

О ПРОФИЛЯХ СКОРОСТЕЙ БИОПОЛИМЕРНЫХ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ**М.Е. Логинова¹, Э.М. Мовсумзаде^{1,2}, И.А. Четвертнева¹, А.М. Шаммазов¹**¹Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия, 450062

E-mail: ufamel@ yandex.ru, eldarmm@yahoo.com, chetvrtnevaia@mail.ru, Ashammazov@mail.ru

²Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия, 117997

E-mail: eldarmm@yahoo.com

Рассмотрены реологические и фильтрационные свойства биополимерных растворов на основе природных полимеров – камеди и крахмала, которые оказывают влияние на вынос выбуренной породы на дневную поверхность, создание гидродинамического давления и очистку ствола скважины. Гидродинамическое давление, в свою очередь, определяет возможность возникновения осложнений в процессе строительства скважин: возникновение поглощений бурового раствора или проявления пластовых флюидов, гидроразрыва горных пород, а также загрязнение продуктивного пласта, вскрытие которого осуществляется, в основном, бурением горизонтальных стволов. Статья посвящена особенностям совместного использования камеди и крахмала в биополимерных буровых растворах, проявляющихся в изменениях значений технологических параметров буровых растворов, а также в физико-механических процессах циркуляции растворов в скважине. Применением математического моделирования показано изменение профиля скорости биополимерных растворов в кольцевом зазоре для отдельного и совместного применения исследуемых реагентов (камеди и крахмала). При этом использовано основное уравнение, описывающее движение псевдопластичной жидкости (модель Освальде – де – Ваале) для нахождения профилей скорости в кольцевом зазоре 10 мм для биополимерных растворов, а также графически определены оптимальные значения профилей скорости для исследуемых водных растворов биополимерных реагентов. Из анализа полученных решений скоростей и экспериментальных значений фильтрационных и транспортирующих свойств были получены оптимальные концентрации биополимерных композиций.

Ключевые слова: камеди, крахмал, синергитический эффект, уравнение регрессии, модель уравнения, математический подход, псевдопластичные свойства, показатель консистенции, показатель нелинейности

ON VELOCITY PROFILES OF BIOPOLYMER DRILLING FLUIDS USING STARCH AND GUM**M.E. Loginova¹, E.M. Movsumzade^{1,2}, I.A. Chetvertneva¹, A.M. Shammazov¹**¹Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia, 450062

E-mail: ufamel@ yandex.ru, eldarmm@yahoo.com, chetvrtnevaia@mail.ru, Ashammazov@mail.ru

²Kosygin Russian State University (Technology. Design. Art), Moscow, Russia, 117997

E-mail: eldarmm@yahoo.com

The rheological and filtration properties of biopolymer solutions based on natural polymers – gum and starch, which affect the removal of drilled rock to the daytime surface, the creation of hydrodynamic pressure and the cleaning of the borehole, are considered. Hydrodynamic pressure, in turn, determines the possibility of complications during the construction of wells: the occurrence of absorption of drilling fluid or the manifestation of reservoir fluids, hydraulic fracturing of rocks, as well as contamination of the productive reservoir, the opening of which is carried out mainly by drilling horizontal shafts. The article is devoted to the peculiarities of the joint use of gum and starch in biopolymer drilling fluids, manifested in changes in the values of technological parameters of drilling fluids, as well as in the physico-mechanical processes of circulation of solutions in

the well. The use of mathematical modeling shows the change in the velocity profile of biopolymer solutions in the annular gap for separate and joint use of the studied reagents (gum and starch). In this case, the basic equation describing the motion of a pseudoplastic liquid (the Oswald – de Waale model) was used to find velocity profiles in an annular gap of 10 mm for biopolymer solutions, and the optimal values of velocity profiles for the studied aqueous solutions of biopolymer reagents were graphically determined. Optimal concentrations of biopolymer compositions were obtained from the analysis of the obtained velocity solutions and experimental values of filtration and transporting properties.

