы с электрофильтров	шлака
Cu^{2+}	5,0	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
Zn^{2+}	3,0	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
$Fe_{общ}$	10,0	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
Ca^{2+}	620,0	165,2	20,0	15,6	24,5
Mg^{2+}	138,0	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
SO_4^{2-}	1480,0	102,5	98,2	95,5	101,8
Cl^-	30,2	212,8	27,3	25,9	28,6

Примечание: н. о. – не определяется, то есть содержание менее 0,01 мг/л для Cu^{2+} , Zn^{2+} , $Fe_{общ}$ и менее 1 мг – для остальных.

скважины при их ликвидации после отработки эксплуатационного блока подземного выщелачивания. При этом в прифильтровом пространстве скважин будет происходить нейтрализация остаточной кислоты в поровых растворах и содержания вредных примесей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ашрафьян М.О., Луничкин В.А., Динмухамедов Д.Х. Совершенствование технологии цементирования скважин // Обзорная информация. Сер. Бурение. М.: ВНИИОЭНГ. 1986. Вып. 7. 44 с.
2. Башкатов Д.Н., Сулакшин С.С., Драхлис С.А. Справочник по бурению скважин на воду. М.: Недра. 1980. 560 с.
3. Бойцов В.Е. Геология месторождений урана. М.: Недра. 1989. 302 с.
4. Бочко Э.А., Никишин В.А. Упрочнение неустойчивых горных пород при бурении скважин. М.: Недра. 1979.
5. Булатов А.И. Детективная биография герметичности крепи нефтяных и газовых скважин. Краснодар: Просвещение – Юг. 2009. 934 с.
6. Глухов А.В., Ермоленко С.И., Иванов Д.А., Иванов А.Г. Способ гидроизоляции заколонного пространства скважин и состав тампонажной смеси для его осуществления. Патент РФ на изобретение №27226086 от 16.12.1019.
7. Иванов А.Г., Александров С.А., Курашов И.А., Иванов Д.А., Шихов П.Е. и др. О применении бентонита для сооружения технологических скважин скважинного подземного выщелачивания урана // Известия вузов, Геология и разведка. 2019. №6. С. 79–86.
8. Иванов А.Г., Арсентьев Ю.А., Соловьев Н.В., Назаров А.П. Оборудование устьев технологических скважин скважинного подземного выщелачивания урана, сооруженных в криолитозоне // Разведка и охрана недр. 2023. №2. С. 46–53.
9. Ивачев Л.И. Промывка и тампонирующее геологоразведочных скважин. М.: Недра. 1987. 247 с.
10. Мамилев В.А., Петров Р.П., Шушания Г.Р. Добыча урана методом подземного выщелачивания. М.: Атомиздат. 1980. 246 с.
11. Материалы семинары по геотехнологическому бурению и эксплуатации скважин. Навои. 1988. 70 с.
12. Милованов Л.В. Очистка и использование сточных вод предприятий цветной металлургии. М.: Металлургия. 1971. 384 с.
13. Нифадьев А.Ш., Пашкин А.А., Одинцова Т.А., Жданова Л.В. Тампонажные составы для гидроизоляции технологических скважин при подземном выщелачивании // Технический прогресс в атомной промышленности. Сер. Горно-металлургическое производство. 1983. Вып. 1 (278). С. 54–57.

А.Г. ИВАНОВ, Ю.А. АРСЕНТЬЕВ, Н.В. СОЛОВЬЕВ, А.А. ВИАЛЬМИС, Д.А. ОРЕХОВ
АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЗОЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ
ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ, РЕМОНТА И ЛИКВИДАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН СКВАЖИННОГО
ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

14. Рысев В.П., Иванов А.Г., Шаталов В.В., Фазлуллин М.И. и др. Способ сооружения эксплуатационных скважин для подземного выщелачивания руд. А.С. СССР №1679821. от 09.11.1989 г.
15. Рябokonь С.А., Гольдштейн В.В. Перспективы развития полимерных тампонажных материалов // Нефтяное хозяйство. 1969/ №5. С. 7–15.
16. Сергиенко И.А., Мосев А.Ф., Бочко Э.А., Пименов М.К. Бурение и оборудование геотехнологических скважин. М.: Недра. 1984. 224 с.
17. Серенко И.А., Сидоров Н.А., Кошелев А.Т. Повторное цементирование при строительстве и эксплуатации скважин. М.: Недра. 1988. 263 с.

