*2.8.2 Технология бурения и освоения скважин
(технические науки)*

УДК 622.245.6
DOI: 10.31660/0445-0108-2023-1-60-72

Прочностные свойства и микроструктура шлакопортландцемента для крепления скважин с повышенными температурами

В. П. Овчинников, О. В. Рожкова*, Д. С. Рожкова, М. В. Листак

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
**rozhkovaov@tyuiu.ru*

Аннотация. Термобарические условия в нефтяных и газовых скважинах требуют применения тампонажных материалов с особенными физико-химическими свойствами. Так, к цементным композитам предъявляются требования текучести (для обеспечения бесперебойной доставки к месту цементирования), своевременного формирования необходимой механической прочности (для предотвращения взаимодействия цементного стакана с пластовыми флюидами), коррозионностойкости, непроницаемости и долговечности. Поэтому состав тампонажного раствора должен быть подобран исходя из горно-геологических характеристик отдельной скважины.

Для защиты стенок скважины от обвалов горной породы, газонефтеводопроявлений, а также для изоляции продуктивных пластов стенки армируют защитными трубами, которые, в свою очередь, крепят к скважине цементом или тампонажным раствором. Если эту операцию провести качественно, то внешняя часть эксплуатационной колонны будет защищена от воздействия пластового флюида. В противном случае возможна коррозия труб, что может привести к разрушению цементного камня и, как следствие, к авариям.

Ключевые слова: шлак, портландцемент, скважина, прочность, калориметрия

Для цитирования: Прочностные свойства и микроструктура шлакопортландцемента для крепления скважин с повышенными температурами / В. П. Овчинников, О. В. Рожкова, Д. С. Рожкова, М. В. Листак. – DOI 10.31660/0445-0108-2023-1-60-72 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2023. – № 1. – С. 60–72.

Strength properties and microstructure of Portland slag cement for well casings under the influence of high temperatures

Vasily P. Ovchinnikov, Oksana V. Rozhkova*, Daria S. Rozhkova, Marina V. Listak

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia
**rozhkovaov@tyuiu.ru*

Abstract. Thermobaric conditions in oil and gas wells require the use of backfill materials with special physical and chemical properties. Cement composites are subject to the requirements of fluidity (to ensure uninterrupted delivery to the cementing site), timely formation of the necessary mechanical strength (to prevent the interaction between the cement glass and reservoir fluids), corrosion resistance, impermeability and durability. Therefore, the composition of the cement slurry should be selected based on the mining and geological characteristics of the well.

Wellbores wall are reinforced with protective pipes, which are attached to the well with cement or cement slurry. It is needed to protect wellbores wall from rock falls, gas, oil and water shows and to isolate productive formations. If this operation is carried out qualitatively, then the outer part of the casing string will be protected from the impact of the formation fluid. Otherwise, pipe corrosion may occur, which can lead to the destruction of the cement stone and, as a result, to accidents.

Keywords: slag, Portland cement, well, strength, calorimetry

For citation: Ovchinnikov, V. P., Rozhkova, O. V., Rozhkova, D. S., & Listak, M. V. (2023). Strength properties and microstructure of Portland slag cement for well casings under the influence of high temperatures. Oil and Gas Studies, (1), pp. 60-72. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2023-1-60-72

Введение

Большинство вводимых в разработку месторождений на данный момент имеют достаточно сложное геологическое строение и структуру запасов, что в основном выражается в значительном преобладании аутигенных минералов, изменении состава и структуры главных породообразующих флюидов, значении пластовых температур и давлений на глубинах 3 500–3 750 м, что нередко приводит к метаморфизму — минеральному и структурному преобразованию горных пород вследствие изменения температуры и давления. Поэтому в настоящее время существует проблема защиты скважины от этих изменений.

