



УДК 622.276+622.245:622.248.3

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2020

ПРОФИЛАКТИКА И ЛИКВИДАЦИЯ ОСЛОЖНЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ЗАКАНЧИВАНИИ СКВАЖИН

М.В. Нуцкова, В.Н. Кучин, В.С. Ковальчук

Санкт-Петербургский горный университет (199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21-я линия, 2)

PREVENTION AND ELIMINATION OF ISSUES WELL COMPLETION

Mariia V. Nutskova, Vyacheslav N. Kuchin, Vlada S. Kovalchuk

Saint Petersburg Mining University (2 21st line, Vasilyevsky island, Saint Petersburg, 199106, Russian Federation)

Получена / Received: 02.10.2019. Принята / Accepted: 10.01.2020. Опубликовано / Published: 02.03.2020

Ключевые слова:

бурение скважин, заканчивание, осложнения, лабораторные исследования, реология, водоприотки, ограничение притока, фильтрация, углеродные материалы, цементы, графен.

Отражена актуальность повышения качества заканчивания нефтегазовых скважин. Проблема повышения эффективности работы скважины формирует потребности в высокотехнологичном подходе к решению поставленных задач, начиная от проектирования и строительства нефтегазовой скважины до ее заканчивания, ремонта и ликвидации. Рассмотрены основные направления осложнений, возникающих при заканчивании скважин, в особенности представлен обзор последствия некачественного цементирования – образование каналов фильтрации, приводящих к межпластовым перетокам и повышению обводненности скважинной продукции, контракционный эффект и неправильно подобранные тампонажные составы, влияющие на разобщение пластов и нефте-, газо-, водопроявление. Кратко представлены методы проведения ремонтно-восстановительных работ по возвращению скважины к жизни. Показаны существующие технологии восстановления герметичности крепи скважины при проведении ремонтно-изоляционных работ, а также пути повышения качества крепи скважины на этапе ее строительства. Представлена разработанная технология временной изоляции водоносных горизонтов на этапе бурения в виде составов вязкоупругих систем. Изучение механизмов водоизоляции пробуренных скважин определяет вектор деятельности ученых, которыми ведутся работы по созданию новых и улучшению уже имеющихся блокирующих составов с целью повышения технического результата от их применения и снижения затрат на проведение работ подобного рода. Авторы рекомендуют применять перспективные составы вязкоупругих систем для блокирования водоносных горизонтов в процессе бурения. Для повышения прочности цементного камня и, как следствие, крепления ствола скважины предлагаются пути дальнейшего изучения – повышение качества тампонажного раствора путем ввода углеродных добавок, таких как сажа черная, сажа техническая, графит, окисленный графит, графен, оксид графена, углеродные нанотрубки.

Key words:

well drilling, completion, complications, laboratory tests, rheology, viscoelastic compounds, temporary isolation, fastening, interstratal flows, water inflows, flow restriction, filtration, carbon materials, cements, graphene.

The article shows the relevance of improving the quality of oil and gas wells completion. The main issues while completion of wells are considered, in particular, there is presented an overview of consequences of poor-quality cementing – formation of filtration channels leading to interstratal flows and increase of well water production, contract effect and incorrectly selected plugging mixtures affecting separation of formations and oil, gas and water penetration. Methods of repair and restoration works on well return to life are briefly presented. The existing technologies of well restoration during repair and insulation works, as well as the ways of improvement of well support quality at the stage of its construction, are shown. The developed technology of temporary isolation of aquifers at the stage of drilling is presented. The authors recommend to use promising VES to block aquifers during drilling. For increase in durability of a cement stone, and, as a result, fastenings of a well, are offered a way of further studying – improvement of quality of cement mixtures by addition of carbon modifications, for example, such as soot black, soot technical, graphite, graphite oxide, graphene, graphene oxide, carbon nanotubes.

Нуцкова Мария Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры бурения скважин (тел.: +007 965 014 97 85, e-mail: Nutskova_MV@pers.spmi.ru). Контактное лицо для переписки.

Кучин Вячеслав Николаевич – аспирант кафедры бурения скважин (тел.: +007 921 366 76 23, e-mail: kuchin.vya4eslaw2013@yandex.ru).

Ковальчук Влада Станиславовна – аспирант кафедры бурения скважин (тел.: +007 981 708 79 88, e-mail: vlada.1995@inbox.ru).

Mariia V. Nutskova (Author ID in Scopus: 57191341737) – PhD in Engineering, Associate Professor at the Well Drilling Department (tel.: +007 965 014 97 85, e-mail: Nutskova_MV@pers.spmi.ru, turitsyna_maria@mail.ru). The contact person for correspondence.

Vyacheslav N. Kuchin (Author ID in Scopus: 57202346922) – PhD student at the Well Drilling Department (tel.: +007 921 366 76 23, e-mail: kuchin.vya4eslaw2013@yandex.ru).

Vlada S. Kovalchuk – PhD student at the Well Drilling Department (tel.: +007 981 708 79 88, e-mail: vlada.1995@inbox.ru).

Введение

Бурение скважин для разведки и добычи нефти является одним из самых высокотехнологичных процессов. В рамках цикла строительства скважины бурение находится между проектированием (включая весь спектр от инвестиционного проекта до проекта строительства скважины) и заканчиванием. Таким образом, бурение связывает – технически, экономически и управленчески – объект разработки (пласт) и технологии (как ключевой фактор эффективности).

Стабильную рентабельность разработки месторождений можно обеспечить только за счет снижения себестоимости добываемой нефти, которая на 30–50 % зависит от объема эксплуатационных и энергетических затрат, а также затрат на проведение ремонтных работ. Заканчивание, в том числе инновационное, становится все более важным направлением для повышения эффективности [1]. Оборот рынка оборудования для заканчивания скважин в 2017 г. превысил 15 млрд рублей, при том что он находится на относительно ранней стадии развития (примерно 50 % рынка приходится на системы подвески хвостовика). Источниками 55 % спроса являются «горизонтальные» объекты и системы: новые скважины, боковые стволы, многостадийный гидроразрыв пласта и др. [2, 3].

Начиная от бурения и заканчивая эксплуатационной добычей полезных ископаемых, скважина подвергается воздействию различных технологических нагрузок. Перфорация, гидравлический разрыв пласта, коррозионно-активная внешняя среда, спуско-подъемные операции и другие работы внутри обсадной колонны оказывают сильное воздействие на целостность крепи скважины и прежде всего на цементный камень, являющийся одним из наиболее важных элементов скважины.