Key words: starch, gums, synergetic effect, regression equation, equation model, mathematical approach, pseudoplastic properties, consistency index, nonlinearity index

Для цитирования:

Логина М.Е., Мовсумзаде Э.М., Четвертнева И.А., Шаммазов А.М. О профилях скоростей биополимерных буровых растворов. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2022. Т. LXVI. № 3. С. 50–55. DOI: 10.6060/rcj.2022663.7.

For citation:

Loginova M.E., Movsumzade E.M., Chetvertneva I.A., Shammazov A.M. On velocity profiles of biopolymer drilling fluids using starch and gum. *Ros. Khim. Zh.* 2022. V. 66. N 3. P. 50–55. DOI: 10.6060/rcj.2022663.7.

ВВЕДЕНИЕ

Промысловые жидкости, представленные как технической водой (пресной или минерализованной), так и суспензиями на основе глиноporошков, используемые при строительстве нефтегазовых скважин становятся буровыми растворами после обработки полимерными реагентами. Одним из первых природных полимеров, применяемых для обработки промысловых жидкостей с 30-х годов XX века, является крахмал, основная функция которого – регулирование фильтрационных свойств буровых растворов [1–3]. Модифицированные формы крахмальных реагентов в некоторой степени позволяют регулировать также и реологические параметры буровых растворов. С 70-80-х годов XX века на рынке полимерных реагентов для использования в рецептуре буровых растворов появились новые природные полимеры на основе камедей как растительного, так и ферментативного способа получения [4–10]. Применение реагентов на основе камедей направленно преимущественно на регулирование реологических, а именно, псевдопластичных свойств буровых растворов. Системы буровых растворов на основе камедей и крахмала принято называть биополимерными.

Биополимерные буровые растворы представляют собой биоразлагаемые дисперсные системы, используемые в практике бурения, поскольку наиболее эффективно способствуют очистке ствола скважин, поддержанию целостности скважины, транспортировке выбуренной породы, качественному вскрытию продуктивных пластов по сравнению с другими системами буровых растворов на водной основе [11–14]. Используемые системы буровых растворов на углеводородной основе также

эффективны, но имеют недостатки в виде завышенных реологических параметров, что негативно влияет на работу бурового оборудования, агрессивных свойств дисперсионной среды, что требует использования маслоустойчивых деталей, а главное – загрязнение окружающей среды и необходимость проведения специальной утилизации раствора и нефтяного шлама [3, 6, 14–16]. Системы буровых растворов на основе синтетических полимеров в отличие от биополимерных, неустойчивы к полиминеральным агрессиям, значениям pH среды, повышению содержания кальция и коллоидной составляющей в составе раствора [16, 17].

В этой связи биополимерные системы растворов на основе камедей и крахмала, являются наиболее эффективными из известных систем буровых растворов для горизонтального бурения [19–21]. Экспериментальными исследованиями и практическим применением при бурении скважин биополимерных растворов с композицией камеди и крахмала (композиция К-2), в отличие от раздельного применения биополимеров крахмала или камеди в рецептуре раствора, обнаружено, что биополимерная композиция К-2 обеспечивает снижение фильтрационных характеристик (более 20%), повышение псевдопластичных свойств (24–26%) [21, 22].

Реологическая модель псевдопластичной жидкости (ППЖ) выражается уравнением:

$$\tau = K \left(\frac{du}{dy} \right)^n \quad (1)$$

где K и n – показатели консистенции и нелинейности.

Знание сущности коэффициентов n и K в степенной модели позволяет управлять свойствами бурового раствора в зависимости от изменений внешних условий.

Для псевдопластичного раствора показатель неньютоновского поведения n изменяется в пределах от 0 до 1. Чем меньше n , тем больше раствор проявляет псевдопластичные свойства, т. е. вязкость его уменьшается с повышением скорости сдвига, что влечет за собой выравнивание профиля скоростей в кольцевом пространстве (КП) и улучшение «скважино-очистительных» свойств [23–25].

