

УДК 622.279.7

DOI: 10.46698/VNC.2025.39.56.001

Оригинальная статья

Сохранение фильтрационно-ёмкостных свойств продуктивных пластов при их временной ИЗОЛЯЦИИ

Р.А. Гасумов¹, Э.Р. Гасумов^{2,3}

¹ Северо-Кавказский федеральный университет, Россия, 355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, e-mail: R.Gasumov@yandex.ru;

² Азербайджанский технический университет, Азербайджан, AZ1073, г. Баку, пр. Г. Джавида, 25, e-mail: e.gasumov@gmail.com;

³ Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Азербайджан, AZ 1010, г. Баку, пр. Азадлыг, 34

Статья поступила: 24.03.2025, доработана: 12.05.2025, принята к публикации: 15.05.2025

Резюме: Актуальность работы. В статье рассмотрено сохранение фильтрационно-ёмкостных свойств продуктивного пласта при глушении скважин – при их временной изоляции, являющейся частью технологического процесса направленного на прекращение поступления пластового флюида в ствол скважины, осуществляемого в рамках проведения капитального ремонта скважин. Исследованы особенности выбора типа и реологических параметров жидкости глушения, с учётом особенностей структуры порового пространства пласта-коллектора. Предложены критерии выбора технологий глушения скважин с временной изоляцией продуктивного пласта в условиях аномально низких пластовых давлений, позволяющих сохранить проницаемость пласта. Были систематизированы особенности жидкостей для блокирования призабойной зоны пласта при глушении скважин в условиях аномально низких пластовых давлений. Предложены составы блокирующих жидкостей с наполнителем для глушения скважин, приведены основные реологические параметры и основные характеристики для практического применения. Изучены технико-экономические особенности глушения скважин с предварительным блокированием призабойной зоны пласта в условиях аномально низких пластовых давлений. Также, в работе рассмотрены технико-экономические аспекты предложенных составов. **Целью исследования** является исследование и выбор состава блокирующих жидкостей, применяемых при глушении скважин в условиях аномально низких пластовых давлений, обеспечивающих сохранение фильтрационно-ёмкостных свойств продуктивных пластов при их временной изоляции, с определением технико-экономических особенностей. **Методом теоретического уровня** изучены, обобщены и абстрагированы результаты лабораторных и промысловых исследований, позволяющих сделать умозаключения и теоретические обобщения. Проведены физико-химические, реологические и фильтрационные исследования рассматриваемых технологических жидкостей, включая оценку блокирующих, фильтрационных и газодерживающих свойств жидкостей глушения. **Результаты исследований.** На основании анализа и обобщения результатов исследований предложены составы блокирующих жидкостей для временной изоляции продуктивного пласта при глушении скважин в условиях аномально низких пластовых давлений, и определены технико-экономические особенности рекомендуемых составов.

Ключевые слова: продуктивный пласт, скважина, АНПД, блокирующие жидкости, составы ПЗП.

Для цитирования: Гасумов Р.А., Гасумов Э.Р. Сохранение фильтрационно-ёмкостных свойств продуктивных пластов при их временной изоляции. *Геология и геофизика Юга России*. 2025. 15(2): 180-195. DOI: 10.46698/VNC.2025.39.56.001

DOI: 10.46698/VNC.2025.39.56.001

Original paper

Preservation of filtration and capacity properties of productive formations during their temporary isolation

R.A. Gasumov¹, E.R. Gasumov^{2,3}

¹ North Caucasian Federal University, 1 Pushkina Str., Stavropol 355017, Russian Federation, e-mail: R.Gasumov@yandex.ru;

² Azerbaijan Technical University, 25 H. Javid Ave., Baku AZ1073, Azerbaijan, e-mail: e.gasumov@gmail.com;

³ Azerbaijan State Oil and Industry University, 34 Azadlig Ave., Baku AZ1010, Azerbaijan, e-mail: e.gasumov@gmail.com

Received: 24.03.2025, revised: 12.05.2025, accepted: 15.05.2025

Abstract: Relevance. The article considers the preservation of the filtration-capacitive properties of the productive formation during well killing – during temporary isolation, which is part of the technological process aimed at stopping the flow of formation fluid into the wellbore. This procedure is carried out as part of well workover operations. The features of choosing the type and rheological parameters of the killing fluid are studied, taking into account the features of the structure of the pore space of the reservoir. Criteria for choosing well killing technologies with temporary isolation of the productive formation under abnormally low reservoir pressures are proposed to maintain reservoir permeability. The features of the fluid for blocking the bottomhole zone of the formation during well killing under conditions of abnormally low formation pressures were systematized. Compositions of blocking fluids with filler for well killing are proposed, the main rheological parameters and main characteristics for practical application are given. The technical and economic features of well killing with preliminary blocking of the bottomhole formation zone under conditions of abnormally low formation pressures are studied. Also, the paper considers the technical and economic aspects of the proposed compositions. **The aim** of the research is to study and select the composition of blocking fluids used for well killing under conditions of abnormally low formation pressures, ensuring the preservation of the filtration-capacitive properties of productive formations during their temporary isolation, while assessing their technical and economic feasibility. The results of laboratory and field studies were studied, generalized and abstracted using the theoretical level method, allowing us to draw conclusions and theoretical generalizations. Physicochemical, rheological and filtration studies of the considered process fluids were carried out, including an assessment of the blocking, filtration and gas-retaining properties of the killing fluids. **Results.** Based on the analysis and generalization of the research results, compositions of blocking fluids for temporary isolation of the productive formation during well killing under conditions of abnormally low formation pressures are proposed. The technical and economic aspects of the recommended fluid compositions were determined.

Keywords: productive formation, well, ALFP, blocking fluids, compositions, bottom-hole formation zone.