По значимости наиболее подвержены изменениям месторождения, приуроченные к ачимовской, баженовской, тюменской, доманиковой свитам. Некоторые их характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1

Геологические условия залегания коллекторов нефти и газа

Условия залегания продуктивных горизонтов	Свита			
	Тюменская	Ачимовская	Баженовская	Доманиковая
Глубина залегания, м	4 200–4 300	3 460–4 100	3 500–3 800	До 3 856
Пластовые: – температура, °С – давление, МПа	 130–140 50–90	 130 и выше 80	 До 135 40–80	 120–170 85

Объект и методы исследования

Улучшение локальной изоляции в заскважинном пространстве между обсадной колонной и горной породой является главной причиной для постоянного интереса к исследованию и разработке новых технологий. В 70-х годах XXI века началось изучение цементного раствора с добавлением модифицированного доменного гранулированного шлака (ДГШ) производства Мариупольского металлургического комбината имени Ильича, Днепровского металлургического комбината им. Ф. Э. Дзержинского, расположенных на Украине. Этими разработками занимались многие ученые: В. И. Зварыгин, С. М. Рояк, М. М. Сычев, Д. Г. Антониади, А. И. Булатов, Н. О. Мчедлов-Петросян и др. Обострение экономических и политических проблем Украины и России, которое наблюдается в наше время, требует поиска новых поставщиков доменного шлака в России и исследования свойств их доменного шлака. В статье представлены исследования доменного гранулированного шлака ООО «Мечел-Материалы» (г. Челябинск), который состоит из алюминатов и силикатов кальция и является неметаллическим продуктом.

Дополнительно учтено наличие у предприятия вертикальных валковых мельниц LM53.3, обеспечивающих возможность помола до 450÷600 м^2/кг по Блейну (в шаровых мельницах, используемых ранее, помол до удельной поверхности 250÷350 м^2/кг). Высокая степень измельчения кремнезема необходима для сохранения седиментационной стойкости при условии неизменного водосодержания и быстрого химического взаимодействия кремнезема с продуктами гидратации цемента. Если степень дисперсности кремнезема менее 350 м^2/кг, то приходится уменьшать водосодержание раствора, что влечет повышение плотности, а также увеличение содержания добавки сверх рассчитанного.

Соответственно, объектом данного исследования являются тампонажные растворы с заменой части клинкера доменным гранулированным шлаком и цементный камень, сформированный на их основе.

Исследования полученной тампонажной суспензии и камня проводились посредством сравнительного анализа физико-химических свойств ДГШ, а также через экспериментальные исследования, графическую и табличную интерпретацию полученных результатов.

Экспериментальная часть/постановка эксперимента

Доменные металлургические шлаки производства Украины по химико-минералогическому составу представляют собой сложные магниево-кальциевые системы, которые могут включать в себя силикаты и оксиды железа. Модуль основности у украинских шлаков превышает 1 и может достигать 3, что относит их к высокоосновным, в то время как ДГШ челябинского завода имеет модуль основности 0,7–0,8, что говорит об их химической инертности к воде, металлургические же шлаки активно

реагируют с водой. При выборе состава термостойких цементов следует ориентироваться на получение главным образом низкоосновных гидросиликатов кальция.

Ранее исследованным способом повышения термомеханических характеристик цементного камня для безопасной и долговременной эксплуатации скважин являлось применение портландцемента с добавлением доменного шлака и кварцевого песка, состоящего в основном из силикатов и алюминатов кальция [1]. Реологические свойства шлакопесчаных тампонажных растворов отличаются от свойств раствора, затворенного на воде и бездобавочном цементе, меньшей плотностью, более высокой седиментацией, нестабильными показателями прочности и др.

Шлакопортландцементный раствор начинает вступать в химическую реакцию только при повышенных температурах (выше 100 °С). При данных температурах прочность сформированного шлакоцементного камня через 48 часов ожидания затвердевания выше, чем у камня, сформированного из портландцементного раствора без добавок. При более высоких температурах термостойким является только шлакопесчаный цемент, который даже при высокой тонкости помола компонентов образует растворы с пониженной седиментационной устойчивостью [2], что при бурении наклонно направленных и горизонтальных скважин является отрицательным моментом.

При повышенных температурах и давлениях в первую очередь снижается сцепление цементного камня с горной породой и обсадной колонной, а, соответственно, крепь скважины теряет термостойкость. Из-за различной плотности и объема продуктов гидратации происходит образование в цементном камне микротрещин, которые могут стать причиной проникновения пластового флюида в пласты и даже на устье, а также оказаться причиной обводнения скважин [3, 4].

