

УДК 622.245

Исмагилова Эльвира Римовна

кандидат технических наук,
магистр нефтегазового дела (Великобритания),
руководитель управления научных
исследований и стратегических разработок
ООО «Научно-исследовательский и проектный
институт уфимского государственного
нефтяного технического университета»,
450075, г. Уфа, ул. Проспект Октября 151
e-mail: Yusupova_elvira@mail.ru

**ПРИЧИНЫ КАНАЛООБРАЗОВАНИЯ
В ЦЕМЕНТНОМ КАМНЕ И СПОСОБЫ
ИХ УСТРАНЕНИЯ***Аннотация:*

В результате разгерметизации заколонного пространства и образования флюидопроводящих каналов на границах контакта обсадная колонна – цементный камень, цементный камень-пласт, а также системы трещин, возникающих при воздействии динамической нагрузки, в разы превосходящей предел прочности камня на изгиб, происходит складывание трасс для миграции пластовых флюидов, в том числе газовых грифонов или заколонной циркуляции воды. Последствиями межколонных флюидопроявлений являются преждевременный износ цементной крепи, сокращение ее безаварийной службы, немедленная остановка скважины на ремонт, все это влечет за собой простои и угнетение режима эксплуатации скважины изменениями во времени градиента давления в зоне дренирования и хоть временным, но снижением подвижности нефти. В связи с тем что специфика технологии и материалов для крепления скважин предопределяют необратимость процесса, каким является цементирование, в некоторых случаях традиционные технологии восстановительных ремонтов оказываются бесполезными, заканчиваясь ликвидацией скважины. Единственным способом профилактики нарушений сплошности цементной крепи и восстановлением герметичности цементного кольца без перевода скважины в ремонт является разработка и применение специального тампонажного материала, который бы обладал самозалечивающимися свойствами, способными к самоактивации в случае разгерметизации крепи скважины.

Ключевые слова: «самозалечивающиеся» цементы, восстановление крепи скважины, разгерметизация заколонного пространства, ремонтно-изоляционные работы.

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.04.043

Ismagilova Elvira R.

Candidate of Technical Sciences,
MSc in Petroleum and Gas Engineering (UK), Head
of the Department of Scientific Research and Strategic
Development LLC "Research and Design Institute of the Ufa State Petroleum Technological University",
450075 Ufa, 151 Prospect Oktyabrya,
e-mail: Yusupova_elvira@mail.ru

**CAUSES OF CHANNEL FORMATION
IN CEMENT STONE AND METHODS
OF THEIR ELIMINATION***Abstract:*

As a result of the annular space depressurization and the formation of fluid-conducting channels at the boundaries of the casing-cement stone, cement stone-formation contact, as well as a system of cracks that arise under the influence of a dynamic load, which can be several times greater than the bending strength of the stone, routes are laid for the migration of formation fluids, including gas griffins or behind-the-casing water circulation. The consequences of inter-casing fluid manifestations are premature wear of the cement lining, a reduction in its trouble-free service, immediate shutdown of the well for repairs, all this entails downtime and suppression of the well operating mode due to changes in time of the pressure gradient in the drainage zone and, although temporarily, but a decrease in oil mobility. Due to the fact, that the specific technology and materials for cementing wells predetermine the irreversibility of the process, which cementing is, in some cases traditional restoration technologies turn out to be useless, ending in the abandonment of the well. The only way to prevent violations of the continuity of the cement lining and restore the tightness of the cement ring without transferring the well to repair is the development and use of a special cementing material that would have self-healing properties, capable of self-activation in the event of depressurization of the well lining.

Key words: "self-healing" cements, restoration of well support, depressurization of the borehole annulus, repair and insulation work.