Уравнение (1) характеризует псевдопластичные свойства раствора, благодаря которым обеспечивается качественная очистка горизонтального ствола скважины, более эффективный вынос выбуриваемого шлама [21].

Подставив это уравнение в дифференциальное уравнение

$$u = \frac{R \int_{\tau}^{\tau_r} \varphi(\tau) d\tau}{\tau_r} \quad (2)$$

и решив его в пределах ширины зазора от 0 до u получим

$$u = \frac{n \left(\frac{1-p}{2IK} \right)^{\frac{1}{n}} \left(\left(\frac{1}{10} \right)^{\frac{n+1}{n}} - x^{\frac{n+1}{n}} \right)}{n+1} \quad (3)$$

Известно, что псевдопластичные свойства буровому раствору придают природные полимеры на основе камедей. Нами были изучены псевдопластичные свойства водных растворов камедей, а также водных растворов на основе крахмалов.

По результатам экспериментальных исследований, представленных в таблицах 1-3, были получены уравнения (3) для исследуемых растворов камедей и крахмалов и смоделированы профили скоростей в затрубном пространстве (рис. 1). При этом расчеты производились при следующих условиях: давление 10000 Па, длина ствола 1000 м, кольцевой зазор 10 мм.

Таблица 1

Экспериментальные данные показателя нелинейности n и показателя консистенции K и показателя фильтрации ПФ в растворе с применением различных концентрации крахмала

Крахмал, %	ПФ, см ³ /30мин	n	K , мПа·с
0,5	9,0	0,684	0,45
1	7,6	0,658	0,8
1,5	6,5	0,630	1,2
2	5,4	0,612	1,5
2,5	5,0	0,582	1,8

На рисунке 1 показано, как изменяется профиль скорости по сечению потока при различных значениях n для биополимерных растворов при совместном применении двух реагентов – камеди и крахмала. Следует отметить, что с уменьшением

показателя нелинейности (n) наблюдается деформация профиля, который становится более приплюснутым.

Таблица 2

Экспериментальные данные показателя нелинейности n и показателя консистенции K в растворе с применением различных концентрации камеди

Камеди, %	ПФ, см ³ /30мин	n	K , мПа·с
0,1	12	0,367	4,4
0,15	10,5	0,354	6,2
0,2	9,2	0,352	7,3
0,25	8,5	0,328	8
0,3	7,8	0,318	8,4

Таблица 3

Экспериментальные данные показателя нелинейности n и K в растворе совместного применения различных концентрации крахмала и камеди

Номер раствора	Крахмал, %	Камеди, %	ПФ, см ³ /30мин	n	K , мПа·с
1	0,5	0,1	7,5	0,362	5,2
2	1	0,15	6,4	0,349	7,1
3	1,5	0,2	5,3	0,337	8,6
4	2	0,25	3,2	0,315	9,7
5	2,5	0,3	2,6	0,294	10,7

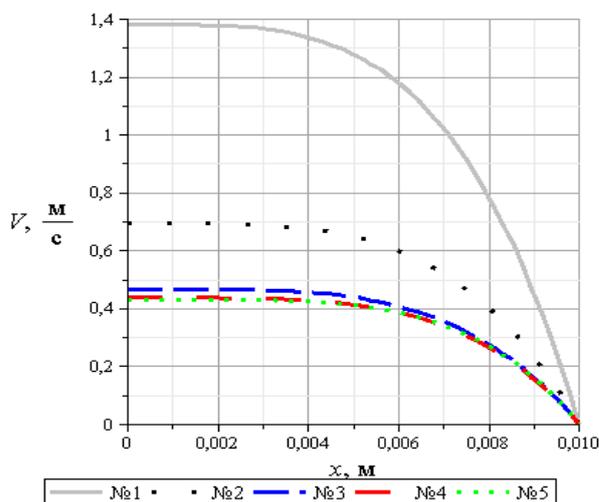


Рис. 1. Изменение скорости по сечению потока степенной жидкости совместного действия крахмала и камеди по данным таблицы 3