For citation: Gasumov R.A., Gasumov E.R. Preservation of filtration and capacity properties of productive formations during their temporary isolation. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2025. 15(2): 180-195. DOI: 10.46698/VNC.2025.39.56.001

Введение

Для восстановления и улучшения производительности скважин, как подземных инженерных сооружений, которые предназначены для извлечения углеводородов (УВ) в процессе разработки нефтегазовых месторождений, проведением геолого-технических мероприятий (ГТМ) являются работы, направленные на поддержание целевых уровней добычи пластового флюида. Основной задачей проведения ГТМ, как комплекса действий геологического, технологического, технического и экономического характера, является способность выполнения проектных решений с целью обеспечения максимальной добычи УВ, повышения эффективности и рентабельности освоения нефтегазовых месторождений [Гасумов, Гасумов, 2024; Раупов et al., 2022]. Капитальный ремонт скважин (КРС) входит в комплекс ГТМ, проводимых на фонде эксплуатационных скважин, основной целью которых является реализация проектных решений и корректив по разработке нефтегазовых месторождений для рационального и более полного извлечения пластового флюида из продуктивной залежи. Реализация ГТМ на фонде эксплуатационных скважин при разработке нефтегазовых месторождений направлена на решение ряда задач, в том числе, поддержание устойчивой работы скважин; сохранение, восстановление и повышение производительности скважин; продление срока службы и надёжности скважин, как инженерных сооружений и т.д., позволяющих обеспечить стабильную (непрерывную) добычу УВ и эффективность разработки месторождений.

При КРС, глушение скважин является важным этапом, так как, от качества временного изолирования продуктивного пласта зависит сохранение проницаемости коллекторов и гидродинамической связи в системе «скважина-пласт». Как известно, проницаемость зависит от структуры порового пространства, трещиноватости, кавернозности пород, а также количества фаз фильтрующихся флюидов и их физико-химических свойств. С учётом этих факторов проблема сохранения проницаемости коллекторов более актуальна для скважин эксплуатируемых нефтегазовых месторождений с аномально-низкими пластовыми давлениями (АНПД). Сохранение фильтрационно-ёмкостных свойств (ФЕС) продуктивного пласта является одним из основных условий при глушении скважин, являющемся частью технологического процесса направленного на прекращение поступления пластового флюида в ствол скважины, осуществляемого в рамках проведения КРС. Структура порового пространства подвергается изменениям и разрушениям под воздействием влияния применяемых технологических жидкостей (ТЖ) для глушения скважин, особенно в условиях АНПД.

В связи с чем, выбор типа и реологических параметров жидкостей глушения (ЖГ) имеет важное значение, так как они должны учитывать особенности структуры порового пространства и обладать необходимыми свойствами – плотностью и вязкостью [Гасумов, Гасумов, 2023; Gladkov, 2014; Shagiakhmetov et al., 2020]. К жидкостям глушения, кроме технологических, также предъявляются и технико-экономические требования. В связи с чем, при выборе ТЖ для глушения скважин необходимо учитывать себестоимость оказываемых услуг и экономическую рентабельность применяемых технологий и жидкостей [Атвиновская, 2018; Гасумов, Гасумов, 2024; Кунакова и др., 2020]. На эти показатели серьёзное влияние оказывают

правильный выбор, тип и параметры ЖГ с учётом горно-геологических условий скважин, где проводятся ремонтные работы, а также контроль параметров жидкостей, технология их приготовления и применения. При выборе ЖГ должны учитываться горно-геологические и технические условия работы скважин [Атвиновская, 2018; Кунакова и др., 2020]. Правильный подбор ЖГ также позволяет избежать таких осложнений, как поглощение, нефтегазопроявления, снижение продуктивности скважин в послеремонтный период, агрессивное воздействие на внутрискважинное оборудование и т.д.

Методы исследования

Для достижения цели в исследованиях использованы методы, позволяющие собрать, проверить и систематизировать применяемые жидкости для глушения скважин, выявить неслучайные зависимости и определить причины отрицательных результатов. Методом теоретического уровня изучены, обобщены и абстрагированы результаты лабораторных и промысловых исследований, позволяющие сделать умозаключения и теоретические обобщения. Проведены физико-химические, реологические и фильтрационные исследования рассматриваемых технологических жидкостей, включая оценку блокирующих, фильтрационных и газодерживающих свойств жидкостей глушения. Метод экспериментального изучения различных физических явлений, основанный на их физическом подобии.

Результаты работы и их обсуждение

При проведении капитального ремонта скважин на месторождениях УВ, разрабатываемых в условиях аномально-низких пластовых давлений, применяется большое количество различных технологий и технологических жидкостей для глушения [Гасумов, Гасумов, 2024]. Такое разнообразие технологических решений в области ГТМ обусловлено существенным различием условий проведения ремонтных работ на месторождениях с АНПД – климатические особенности, типы и проницаемости коллекторов продуктивных горизонтов, величины пластовых температур и др. Как показывает анализ промысловых данных на нефтегазовых месторождениях применяются различные составы жидкостей для глушения скважин при КРС, большинство из которых не соответствует предъявляемым требованиям и в условиях низких пластовых давлений имеет отрицательное влияние на ФЕС продуктивного пласта. Это является причиной значительного загрязнения пласта компонентами ЖГ (кольматация твёрдыми частицами, формирование плёночных структур на поверхности пор и т.д.) в процессе создания блокирующего экрана, что неизбежно ведёт к ухудшению ФЕС и проблемам при освоении скважины, после ремонтно-восстановительных работ.

Анализ показывает, что существенным недостатком однофазных вязкоупругих блокирующих жидкостей (БЖ) на водной основе, ограничивающим их применение для глушения скважин в условиях АНПД, является то, что блокирующий экран образуется в результате их поглощения пластом с формированием различного рода химических связей между полимерными молекулами и стенками порового пространства. Причём для получения достаточного блокирующего эффекта требуется проникновение БЖ на значительную глубину в пласт, что не-

избежно ведёт к его загрязнению полимерными структурами и возникновению осложнений при освоении скважин [Вагина, Гаврилов, 2014; Гасумов, Гасумов, 2024; Gladkov, 2014].

Возникновение указанных последствий может быть в значительной степени нивелировано посредством использования БЖ, компонентный состав которых обладает способностью к гелеобразованию. Но их эффективность при блокировании скважин с коллекторами проницаемостью более 0,4-0,5Д или содержащими высокодренированные каналы в условиях АНПД может быть не достаточной ввиду низкой (по сравнению, например, с цементным камнем) прочности полимерной структуры геля и отсутствия в ней дополнительных армирующих элементов.

Наиболее существенным недостатком применения в качестве БЖ жидкостей на водной основе с твёрдыми частицами является низкая степень структурирования системы и отсутствие прочного связывания твердофазных компонентов. По результатам исследований установлено, что использование для блокирования призабойной зоны пласта (ПЗП) специальных жидкостей позволяет реализовать преимущества суспензий и однофазных вязкоупругих гелеобразующих систем. Указанные преимущества обеспечивают высокую эффективность процесса освоения скважин без существенного увеличения его продолжительности, что обеспечивает сохранение ФЕС пласта-коллектора.