Цементные растворы с переменным коэффициентом замещения гранулированного шлака производства Украины (от 20 до 40 %) были успешно применены ранее в разных странах. На сегодняшний день усилия сосредоточены на поиске новых производителей шлаковых техногенных добавок и оптимизации технологии их затворения, но еще недостаточно изучены процессы гидратации и твердения шлакосодержащего тампонажного раствора [5].

Установлено, что прочность цементного камня при воздействии повышенных температур зависит от свойств вяжущих веществ, и дисперсного состава их заполнителей. При повышении температур окружающей среды происходит поэтапная дегидратация гидрата окиси кальция и образованных в процессе твердения гидросиликатов и гидроалюминатов [6]. Результатом физико-механических и химических процессов может стать расслаивание структуры цементного камня и, как следствие, появление трещин на поверхности контакта, что зачастую приводит к растрескиванию

общего объема цементного камня, то есть теряется механическая прочность, как на сжатие, так и на изгиб.

В частности, при нахождении цементного камня в диапазоне температур от 20 до 100 °С снижение прочностных показателей происходит как следствие испарения гидратационной воды из-за снижения силы поверхностного натяжения в порах и уменьшения структурной матрицы. Кристаллическая вода испаряется из цементной породы при температуре от 200 до 300 °С. При увеличении температуры до 400 °С вода почти полностью удаляется из решетки минеральной породы.

Важнейшим условием термостойкости цемента является образование в процессе его твердения термодинамически стойких при данных гидротермобарических условиях соединений. Кроме того, необходимо чтобы эти соединения обладали хорошими структурообразующими свойствами (без этого нельзя получить высокую прочность и низкую проницаемость образующегося пористого тела). Хорошими структурообразующими свойствами характеризуются кристаллы с высокой степенью дисперсности и анизодиаметричности формы и с выраженной способностью к образованию фазовых контактов — контактов роста.

К добавкам для создания термоустойчивого тампонажного материала и обеспечения качественного цементирования обсадных колонн глубин более 3 000 м в качестве материалов, способствующих повышению устойчивости к термической агрессии цементного камня в заколонном пространстве, можно отнести молотый кварц, доменный шлак, гашеную известь, тонкодисперсный кремнезем, перлит, хроматный шлам, микросферы, фильтроперлит, аэросил и др. [7].

Доменный шлак в своем составе содержит диоксид кремния, оксиды алюминия, оксиды железа, оксид магния, оксид натрия, оксид кальция, серу. Шлаки содержат три из четырех основных оксидов портландцементного клинкера — CaO, SiO_2 и Al_2O_3. Содержание CaO в большинстве составляет 40–50 %, по сравнению с 60–70 % в портландцементном клинкере, а Fe_2O_3 отсутствует, так как он выплавляется из шлаков в металлургическом процессе [8].

Для определения целесообразности формирования надежной прочности обсадной колонны при замене клинкерной части цементного раствора доменным шлаком была проведена оценка полученного тампонажного раствора, а также исследована механическая прочность сформированного на их основе камня в различные сроки твердения. При проведении лабораторных исследований в качестве цемента использованы портландцемент Сухоложского завода ПЦТ–G–СС–1, его содержание варьировалось от 20 до 80 %, а также шлак доменный ООО «МечелМатериалы» (г. Челябинск).

ПЦТ–G–СС–1 — это тампонажный бездобавочный портландцемент класса G высокой сульфатостойкости, выпускаемый в соответствии с

требованиями российского стандарта ГОСТ 1581-2019[1] и спецификацией Американского института нефти API 10A, он характеризуется значительным содержанием оксида кальция и небольшим количеством диоксида кремния. Шлак имеет одинаковое содержание диоксида кремния и оксида кальция, высокое содержание оксида магния и низкое содержание оксида железа. Шлак представляет собой расплавленную жидкость и состоит из сложного раствора силикатов и оксидов, который затвердевает при охлаждении. Состав раскристаллизованной части гранулированных шлаков представлен микролитами мелилита и мервинита [9].