Таким образом, снижение n приводит к выравниванию профиля скоростей в кольцевом пространстве (профиль становится более плоским вместо параболического) и улучшению «транспортных» свойств растворов. Такой реологический

профиль раствора в кольцевом пространстве (КП) снижает закручивающий эффект, уменьшает рециркуляцию твердой фазы, предотвращая тем самым, дополнительное дробление породы и вытесняет ее равномерно вверх по стволу скважины, так как основная масса шлама оказывается в зоне максимальных скоростей.

На рисунке 2 показано изменение скорости по сечению потока в кольцевом зазоре степенной

жидкости на основе крахмала (а) и на основе камеди (б). Из рисунка 2 видно, что при тех же условиях раствор с применением крахмала имеет большую скорость по сравнению с растворами на основе камедей.

Оптимальные (более приплюснутые) профили представлены кривыми, которые соответствуют 2% и 2,5% крахмала и 0,25–0,3% камеди, а по результатам рисунка 1 – оптимальные профили наблюдаются у растворов № 3–5.

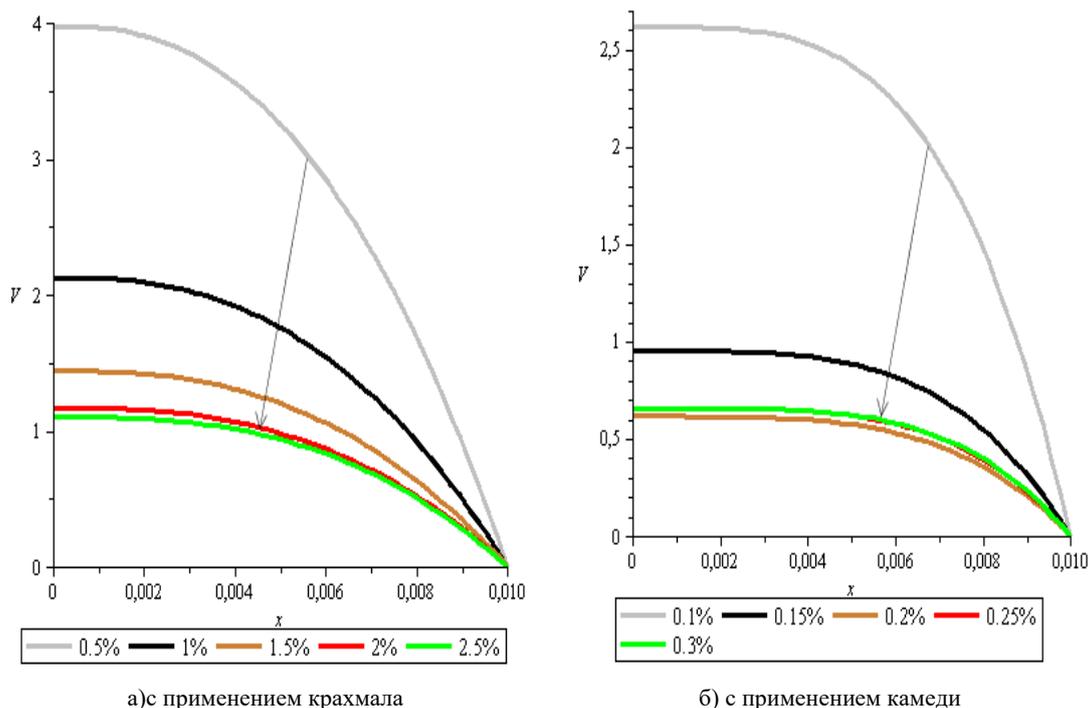


Рис. 2. Изменение скорости по сечению потока в кольцевом зазоре степенной жидкости (стрелкой показано увеличение концентрации реагента)

Таким образом, учитывая значения показателя фильтрации (ПФ) для выбранных биополимерных растворов с указанными концентрациями и оптимальный расход реагентов, лучшими фильтрационными и транспортирующими свойствами обладают растворы №3 (1,5% крахмал+0,2% камеди) и № 4 (2% крахмал+0,25% камеди).