Некачественное цементирование скважин может быть причиной неправильной оценки перспектив разведываемых площадей, появления «новых» залежей нефти и особенно газа в коллекторах, перетоков флюидов, грифонообразований, газонеф-

теводопроявлений. Это один из наиболее опасных видов осложнений, часто переходящий в аварии. Перетоки флюидов – достаточно распространенное явление в скважинах. Самые сложные и финансово убыточные аварийные ситуации были зарегистрированы на месторождениях Украины и Узбекистана. Вследствие колоссального перетока пластового газа в колонну произошло фонтанирование скважины. В данном случае специалисты решили проблему с помощью бурения дополнительной наклонной скважины для организации ядерного взрыва, предотвратившего миграцию газа в скважину [4]. Приведенные примеры говорят о низкой профессиональной подготовке специалистов-буровиков, а также недостаточном внимании к нормам и правилам бурения скважин.

Одним из негативных последствий некачественного крепления скважин, связанных с образованием каналов для миграции пластового флюида, является повышение обводненности скважинной продукции. В настоящее время обводненность эксплуатационных скважин месторождений России превышает 90 %. Высокое качество герметизации нефтяных и газовых скважин, снижение межпластовых перетоков остаются важнейшим условием их эффективного использования. Применяемые при этом герметизирующие составы и устройства должны позволять безаварийно проводить различные работы в скважине и обеспечивать выполнение технических, экологических и экономических требований [5, 6].

Сегодня в связи с высокопроблемной ситуацией все внимание ученых направлено на изучение механизмов (причин возникновения, процесса, путей решения) водоизоляции пробуренных скважин. Несмотря на то что в настоящее время уже имеется достаточно широкий ассортимент различных технологий и составов для проведения ремонтно-изоляционных работ по ограничению водопритока, ведутся работы по созданию новых и улучшению уже имеющихся блокирующих составов с целью повышения технического результата от их применения и снижения затрат на проведение работ подобного рода.

Методы ликвидации водопроявлений и межколонных перетоков

В настоящее время тенденции, связанные с увеличением объемов эксплуатационного бурения, освоением месторождений, находящихся на поздней стадии разработки, а также новых месторождений со сложными геолого-техническими условиями, указывают на необходимость решения существующих проблем в области качества крепления нефтяных и газовых скважин, и этот вопрос становится все более актуальным. Отсутствие качественного и долговременного разобщения пластов, межколонные и межпластовые нефтегазоводопроявления и перетоки, поглощения и недоподъем цементного раствора на заданную высоту – все эти осложнения приводят к снижению продуктивности построенных скважин и в целом эффективности разработки месторождения, увеличению затрат на ремонтные работы в процессе освоения и эксплуатации скважины. Для проведения качественного крепления скважины необходимо на всех этапах, от подготовки ствола скважины до спуска обсадной колонны и ее дальнейшего цементирования, обеспечить грамотный подбор применяемых для осуществления данных операций технологий, оборудования и материалов.

Основными причинами, влияющими на качество цементирования нефтегазовых скважин, являются:

- а) геометрическое состояние ствола скважины и свойства бурового раствора;
- б) пространственное расположение обсадной колонны относительно оси ствола скважины;
- в) расхаживание породоразрушающего инструмента;
- г) оптимизация времени на бурение и крепление скважины;
- д) рабочие характеристики насоса для закачки тампонажного раствора.

Низкое качество цементирования скважин может приводить к возникновению межпластовых перетоков и обводнению скважинной продукции. Решение этой проблемы может осуществляться проведением ремонтно-изоляционных работ (РИР) в действующем фонде скважин и повышением

качества крепления новых. Осложненные различными интервалами пластового давления геологические условия на месте для бурения скважины, а также непосредственная близость водо- и нефтеносных горизонтов влияют на отход ствола скважины от заданного направления и требуют использования новых технологий и модифицирующих добавок для цементирования нефтегазовых скважин.

В работах по ограничению водопритоков приводятся классификации РИР по их степени сложности, а также предлагаются оптимально возможные технологии по ликвидации причин обводнения скважин. В результате авторами было выделено четыре категории сложности РИР [7–10]. К самым простым РИР относятся:

- ликвидация негерметичности ствола скважины;
- понижение и полное предотвращение межпластовых миграций флюидов;
- создание плотной непроницаемой перемычки для изоляции водного горизонта от продуктивного пласта.

Изоляционно-восстановительные работы при капитальном ремонте скважин производят для перекрытия путей движения посторонних вод к эксплуатационному объекту, предотвращения миграции газов, укрепления ствола скважины. При проведении РИР в нефтегазовых скважинах применяются технологии по цементированию ствола, в том числе под давлением, установке механической «заплатки» («пластырь», профильный перекрыватель), иногда используется закачка специальных составов полимерных материалов.

Высокое качество изоляции напорных горизонтов на этапе строительства может определить долговечность скважин как капитальных объектов, поэтому особое внимание должно быть уделено качеству их крепления. Недостаточный уровень прочности цемента может привести к снижению эксплуатационных характеристик скважины, разрушению целостности ее ствола, снижению герметичности, нарушению экологических требований, норм и правил безопасности. Повышение эксплуатационных характеристик цемента, в первую очередь его прочности на сжатие и изгиб, является весьма актуальной задачей. Ее традиционно решают путем модифицирования цемента различными

химическими добавками природного и искусственного происхождения. Кроме того, для разобщения пластов с различными по свойствам насыщающими флюидами целесообразна их временная изоляция на этапе бурения, особенно это касается интервалов возможных водопритоков.

Технология временной изоляции напорных горизонтов

Разработке новых составов и технологий ограничения водопритоков посвящены работы многих ученых как у нас в стране [11–16], так и за рубежом [17, 18], а такие ученые, как В.А. Блажевич, В.Г. Уметбаев, Н.А. Абдрахимов, В.А. Стрижнев, И.И. Клещенко, С.С. Демичев, К.В. Стрижнев и другие, уделяли особое внимание изучению и внедрению синтетических смол [19–30]. Существует несколько технологических направлений для решения проблемы качественной изоляции водоносных пластов. Например, наиболее часто используют селективную изоляцию водопритоков, включающую при проведении РИР временное блокирование пласта, и технологию PVL (циркуляционный переводник). Данное устройство содержит циркуляционный клапан, который позволяет многократно переключать поток жидкости из внутреннего пространства бурильной колонны в затрубное, минуя все элементы компоновки низа бурильной колонны (КНБК), находящиеся в компоновке ниже PVL [31]. Однако использование данной технологии не обеспечивает регулирования давления в кольцевом пространстве [32]. Для обеспечения работ, направленных на повышение эффективности заканчивания скважин в интервалах неконтролируемого притока, предлагается использовать в процессе бурения устройство-регулятор давления с одно-временным закачиванием блокирующей жидкости при первичном вскрытии водоносного пласта [33].