В процессе специальных исследований, проведенных на базе Тюменского индустриального университета, были сделаны выводы о медленном росте прочностных значений исследованного шлакоцементного камня в интервале температур от 50 до 100 °С и более интенсивном — при температурах свыше 100 °С. В таблице 2 представлены результаты сроков схватывания шлакоцементной смеси, исследованных с помощью прибора Игла Вика ИВ-2. Из таблицы видно, что при температуре свыше 100 °С происходит ускорение сроков схватывания, что позволяет в полной мере удовлетворить условия закачивания цемента в затрубное пространство и оптимизировать сроки ожидания затвердевания цемента.

Таблица 2

Сроки схватывания цементного камня на основе шлакопортландцементных составов, сформированных при различных температурах и давлениях

Состав, %		T = 50 °C P = 10 МПа		T = 100 °C P = 10 МПа		T = 120 °C P = 30 МПа	
Шлак доменный	ПЦТ	Начало схватывания	Окончание схватывания	Начало схватывания	Окончание схватывания	Начало схватывания	Окончание схватывания
20	80	3–00	25–00	1–50	12–30	1–20	12–30
40	60	5–45	29–40	2–45	14–00	1–10	8–00
50	50	8–00	36–10	3–20	14–00	1–05	7–30
70	30	11–30	40–00	4–00	15–00	1–05	7–30

Величины предельных динамических и статических напряжений сдвига, характеризующие реологические свойства раствора, которые позволяют оценить гидравлические сопротивления при прокачивании раствора через обсадную колонну и затрубное пространство, представлены на рисунках 1 и 2.

[1] ГОСТ 1581-2019. Портландцементы тампонажные. Технические условия. – Введ. 2020-06-01. – М.: Стандартинформ, 2019. – 11 с.

Полученный результат важен и для решения проблемы обеспечения герметичности крепления скважин, предназначенных для добычи высоковязких нефтей с использованием методов теплового воздействия на пласт. Подтверждением служат и результаты рентгеноструктурного и термографического анализов, свидетельствующих о превалировании в минералогическом составе низкоосновных гидросиликатов кальция, с формированием последних связана присущая шлакам доменного производства способность к самоцементации (гидравлическая активность шлаков).

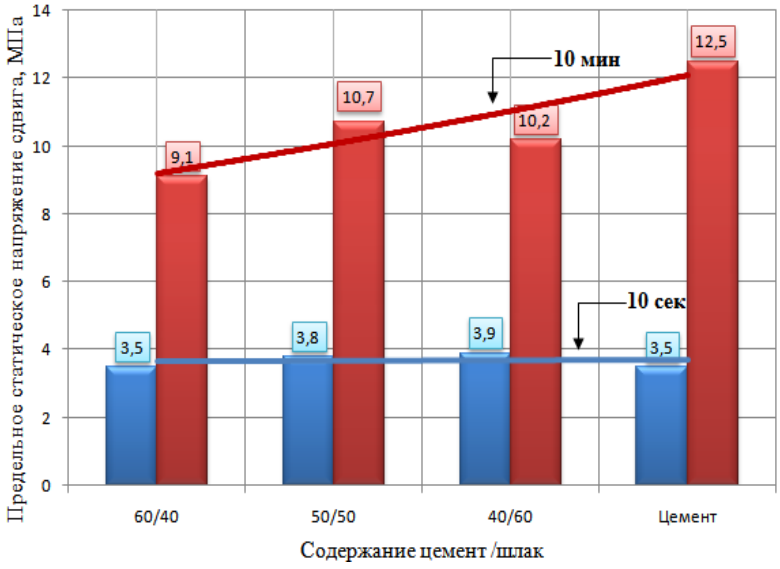


Рис. 1. ***Динамика статического напряжения сдвига различных составов шлакопортландцементного раствора***