ВЫВОДЫ

Получены аналитические зависимости профилей скоростей в кольцевом зазоре растворов с использованием камеди и крахмала как отдельно,

так и в составе биополимерной композиции К-2.

Определены оптимальные составы биополимерных композиций К-2 (камедь+крахмал) с учетом обеспечения лучших транспортирующих и фильтрационных свойств биополимерных растворов, а также экономической выгоды использования данных реагентов в составе композиций.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мовсумзаде Э.М., Тетерева Г.А., Четвертнева И.А., Каримов О.Х., Логинова М.Е. Перспективы применения продуктов переработки древесного сырья; под ред. акад. М.П. Егорова. – М.: Обракадемнаука, 2021. 134 с.

REFERENCES

1. Movsumzade E.M., Teptereva G.A., Chetvertneva I.A., Karimov O.H., Loginova M.E. Prospects for the use of wood processing products; ed. Academician M.P. Egorova. – M.: Obrakademnauka, 2021. 134 p.

2. *Шиц Л.А.* крахмальные реагенты в технологии буровых растворов: традиции и перспективы. Мат. 1-й междунар. конф. «Крахмал и новые крахмалосодержащие источники – структура, свойства и новые технологии». 2001. С. 55.
3. *Грей Дж. Р., Дарли Г.С.Г.* Состав и свойства буровых агентов (промывочных жидкостей). М.: Недра. 1985. с. 509.
4. *Шарипов А.У.* Научные и технологические основы применения полимерных растворов при бурении и заканчивании глубоких скважин. М.:ВНИИОЭНГ. 1991. 51 с.
5. *Андресон Б.А., Утяганов И.В., Кузнецов В.А., Огаркова Э.И., Четвертнева И.А., Фатхутдинов И.Х.* Физико-химические проблемы бурения и заканчивания скважин в сложных горно-геологических условиях Уфа. РИО НБ РБ. 2000. 75 с.
6. *Булатов А.И., Проселков Ю.М., Рябченко В.И.* Технология промывки скважин. М.: Недра. 1981. 303 с.
7. *Тептерева Г.А., Пахомов С.И., Четвертнева И.А., Каримов Э.Х., Егоров М.П., Мовсумзаде Э.М., Евстигнеев Э.И., Васильев А.В., Севастьянова М.В., Волошин А.И., Нифантьев Н.Э., Носов В.В., Докичев В.А., Бабаев Э.Р., Роговина С.З., Берлин А.А., Фахреева А.В., Баулин О.А., Колчина Г.Ю., Воронов М.С., Староверов Д.В., Козловский И.А., Козловский Р.А., Тарасова Н.П., Занин А.А., Кривобородов Е.Г., Каримов О.Х., Флид В.Р., Логинова М.Е.* Возобновляемые природные сырьевые ресурсы, строение, свойства, перспективы применения. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2021. Т. 64. Вып. 9. С. 4–121.
8. *Четвертнева И.А., Хафизова С.Р., Гайсин И.Ф., Дильмиев М.* Перспективные системы буровых растворов для вскрытия продуктивных пластов. Труды Башнипинефть. Уфа. 2005. Вып 114. С. 100–115.
9. *Куксов В.А.* Исследование и разработка полимерных безглинистых растворов для бурения и заканчивания наклонно направленных и горизонтальных скважин: Дис. канд. техн. наук: Краснодар. 2001. 135 с.
10. *Четвертнева И.А., Каримов О.Х., Тептерева Г.А., Бабаев Э.Р., Тивас Н.С., Мовсумзаде Э.М.* Компоненты древесины как источники пентозансодержащего сырья для синтеза полезных соединений, продуктов и реагентов. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2021. Т. 64. Вып. 3. С. 107–115.
11. *Гибадуллин Н.З., Четвертнева И.А., Андресон Б.А., Боцкарев Г.П.* Исследование реологических свойств биополимерных растворов при вскрытии продуктивных отложений. – Уфа: Тр. Башнипинефть «Актуальные проблемы геологии и бурения нефтяных скважин». 2003. Вып. 111. С. 155–160.
12. *Четвертнева И.А., Гайсин И.Ф., Хафизова С.Р., Кондрашов О.Ф.* Буровой раствор для вскрытия продуктивных пластов на депрессии Материалы XIX научно-практической конференции «Новая техника и технологии для геофизических исследований скважин», г.Уфа. 2013 г. С.62–69.