На современном этапе при проведении водоизоляционных работ используются композиции на основе тампонажного цемента с различными полимерными добавками, улучшающими их адгезионные и прочностные свойства; специальные порошкообразные

материалы; смеси, в составе которых есть кремневые и/или органические материалы; полимерные и гелеобразующие составы и др. Применяются также различные комбинации армирующих составов, достоинством которых является возможность регулирования их свойств в зависимости от геологических и технических условий применения. Из всего многообразия предлагаемых водоизоляционных композиций составы вязкоупругих систем являются одним из наиболее перспективных способов блокирования водоносных горизонтов в процессе бурения с целью ограничения водопроявлений и межколонных перетоков. При данном способе водоизоляции в скважину закачивается гелеобразная композиция, которая в начальный момент времени представляет собой маловязкую жидкость. После определенного промежутка времени происходит резкое возрастание вязкости до загустевания системы, т.е. раствор теряет текучесть и непосредственно в пластовых условиях превращается в гель, который способен блокировать водопроявляющие горизонты. Однако большинство известных к настоящему времени вязкоупругих водоизоляционных составов обладает рядом недостатков, среди которых низкая проникающая способность, нестабильность в пластовых условиях, токсичность и высокая стоимость. Устранение перечисленных недостатков может существенно повысить конкурентоспособность этого способа ограничения водопритоков [5, 6, 34, 35].

Повышение качества разобщения пластов на этапе крепления скважины

Одним из наиболее эффективных путей повышения качества разобщения пластов является высокая седиментационная устойчивость тампонажных растворов. В противном случае возможны увеличение проницаемости цементного камня, появления трещин в цементном камне в результате обильного водопритока [36].

Качество пробуренной скважины в первую очередь зависит от герметичности зацементированной скважины. Для движения газа и других пластовых флюидов по

внутреннему диаметру цементного кольца необходимо наличие двух составляющих: давления, которое присутствует в обязательном порядке вследствие нахождения газа, и канала. Для образования каналов в цементном камне основным фактором является свойство тампонажной смеси образовывать на своей поверхности вакуум – понижение давления (контракционный эффект), способствующее притоку флюидов из околоствольного пространства скважины – обезвоживанию оставшегося невытесненным бурового раствора и фильтрационной корки. При твердении тампонажного раствора возникновение каналов в цементном камне неизбежно [37].

Одной из трудновыполнимых, но решаемых задач является уменьшение контракционного эффекта. Абсолютно избавиться от контракции невозможно, как и заменить цемент другим минеральным вяжущим. Такие технологии на сегодняшний день еще неизвестны. Благодаря открытию контракционного эффекта ученые смогли понять механизм каналообразования в тампонажном камне, определить влияющие на него факторы и сформулировать пути решения минимизации отрицательного влияния контракционного эффекта на крепление ствола скважины.

Один из общепринятых способов понижения роли контракционного эффекта связан с внедрением в тампонажный раствор различных добавок. Чаще всего данное решение приводит к существенному снижению механической прочности цементного камня. Для первичного цементирования скважин все чаще применяют модифицирование тампонажного раствора добавками, положительно влияющими на характеристики цементного камня.

В работе профессора А.И. Булатова «Выявление роли прочности цементного камня» было показано, что прочность цементного камня по ГОСТу не дает представлений о возможности его использования в условиях отдельного месторождения, а только отражает требования к качеству цемента. После решения вышеуказанных проблем стало возможным применение модифицированных различными добавками тампонажных смесей для цементирования нефтегазовых скважин. Было

определено, что модифицирование раствора снижает контракционный эффект [36].

К стандартным добавкам в тампонажные растворы можно отнести: силикаты (SiO_2 , nanoSiO_2), доменные шлаки и отходы металлургического производства; утяжелители (барит, гематит); понизители плотности (попы пластиковые микросферы и гранулы; воздух). В условиях высоких температур и давлений НРНТ (High Pressure High Temperature) рекомендуется использование кремний-содержащих материалов, например, кварцевого песка. В составе цементного раствора и буферной жидкости SiO_2 способствует дополнительной очистке стенки скважины [36, 38].

В случае изоляционных работ по креплению ствола скважины применяют тампонажный раствор с различными добавками, улучшающими его свойства: полимерные материалы и другие недорогие и легкодоступные химические вещества органического и неорганического происхождения.

Использование улучшенных добавками тампонажных растворов для цементирования скважин имеет определенные преимущества:

1) происходит повсеместное увеличение физико-механических свойств однородно затвердевшего цементного камня, который характеризуется высокими показателями прочности на сжатие и изгиб, коррозионной и термобарической устойчивостью.

2) благодаря непроницаемым свойствам цементного камня снижается возможность миграции пластовых флюидов в скважину и бурового раствора в околоствольное пространство скважины. Так, цементный камень препятствует снижению проницаемости призабойной зоны после цементирования, а также способствует полному разобщению пластов [39, 40].

Тампонажный раствор, приготовленный из стандартного цемента, часто не удовлетворяет условиям бурения ввиду низкой способности проникать в мельчайшие поры, предотвращать миграцию пластовых флюидов и газов и укреплять стенки ствола скважины. У исследователей есть основания полагать, что разрушение цементного кольца во всех случаях происходит с образованием каверн и трещин любого размера.