Скважина представляет собой горную выработку цилиндрической формы, стенки которой укрепляются обсаживанием стальными трубами с последующей цементацией затрубного пространства, при этом одной из основных функций цементной крепи скважины является барьерная защита обсадной колонны от воздействий агрессивной среды

и предупреждение миграции пластовых флюидов. Однако в результате проведения внутрискважинных технологических операций, геолого-технических условий и особенностей физико-химической природы гидратации цемента может происходить нарушение сплошности цементной крепи с образованием проводящих каналов, отличающихся формой, размером и местом локализации, в том числе возможно увеличение проницаемости цементного камня, что влечет за собой создание условий для миграции пластовых флюидов. Флюидопроявления могут обнаруживаться в виде газовых грифонов или заколонной циркуляции воды, что неминуемо приводит к нарушению режима эксплуатации скважины [1].

Автор данной работы ставит *целью* изучение природы образования каналов в цементной крепи, рассматривает способы сохранения герметичности цементного камня, предлагает способ восстановления целостности цементного кольца специальным тампонажным материалом с «самозалечивающимися» свойствами, исходя из вида проявления, в частности, профессиональный интерес автора связан с заколонной циркуляцией воды.

В связи с этим *задачами* исследования являются изучение механизма возникновения полостей; обоснование объектов для эффективного применения специального цемента с целью селективного крепления участков крепи, имеющих наибольшую вероятность образования сквозных открытых трещин через определение вида капиллярных дефектов в цементном камне и характеристик трещины; а также оценка размера порового канала, которая послужит обоснованием выбора набухающего элемента, обладающего достаточным водопоглотительным потенциалом в корреляции со степенью разбухания добавки, гипотетически способной перекрыть сечение проводящего канала.

В связи с тем что вопросы профилактики разгерметизации заколонного пространства, а также эффективного восстановления целостности цементного кольца при наличии широкого ассортимента водоизоляционных материалов и технологий ограничения водопритоков до сих пор остаются открытыми, разработка «самозалечивающегося» тампонажного материала, позволяющего цементному камню самостоятельно восстанавливать свою целостность без остановок скважины на ремонты и без доступа человека, является одной из наиболее приоритетных задач и многообещающих методов для ликвидации заколонной циркуляции воды, сопровождающейся восстановлением герметичности крепи скважины.

Необходимо отметить, что полости в зацементированном затрубном пространстве имеют разную природу и механизм образования, основные из них могут возникать (рис. 1) между цементом и обсадной колонной; между цементной крепью и пластом; внутри цементного кольца в виде сквозных каналов; в цементном кольце в виде сквозных каналов, образованных через негерметичность в обсадной колонне [2].

Французские ученые в своих исследованиях по разрушению цементного кольца показывают, что при существующих динамических нагрузках современная скважина подвержена перепаду давления от 1,4 до 5,3 МПа/м. Согласно данным [3] компании Шлюмберже размер водопроводящих каналов составляет около 100 мкм, а усредненный градиент давления прорыва воды по заколонному пространству – около 2,8 МПа/м. Наши отечественные ученые в своих работах показали, что цементное кольцо начинает разрушаться при перепаде давления в 2 МПа/м [1]. Такой разброс в значениях свидетельствует о невозможности точного определения стойкости тампонажного материала к ударным нагрузкам, возникающим при воздействии как нарастающих динамических нагрузок, так и внезапно приложенных сил. Следует отметить, что возникновение заколонной циркуляции может быть также обусловлено не только низким качеством строительства скважин, но и созданием высоких перепадов давления на продуктивные пласты при эксплуатации скважин, дифференциацией текущих пластовых давлений между нефтяными и водонасыщенными пластами, следствием поступления контурной и нагнетаемой воды, подтягивания конуса подошвенной воды.

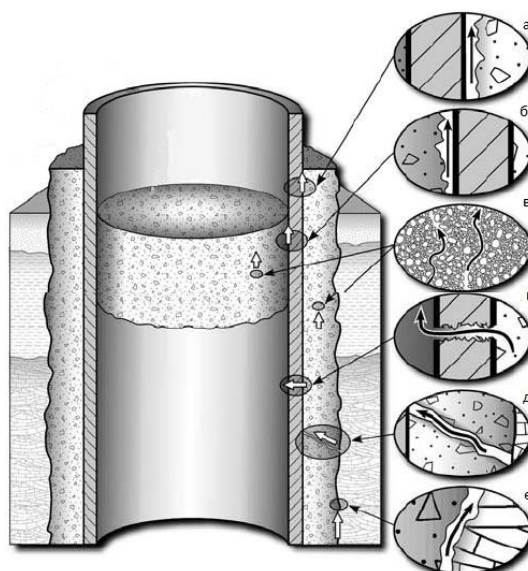


Рис. 1. Виды нарушений сплошности цементной крепи:

- a* – между цементом и обсадной колонной; *b* – между обсадной колонной и цементным стаканом; *c* – сквозь цементный стакан; *z* – через негерметичность обсадной колонны; *d* – через трещины цементного кольца; *e* – между цементной крепью и пластом

При помощи метода конечных элементов (МКЭ) в прикладной программе ANSYS была произведена оценка деформаций и напряжений в цементном камне из бездобавочного портландцемента с учетом гетерогенности структуры отсканированного на аппарате неразрушающего контроля CT Scanner имеющегося образца. Моделирование поперечной нагрузки на цементную крепь скважины показало, что механическая прочность цементного камня напрямую связана с нагрузкой, приложенной к участку цементного камня, при которой напряжение в зоне приложения динамической нагрузки растет линейно вместе с деформацией до тех пор, пока не начнется развитие микротрещин и разрывов, переходя от линейно-пропорциональной зависимости к нелинейному закону вблизи точки разрушения. В результате поглощения образцом энергии разрыва в месте наиболее разнородной структуры камня происходит инициация трещинообразования, заключающаяся в неконтролируемом расползании капиллярных дефектов. Так, наблюдается раскрытие и срастание трещин между собой, после чего, при превышении нагрузкой предела механической прочности образца, отмечается необратимость деформационных изменений, в результате чего трещины достигают критического размера, разряжаясь на внешнюю поверхность камня, при этом принимая различные геометрические формы. Значения деформации и геометрия полостей в цементном камне зависят от зоны, вида и объема прилагаемой динамической нагрузки, так наиболее выраженные деформационные изменения проявляются при вторичном вскрытии пласта, перфорациях, ГРП и освоении [4]. В результате длительного (до 3 часов) ударного и вибрационного воздействия (при давлении до 30 МПа) на цементное кольцо происходит неконтролируемое разрастание и последующее расползание капиллярных дефектов, приводящих к разрушению тонкой цементной рубашки.

Следует выделить некоторые виды полостей, возникающих в результате капиллярных дефектов, появляющихся в цементном камне при проведении технологических операций внутри обсадных колонн или коррозии цементного камня: это поры, имеющие сечение, близкое к окружности; трещины с параллельными стенками в виде щели; трещины с непараллельными стенками конического сечения; трещины, имеющие произвольную геометрию (рис. 2) [2]. Образование любого канала, характеризуемого длиной, шириной (раскрытие несплошности) и глубиной, обозначает трещину. При этом разли-

чают тупиковые (замкнутые) и сквозные трещины (рис. 3), одни имеют только один выход на поверхность (рис. 3а), а другие, соответственно, два выхода на поверхность (рис. 3б).

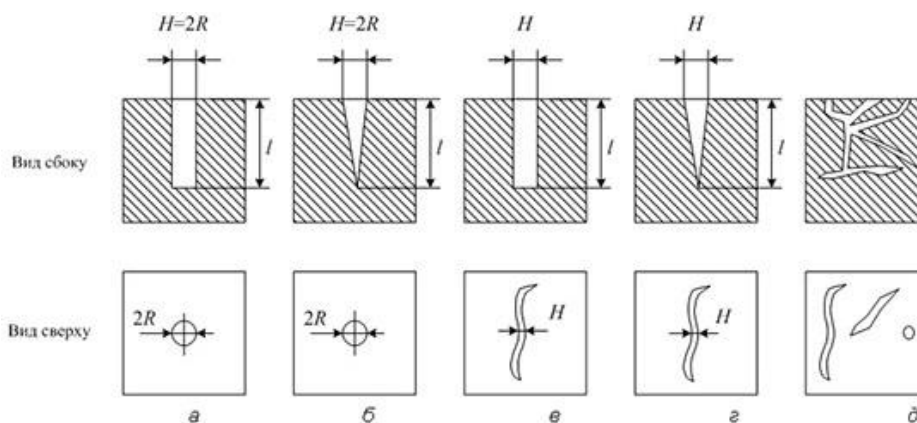


Рис. 2. Виды капиллярных дефектов в цементном камне:

a – цилиндрическая пора; *b* – коническая пора; *v* – трещина с параллельными стенками; *z* – трещина с непараллельными стенками; *d* – трещина произвольной геометрии