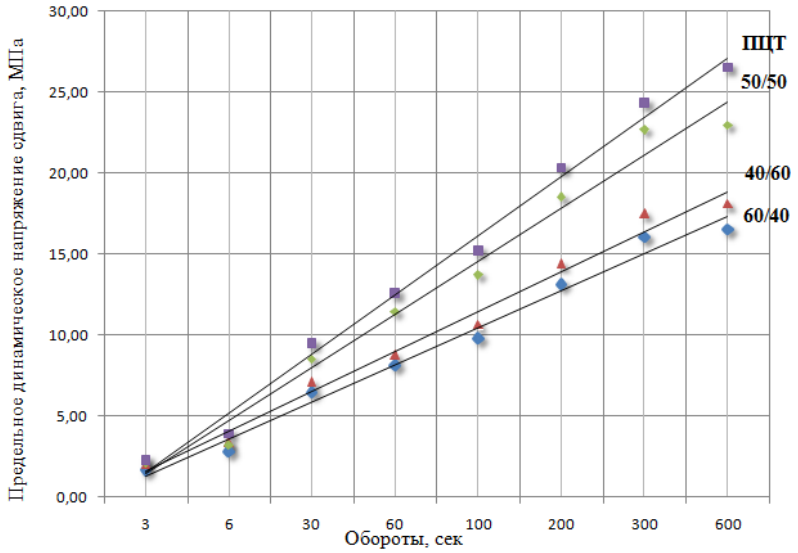


Рис. 2. ***Динамика предельного динамического напряжения сдвига***

Результаты микрофотографического исследования скола цементного камня с добавкой доменного шлака 80 и 20 % (рис. 3а) показывают образование пустот внутри цементного камня, заметна полость между связью частицы шлака и обезвоженной цементной пленки, камень пористый. При добавлении 80 % шлака в раствор пленка неоднородна, видны границы, песчинки. Из-за полости, образовавшейся на этой границе, камень недостаточно прочен, чтобы предотвратить проникновение пластового флюида; таким образом, крепь скважины становится более хрупкой, подверженной коррозийным разрушениям. И наоборот, в камне, который содержит доменный шлак в качестве мелкого заполнителя в количестве 20 %, видно значительное уменьшение пустот, равномерность распределения составляющих элементов (рис. 3б).

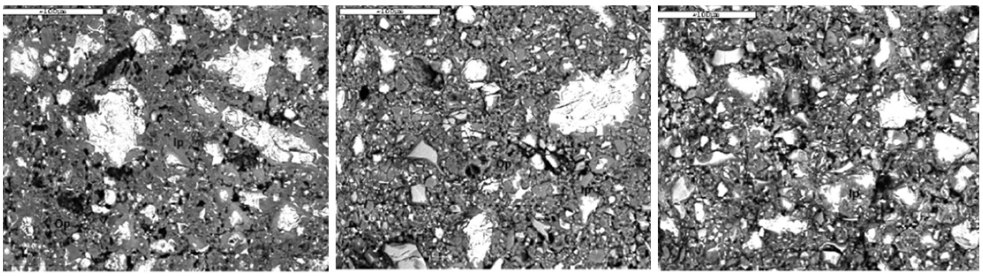
а) б)

Рис. 3. ***Микрофографии поверхности скола цементного камня:***
а) 80 % доменного шлака и 20 % ПЦТ; б) 20 % доменного шлака и 80 % ПЦТ

В дальнейшем были исследованы возможности химической активации цементного раствора с добавлением ДГШ (20–30 %), изучена микроструктура полученного материала и изменение его механических прочностных показателей во времени. Исследование проводилось в нормальных атмосферных условиях — при комнатной температуре и давлении окружающей среды, образованные камни были проанализированы растровым электронным микроскопом. С ростом температуры окружающей среды наблюдалось увеличение растворимости компонентов тампонажной смеси, менялся состав жидкой фазы, в более ранних стадиях появлялись стабильные гидратные «образования».

На рисунке 4 представлены микрофотографии образцов. По мере того как температура увеличивалась, становилось труднее определять шлаковые участки. Во всех образцах наблюдались зерна шлака, различимые из-за их более белого цвета, 50 % шлакового материала имеют диаметр частиц менее 10 мкм. Данные результаты подтверждают, что шлак, присутствующий в смесях цемент/шлак, является химически активным веществом. Таким образом, термическое воздействие

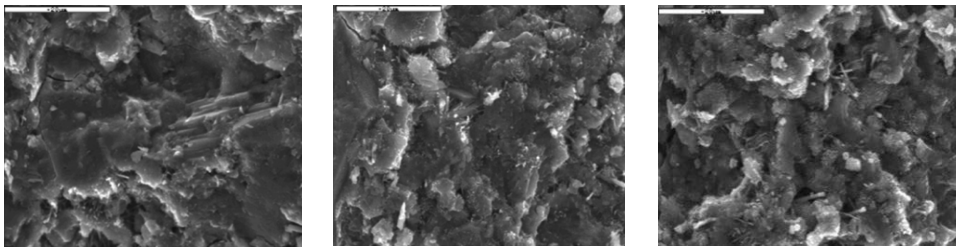
способствует образованию новых твердых фаз в качестве продуктов, влекущих за собой увеличение относительного объема более мелких пор.