При этом в зависимости от применяемого полимерного реагента и наполнителя для таких жидкостей могут быть реализованы принцип деструктирования блокирующего состава при обработке специализированными реагентными композициями, а также возможность самодеструкции в скважинных условиях отдельных компонентов, отвечающих за структурирование системы. Здесь важно отметить, что указанные процессы должны быть управляемыми и не приводить к неконтролируемому самоосвоению скважины в процессе работ.

В результате анализа промыслового и теоретического материала, определено, что для временной изоляции продуктивного пласта эксплуатационных скважин с низкими коэффициентами аномальности, наиболее перспективным является применение гелеобразующих вязкоупругих жидкостей на водной основе, обладающих способностью к деструктированию. В случае применения гелеобразующих вязкоупругих жидкостей на водной основе технологический аспект направлен на достижение лучших геолого-технических показателей при глушении скважин за счёт сохранения ФЕС пласта-коллектора и повышения результативности КРС. Существенный положительный эффект может быть достигнут в результате внедрения автоматизированной системы, обеспечивающей постоянный контроль над технологическими и расчетными оптимальными параметрами глушения скважин для оперативной корректировки показателей процесса, с целью предотвращения поглощений и осложнений в процессе проведения работ [Крылов и др., 2015; Shagiakhmetov et al., 2020; Raupov et al., 2022].

В условиях АНПД обеспечение этих требований является сложной задачей, поскольку гидродинамическое давление на пласт оказывает очень серьёзное влияние и создает высокие репрессии. С одной стороны, для надёжной изоляции в таких

условиях необходимы составы, обладающие жёсткой внутренней структурой, препятствующей смещению слоёв блокирующего состава друг относительно друга и фильтрации в пласт. С другой стороны, эти свойства существенно препятствуют эффективному освоению скважины и выводу на режим, поскольку остаточные энергетические возможности пласта очень низкие и не позволяют обеспечить полное очищение флюидопроводящих каналов. Поэтому проблема эффективного глушения скважин в условиях АНПД требует пересмотра подходов решения данной задачи [Крявкин, 2010; Gladkov, 2014].

Одним из перспективных направлений технико-технологических решений данного вопроса является совместное использование составов для временного изолирования продуктивного пласта, обладающих различной функциональной способностью по закупориванию флюидопроводящих каналов [Abrams, 1977; Гасумов, Гасумов, 2023]. Для реализации этих задач с учётом экономических и экологических аспектов наиболее перспективным является применение вязкоупругих систем на водной основе. Наиболее важным преимуществом таких технологических жидкостей является их гидрофильность. Указанные системы имеют огромный и практически неисчерпаемый потенциал для создания ТЖ с программируемыми свойствами, способных к самоорганизации и самодеструкции в заданных условиях, обладающих возможностью оказывать комплексное прецизионно точное воздействие на объект работ, при этом нанося минимальный вред естественному его состоянию [Abrams, 1977; Кичигин и др., 2023; Tagavifar et al., 2018].

Разработка и совершенствование рецептур ТЖ для глушения скважин при проведении КРС в условиях АНПД должны осуществляться с учётом соответствия физико-химических свойств составов условиям их применения.

Для оценки соответствия ТЖ конкретным условиям применения необходимо использовать следующие данные [Гасумов, Гасумов, 2024; Dick et al., 2000; Раупов et al., 2022]:

- сведения о горно-геологических условиях месторождения (пористость, проницаемость, пластовая температура и давление, минералогический состав горных пород);
- сведения о качественном и количественном составе компонентов используемых составов;
- сведения о технологических жидкостях, применяемых ранее на данном месторождении;
- результаты испытания составов на естественных или искусственных кернах, моделирующих условия продуктивного пласта для оценки технологических свойств и влияния на коллекторские свойства продуктивного пласта.

В связи с этим актуальной задачей является определение системы критериев, на основе которых осуществляется выбор БЖ и технологий глушения скважин в условиях АНПД [Гасумов, Гасумов, 2023; Korolev et al., 2020]. При выборе технологий глушения также важно учитывать характеристики интервала установки (раскрытость трещин, параметры фильтров и т. д.) с учётом изменений, которые происходят в процессе эксплуатации скважин [Вагина, Гаврилов, 2014; Amanullah et al., 2016] (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Критерии выбора технологий скважин в условиях АНПД /
Criteria for selecting well killing technologies in conditions of unfavorable
production conditions

Группы / Groups	Критерии устанавливаются / Criteria are established
1	2
Технологические / Technological	Достигать лучших геолого-технических показателей КРС при выполнении основных технологических условий по: сохранению ФЕС продуктивного пласта; обеспечению максимального снижения проникновения фильтрата жидкостей в пласт во время проведения ремонтных работ; обеспечению быстрого освоения скважин традиционными методами после ремонта; предупреждению нефтегазоводопроявлений; сохранению физико-химических свойств состава в скважинных условиях в процессе всего периода проведения работ; прокачиваемости стандартными насосными агрегатами; возможности приготовления без дополнительного оборудования и технических средств; работоспособности ТЖ в условиях отрицательных температур окружающего воздуха / To achieve the best geological and technical indicators of well workover, it is necessary to fulfill the basic technological conditions: maintaining the filtration and capacity properties of the productive formation; ensuring maximum reduction in the penetration of liquid filtrate into the formation during repair work; ensuring rapid development of wells by traditional methods after repair; preventing oil, gas and water shows; maintaining the physical and chemical properties of the composition in well conditions during the entire period of work; pumpability by standard pumping units; the possibility of preparation without additional equipment and technical means; operability of process fluids in conditions of negative ambient temperatures
Экономические / Economic	Способствовать достижению лучших технико-экономических показателей в процессе КРС. Необходимо уделять внимание выполнению основных условий: реагенты, используемые в компонентном составе ЖГ, должны быть доступны и иметь возможность приобретения у различных производителей в пределах страны; применяемые химические реагенты должны обладать оптимальным соотношением «цена-качество», ТЖ должны иметь возможность повторного использования; технология приготовления должна предусматривать использование стандартного оборудования и технических средств; иметь низкую стоимость утилизации раствора / To facilitate the achievement of the best technical and economic indicators in the process of capital reson of wells, it is necessary to pay attention to the fulfillment of the basic conditions: reagents used in the component composition of the killing fluid must be available and be able to be purchased from various manufacturers within the country; the chemical reagents used must have an optimal price-quality ratio; liquids must be reusable; the preparation technology must provide for the use of standard equipment and technical means; have a low cost of disposal of the solution