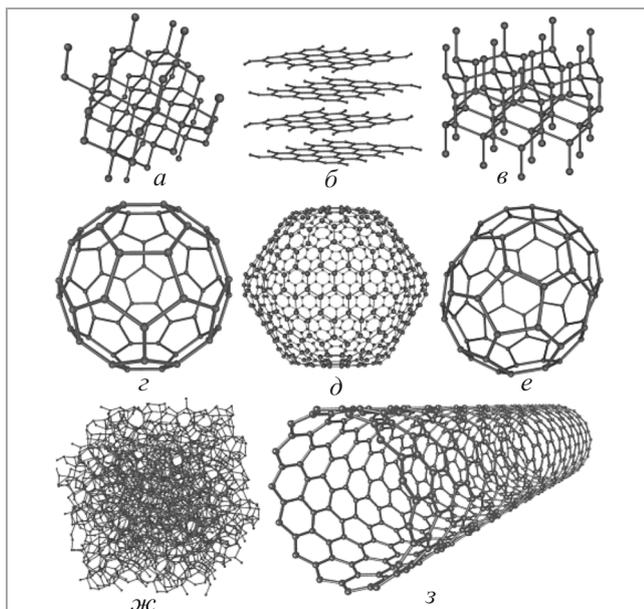


Рис. Современные модификации углерода:

a – алмаз; *б* – графит; *в* – лонсдейлит; *з* – C60 (фуллерены); *д* – C540; *е* – C70; *ж* – аморфный углерод; *з* – однослойная углеродная нанотрубка

В последние годы в качестве модификаторов стали активно использоваться углеродные материалы. В начале XXI в. были известны трехмерные (графит, алмаз), одномерные (однослойные и многослойные углеродные нанотрубки) и нульмерные (фуллерены) аллотропные модификации углерода [41]. На рисунке представлены все изученные модификации углерода.

Углерод – поистине уникальный химический элемент. Он способен образовывать самые разнообразные химические структуры с улучшенными структурными, электрическими и механическими свойствами.

После открытия графена в 2004 г. в научном мире начался рост интереса к модификациям углерода.

Ученые-физики А. Гейм и К. Новоселов из Манчестерского университета (Великобритания) синтезировали графен с помощью последовательного отслоения слоев графита, используя обычную скотч-ленту [42]. За новаторские эксперименты с графеном – двумерной формой углерода – в 2010 г. первооткрывателям была присуждена Нобелевская премия по физике.

Сегодня с графеном работают не только химики и физики, но и врачи, строители, горняки, технологи всех направлений и даже

дизайнеры. Новый материал приобретает все большую популярность благодаря своим необычным механическим, термическим, электрическим и оптическим свойствам. В нефтегазовой промышленности графен быстро нашел свое место. С помощью применения графена в бурении и строительстве скважин повышают смазывающие свойства бурового раствора, создают антикоррозионные покрытия, производят цементирование скважин, армирование породоразрушающего инструмента, отделение воды от нефти, очистку от разливов нефти, заканчивание скважин и многое другое [43–45]. Графен и его производные являются улучшающими добавками для тампонажных смесей, что делает возможность их применения для цементирования скважин приоритетным.

Благодаря графеновому буму в научном сообществе исследователи со всего мира стали обращать свое внимание на различные модификации углерода. Трехмерная модификация углерода – графит – может использоваться в качестве наноразмерного армирования цементного камня для улучшения его механических характеристик, герметичности и долговечности не хуже графена. Несмотря на удивительные свойства графена, применение графита и его производных в нефтегазовой промышленности более обосновано ввиду низкой себестоимости материалов и их высокой доступности.

Анализ проведенных исследований за рубежом [46–55] позволил заключить, что присутствие углеродных материалов улучшает поровую структуру цементирующей матрицы, увеличивает прочность на сжатие и изгиб по сравнению с чистым цементом. Согласно результатам исследований, текучесть нового гидрофобного и экологичного цементного раствора увеличивается, как и твердость цементного камня.

Работы отечественных научно-исследовательских институтов по изучению качества цементирования скважин через 15–30 лет показали полное или частичное разрушение цементного камня в заколонном пространстве скважины [36]. Таким образом, основной задачей ученых является изучение причин изменения состояния тампонажной смеси во времени и способов их ликвидации.

Выводы и рекомендации

Применение современных технологий ограничения водопритоков позволяет значительно снизить затраты на ремонт и эксплуатацию скважин и увеличить добычу нефти. Показатели добычи на отдельно взятой скважине во многом зависят не только от геологии, режимов эксплуатации и методов интенсификации, но и от технического состояния скважины как конструкции.

В то же время новые более эффективные изоляционные материалы с низкой вязкостью, высокой фильтруемостью и адгезией должны оставаться легкодоступными и относительно недорогими. Однако даже самые успешные технологии гидроизоляционных работ носят временный характер. Основным критерием потенциала изоляции в сравнительной характеристике является показатель ограничения попутно добываемой воды и длительности технологического эффекта. В результате об улучшении нефтенасыщенной части пласта судят по качеству создания дополнительного фильтрационного сопротивления в водонасыщенной части пласта и уменьшению притока воды.

Углеродные материалы будут очень сильно влиять на технологии в ближайшие годы. Качественное крепление скважин требует постоянного совершенствования строительных и модифицирующих материалов. Экологичность внедрения в тампонажные растворы углеродных добавок очевидна начиная с их безопасной добычи и получения до затвердевания в тампонажный камень. С помощью новых составов тампонажных растворов с добавками углеродных материалов можно легко решить целый набор глобальных проблем, таких как проявление и поглощение бурового раствора, прихват скважинного бурового оборудования, сыпучесть интервалов неустойчивых пород, водо-, нефте- и газопроявление, разобщение пластов и др.

Возможность использования углеродных материалов в качестве добавок в тампонажные смеси для цементирования скважин еще до конца не изучена. Таким образом, возникает острая необходимость в дальнейших исследованиях, чтобы успешно использовать новые материалы в производстве улучшенных тампонажных составов.

Библиографический список

1. Алексеев А. Инновации на горизонте // Сибирская нефть. – 2017. – № 139. – С. 16–23.
2. Британов Ф. Рынок возможностей // Сибирская нефть. – 2019. – № 162. – С. 44–49.
3. Лебедева Н.Е. Тенденции развития нефтегазового машиностроения РФ в условиях реализации политики импортозамещения // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 11. – С. 329–334.
4. Катастрофа на Кумжинском газоконденсатном месторождении: причины, результаты, пути устранения последствий / В.И. Богоявленский [и др.] // Арктика: экология и экономика. – 2017. – № 1. – С. 32.
5. Кучин В.Н., Двойников М.В., Нуцкова М.В. Анализ и обоснование выбора составов для ограничения водопритоков при заканчивании скважин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017. – Т. 16, № 1. – С. 33–39.
6. Совершенствование технологии изоляции водопритоков при бурении в интервале аномальных пластовых давлений / В.Н. Кучин, М.В. Двойников, Е.Ю. Цыгельнюк, М.В. Нуцкова // Нефтегазовое дело. – 2018. – Т. 16, № 4. – С. 51–58.
7. Seright R.S., Lane R.H., Sydansk R.D. A strategy for attaching excess water production // SPE Production and Facilities. – 2003. – Vol. 18, № 03. – P. 158–169. DOI: 10.2118/84966-PA
8. Joint operation and dynamic control of flood limiting water levels for cascade reservoirs / J. Chen [et al.] // Water Resources Management. – 2013. – Vol. 27, № 3. – P. 749–763.
9. Стрижнев К.В. Классификация тампонажных материалов для ремонтно-изоляционных работ в скважинах // Нефтяное хозяйство. – 2010. – № 12. – С. 63–65.
10. Опыт проведения ремонтно-изоляционных и ликвидационных работ на старом фонде геолого-разведочных скважин / Я.М. Курбанов [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2013. – № 12. – С. 33–38.
11. Диагностика и ограничение водопритоков / Б. Бейли [и др.] // Нефтегазовое обозрение. – 2001. – Т. 6, № 1. – С. 44–68.

