

ВАК 25.00.15

УДК 622.24

Исследование и разработка биополимерной кольматирующей смеси для изоляции поглощений в проницаемых горных породах Каменских С. В.¹

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта

Многочисленные исследования учёных и промысловый опыт ведения буровых работ показывают, что поглощения являются одним из наиболее часто встречающихся и затратных видов осложнений, в результате чего разработка технологии бурения в условиях поглощений является актуальной задачей и требует комплексного изучения с целью качественной изоляции проницаемых пород. При этом многообразие горно-геологических условий бурения и поглощающих пластов осложняет качественную изоляцию проницаемых пород. В статье показано, что одним из перспективных и эффективных методов изоляции поглощающих пластов является кольматация, приведена часть экспериментальных исследований по определению её интенсивности от времени с использованием высокотемпературного пресс-фильтра высокого давления, разработана биополимерная кольматирующая смесь, позволяющая эффективно кольматировать высокопроницаемые керамические фильтры в относительно короткие сроки.

Ключевые слова: поглощение, проницаемость, перепад давления, кольматация, биополимерная кольматирующая смесь.

Research and formulation biopolymer bridging of the mixture for elimination of lost circulation in permeable rocks Kamenskikh S. V.

Ukhta state technical university, Ukhta

The studies of many domestic and foreign scientists, as well as field experience in drilling operations show that acquisitions are one of the most common and costly types of complications. Therefore, the development of drilling technology in conditions of acquisitions is an important task and requires comprehensive study to ensure high-quality insulation of high permeable rocks. However, the situation is complicated by the diversity of mining and geological drilling conditions and absorbing layers, which can vary widely, resulting in the use of "traditional" and the same methods of elimination of acquisitions is ineffective. It is shown that one of the promising and effective methods of absorbing layers isolation is mudding. The article presents part of the experimental studies for determining the intensity of mudding from time to time using a high temperature press high pressure filter. Developed by biopolymer bridging of the mixture to effectively collaterality highly permeable ceramic filters in a relatively short time.

¹ Каменских Сергей Владиславович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры бурения Ухтинского государственного технического университета, skamenskikh@ugtu.net.

Keywords: absorption, permeability, pressure drop, clogging, bridging biopolymer mixture.

Введение

Поглощения буровых растворов являются одним из самых распространённых и затратных видов осложнений, встречающихся при углублении скважин. Поэтому разработка технологии проводки скважин в условиях поглощений является актуальной задачей и требует комплексного изучения с целью качественной изоляции высокопроницаемых пластов при минимальных затратах.

На основании анализа ряда научных исследований отечественных и зарубежных учёных [1–10 и др.] и промыслового опыта ведения буровых работ установлено, что основными причинами поглощений являются: проницаемость горных пород и дифференциальное давление.

В настоящее время проведён значительный объём исследований, связанных с причинами возникновения, профилактикой и ликвидацией поглощений, на основании которых разработан ряд методов и способов борьбы с ними. Однако многообразие горно-геологических условий бурения и поглощающих пластов, которое может широко варьироваться не только на соседних площадях и месторождениях, но и на скважинах в одном кусте, не позволяет повсеместно использовать «традиционные» и однотипные методы ликвидации поглощений, что, естественно, значительно снижает эффективность их использования. Достаточно перспективным и эффективным методом предупреждения поглощений является кольматация проницаемых горных пород [1–10 и др.].

В ОАО «Гипрвостокнефть» разработаны весьма эффективные смеси на основе полимеров (например, ПАА) и сшивателей (типа хромокалиевых квасцов). Подобную смесь успешно применяло ООО БСК «Ринако» при ликвидации частичных поглощений на Усинском месторождении Тимано-Печорской нефтегазонасной провинции (ТПНГП) [1]. Однако при ликвидации полных поглощений на Усинском, Ярегском месторождении Льяельской площади (ТПНГП) положительного эффекта достичь не удалось. В состав смеси ООО БСК «Ринако» входили: буферно-полимерная смесь (БПС), фибра базальтовая, хромкалиевые квасцы (сшиватель) и поверхностно-активное вещество (ПАВ).

Методика и результаты исследований

На кафедре бурения Ухтинского государственного технического университета (УГТУ) были проведены исследования кольматирующей способности безглинистого высокощелочного бурового раствора с повышенными кольматирующими свойствами для бурения в агрессивных средах (заявка на изобретение № 2016126737 от 13.07.2016) [11] и биополимерной кольматирующей смеси (БПКС). Исследования проводились на высокотемпературном пресс-фильтре высокого давления (НРНТ), позволяющем моделировать скважинные условия, с использованием керамических фильтров различной проницаемости (табл. 1). Всего было проведено 42 эксперимента.