13. *Вахрушев Л.П., Кошелев В.Н., Пеньков А.И., Беленко Е.В.* Пространственно структурированные водные безглинистые растворы. Нефтяное хозяйство. 2001. №9. С. 40–43.
14. *Четвертнева И.А.* Применение продуктов химической переработки природного сырья в качестве основы реагентов буровых растворов в решении вопросов нефтепромышленной химии; под ред. чл.-корр., д-ра хим. наук Э.М. Мовсумзаде, д-ра техн. наук Г.А. Тептеревой. – Уфа: Изд-во УГНТУ. 2021. 128 с.
2. *Shits L.A.* Starch reagents in drilling mud technology: traditions and prospects. Mat. 1st International conference "Starch and new starch-containing sources - structure, properties and new technologies". 2001. p. 55.
3. *Gray J. R., Darley G.S.G.* Composition and properties of drilling agents (washing liquids). M.: Nedra. 1985. p. 509.
4. *Sharipov A.U.* Scientific and technological foundations of the use of polymer solutions in drilling and completion of deep wells. Moscow: VNIIOENG. 1991. 51 p.
5. *Andreson B.A., Utyaganov I.V., Kuznetsov V.A., Ogarkova E.I., Chetvertneva I.A., Fatkhutdinov I.H.* Physico-chemical problems of drilling and completion of wells in difficult mining and geological conditions of Ufa. RIO NB RB. 2000. 75 p.
6. *Bulatov A.I., Proselkov Yu.M., Ryabchenko V.I.* Technology of well flushing. M.: Nedra. 1981. 303 p.
7. *Teptereva G.A., Pakhomov S.I., Chetvertneva I.A., Karimov E.H., Egorov M.P., Movsumzade E.M., Evstigneev E.I., Vasiliev A.V., Sevastyanova M.V., Voloshin A.I., Nifantiev N.E., Nosov V.V., Dokichev A.A., Babaev E.R., Rogovina S.Z., Berlin A.A., Fakhreeva A.V., Baulin O.A., Kolchina G.Yu., Voronov M.S., Staroverov D.V., Kozlovsky I.A., Kozlovsky R.A., Tarasova N.P., Zanin A.A., Krivoborodov E.G., Karimov O.H., Flid V.R., Loginova M.E.* Renewable natural raw materials, structure, properties, prospects of application. *Chem-ChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 9. P. 4–121. DOI: 10.6060/ivkkt.20216409.6465.
8. *Chetvertneva I.A., Hafizova S.R., Gaisin I.F., Dilmiev M.* Promising systems of drilling fluids for opening productive formations. The works of Bashnipineft. Ufa. 2005. N 114. P. 100–115.
9. *Kuksov V.A.* Research and development of polymer clay-free solutions for drilling and completion of directional and horizontal wells: Dis. Candidate of Technical Sciences: Krasnodar. 2001. 135 p.
10. *Chetvertneva I.A., Karimov O.H., Teptereva G.A., Babaev E.R., Tivas N.S., Movsumzade E.M.* Wood components as sources of pentose-containing raw materials for the synthesis of useful compounds, products and reagents. *Chem-ChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 3. P. 107–115. DOI: 10.6060/ivkkt.20216403.6363.
11. *Gibadullin N.Z., Chetvertneva I.A., Andreson B.A., Bochkarev G.P.* Investigation of rheological properties of biopolymer solutions during the opening of productive deposits. – Ufa: Tr. Bashnipineft "Actual problems of geology and oil drilling". 2003. N 111. P. 155–160.
12. *Chetvertneva I.A., Gaisin I.F., Hafizova S.R., Kondrashov O.F.* Drilling mud for opening productive layers in depression Materials of the XIX scientific and practical conference "New equipment and technologies for geophysical research of wells". Ufa. 2013. P.62–69.
13. *Vakhrushev L.P., Koshelev V.N., Penkov A.I., Belenko E.V.* Spatially structured aqueous clay-free solutions. Oil industry. 2001. N 9. P. 40–43.
14. *Chetvertneva I.A.* The use of products of chemical processing of natural raw materials as the basis of drilling fluid reagents in solving issues of oilfield chemistry; ed. by Corresponding member, Doctor of Chemical Sciences E.M. Movsumzade, Doctor of Technical Sciences G.A. Teptereva. – Ufa: US-NTU Publishing House. 2021. 128 p.