12. Дубинский Г.С. О планировании технологий стимуляции скважин и ограничения водопритока // Нефтегазовые технологии и новые материалы. Проблемы и решения. – 2015. – С. 138–146.
13. Ограничение водопритока в трещиновато-пористых карбонатных коллекторах с использованием водонабухающих эластомеров / Р.Р. Кадыров [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 4. – С. 70–72.
14. Ретроспективный анализ методов ограничения водопритоков, перспективы дальнейшего развития в Западной Сибири / Ю.В. Земцов [и др.] // Нефтепромысловое дело. – 2014. – № 4. – С. 17–22.
15. Ограничение водопритока в горизонтальных скважинах на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами нефти / Р.Р. Кадыров [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 5. – С. 44–47.
16. Илюшин П.Ю., Галкин С.В. Возможности учета технологических показателей разработки нефтяных месторождений при прогнозе динамики обводненности продукции добывающих скважин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология, нефтегазовое и горное дело. – 2012. – № 4. – С. 64–74.
17. Practical consideration of an inflow-control device application for reducing water production / L.B. Ouyang [et al.] // SPE Annual Technical Conference and Exhibition / Society of Petroleum Engineers. – New Orleans, 2009. – P. 1128–1146.
18. Water control in oil wells with downhole oil-free water drainage and disposal / S.O. Inikori [et al.] // SPE Annual Technical Conference and Exhibition / Society of Petroleum Engineers. – San Antonio, Texas, 2002. – P. 1967–1976.
19. Фаттахов И.Г., Кадыров Р.Р., Маркова Р.Г. Совершенствование способа приготовления тампонажного состава на основе синтетических смол для ремонтно-изоляционных работ в скважинах // Фундаментальные исследования. – 2014. – Т. 10, № 12.
20. Тампонажные материалы на основе ацетоформальдегидной смолы / В.П. Архиреев [и др.] // Пластические массы. – 2007. – № 8. – С. 49–51.
21. Апасов Г.Т. Лабораторные исследования синтетической смолы для проведения изоляционных работ в скважинах // Нефтепромысловое дело. – 2013. – № 12. – С. 29–33.
22. Стрижнев К.В., Нигматуллин Т.Э. Разработка рецептур композиций на основе синтетических смол для изоляции водопритока в нефтяные скважины // Башкирский химический журнал. – 2011. – Т. 18, № 1. – С. 42–48.
23. Новые технологии крепления скважин и ликвидации негерметичности эксплуатационных колонн с использованием синтетических смол / Р.Р. Кадыров [и др.] // Сборник научных трудов ТатНИПИнефть. – 2013. – С. 343–353.
24. Primary cementing and repairing of leaks in a production string using synthetic resins / R.R. Kadyrov [et al.] // Oil & Gas Technologies. – 2013. – Т. 84, № 1. – С. 49–54.
25. Апасов Г.Т. Практическое применение ремонтно-изоляционных работ с комбинированными составами // Нефтепромысловое дело. – 2013. – № 12. – С. 18–24.
26. Кузнецова О.Н., Архиреев В.П. Гидроизолирующие материалы на основе фенолформальдегидных смол // Вестник Казанского технологического университета. – 2004. – № 2. – С. 230–233.
27. Стрижнев К.В. Совершенствование технологий РИР в условиях отсутствия непрерывной приёмистости и интервала изоляции // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2011. – № 3. – С. 72–76.
28. Ланчаков Г.А., Ивакин Р.А., Григулецкий В.Г. О материалах для ремонтно-изоляционных работ газовых и нефтяных скважин // Вести газовой науки. – 2011. – № 2 (7). – С. 52–68.
29. Апасов Т.К., Апасов Г.Т., Саранча А.В. Проведение в скважинах водоизоляционных работ на основе карбамидоформальдегидной смолы // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2015. – № 6. – С. 84–88.
30. Апасов Т.К., Апасов Г.Т., Саранча А.В. Технология и составы для проведения в скважинах водоизоляционных работ на основе карбамидоформальдегидной смолы // Нефтегазовое дело. – 2015. – № 6. – С. 277–291.
31. Гасумов Р.А., Кашапов М.А. Разработка пенообразующих составов для бурения и ремонта скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2009. – № 12. – С. 30–32.