а) 20 °С б) 80 °С в) 120 °С

Рис. 4. ***Микрофотографии камня, отвержденного при различных температурах с содержанием доменного шлака 20 %***

На микрофотографиях образцов цемента наблюдались продольные пластинчатые кристаллы портландита. В геле были обнаружены два отчетливых образования: плотное и рыхлое, причем первое обычно располагается ближе к безводным зернам, а второе — на расстоянии от них. В цементно-шлаковых растворах было обнаружено меньше портландита, и чем выше было содержание шлака, тем более волокнистым был гель (рис. 5).



а) б) в)

Рис. 5. ***РЭМ-микрофотографии 28-дневных суспензий, отвержденных при 20 °С:*** *а) 100/0; б) 80/20; в) 70/30*

Результаты

Проведенные исследования показали, что на доменных гранулированных шлаках можно получить вяжущее вещество, на основе которого цементный камень имеет необходимую прочность.

Проведенный лабораторный анализ подтверждает предположение о высокой прочности портландцементного тампонажного камня, которая обусловлена гидросиликатами типа CSH(B). По результатам рентгенографических исследований можно говорить о возможном использовании цементно-шлаковой композиции для цементирования

обсадных колонн высокотемпературных скважин либо в интервалах, предназначенных для обеспечения герметичности крепи скважины при термомеханическом воздействии на коллекторы высоковязких и сланцевых нефтей [10].

Из результатов исследований ясно виден очевидный факт зависимости гидравлической активности исследуемых составов от температуры окружающей среды и соотношения компонентов. Наибольшая активность шлаковой добавки проявляется при температурах свыше 120 °С, при температуре ниже 100 °С более активен портландцемент.

Таким образом, установлено, что разработанные вяжущие активно твердеют во времени в основном за счет образования низкоосновных гидросиликатов кальция, и этот процесс идет непрерывно. В продуктах твердения разработанного вяжущего вещества не обнаружен свободный гидроксид кальция, являющийся необходимым условием получения коррозионно-стойкого цементного камня. У камня, сформированного из бездобавочного портландцемента, либо с количеством минерального шлакового вяжущего материала более 70 % показатели прочности значительно ниже, чем камня с добавлением ДГШ от 20 до 30 % в сухой смеси. В случае добавления шлакового вяжущего более чем 70 % наблюдается хрупкость и недолговечность цементного камня, при добавлении 5 % доменного шлака и без него происходит растрескивание образцов. Следовательно, лучшим соотношением, обеспечивающим сохранение прочности цементного камня, является композиция, предоставленная 80 % ПЦТ и 20 % микрошлака.

Обсуждение

Результаты исследований показывают, что частичная замена цемента доменным шлаком стабилизирует гидратацию цемента и замедляет осаждение продуктов реакции по сравнению с цементом без шлаковой добавки [11].

Эти данные свидетельствуют о том, что в цементном камне на основе шлаковых вяжущих установлено незначительное количество труднорастворимых сульфидов, которые откладываются в поровом пространстве и дополнительно кольматируют и уплотняют структуру цементного камня. Этим и можно объяснить высокую прочность на сжатие и изгиб цементо-шлакового камня. Стабильный рост прочности во времени свидетельствует о преобладании конструктивных процессов твердения над деструктивными.

Выводы

Исследованиями с помощью рентгеноструктурного, дифференциально-термического анализов механической прочности шлакоцементного камня установлено, что продукты твердения вяжущих на основе доменных

шлаков представлены в основном низкоосновными гидросиликатами, являющимися одним из необходимых условий получения термостойкого цементного камня. Сравнение прочности исследованных образцов цементных камней, модифицированных добавкой доменного шлака, показало высокую механическую прочность цементного камня при замене портландцемента на 20…50 % высокодисперсным доменным шлаком. Температура отверждения в камне на основе портландцемента для горячих скважин влияет на скорость набора прочности цемента. При температуре 120–160 °С наиболее предпочтительными являются шлаковые портландцементы с основностью близкой к 0,8. Они образуют достаточно термостойкий камень.