15. Агзамов Ф.А., Логинова М.Е., Нургалиев А.Р. Выбор компонентов для буферных жидкостей при заканчивании скважин растворами на углеводородной основе//Нефтяная провинция. 2019. № 1 (17). С. 189–196.
16. Колчина Г.Ю., Тептерева Г.А., Каримов О.Х., Чуйко Е.В., Каримов Э.Х., Мовсумзаде Э.М., Логинова М.Е. Гетероатомные модификаторы в процессах адсорбции и мембранной диффузии. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2022. Т. 65. Вып. 6. С. 12–19.
17. Лукманов Р.Р., Антонов К.В., Шарипов А.У., Четвертнева И.А. Эффективность бурения и заканчивания скважин при применении полимерных растворов Москва, ВНИИОЭНГ. 1995. 31 с.
18. Ибатуллин В.В., Логинова М.Е., Дихтярь Т.Д. Синтетические промывочные жидкости для бурения скважин в сложных горно-геологических условиях. В сборнике: современные технологии в нефтегазовом деле – 2019. сборник трудов международной научно-технической конференции в 2-х т. 2019. С. 328–331.
19. Пеньков А.И., Никитин Б.А. Состав и свойства буровых растворов для строительства горизонтальных скважин. Материалы НТС ОАО Газпром. Ставрополь. 1996. С. 63–73.
20. Кондрашев О.Ф., Четвертнева И.А. Изолирующие свойства облегченного биополимерного бурового раствора. Труды Башнипинефть. Уфа. 2005. Вып 114. С. 115–119.
21. Гирфанов В.Т., Логинова М.Е. Исследование реологических свойств бурового раствора / Тез. III науч.-практ. конф. с межд. участием «Нефтегазовый комплекс: проблемы и инновации, 2018». Самара: Изд-во СГТУ. 2018. С. 54.
22. Пат. 2742433 Российская Федерация, МПК C09K 8/24. Композиция для безглинистых биополимерных буровых растворов / И.А. Четвертнева; заявитель и патентообладатель Четвертнева И.А. – № 2020115921. заявл. 21.04.2020. опубл. 05.02.2021. Бюл. № 4.
23. Логинова М.Е., Тептерева Г.А., Баулин О.А., Мовсумзаде Э.М., Бабкина А.А., Четвертнева И.А., Чуйко Е.В., Ахтямов Э.К. Синергетический эффект композиций крахмала и камеди для дисперсионных сред. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2022 № 1-2. С. 83–87. DOI: 10.24412/0131-4270-2022-1-2-83-87.
24. Крылов В.И., Крецул В.В. Реологическое моделирование биополимерных промывочных жидкостей. Нефтеотдача. 2002. № 5. С. 16–20.
25. Логинова М.Е., Четвертнева И.А., Мовсумзаде Э.М., Тивас Н.С. Псевдопластичные свойства реагентной системы на основе природных полимеров // Нефтепромысловая химия: материалы VIII Международной научно-практической конференции IX Международной (XVII Всероссийской) научно-практической конференции РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина (Москва, 2022 г.). М. 2022. С. 67–69.
15. Agzamov F.A., Loginova M.E., Nurgaliev A.R. Selection of components for buffer fluids when completing wells with hydrocarbon-based solutions. Oil province. 2019. N 1 (17). P. 189–196.