32. Кучин В.Н. Обоснование и разработка технологии изоляции водопритоков при бурении в интервале аномальных пластовых давлений // Нефть и газ – 2018: сб. тр. 72-й Междунар. молодежной науч. конф. – 2018. – С. 199–204.
33. Облегченные тампонажные растворы для крепления газовых скважин / В.И. Вяхирев, В.П. Овчинников, П.В. Овчинников, В.В. Ипполитов, А.А. Фролов, Ю.С. Кузнецов, В.Ф. Янкевич, С.А. Уросов. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2000. – С. 3–4.
34. Кучин В.Н. Обоснование и разработка технологии изоляции водопритоков при бурении в интервале аномальных пластовых давлений // Нефть и газ – 2018. – 2018. – С. 199–204.
35. Nutskova M.V., Dvoynikov M.V., Kuchin V.N. Improving the quality of well completion in order to limit water inflows // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – Т. 12, № 22. – P. 5985–5989.
36. Булатов А.И. Концепция качества пробуренных нефтяных и газовых скважин // Бурение и нефть. – 2015. – № 12. – С. 15–19.
37. Мазурок П.С. Влияние цементирования нефтяных и газовых скважин на экономику. Оценка экономических и экологических рисков – программное обеспечение СЕМ EXPERT // Бурение и нефть. – 2015. – № 12. – С. 32–36.
38. Асфандияров И.Р. Высокотехнологичное крепление скважин с технологической оснасткой обсадных колонн ЗАО «АРТ-Оснастка» // Бурение и нефть. – 2015. – № 5. – С. 50–53.
39. Новейшие технические решения для крепления скважин / А.Р. Гулов, С.А. Новиков, В.Г. Журавчак, М.А. Ахметов // Бурение и нефть. – 2018. – № 01. – С. 55–57.
40. Самсоненко А.В., Самсоненко Н.В., Симонянц С.Л. Механизмы возникновения и технологии устранения осложнений процесса цементирования обсадных колонн // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2016. – № 11. – С. 35–42.
41. Булатова И.М. Графен: свойства, получение, перспективы применения в нанотехнологии и нанокompозитах // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – Вып. 10. – С. 45–48.
42. Geim A.K., Novoselov K.S. The rise of graphene // Nature Materials. – 2007. – Vol. 6(3). – P. 183–191.
43. Аль-Шиблави К.А., Першин В.Ф., Пасько Т.В. Модифицирование цемента малослойным графеном // Вектор науки ТГУ. – 2018. – Вып. 4 (46). – С. 6–11.
44. Neuberger N., Adidharma H., Fan M. Graphene: A review of applications in the petroleum industry // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2018. – Vol. 167. – P. 152–159.
45. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete: a review // Constr. Build. Mater. – 2010. – № 24 (11). – P. 2060–2071. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.03.014
46. The use of low-cost graphite nanomaterials to enhance zonal isolation in oil and gas wells / A. Peyvandi, A.D. Taleghani, P. Soroushian, R. Cammarata // SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 9–11 October. San Antonio, 2017. DOI: 10.2118/187105-MS
47. Shawgi A. Chinedum P.E., Saeed S. Improvement in cement sealing properties and integrity using conductive carbon nano materials: from strength to thickening time // SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 24–26 September. – Dallas, 2018. DOI: 10.2118/191709-MS
48. Alkhamis M., Imqam A. New cement formulations utilizing graphene nano platelets to improve cement properties and long-term reliability in oil wells // SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition, Conference Paper. 2018. DOI: 10.2118/192342-MS
49. MWCNT for enhancing mechanical properties of oil well cement for HPHT / W.A. Khan, M.K. Rahman, M.A. Mahmoud, P. Sarmah // Applications SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference and Exhibition, 26–28 January. – Abu Dhabi, 2016. DOI: 10.2118/178175-MS
50. MWCNT for enhancing mechanical and thixotropic properties of cement for HPHT / M.K. Rahman, W.A. Khan, M.A. Mahmoud, P. Sarmah // Applications Offshore Technology Conference Asia, 22–25 March. – Kuala Lumpur, 2016. DOI: 10.4043/26465-MS
51. Aluminum-based composite reinforced with fullerene soot / F. Yunusov, E. Bobryna,

T.J. Ma, T. Larionova, M. Okrepilov, V. Mazin, S. Kravchenko, V. Yakovlev, S. Chulkin, D. Zaripova // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – 337. DOI: 10.1088/1755-1315/337/1/012085

52. Li G.Y., Wang P.M., Zhao X. Pressure-sensitive properties and microstructure of carbon nanotube reinforced cement composites // Cement and Concrete Composites. – 2007. – № 29. – P. 377–382. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2006.12.011

53. Bai H., Li C., Shi G. Functional composite materials based on chemically converted graphene // Advanced Materials. – 2011. – Vol. 23. – P. 1089–1115. DOI: 10.1002/adma.201003753

54. Graphene-based composites / X. Huang, X. Boey, F. Qi, H. Zhang // Chemical Society Reviews. – 2012. – Vol. 41. – P. 666–686. DOI: 10.1039/C1CS15078B

55. Bai S., Shen X. Graphene-inorganic nanocomposites // RSC Advances. – 2012. – Vol. 2. – P. 64–98. DOI: 10.1039/C1RA00260K

References

1. Alekseev A. Innovatsii na gorizonte [Innovation on the horizon]. *Sibirskaya nef't*, 2017, no.139, pp.16-23.

2. Britanov F. Rynok vozmozhnostei [Market of opportunities]. *Sibirskaya nef't*, 2019, no.162, pp.44-49.

3. Lebedeva N.E. Tendentsii razvitiia nef'tegazovogo mashinostroeniia RF v usloviakh realizatsii politiki importozameshcheniia [Trends in the development of oil and gas engineering in the Russian Federation in the context of the implementation of the import substitution policy]. *Innovatsii i investitsii*, 2019, no.11, pp.329-334.

4. Bogoiavlenskii V.I. et al. Katastrofa na Kumzhinskom gazokondensatnom mestorozhdenii: prichiny, rezultaty, puti ustraneniia posledstviia [Kumzhinskoye gas condensate field disaster: reasons, results and ways of eliminating the consequences]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2017, no.1, pp.32.

5. Dvoynikov M.V., Nutskova M.V., Kuchin V.N. Analysis and justification of selection of fluids to be used for water shut-off treatment during well completion. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2017, vol.16, no.1, pp.33-39.

6. Kuchin V.N., Dvoynikov M.V., Tsygelnik E.Iu., Nutskova M.V. Sovershenstvovanie tekhnologii izoliatsii vodopritokov pri burenii v intervale anomalnykh plastovykh davlenii [Improving the technology of isolation of water inflow during drilling in the range of abnormal reservoir pressure]. *Nef'tegazovoe delo*, 2018, vol.16, no.4, pp.51-58.

7. Seright R.S., Lane R.H., Sydansk R.D. A strategy for attaching excess water production. *SPE Production and Facilities*, 2003, vol.18, no.03, pp.158-169. DOI: 10.2118/84966-PA

8. Chen J. et al. Joint operation and dynamic control of flood limiting water levels for cascade reservoirs. *Water Resources Management*, 2013, vol.27, no.3, pp.749-763.

9. Strizhnev K.V. Klassifikatsiia tamponazhnykh materialov dlia remontno-izoliatsionnykh rabot v skvazhinakh [Classification of backfill materials for repair and insulation works in the wells]. *Oil industry*, 2010, no.12, pp.63-65.

10. Kurbanov Ia.M. et al. Opyt provedeniia remontno-izoliatsionnykh i likvidatsionnykh rabot na starom fonde geologo-razvedochnykh skvazhin [Experience of performing repair-insulation and liquidation operations of old exploration wells]. *Stroitelstvo nef'tianykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*, 2013, no.12, pp.33-38.