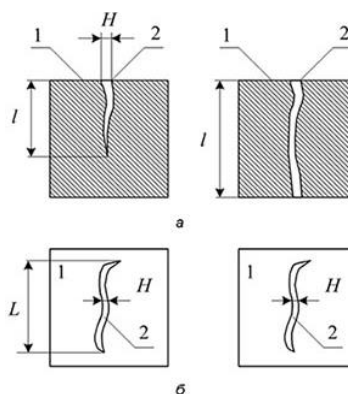


Рис. 3. Характеристика трещин:

a – тупиковая и сквозная трещины (вид сбоку); *b* – тупиковая и сквозная трещины (вид сверху)

Необходимо отметить, что трещины, образовавшиеся в результате усталостного разрушения цементного камня, перфорационных работ, избыточной водоотдачи или объемной усадки, представляют собой смешение различных моделируемых каналов, сообщающихся и не сообщающихся между собой. При этом наиболее опасными, с точки зрения герметичности крепи скважины, являются сквозные поры и капилляры, образовавшиеся в участках крепи скважины, вскрывшей нефтеносные пласты, подстилаемые водоносными горизонтами (нижние воды), либо имеющие в наличии промежуточные воды, либо водоносные горизонты, залегающие выше нефтеносного пласта (верхние воды). Следовательно, в результате длительной статической или превышающей пороговые значения механической прочности, динамической нагрузки, каналы, соединяясь между собой в систему, формируют транспортную сеть, по которой прорывается вода (нижняя, верхняя, подошвенная), приводящая к заколонным циркуляциям.

Для оценки размера порового канала, принимая во внимание фильтрацию пластовой воды с постоянным расходом через условный капилляр и поры межгранулярной пористости цементной матрицы, выстраиваются соотношения уравнений Дарси и Пуазейля:

$$Q = \frac{k \times F \times \Delta p}{\mu \times L}; \tag{1}$$

$$Q = \frac{R^2 \times F \times \Delta p}{8\mu \times L}, \quad (2)$$

откуда:

$$k = \frac{R^2}{8}, \quad (3)$$

где k – проницаемость породы, м^2 ; F – площадь фильтрации, м^2 ; Δp – перепад давления, Па; μ – вязкость, Па·с; L – длина, м; D – диаметр капилляра, м.

После преобразования коэффициента проницаемости и радиуса капилляра к одной размерности получим эмпирическое уравнение для оценки коэффициента проницаемости при фильтрации жидкости через капилляр:

$$k = 0,125 R^2; \quad (4)$$

$$F = \pi R^2. \quad (5)$$

Далее из уравнения Дарси выражаем радиус капилляра, предварительно переведя в систему [СИ] известные значения всех параметров. Вычислив диаметр капилляра, можно провести анализ величины порового канала и степень воздействия капиллярных сил на движение жидкости. Данные манипуляции позволят определить спектр водоизоляционных материалов и подобрать наиболее эффективную технологию ограничения водопритока.

В связи с тем что все вышеотмеченные виды негерметичностей требуют разных подходов, с целью профилактики их образования и восстановления целостности цементного кольца, приоритетным является определение механизма их возникновения.

Рассуждая о полостях, возникающих на границах контактов «колонна – цемент» и «цемент – пласт», выявлено, что процессы взаимодействия цемента с породой и металлом определяются физико-химическими свойствами цемента, природой металла и пород, адгезией, химическим сродством и условиями твердения цементного раствора [2].