Экологические / Ecological	Обеспечивать порядок и основные правила выполнения природоохранных требований в процессе КРС с учетом особенностей окружающей природной среды, характера существующей хозяйственной деятельности и традиционного природопользования, основными являются следующие условия: технологии не должны использовать жидкости, имеющие в своём составе химические реагенты с неизвестными санитарно-токсикологическими характеристиками; все компоненты состава должны быть сертифицированными; технологическая схема приготовления и использования ТЖ должна исключать загрязнение окружающей среды; все компоненты состава не должны оказывать вредного воздействия на работающий с ними персонал / Ensure the order and basic rules for the implementation of environmental requirements in the process of major well repairs, taking into account the characteristics of the surrounding natural environment, the nature of existing economic activity and traditional nature management, the main conditions are the following: technologies should not use liquids containing chemical reagents with unknown sanitary and toxicological characteristics; all components of the composition must be certified; the technological scheme for the preparation and use of the liquid must exclude environmental pollution; all components of the composition must not have a harmful effect on the personnel working with them
Значимость каждого из критериев зависит от оперативных задач, решаемых в конкретной ситуации / The importance of each criterion depends on the operational tasks to be solved in a specific situation	

К критериям выбора технологий глушения скважин в условиях АНПД относятся плотность и реологические характеристики ЖГ, способность выдерживать перепад давления, сохранение проницаемости керна, минимальный объём профильтрованной через трещину БЖ, минимальный градиент давления начала фильтрации при освоении скважин [Никулин и др., 2022; Mardashov, 2021]. Выбор БЖ для временного изолирования ПЗП является сложной задачей, при которой учитываются различные факторы, включая показатели пластового давления, температуры, проницаемости, приёмистости, мощности интервала перфорации, а также особенности конструкции скважины и фильтровой зоны. Были систематизированы некоторые особенности жидкости для блокирования ПЗП при глушении скважин в условиях АНПД. Блокирующие жидкости для временного изолирования продуктивного пласта имеют определённые особенности (рис. 1) [Гасумов, Гасумов, 2023].

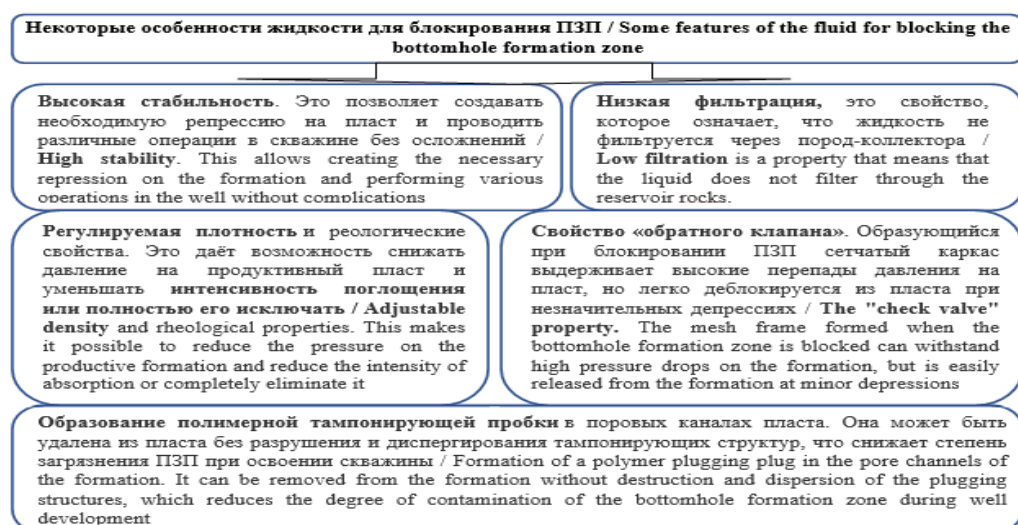


Рис. 1. Некоторые особенности блокирующих жидкостей/

Fig. 1. Some features of bloking liquids

Основной задачей изготовления прочного плотного блокирующего экрана в ПЗП, является создание препятствия проникновению ТЖ и их фильтратов в поровое пространство коллектора и предотвращение его загрязнения. Блокирующие жидкости для глушения скважин должны отвечать определённым требованиям (рис. 2) [Гасумов, Гасумов, 2023].

Технологические жидкости для временного блокирования продуктивного пласта – это различные составы, которые используются при глушении скважин для создания изолирующего экрана в интервале продуктивного пласта и обеспечения противодавления на него. Для временного блокирования продуктивного пласта в условиях АНПД применяются различные технологические жидкости, которые обладают определёнными особенностями и реологическими параметрами [Гасумов, Гасумов, 2024; Leontiev, Kleschenko, 2017] (табл. 2).