11. Beili B. et al. Diagnostika i ogranichenie vodopritokov [Diagnosis and limitation of water inflows]. *Nef'tegazovoe obozrenie*, 2001, vol.6, no.1, pp.44-68.

12. Dubinskii G.S. O planirovanii tekhnologii stimulatsii skvazhin i ogranicheniia vodopritoka [On planning well stimulation technologies and water inflow restrictions]. *Nef'tegazovye tekhnologii i novye materialy. problemy i resheniia*, 2015, pp.138-146.

13. Kadyrov R.R. et al. Ogranichenie vodopritoka v treshchinovato-poristykh karbonatnykh kollektorakh s ispolzovaniem vodonabukhaiushchikh elastomerov [Water shutoff jobs in porous-fractured carbonate reservoirs using water-swelling elastomers]. *Oil industry*, 2014, no.4, pp.70-72.

14. Zemtsov Iu.V. et al. Retrospektivnyi analiz metodov ogranicheniia vodopritokov, perspektivy dalneishego razvitiia v Zapadnoi Sibiri [Retrospective analysis of methods applied for water inflows limiting, prospects of further

development in the Western Siberia]. *Neftepromyslovoe delo*, 2014, no.4, pp.17-22.

15. Kadyrov R.R. et al. Ogranichenie vodopritoka v gorizontalnykh skvazhinakh na mestorozhdeniiakh s trudnoizvlekaemyimi zapasami nefti [A novel water shut-off technique for horizontal wells at fields with hard-to-recover oil reserves]. *Oil industry*, 2017, no.5, pp.44-47.

16. Iliushin P.Iu., Galkin S.V. Possibilities of technological indicators accounting of oil fields development within dynamics prediction of products watering from producing wells. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2012, no.4, pp.64-74.

17. Ouyang L.B. et al. Practical consideration of an inflow-control device application for reducing water production. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers*, 2009, pp.1128-1146.

18. Inikori S.O. et al. Water control in oil wells with downhole oil-free water drainage and disposal. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers*, 2002, pp.1967-1976.

19. Fattakhov I.G., Kadyrov R.R., Markova R.G. Sovershenstvovanie sposoba prigotovleniia tamponazhnogo sostava na osnove sinteticheskikh smol dlia remontno-izoliatsionnykh работ v skvazhinakh [Improving the method of preparation of grouting composition based on synthetic resins for repair and insulation works in wells]. *Fundamentalnye issledovaniia*, 2014, vol.10, no.12.

20. Arkhireev V.P. et al. Tamponazhnye materialy na osnove atsetonoformaldegidnoi smoly [Grouting materials based on acetone-formaldehyde resin]. *Plasticheskie massy*, 2007, no.8, pp.49-51.

21. Apasov G.T. Laboratornye issledovaniia sinteticheskoi smoly dlia provedeniia izoliatsionnykh работ v skvazhinakh [Laboratory studies of synthetic resin to be used for carrying out isolation work in wells]. *Neftepromyslovoe delo*, 2013, no.12, pp.29-33.

22. Strizhnev K.V., Nigmatullin T.E. Razrabotka retseptur kompozitsii na osnove sinteticheskikh smol dlia izoliatsii vodopritoka v neftiane skvazhiny [The development of resin based compositions for water shutoff in oil wells]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal*, 2011, vol.18, no.1, pp.42-48.

23. Kadyrov R.R. et al. Novye tekhnologii krepleniia skvazhin i likvidatsii negermetichnosti ekspluatatsionnykh kolonn s ispolzovaniem sinteticheskikh smol [New technologies for fastening wells and eliminating leaks in production casing using synthetic resins]. *Sbornik nauchnykh trudov TatNIPIneft*, 2013, pp.343-353.

24. Kadyrov R.R. et al. Primary cementing and repairing of leaks in a production string using synthetic resins. *Oil & Gas Technologies*, 2013, vol.84, no.1, pp.49-54.

25. Apasov G.T. Prakticheskoe primenenie remontno-izoliatsionnykh работ s kombinirovannymi sostavami [Practical usage of repair-isolation works with combined compositions]. *Neftepromyslovoe delo*, 2013, no.12, pp.18-24.

26. Kuznetsova O.N., Arkhireev V.P. Gidroizoliruiushchie materialy na osnove fenolformaldegidnykh smol [Waterproofing materials based on phenol-formaldehyde resins]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2004, no.2, pp.230-233.

27. Strizhnev K.V. Sovershenstvovanie tekhnologii rir v usloviakh otsutstviia nepreryvnoi priemistosti i intervala izoliatsii [Perfection of repair-insulation technologies in conditions of steady response absence of isolation interval]. *Oborudovanie i tekhnologii dlia neftegazovogo kompleksa*, 2011, no.3, pp.72-76.

28. Lanchakov G.A., Ivakin R.A., Griguletskii V.G. O materialakh dlia remontno-izoliatsionnykh работ gazovykh i neftianyx skvazhin [About materials for repair and insulation works of gas and oil wells]. *Vesti gazovoi nauki*, 2011, no.2(7), pp.52-68.

29. Apasov T.K., Apasov G.T., Sarancha A.V. Provedenie v skvazhinakh vodoizoliatsionnykh работ na osnove karbamidoformaldegidnoi smoly [Performance of water insulation works in wells on the basis of carbamide formaldehyde resin]. *Territoria "NEFTEGAZ"*, 2015, no.6, pp.84-88.

30. Apasov T.K., Apasov G.T., Sarancha A.V. Tekhnologiya i sostavy dlia provedeniia v skvazhinakh vodoizoliatsionnykh работ na osnove karbamidoformaldegidnoi smoly [Technology and compositions for use in wells waterproofing works on the basis of carbamide formaldehyde resin]. *Neftegazovoe delo*, 2015, no.6, pp.277-291.