Особенностью контакта цемента с обсадной колонной является то, что стенки последней имеют покрытие в виде пленки бурового раствора, дисперсионная основа которого определяет силу сцепления с цементным камнем, которая, к примеру, в случае обработки глинистым раствором может быть снижена до нуля [3]. Высокие температуры и давление также не способствуют возрастанию сцепления цементного раствора с колонной, покрытой буровым раствором.

Важным нюансом в работе цемента с обсадной колонной является неизбежность образования полостей, связанных с возникновением усадочных деформаций, вызванных нарушением контакта цементного камня с внешней границей обсадной колонны, что приводит к укорачиванию цементного кольца и нарушению сплошности контакта в 75 % случаев. Однако установлено, что в контактном слое цемента с железом происходят реакции, сопровождающиеся образованием полукальциевого феррита, благодаря уплотнению которого и старению с течением времени сцепление возрастает [5].

Сцепление породы с цементным камнем всегда успешнее и лучше, это связано с высокой шероховатостью среза пласта, следственно, лучшей адгезией, также химическим взаимодействием по причине сродства группы органических веществ. При этом причинами образования проводящих каналов внутри цементного кольца являются хрупкость камня либо его высокая проницаемость.

Следует отметить, что существует ряд превентивных мер, направленных на сохранение целостности цементной крепи. Так, имеется множество эффективных технологий минимизации последствий от ударных воздействий механических нагрузок, испытываемых обсадной колонной и цементным камнем. Минимизация трещинообразования может быть достигнута применением заполнителей в тампонажных растворах, использованием армированных цементов и материалов и т.д. Так, для повышения удароустойчивости цементного камня и с целью гашения напряжений применяют легкие алюмосиликатные полые микросферы, анизометрические наполнители слоистой или чешуйчатой (несферической) формы, высокодисперсные волокнистые наполнители, фибру. Однако

применение микросфер и дисперсного армирования не исключает разгерметизацию за колонного пространства и появление каналов, возникающих при превышении напряжений над механической прочностью цементного камня во время внутрискважинных работ, и, самое главное, данные технологии не направлены на восстановление герметичности уже поврежденной цементной крепи. Также существует множество современных водоизоляционных материалов и технологий, направленных на ограничение водопритоков в поврежденной цементной крепи, но все они имеют низкую продолжительность технологического эффекта, а также редко направлены на восстановление целостности крепи скважины [6].

В проведенной исследовательской работе [7] эффективным решением по герметизации водопроводящих каналов цементной крепи стала разработка тампонажного материала [10] для ликвидации заколонных циркуляций воды на основе сухого порошка тампонажного портландцемента и внедренных в него модифицирующих добавок в виде водонабухающих полимерных гранул, покрытых прочной водорастворимой оболочкой из полимерного комплекса, препятствующей преждевременной активации набухающих добавок при затворении цементной смеси и во время ее прокачивания в затрубное пространство скважины.

Анализируя вышесказанное, умозаключаем, что для обеспечения герметичности крепи скважины тампонажному раствору необходимо задать такие свойства, которые бы обеспечили минимальные фильтрационные показатели и максимальные механические характеристики при условии соблюдения безусадочности цементного камня на границе двух контактов, – с обсадной трубой и породой. Исходя из этого, актуальным является модернизация традиционной технологии цементирования скважин путем алгоритмизации процесса приготовления рецептур тампонажных составов относительно видов нарушений сплошности цементной крепи, типов флюидопроявлений и назначений, таких как профилактика и восстановление целостности цементного кольца [8].

Алгоритмизация подходов может строиться на базе решения проблематики межколонного флюидопроявления, в частности в борьбе с углеводородными проявлениями или с водопроявлениями и последующим применением «умных» тампонажных цементов с управляемым высвобождением инкапсулированного агента внутри цементной матрицы. Так, профилактика появления межколонного давления, грифонов в результате образования полости в связи с возникновением усадочных деформаций, вызывающих нарушения контакта цементного камня с внешней границей обсадной колонны и приводящих к укорачиванию цементного кольца, может быть решена применением тампонажного наноцемента [9], модифицированного углеводородонабухающей добавкой. Ликвидация заколонной циркуляции воды с последующим восстановлением герметичности цементного камня – применением тампонажного портландцемента, модифицированного водонабухающей добавкой.