REFERENCES

1. ASHRAFIYAN M.O., LUNICHKIN V.A., DINMUKHAMMEDOV D.KH. Improving Well Cementing Technology. *Obzornaya informatsiya. Ser. Burenije*. Moscow: VNIIOENG. 1986;7:44. (In Russian).
2. BASHKATOV D.N., SULAKSHIN S.S., DRAKHLIS S.A. Handbook of Water Well Drilling. Moscow: Nedra. 1980:560. (In Russian).
3. BOYTSOV V.E. Geology of uranium deposits. Moscow: Nedra. 1989:302. (In Russian).
4. BOCHKO E.A., NIKISHIN V.A. Hardening of Unstable Rocks in Borehole Drilling. Moscow: Nedra, 1979. (In Russian).
5. BULATOV A.I. Detective biography of tightness of oil and gas wells. *Prosveshchenie – Yug*. 2009:934. (In Russian).
6. GLUKHOV A.V., ERMOLENKO S.I., IVANOV D.A., IVANOV A.G. Method of waterproofing the casing space of wells and the composition of cement sand mixture for its implementation. Patent of the Russian Federation for invention N 27226086 of 16.12.1019. (In Russian).
7. IVANOV A.G., ALEKSANDROV S.A., KURASHOV I.A., IVANOV D.A., SHIKHOV P.E. ET AL. On the application of bentonite for the construction of technological wells of borehole underground leaching of uranium. *Izvestiya vuzov, Geologiya i razvedka*. 2019;6:79–86. (In Russian).
8. IVANOV A.G., ARSENTYEV YU.A., SOLOVIEV N.V., NAZAROV A.P. Equipment of wellheads of technological wells of borehole in-situ leaching of uranium constructed in the permafrost zone. *Razvedka i okhrana neдр*. 2023;2:46–53. (In Russian).
9. IVACHEV L.I. Flushing and plugging of geological exploration wells. Moscow: Nedra. 1987:247. (In Russian).
10. MAMILOV V.A., PETROV R.P., SHUSHANIYA G.R. Uranium Mining by In-Situ Leaching. Moscow: Atomizdat. 1980:246. (In Russian).
11. Materials: seminars on geotechnological drilling and well operation. Navoi. 1988:70. (In Russian).
12. MILOVANOV L.V. Purification and use of wastewater

- at non-ferrous metallurgy enterprises. 1971:384. (In Russian).
13. NIFADYEV A.SH., PASHKIN A.A., ODINTSOVA T.A., ZHDANOVA L.V. Plugging compounds for waterproofing of technological wells in underground leaching. *Tekhnicheskij progress v atomnoy promyshlennosti. Ser. Gorno-metallurgicheskoye proizvodstvo.* 1983;1;(278):54–57. (In Russian).
 14. RYSEV V.P., IVANOV A.G., SHATALOV V.V., FAZLULLIN M.I. ET AL. Method of Construction of Production Wells for In-Situ Leaching of Ores. A.S. USSR N 1679821. ot 09.11.1989. (In Russian).
 15. RYABOKON S.A., GOLDSTEIN V.V. Prospects for the development of polymer cement materials. *Neftyanoye khozyaystvo* 1969;5:7–15. (In Russian).
 16. SERGIENKO I.A., MOSEV A.F., BOCHKO E.A., PIMENOV M.K. Drilling and equipment of geotechnological wells. Moscow: Nedra. 1984:224. (In Russian).
 17. SERENKO I.A., SIDOROV N.A., KOSHELEV A.T. Repeated cementing in the construction and operation of wells. Moscow: Nedra. 1988:263. (In Russian).

А.Г. ИВАНОВ, Ю.А. АРСЕНТЬЕВ,
Н.В. СОЛОВЬЕВ, А.А. ВИЛЬМИС, Д.А. ОРЕХОВ
АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЗОЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ
ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ, РЕМОНТА И ЛИКВИДАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН СКВАЖИННОГО
ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

Иванов Александр Георгиевич,
к.т.н., главный специалист АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии»

☎ 115409, Москва, Каширское ш., д. 33,
115409, Moscow, Kashirskoe shosse, 33,
e-mail: ivaov_ag@mail.ru

Арсентьев Юрий Александрович,
к.т.н., доцент кафедры «Механика и инженерная графика» Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе – МГРИ

☎ e-mail: arsentev1956@yandex.ru

Соловьев Николай Владимирович,
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Современные технологии бурения скважин» Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе – МГРИ

☎ e-mail: solovyevnv@mgri.ru

Вильмис Александр Леонидович,
д.т.н., заведующий кафедрой «Геотехнологические способы и физические процессы горного производства» Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе – МГРИ

☎ e-mail: vilmisal@mgri.ru

Орехов Данила Дмитриевич,
студент Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе – МГРИ

☎ 117497, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23,
117497, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 23,
e-mail: danilaohv@yandex.ru