31. Gasumov R.A., Kashapov M.A. Razrabotka penoobrazuiushchikh sostavov dlia burenii i remonta skvazhin [Development of foam coating compositions for wells drilling and repair]. *Stroitelstvo nefhtianyykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*, 2009, no.12, pp.30-32.
32. Kuchin V.N. Obosnovanie i razrabotka tekhnologii izoliatsii vodopritokov pri burenii v intervale anomalnykh plastovykh davlenii [The study and development of water influx isolation technologies during drilling in the range of abnormal reservoir pressures]. *Neft i gaz – 2018: sbornik trudov 72 mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii*, 2018, pp.199-204.
33. Viakhirev V.I., Ovchinnikov V.P., Ovchinnikov P.V., Ippolitov V.V., Frolov A.A., Kuznetsov Iu.S., Iankevich V.F., Urosov S.A. Oblegchennye tamponazhnye rastvory dlia krepleniia gazovykh skvazhin [Lightweight cement slurries for fixing gas wells]. Moscow, Nedra-biznestsentr, 2000, pp.3-4.
34. Kuchin V.N. Obosnovanie i razrabotka tekhnologii izoliatsii vodopritokov pri burenii v intervale anomalnykh plastovykh davlenii [Development of water influx isolation technologies during drilling in the range of abnormal reservoir pressures]. *Neft i gaz*, 2018, pp.199-204.
35. Nutskova M.V., Dvoynikov M.V., Kuchin V.N. Improving the quality of well completion in order to limit water inflows. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, vol.12, no.22, pp.5985-5989.
36. Bulatov A.I. Kontseptsiiia kachestva proburenykh nefhtianyykh i gazovykh skvazhin [The concept of quality of oil and gas wells drilled]. *Burenie i neft*, 2015, no.12, pp.15-19.
37. Mazurok P.S. Vliianie tsementirovaniia nefhtianyykh i gazovykh skvazhin na ekonomiku. Otsenka ekonomicheskikh i ekologicheskikh riskov – programmnoe obespechenie CEM EXPERT [The influence of cementing oil and gas wells on the economy. Assessment of economic and environmental risks - software CEM EXPERT]. *Burenie i neft*, 2015, no.12, pp.32-36.
38. Asfandiurov I.R. Vysokotekhnologichnoe kreplenie skvazhin s tekhnologicheskoi osnastkoi obsadnykh kolonn ZAO “ART-Osnastka” [High-tech well fixing with technological equipment of casing strings of ZAO “ART-Equipment”]. *Burenie i neft*, 2015, no.5, pp.50-53.
39. Gulov A.R., Novikov S.A., Zhuravchak V.G., Akhmetov M.A. Noveishie tekhnicheskie resheniia dlia krepleniia skvazhin [The latest technical solutions for fastening wells]. *Burenie i neft*, 2018, no.01, pp.55-57.
40. Samsonenko A.V., Samsonenko N.V., Simoniants S.L. Mekhanizmy vozniknoveniia i tekhnologii ustraneniia oslozhnenii protsessa tsementirovaniia obsadnykh kolonn [Mechanism of complications occurrence and technology of their elimination when cementing casing strings]. *Stroitelstvo nefhtianyykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*, 2016, no.11, pp.35-42.
41. Bulatova I.M. Grafen: svoistva, poluchenie, perspektivy primeneniia v nanotekhnologii i nanokompozitakh [Graphene: properties, preparation, application prospects in nanotechnology and nanocomposites]. *Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2011, iss.10, pp.45-48.
42. Geim A.K., Novoselov K.S. The rise of grapheme. *Nature Materials*, 2007, vol.6(3), pp.183-191.
43. Al-Shiblavi K.A., Pershin V.F., Pasko T.V. Modifitsirovanie tsementa malosloinym grafenom [Modification of cement by few-layer graphene]. *Vektor nauki TGU*, 2018, iss.4(46), pp.6-11.
44. Neuberger N., Adidharma H., Fan M. Graphene: A review of applications in the petroleum industry. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2018, vol.167, pp.152-159.
45. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete: a review. *Constr. Build. Mater*, 2010, no.24(11), pp. 2060-2071. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.03.014
46. Peyvandi A., Taleghani A.D., Soroushian P., Cammarata R. The use of low-cost graphite nanomaterials to enhance zonal isolation in oil and gas wells. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, 9-11 October. San Antonio, 2017. DOI: 10.2118/187105-MS
47. Shawgi A. Chinedum P.E., Saeed S. Improvement in cement sealing properties and integrity using conductive carbon nano materials: from strength to thickening time. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, 24-26 September. Dallas, 2018. DOI: 10.2118/191709-MS
48. Alkhamis M., Imqam A. New cement formulations utilizing graphene nano platelets to improve cement properties and long-term

reliability in oil wells. *SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition, Conference Paper*. 2018. DOI: 10.2118/192342-MS

49. Khan W.A., Rahman M.K., Mahmoud M.A., Sarmah P. MWCNT for enhancing mechanical properties of oil well cement for HPHT. *Applications SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference and Exhibition*, 26-28 January. Abu Dhabi, 2016. DOI: 10.2118/178175-MS

50. Rahman M.K., Khan W.A., Mahmoud M.A., Sarmah P. MWCNT for enhancing mechanical and thixotropic properties of cement for HPHT. *Applications Offshore Technology Conference Asia*, 22-25 March. Kuala Lumpur, 2016. DOI: 10.4043/26465-MS

51. Yunusov F., Bobrynina E., Ma T.J., Larionova T., Okrepilov M., Mazin V., Kravchenko S., Yakovlev V., Chulkin S., Zaripova D.

Aluminum-based composite reinforced with fullerene soot. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2019, 337. DOI: 10.1088/1755-1315/337/1/012085

52. Li G.Y., Wang P.M., Zhao X. Pressure-sensitive properties and microstructure of carbon nanotube reinforced cement composites. *Cement and Concrete Composites*, 2007, no.29, pp.377-382. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2006.12.011

53. Bai H., Li C., Shi G. Functional composite materials based on chemically converted grapheme. *Advanced Materials*, 2011, vol.23, pp.1089-1115. DOI: 10.1002/adma.201003753

54. Huang X., Boey X., Qi F., Zhang H. Graphene-based composites. *Chemical Society Reviews*, 2012, vol.41, pp.666-686. DOI: 10.1039/C1CS15078B

55. Bai S., Shen X. Graphene-inorganic nanocomposites. *RSC Advances*, 2012, vol.2, pp. 64-98. DOI: 10.1039/C1RA00260K

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Нутскова М.В., Кучин В.Н., Ковальчук В.С. Профилактика и ликвидация осложнений, возникающих при заканчивании скважин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2020. – Т.20, №1. – С.14–26. DOI: 10.15593/2224-9923/2020.1.2

Please cite this article in English as:

Nutskova M.V., Kuchin V.N., Kovalchuk V.S. Prevention and elimination of issues well completion. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2020, vol.20, no.1, pp.14-26. DOI: 10.15593/2224-9923/2020.1.2