В заключение, необходимо признать, что цементная крепь скважины является остовом всего технического сооружения, а нарушение ее барьерных функций влечет за собой неминуемые экологические проблемы и колоссальные экономические потери. Вместе с тем не опровергнуть тот факт, что профилактики нарушений сплошности цементной крепи как таковой не существует. Однако политика эко-ориентированности обязывает применять экологически безопасные материалы, а также обеспечивать технологические процессы, исключаящие какое-либо негативное воздействие на окружающую среду. Одним из современных альтернативных направлений в области повышения качества крепления скважин является применение специального тампонажного материала, обладающего самозалечивающимися свойствами, принцип работы которого заключается в герметизации проводящих каналов предварительно интегрированными в тампонажный цементный порошок модифицирующими добавками, которые, активируясь при взаимодействии с пластовым флюидом, блокируют образованные в цементном камне

трещины, тем самым восстанавливая герметичность крепи скважины [10]. При этом элиминация тяжелой ремонтной техники из ремонтного процесса позволит предотвратить выбросы в атмосферу загрязняющих веществ – продуктов сгорания при сжигании горюче-смазочного топлива. Отсутствие рабочей бригады, исключение транспортировки оборудования и материалов не допустят риска спонтанного вредоносного воздействия на локальный ареал с характерными видами растений и животных. В том числе важно предупреждение шумового и вибрационного загрязнения во время проведения внутрискважинных операций, несущих опасность отрицательного воздействия на биоту.

В завершении отмечается, что цементирование обсадной колонны традиционным тампонажным материалом из бездобавочного портландцемента по всей длине будет всегда иметь ряд существенных недостатков, так как по мере увеличения прочности цементного камня растет и его хрупкость, портландцемент обладает низкой прочностью на растяжение, а также низкой ударной стойкостью и не может эффективно противостоять динамическим нагрузкам, возникающим при циклических ударно-вибрационных манипуляциях. Однако изучив механизм возникновения полостей, проведя анализ и подобрав из заданных критериев материал, пригодный для создания «самозалечивающегося» цемента для изоляции водопроводящего канала цементного камня посредством образования экрана, а также обеспечив бандажное размещение этого цемента в областях, потенциально опасных с точки зрения образования проводящих каналов, можно производить рациональную закладку специального тампонажного материала, готового при появлении пластового флюида приступить к автономному восстановлению герметичности крепи скважины.

Список литературы

1. Исмагилова Э.Р., Агзамов Ф.А., 2016. Разработка добавок в «самозалечивающиеся» цементы для восстановления герметичности цементного кольца нефтяных и газовых скважин. *НТЖ «Бурение и Нефть»*, т. 5, № 1, С. 36 – 41.
2. Исмагилова Э.Р., Агзамов Ф.А., Аббас А.Д., 2017. Оптимизация дисперсности добавок в самозалечивающихся цементах. *Георесурсы*, Т. 19, № 2, С. 129 – 134.
3. Беллабарба М., Бюльте-Лойе Э., Фрелиш Б., Ле Руа-Делаж С., Ван Кейк Р., Зиру С., 2008. Обеспечение эффективного разобщения пластов после окончания эксплуатации скважин. *Нефтегазовое обозрение*, Том 20, № 1 (Весна), С. 22 – 37.
4. Ишбаев Г.Г., Дильмиев М.Р., Ишбаев Р.Р., Латыпов Т.Р., 2015. Разработка тампонажных материалов повышенной ударной прочности. *НТЖ «Бурение и Нефть»*, № 9, С. 38 – 41.
5. Булатов А.И., 1990. *Формирование и работа цементного камня в скважине*. Москва: Недра, 408 с.
6. Юнг В.Н., Бутт Ю.М., Журавлев В.Ф. и др., 1952. *Технология вяжущих веществ*. Под ред. В.Н. Юнга. Москва: Промстройиздат, 600 с.
7. Исмагилова Э.Р., 2022. Разработка цементной технологии для самовосстановления герметичности крепи скважины. *НТЖ «Бурение и нефть»*, № 4, С. 16 – 21.
8. Agzamov F.A., Ismagilova E.R., Beshir M.A., 2022. Elaboration of mending additives for the cement sheath repair. *Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана*, Том 4, № 3. <https://doi.org/10.54859/kjogi108564>
9. Бикбау М.Я, Высоцкий Д.В., Тихомиров И.С., 2011. «Бетоны на наноцементях: свойства и перспективы». *Технологии бетонов*, № 11 – 12 (64 – 65), С. 31 – 35.
10. Пат. 2760860 Российская Федерация. Тампонажный материал / Э.Р. Исмагилова, Ф.А. Агзамов; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» – № 2021102649, заявл.04.02.2021, опубл. 01.12.2021, Бюл. № 34.