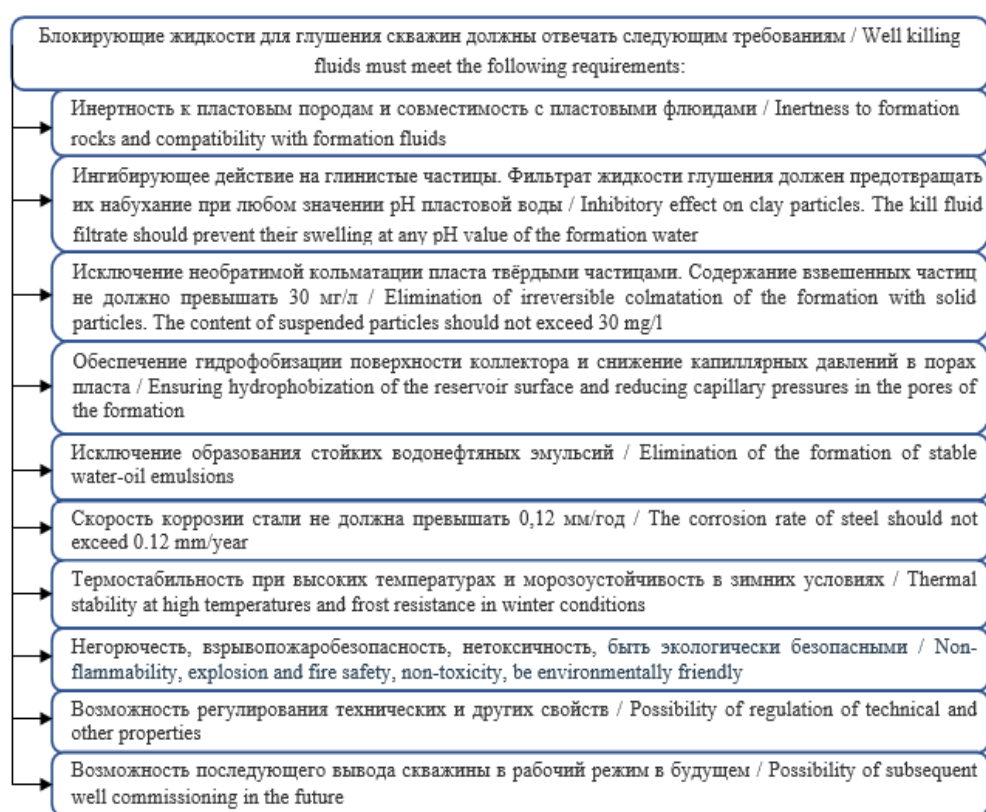


Рис. 2. Требования к блокирующим жидкостям для глушения скважин в условиях АНПД /

Fig. 2. Requirements for blocking fluids well killing under conditions of unfavorable production conditions

При выборе технологий глушения также важно учитывать характеристики интервала установки (раскрытость трещин, параметры фильтров и т. д.) с учётом изменений, которые происходят в процессе эксплуатации скважин [Вагина, Гаврилов, 2014]. В связи с чем, были сгруппированы основные требования к составу блокирующих жидкостей для временной изоляции продуктивного пласта при глушении скважин с аномально-низкими пластовыми давлениями (рис. 2).

Таблица 2/ Table 2

Технологические жидкости для временного блокирования продуктивного пласта / Technological fluids for temporary blocking of productive formation

Виды жидкостей / Types of liquids	Особенности / Features
Пенные системы / Foam systems	Пузырьки пены прочно закрепляются в фильтрационных каналах пористой среды, создавая непроницаемый пенный экран в призабойной зоне пласта / Foam bubbles are firmly fixed in the filtration channels of the porous medium., creating an impermeable foam screen in the bottomhole zone of the formation
Эмульсии / Emulsions	Их рецептура построена на использовании трёх основных компонентов: гидрофильной жидкости (чаще всего это вода и водные растворы), гидрофобной жидкости (нефть, нефтепродукты, масла) и эмульгатора / Their formula is based on the use of three main components: a hydrophilic liquid (most often water and aqueous solutions), a hydrophobic liquid (oil, petroleum products, oils) and an emulsifier
Высоко-минерализованные жидкости / Highly mineralized liquids	В качестве добавок используются хлористый калий, хлористый натрий, хлористый кальций, поташ / Potassium chloride, sodium chloride, calcium chloride, and potash are used as additives
Полимерные системы / Polymer systems	К ним относятся гидрогели, водонабухающие, эмульсионные полимеры и полимеры на водной основе (линейные и нелинейные гели) / These include hydrogels, water-swelling, emulsion polymers and water-based polymers (linear and nonlinear gels)
Гелеобразующие композиции / Gelling compositions	Принцип действия таких жидкостей основан на создании в пласте блокирующего экрана, представляющего собой полимерный гель обеспечения противодействия на него / The principle of operation of such liquids is based on the creation of a blocking screen in the formation, which is a polymer gel providing counter pressure on it

Математическая модель процесса блокирования ПЗП при глушении в условиях АНПД позволяет управлять гидродинамическими процессами в системе «скважина–пласт» [Гасумов, Гасумов, 2024]. Нами была создана математическая модель процесса закачки ТЖ в ПЗП при глушении скважин с АНПД, позволяющая управлять гидродинамическими процессами в системе «скважина-пласт», предотвращающая поглощение жидкости глушения и ухудшение коллекторских свойств продуктивного пласта. Данная модель основана на трёхэтапной схеме проведения работ: выравнивание профиля приёмистости продуктивной толщи, предотвращающее загрязнение скважинного коллектора компонентами БЖ, ее закачка и продавка с созданием необходимой репрессии в системе «скважина-пласт» [Гасумов, Гасумов, 2023].

Применение математической модели, позволяет разработать проект временной блокировки пласта и оценить предполагаемые параметры процесса закачки блоки-

рующего состава (давление/расход, продолжительность), помогает в выборе оптимальных свойств блокирующего состава и режимов его закачки, исходя из критериев эффективного глушения и последующего освоения скважин (рис. 3).

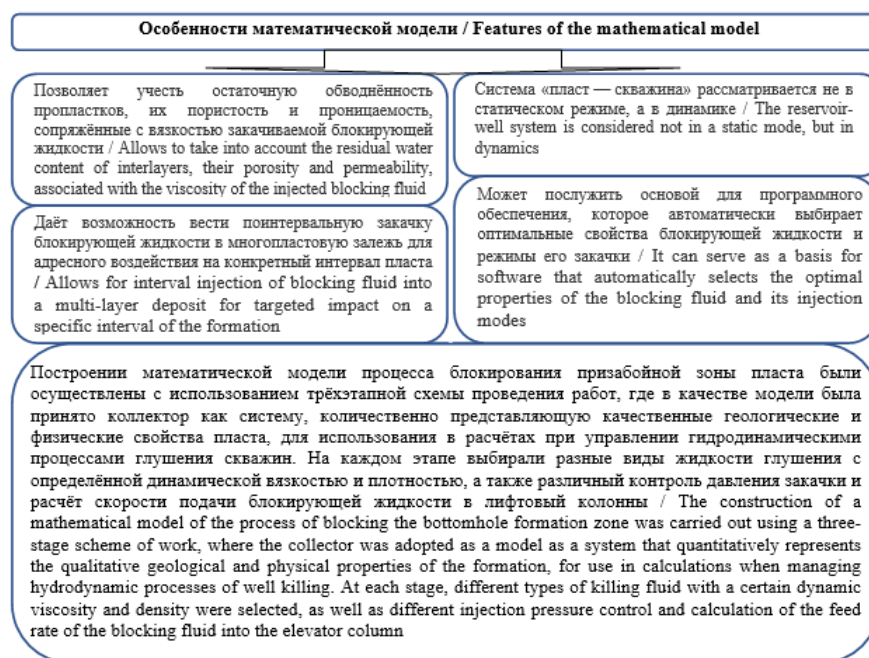


Рис. 3. Особенности математической модели процесса блокировки ПЗП при глушении скважин в условиях АНПД / Fig. 3. Features of the mathematical model of the process of blocking the bottomhole formation zone when killing wells under conditions of abnormally low formation pressures