Статья подготовлена в рамках технологического проекта «Цифровой керн» и при поддержке образовательного гранта Благотворительного фонда Владимира Потанина.

Список источников

1. Доменные шлаки — тампонажное вяжущее для крепления глубоких скважин / А. И. Булатов, А. А. Говоров, Д. Ф. Новохатский, Н. А. Обраменко ; АН УССР. Ин-т коллоидной химии и химии воды. – Киев : Наукова думка, 1971. – 104 с. – Текст : непосредственный.

2. Тампонажный материал с добавлением доменного шлака / В. П. Овчинников, О. В. Рожкова, П. В. Овчинников, М. В. Листак. – Текст : непосредственный // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2022. – № 2. – С. 34–37.

3. Самсоненко, Н. В. Пути повышения качества крепления скважин / Н. В. Самсоненко. – Текст : непосредственный // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 3. – С. 331–335.

4. Мачинский, Е. К. О деформационной способности тампонажных растворов, затвердевших при повышенной температуре / Е. К. Мачинский, В. Ю. Зобс, Г. Н. Волошко. – Текст : непосредственный // Труды СевКавНИИ. – 1967. Вып. 1. – С. 39–44.

5. Агзамов, Ф. А. Теоретические основы и практика получения тампонажных материалов для крепления паронагнетательных скважин / Ф. А. Агзамов, И. Н. Каримов, Р. С. Мяжитов. – Текст : непосредственный // Территория Нефтегаз. – 2016. – № 9. – С. 26–33.

6. Смирнова, О. М. Гибридные цементы на основе гранулированных доменных шлаков: основные направления исследований / О. М. Смирнова, Л. Ф. Казанская. – DOI 10.51608/26867818_2022_3_59. – Текст : непосредственный // Эксперт : теория и практика. – 2022. – № 3 (18). – С. 59–65.

7. Композиционные утяжеленные тампонажные растворы / В. П. Овчинников, А. В. Мелехов, П. В. Овчинников, О. В. Рожкова. – Текст : непосредственный // Бурение и нефть. – 2020. – № 4. – С. 18–21.

8. Овчинников, В. П. Тепловыделения при гидратации тампонажного шлакопортландцемента / В. П. Овчинников, О. В. Рожкова. – Текст : непосредственный // Материалы Международной научно-практической конференции им. Д. И. Менделеева, посвященной 90-летию профессора Р. З. Магарила / Отв. ред. А. Н. Халин. – Тюмень : ТИУ, 2022. – Том 3. Бурение нефтяных и газовых скважин. Биотехнические системы и технологии. Физическая культура и спорт : основа популяционной стратегии здоровьесбережения. – С. 45–47.

9. Доменные гранулированные шлаки при производстве многокомпонентных цементных систем : технология производства и особенности применения / И. Л. Ципурский, А. А. Коконова, Е. Д. Данилова [и др.]. – DOI 10.15862/18SATS118. – Текст : электронный // Сетевое издание «Транспортные сооружения». – 2018. – Т 5, № 1. – URL: https://doi.org/10.15862/18SATS118.

10. Штрипов, И. К. Влияние ввода гранулированного шлака на тепловыделение цемента при его гидратации / И. К. Штрипов, Д. В. Корниенко, А. С. Ряполов. – Текст : электронный // Сетевое издание «Международный студенческий научный вестник». – 2015. – № 6. – URL: https://eduherald.ru/ru/article/view?id=13842. – Дата публикации: 16.07.2015.

11. Лотов, В. А. О взаимодействии частиц цемента с водой или вариант механизма процессов гидратации и твердения цемента / В. А. Лотов. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 1. – С. 99–110.

References

1. Bulatov, A. I., Govorov, A. A., Novokhatskiy, D. F., & Obramenko, N. A. (1971). Domennye shlaki - tamponazhnoe vyazhushchee dlya krepleniya glubokikh skvazhin. Kiev, Naukova dumka Publ., 104 p. (In Russian).