References

1. Ismagilova E.R., Agzamov F.A., 2016. Razrabotka dobavok v "samozalechivayushchiesya" tsementy dlya vosstanovleniya germetichnosti tsementnogo kol'tsa neftyanykh i gazovykh skvazhin [Elaboration of additives for self-healing cements to restore the cement stone integrity in oil and gas wells]. NTZh "Burenie i Neft", V. 5, № 1, P. 36 – 41.
2. Ismagilova E.R., Agzamov F.A., Abbas A.D., 2017. Optimizatsiya dispersnosti dobavok v samozalechivayushchikhsya tsementakh [Optimization of self-healing additives dispersity in cement]. Georesursy, V. 19, № 2, S. 129 – 134.
3. Bellabarba M., Byul'te-Loie E., Frelish B., Le Rua-Delazh S., Van Keik R., Ziru S., 2008. Obespechenie effektivnogo razobshcheniya plastov posle okonchaniya ekspluatatsii skvazhin [Ensuring effective isolation of layers after completion of well operation]. Neftegazovoe obozrenie, Vol. 20, № 1 (Vesna), P. 22 – 37.
4. Ishbaev G.G., Dil'miev M.R., Ishbaev R.R., Latypov T.R., 2015. Razrabotka tamponazhnykh materialov povyshennoy udarnoy prochnosti. [Development of grouting materials with increased impact strength]. Razrabotka tamponazhnykh materialov povyshennoi udarnoi prochnosti. NTZh "Burenie i Neft", № 9, P. 38 – 41.
5. Bulatov A.I., 1990. Formirovanie i rabota tsementnogo kamnya v skvazhine [Formation and work of cement stone in a well]. Moscow: Nedra, 408 p.
6. Yung V.N., Butt Yu.M., Zhuravlev V.F. i dr., 1952. Tekhnologiya vyazhushchikh veshchestv [Technology of binders]. Pod red. V.N. Yunga. Moscow: Promstroizdat, 600 p.
7. Ismagilova E.R., 2022. Razrabotka tsementnoi tekhnologii dlya samovosstanovleniya germetichnosti krepki skvazhiny [Elaboration of cementing technology for well's cement sheath self-restoration]. NTZh "Burenie i neft", № 4, P. 16 – 21.
8. Agzamov F.A., Ismagilova E.R., Beshir M.A., 2022. Elaboration of mending additives for the cement sheath repair. *Vestnik neftegazovoi otrasli Kazakhstana*, Vol. 4, № 3. <https://doi.org/10.54859/kjogi108564>
9. Bikbau M.Ya, Vysotskii D.V., Tikhomirov I.S., 2011. Betony na nanotsementakh: svoystva i perspektivy [Concretes based on nanocements: properties and prospects]. Tekhnologii betonov, № 11 – 12 (64 – 65), P. 31 – 35.
10. Pat. 2760860 Rossiiskaya Federatsiya. Tamponazhnyi material [Backfill material. Patent for invention] / E.R. Ismagilova, F.A. Agzamov; patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Ufimskii gosudarstvennyi neftyanoi tekhnicheskii universitet" – № 2021102649, zayavl.04.02.2021, opubl. 01.12.2021, Byul. № 34.