Исследование показало, что проникновение фильтрата в ПЗП происходит под влиянием осмотического и капиллярного давлений, но в большей степени под влиянием перепада давления между пластом и скважиной. Прямой зависимости между перепадом давления и объёмом отфильтровавшейся жидкости нет. Расход фильтрата по мере формирования блокирующей корки и зоны кольматации снижается и носит экспоненциальный характер. Радиус зоны проникновения значительно больше толщины зоны и зависит от многих факторов: времени воздействия фильтрата, динамической водоотдачи, мощности пласта, пористости, температуры и т.д. [Гасумов, Гасумов, 2023].

Размеры зоны проникновения повышаются с увеличением коэффициента подвижного водонасыщения пласта. Естественно, что водонасыщение зоны проникновения уменьшается по направлению вглубь пласта, причём интенсивность его снижения зависит от коэффициента подвижного водонасыщения пласта. Проведённый расширенный анализ научно-технической информации и промысловых данных по проведению ремонтных работ, связанных с глушением скважин в условиях АНПД, позволил сформировать требования к составам для временного блокирования пласта и на этом основании были рекомендованы составы блокирующих жидкостей с наполнителем для глушения скважин в условиях АНПД (табл. 3).

Данные БЖ представляют собой дисперсную систему, в которой свойства, необходимые для достижения технического результата, обеспечиваются особенностями физико-химических процессов, происходящих при взаимодействии ингредиентов состава в указанных соотношениях друг с другом и с минералами горных пород, слагающих продуктивный пласт. Достижение высокого блокирующего эффекта

обеспечивается кольматантом – конденсируемой твёрдой фазой, которая образуется в процессе приготовления состава при взаимодействии ингредиентов и содержит два вида частиц – кристаллические и аморфные, имеющие разную форму и размеры [Вагина, Гаврилов, 2014].

Таблица 3 / Table 3

Блокирующий состав с наполнителем для глушения скважин в условиях АНПД / Blocking compound with filler for killing wells under conditions of abnormally low reservoir pressures

Блокирующий состав / Blocking composition			
Эмульсионный с наполнителем / Emulsion with filler		С конденсированной твёрдой фазой / With condensed solid phase	
компоненты / components	мас. % / mass. %	компоненты / components	мас. % / mass. %
Неонол АФ9-12 / Neonol AF9-12	2,0	Кальций хлористый / Calcium chloride	9,0
	0,3	Аммоний фосфорнокислый двузамещенный / Diammonium phosphate	11,0
МС Биохан / MS Biochan	30,0	Карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ 85/700) / Carboxymethyl cellulose (CMC 85/700)	2,0
Дизельное топливо / Diesel fuel	6,0		
КССБ-2М / KSAS-2M	61,7	Пенообразователь Морпен / Foaming agent Morpen	1,0
Вода / Water	10,0-15,0	Стеарат цинка / Zinc stearate	0,5
Наполнитель* / Filler		Вода / Water	76,0
*дополнительно к объёму блокирующей жидкости			

Эффективность использования БЖ определяется, прежде всего, соответствием физико-химических свойств состава выполняемым функциям и конкретным условиям применения. С увеличением времени эксплуатации скважин, функции жидкостей глушения и БЖ практически не меняются, но значительно усложняются условия их применения, что обусловлено снижением пластового давления, разрушением ПЗП и т. д. В связи с этим возрастают и требования к параметрам блокирующих составов.

Отсюда очевидным является тот факт, что для работы в коллекторах, имеющих различную конфигурацию проводящих каналов, необходимы неодинаковые блокирующие агенты. Представленный выше анализ блокирующих жидкостей и используемых в них кольматантов, показал, что для временной изоляции продуктивных пластов, характеризующихся однородным поровым коллектором, наиболее перспективным является применение составов с конденсируемой твёрдой фазой. Преимуществом данных составов является то, что в процессе реакций по осаждению твёрдых частиц образуются химически чистые вещества, в которых отсутствуют загрязняющие пласт примеси. Причём образуемая твёрдая фаза выбирается из числа кислоторастворимых, что позволяет восстанавливать доремонтную проницаемость даже в случае непредвиденного проникновения состава в пласт. К тому же, варьируя соотношение исходных реагентов, можно добиться образования частиц необходимого размера, с возможным преобладанием как крупных, так и мелких частиц [Вагина, Гаврилов, 2014].

Исследование различных составов применяемых в качестве БЖ показали, что, составы на углеводородной основе оказывают минимальное отрицательное влия-

ние на коллекторские свойства пласта и позволяют значительно сократить время освоения скважин после проведения ремонтных работ. Эффективность использования этих жидкостей объясняется изменением смачиваемости пористой среды, снижением поверхностного натяжения на границе состав-порода пласта, уменьшением величины капиллярных сил с одновременным снижением глубины пропитки породы водой [Дербенева и др., 2002; Gasumov, Gasumov, 2020]. Низкая плотность обуславливает их широкое применение при глушении скважин, характеризующихся АНПД. Основными критериями эффективности БЖ являются их закупоривающая (блокирующая) способность и качественное удаление из пласта, которые зависят не только от наполнителя, но и от физико-химических свойств и количественного соотношения других компонентов. В БЖ на углеводородной основе использовали неионогенные ПАВ.

Как показали исследования, наличие наполнителей в составе БЖ позволяет формировать армирующий каркас (закупоривающий экран) на стволе скважины, в интервале продуктивного горизонта и барьер препятствующий проникновению рабочей жидкости вглубь пласта. Дополнительное добавление наполнителя в блокирующую жидкость существенно улучшает закупоривающие свойства состава, необходимые для глушения скважин в условиях АНПД [Гасумов и др., 2017; Гасумов, Гасумов, 2024] (рис. 3).