2. Ovchinnikov, V. P., Rozhkova, O. V., Ovchinnikov, P. V., & Listak, M. V. (2022). Plugging material with blast-furnace slag. Bulletin of the Association of drilling contractors, (2), pp. 34-37. (In Russian).

3. Samsonenko, N. V. (2020). Ways to improve well attachment quality. Readings name of A.I. Bulatov, 3, pp. 331-335. (In Russian).

4. Machinskiy, E. K., Zobs, V. Yu., & Voloshko, G. N. (1967). O deformatsionnoy sposobnosti tamponazhnykh rastvorov, zatverdevshikh pri povyshennoy temperature. Trudy SevKavNII, (1), pp. 39-44. (In Russian).

5. Agzamov, F. A., Karimov, I. N., & Mjazhitov, R. S. (2016). Theoretical bases and practice of getting plugging materials for cementing steam injection wells. Oil and Gas Territory, (9), pp. 26-33. (In Russian).

6. Smirnova, O. M., & Kazanskaya, L. F. (2022). Hybrid cements based on granulated domain slags: main directions of research. Expert: theory and practice, (3(18)), pp. 59-65. (In Russian). DOI: 10.51608/26867818_2022_3_59

7. Ovchinnikov, V. P., Melehov, A. V., Ovchinnikov, P. V., & Rozhkova, O. V. (2020). Composite weighted grouting. Burenie i neft', (4), pp. 18-21. (In Russian).

8. Ovchinnikov, V. P., & Rozhkova, O. V. (2022). Teplovydeleniya pri gidratatsii tamponazhnogo shlakoportlandtsementa. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii im. D. I. Mendeleeva, posvyashchennoy 90-letiyu professora R. Z. Magarila. Tom 3. Burenie neftyanykh i gazovykh skvazhin.

Biotekhnicheskie sistemy i tekhnologii. Fizicheskaya kul'tura i sport: osnova populyatsionnoy strategii zdorov'esberezheniya. Tyumen, Tyumen Industrial University Publ., pp. 45-47.

9. Tsipursky, I. L., Kokonova, A. A., Danilova, E. D., Kovchenko, I. V., & Rudenko, M. I. (2018). Domain granulated slag in the production of multicomponent cement systems: production technology and application features. Russian Journal of transport engineering, 5(1). (In Russian). Available at: https://doi.org/10.15862/18SATS118

10. Shtripov, I. K., Kornienko, D. V., & Ryapolov, A. S. (2015). Vliyanie vvoda granulirovannogo shlaka na teplovydelenie tsementa pri ego gidratatsii. Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik, (6). (In Russian). Available at: https://eduherald.ru/ru/article/view?id=13842

11. Lotov, V. A. (2018). Interaction of cement particles with water or mechanism of hydration and hardening of cement. Bulletin of the Tomsk polytechnic university. Geo Assets Engineering, 329(1), pp. 99-110. (In Russian).

Информация об авторах

Овчинников Василий Павлович, *доктор технических наук, профессор кафедры бурения нефтяных и газовых скважин, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень*

Рожкова Оксана Владимировна, *старший преподаватель кафедры бурения нефтяных и газовых скважин, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, rozhkovaov@tyuiu.ru*

Рожкова Дарья Сергеевна, *студент, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень*

Листак Марина Валерьевна, *ассистент кафедры бурения нефтяных и газовых скважин, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень*

Information about the authors

Vasiliy P. Ovchinnikov, *Doctor of Engineering, Professor at the Department of Drilling Oil and Gas Wells, Industrial University of Tyumen*

Oksana V. Rozhkova, *Senior Lecturer, Department of Drilling Oil and Gas Wells, Industrial University of Tyumen, rozhkovaov@tyuiu.ru*

Daria S. Rozhkova, *Student, Industrial University of Tyumen*

Marina V. Listak, *Assistant at the Department of Drilling Oil and Gas Wells, Industrial University of Tyumen*

Статья поступила в редакцию 13.12.2022; одобрена после рецензирования 19.01.2023; принята к публикации 23.01.2023.
The article was submitted 13.12.2022; approved after reviewing 19.01.2023; accepted for publication 23.01.2023.