16. Kolchina G.Yu., Teptereva G.A., Karimov O.H., Chuiko E.V., Karimov E.H., Movsumzade E.M., Loginova M.E. Heteroatomic modifiers in the processes of adsorption and membrane diffusion. Izv. universities. Chemistry and chemical technology. 2022. V. 65. N 6. P. 12–19.
17. Lukmanov R.R., Antonov K.V., Sharipov A.U., Chetvertneva I.A. Efficiency of drilling and completion of wells when using polymer solutions Moscow, VNIIOENG. 1995. 31 p.
18. Ibatullin V.V., Loginova M.E., Dichtyar T.D. Synthetic washing fluids for drilling wells in difficult mining and geological conditions. In the collection: modern technologies in oil and gas business – 2019. proceedings of the international scientific and technical conference in 2 t. 2019. P. 328–331.
19. Penkov A.I., Nikitin B.A. Composition and properties of drilling fluids for the construction of horizontal wells. Materials of NTS RAO Gazprom. Stavropol. 1996. P. 63–73.
20. Kondrashev O.F., Chetvertneva I.A. Insulating properties of lightweight biopolymer drilling mud. The works of Bashni-pineft. Ufa. 2005. N 114. P. 115–119.
21. Girfanov V.T., Loginova M.E. Investigation of rheological properties of drilling mud. Tez. III scientific and practical conf. c inter. participation "Oil and gas complex: problems and innovations, 2018". Samara: Publishing house of SSTU. 2018. p. 54.
22. Pat. 2742433 Russian Federation, IPC C09K 8/24. Composition for clay-free biopolymer drilling fluids / I.A. Chetvertneva; applicant and patent holder I.A. Chetvertneva – No. 2020115921; application 21.04.2020; publ. 05.02.2021. Bul. N 4.
23. Loginova M.E., Teptereva G.A., Baulin O.A., Movsumzade E.M., Babkina A.A., Chetvertneva I.A., Chuiko E.V., Akhtyamov E.K. Synergetic effect of starch and gum compositions for dispersion media. Transportation and storage of petroleum products and hydrocarbon raw materials. 2022. N 1-2. P. 83–87. DOI: 10.24412/0131-4270-2022-1-2-83-87.
24. Krylov V.I., Kretsul V.V. Rheological modeling of biopolymer washing liquids. Oil recovery. 2002. N 5. P. 16–20.
25. Loginova M.E., Chetvertneva I.A., Movsumzade E.M., Tivas N.S. Pseudoplastic properties of a reagent system based on natural polymers. Oilfield chemistry: materials of the VIII International Scientific and Practical Conference of the IX International (XVII All-Russian) Scientific and Practical Conference of Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NIU) (Moscow, 2022). – M. 2022. P. 67–69.

Поступила в редакцию 05.09.2022

Принята к опубликованию 23.09.2022

Received 05.09.2022

Accepted 23.09.2022