Заключение

1. Установлено, что временное изолирование продуктивного пласта при глушении скважин в условиях АНПД оказывает серьёзное влияние на проницаемость коллекторов и гидродинамическую связь в системе «скважина-пласт», так как применяемые жидкости, проникая в поровое пространство, трещины и каверны пород, приводят к ухудшению фильтрационно-ёмкостных параметров ПЗП и разрушению пласта-коллектора, оказывая отрицательное влияние на эффективность эксплуатации скважины.

2. Определены основные требования к технологиям и жидкостям для глушения скважин с предварительным блокированием ПЗП в условиях АНПД, предотвращающие снижение коллекторских свойств продуктивного пласта.

3. Предложены составы блокирующих жидкостей для временной изоляции продуктивного горизонта при глушении скважин в условиях АНПД, обеспечивающие сохранение ФЕС пласта-коллектора.

4. Установлено, что наличие наполнителей в составе БЖ позволяет формировать армирующий каркас (закупоривающий экран) в ПЗП – интервале продуктивного горизонта и создаёт барьер, препятствующий проникновению рабочей жидкости вглубь пласта с АНПД.

5. Разработаны составы БЖ с наполнителем для глушения скважин при проведении ремонтных работ в условиях АНПД со сложными горно-геологическими характеристиками (при значительном снижении пластового давления, высокой дренированности продуктивных пластов, снижении прочностных свойств скелета пласта и т.д.) с учётом технико-экономической эффективности и экологической безопасности.

6. Установлено, что технико-экономическая эффективность глушения скважин с предварительным блокированием ПЗП жидкостями с наполнителем достигается за счёт сокращения затрат на проведение ремонтных работ, исключения возмож-

ных осложнений и потери добываемых УВ, увеличения межремонтного периода, повышения производительности скважин и рентабельности разработки месторождений.

Литература

1. Атвиновская Т.В. Роль жидкостей глушения в процессе ремонта скважин. // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2018. – № 2. – С. 34–41.
2. Вагина Т.Ш., Гаврилов А.А. Разработка блокирующего состава для глушения скважин на месторождениях Западной Сибири с учетом современных требований. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2014. – № 6. – С. 38–41.
3. Гасумов Р.А., Гасумов Э.Р. Повышение эффективности глушения скважин на истощённых газоконденсатных месторождениях с сверх аномально низкими пластовыми давлениями. // Наука. Инновации. Технологии. – 2024. – № 2. – С. 165–186.
4. Гасумов Р.Р., Осадчая И.Л., Копченков В.Г., Бекетов С.Б. Наполнители растительного происхождения к блокирующим составам для глушения скважин. // Наука. Инновации. Технологии. – 2017. – № 3. – С. 127–139.
5. Гасумов Э.Р., Гасумов Р.А. Оценка гидродинамического совершенства системы скважина-пласт формируемой на этапе вскрытия продуктивного пласта. // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т. 13. № 4. – С. 108–123.
6. Дербенева С.В., Южанинов П.М., Фофанов Б.В., Рунец С.А., Белоусова Н.В. Применение твёрдых ингибиторов комплексного действия (ИКД) в процессе добычи нефти. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2002. – № 8. – С. 108–110.
7. Кичигин А.С., Нуриев Д.В., Козлов Е.Н., Дмитриев Е.В. и др. Применение мостовой пакер-пробки для временной изоляции продуктивного горизонта и вязкоупругого состава для её безопасного извлечения при продолжительных ремонтных работах на газовых скважинах. // Гронепфть. Профессионально о нефти. – 2023. – № 8(1). – С. 56–63.
8. Крылов В.И., Крецул В.В., Меденцев С.В. Современные технологические жидкости для заканчивания и капитального ремонта скважин. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2015. – № 1. – С. 36–44.
9. Кряквин Д.А. Специфика капитальных ремонтов скважин на завершающей стадии разработки месторождений. // Нефть и газ. – 2010. – № 3. – С. 38–43.
10. Кунакова А.М., Олехнович Р.О., Клим О.В., Мурахтанова П.Г., Успенская М.В. Жидкости для глушения нефтяных скважин: учебное пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2020. – 42 с.
11. Никулин В.Ю., Мукминов Р.Р., Мухаметов Ф.Х., Нигматуллин Т.Э., Михайлов А.Г. Обзор перспективных технологий глушения скважин в условиях аномально низких пластовых давлений и рисков прорыва газа. Опыт применения эмульсионных и дисперсных жидкостей и сравнительные результаты лабораторного тестирования составов. // Нефтегазовое дело. – 2022. – Т. 20. № 4. – С. 82–93.
12. Abrams A. Mud design to minimize rock impairment due to particle invasion. // Journal of Petroleum Technology. – 1977. – Vol. 29. No. 5. – pp. 586–592.
13. Amanullah M., Ramasamy J., Al-Arfaj K. Preliminary test results of an eco-friendly fluid loss additive based on an indigenous raw material. // The Saudi Aramco Journal of Technology. – 2016. – pp. 48–54.
14. Dick M., Heinz T., Svoboda C., Aston M. Optimizing the selection of bridging particles for reservoir drilling fluids. // Paper presented at the SPE International Symposium on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana. – 2000. – No. SPE-58793-MS. DOI: 10.2118/58793-MS.
15. Gladkov P. Development of a new well-killing fluid based on oil-wetting agent NG-1 for polymineral low-permeable reservoirs. // World Applied Sciences Journal. – 2014. – Vol. 31. No. 6. – pp. 1078–1081.

16. Korolev M., Rogachev M., Tananykhin D. Regulation of filtration characteristics of highly watered terrigenous formations using complex chemical compositions based on surfactants. // *Journal of Applied Engineering. Science Original Scientific*. – 2020. – No. 1(1)-671. – pp. 147–156.
17. Leontiev D.S., Kleschenko I.I. Development and study of peat-humate solutions for drilling and repairing of oil and gas wells. // *International Journal of Applied Engineering Research*. – 2017. – Vol. 12. No. 19. – pp. 9023–9031.
18. Mardashov D.V. Development of blocking compositions with a bridging agent for oil well killing in conditions of abnormally low formation pressure and carbonate reservoir rocks. // *Journal of Mining Institute*. – 2021. – Vol. 251. – pp. 617–626.
19. Mardashov D.V., Rogachev M.K., Zeigman Y.V., Mukhametshin V.V. Well Killing technology before workover operation in complicated conditions. // *Energies*. – 2021. – No. 14(654). – 15 p.
20. Raupov A.A., Aminov A.M., Igamberdiyeva L.Z. Preservation of the filtration capacity of the formation by increasing the strength of the crust and colmatating ability of the drilling fluid. // *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. – 2022. – Vol. 1068(1). Art. No. 012001. DOI: 10.1088/1755-1315/1068/1/012001.
21. Shagiakhmetov A.M., Podoprighora D.G., Terleyev A.V. The study of the dependence of the rheological properties of gelforming compositions on the crack opening when modeling their flow on a rotational viscometer. // *Periodico Tche Quimica*. – 2020. – Vol. 17. No. 34. – pp. 933–939.
22. Tagavifar M., Jang S., Chang L., Mohanty K. Controlling the composition, phase volume, and viscosity of microemulsions with cosolvent. // *Fuel*. – 2018. – Vol. 211. – pp. 214–222.

References

1. Atvinovskaya T.V. The role of killing fluids in the well repair process. *Bulletin of GSTU named after P.O. Sukhoi*. 2018. No. 2. pp. 34–41. (In Russ.)
2. Vagina T.Sh., Gavrilov A.A. Development of a blocking composition for killing wells in Western Siberian fields taking into account modern requirements. *Construction of Oil and Gas Wells on Land and Sea*. 2014. No. 6. pp. 38–41. (In Russ.)
3. Gasumov R.A., Gasumov E.R. Improving the efficiency of well killing at depleted gas condensate fields with ultra-abnormally low reservoir pressures. *Science. Innovations. Technologies*. 2024. No. 2. pp. 165–186. (In Russ.)
4. Gasumov R.R., Osadchaya I.L., Kopchenkov V.G., Beketov S.B. Fillers of plant origin for blocking compositions for well killing. *Science. Innovations. Technologies*. 2017. No. 3. pp. 127–139. (In Russ.)
5. Gasumov E.R., Gasumov R.A. Evaluation of the hydrodynamic perfection of the well-formation system formed at the stage of opening the productive formation. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023. Vol. 13. No. 4. pp. 108–123. (In Russ.)
6. Derbeneva S.V., Yuzhaninov P.M., Fofanov B.V., Runets S.A., Belousova N.V. Application of solid inhibitors of complex action (ICA) in the process of oil production. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*. 2002. No. 8. pp. 108–110. (In Russ.)
7. Kichigin A.S., Nuriev D.V., Kozlov E.N., Dmitriev E.V. et al. Implementation of temporary packer isolation of productive zones for long-term gas well workover operations and viscoelastic system for safe packer removal. *Proneft. Professionals about Oil*. 2023. No. 8(1). pp. 56–63. (In Russ.)
8. Krylov V.I., Kretsul V.V., Medentsev S.V. Modern process fluids for well completion and workover. *Construction of Oil and Gas Wells on Land and Sea*. 2015. No. 1. pp. 36–44. (In Russ.)
9. Kryakvin D.A. Specifics of well workovers at the final stage of field development. *Oil and Gas*. 2010. No. 3. pp. 38–43. (In Russ.)
10. Kunakova A.M., Olekhovich R.O., Klim O.V., Murakhtanova P.G., Uspenskaya M.V. Fluids for killing oil wells. *Textbook. Saint Petersburg. ITMO*. 2020. 42 p. (In Russ.)

11. Nikulin V.Yu., Mukminov R.R., Mukhametov F.Kh., Nigmatullin T.E., Mikhailov A.G. Overview of promising killing technologies in conditions of abnormally low formation pressures and risks of gas breakthrough. Part 2. Experience with emulsion and dispersion fluids and comparative results of laboratory testing of formulations. *Petroleum Engineering*. 2022. Vol. 20. No. 4. pp. 82–93. (In Russ.)
12. Abrams A. Mud design to minimize rock impairment due to particle invasion. *Journal of Petroleum Technology*. 1977. Vol. 29. No. 5. pp. 586–592.
13. Amanullah M., Ramasamy J., Al-Arfaj K. Preliminary test results of an eco-friendly fluid loss additive based on an indigenous raw material. *The Saudi Aramco Journal of Technology*. 2016. pp. 48–54.
14. Dick M., Heinz T., Svoboda C., Aston M. Optimizing the selection of bridging particles for reservoir drilling fluids. Paper presented at the SPE International Symposium on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana. 2000. No. SPE-58793-MS. DOI: 10.2118/58793-MS.
15. Gladkov P. Development of a new well-killing fluid based on oil-wetting agent NG-1 for polymineral low-permeable reservoirs. *World Applied Sciences Journal*. 2014. Vol. 31. No. 6. pp. 1078–1081.
16. Korolev M., Rogachev M., Tananykhin D. Regulation of filtration characteristics of highly watered terrigenous formations using complex chemical compositions based on surfactants. *Journal of Applied Engineering. Science Original Scientific*. 2020. No. 1(1)-671. pp. 147–156.
17. Leontiev D.S., Kleschenko I.I. Development and study of peat-humate solutions for drilling and repairing of oil and gas wells. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017. Vol. 12. No. 19. pp. 9023–9031.
18. Mardashov D.V. Development of blocking compositions with a bridging agent for oil well killing in conditions of abnormally low formation pressure and carbonate reservoir rocks. *Journal of Mining Institute*. 2021. Vol. 251. pp. 617–626.
19. Mardashov D.V., Rogachev M.K., Zeigman Y.V., Mukhametshin V.V. Well Killing technology before workover operation in complicated conditions. *Energies*. 2021. No. 14(654). 15 p.
20. Raupov A.A., Aminov A.M., Igamberdiyeva L.Z. Preservation of the filtration capacity of the formation by increasing the strength of the crust and colmatating ability of the drilling fluid. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 1068(1). Art. No. 012001. DOI: 10.1088/1755-1315/1068/1/012001.
21. Shagiakhmetov A.M., Podoprighora D.G., Terleyev A.V. The study of the dependence of the rheological properties of gelforming compositions on the crack opening when modeling their flow on a rotational viscometer. *Periodico Tche Quimica*. 2020. Vol. 17. No. 34. pp. 933–939.
22. Tagavifar M., Jang S., Chang L., Mohanty K. Controlling the composition, phase volume, and viscosity of microemulsions with cosolvent. *Fuel*. 2018. Vol. 211. pp. 214–222.