Безглинистый высокощелочной буровой раствор с повышенными кольматирующими свойствами для бурения в агрессивных средах [11] имеет следу-

ющий состав: разветвлённый биополимер, целлюлоза, модифицированный крахмал, оксид кальция. БПКС разработана на основе высокощелочного бурового раствора [11] с добавлением сшивателя (биоцидола) и мраморной крошки (МК). Дополнительно были увеличены концентрации полимеров и оксида кальция. В отдельных опытах в состав БПКС входила базальтовая и пенопропиленовая фибра.

Таблица 1 – Проницаемость керамических фильтров

Средний размер пор, мкм		Проницаемость, Д		
ртуть*	воздух*	вода**	ртуть*	воздух*
120	90	0,054	40	100
–	150	0,065	–	180
–	190	0,076	–	–

Примечание:

* согласно технических характеристик керамических фильтров (OFITE);

** согласно лабораторных исследований, проведённых автором.

В результате проведённых экспериментов с высокощелочным буровым раствором [11] и БПКС при перепаде давления 2,07 МПа и температуре 25°C установлено время кольматации керамических фильтров (табл. 2).

Таблица 2 – Время кольматации керамических фильтров буровым раствором [11] и БПКС при температуре 25°C и избыточном давлении 2,07 МПа

Проницаемость фильтра, мД	Время кольматации, ч (мин.)	
	Высокощелочной раствор [11]	БПКС
54	5,0 (300)	3,0 (180)
65	7,0 (420)	6,0 (360)
76	0,2 (10)*	7,0 (420)

Примечание:

* жидкая фаза БПКС полностью отфильтровалась через керамический фильтр, но давление в ячейке сохранилось, т. е. фильтр закольматировался.

В дальнейшем БПКС была исследована при разных перепадах давления и температурах с использованием керамических фильтров различной проницаемости (табл. 1).

Первоначально БПКС с добавлением фибры была исследована с использованием керамических фильтров проницаемостью 54 мД при температуре 74°C и перепадах давления 2,07; 2,76 и 3,45 МПа. Результаты исследований представлены на рисунке 1.

Проведённые исследования (рис. 1) показывают, что зависимость времени кольматации керамических фильтров проницаемостью 54 мД от перепада давления носит прямопорциональный характер. Образовавшийся при этом субстрат представлен на рисунке 2.

Далее было оценено влияние температуры (25°, 60° и 74°C) на время кольматации при перепаде давления 2,07 МПа. Результаты опытов представлены на рисунке 3.

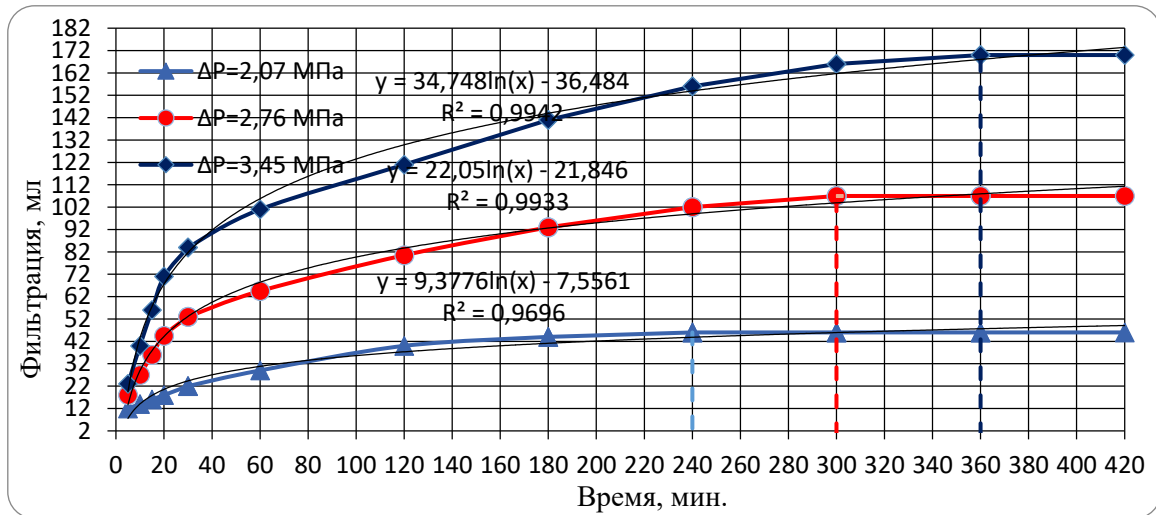


Рисунок 1. Зависимость фильтрации от времени через керамические фильтры проницаемостью 54 мД при температуре 74°С и перепадах давления 2,07; 2,76 и 3,45 МПа (БПКС + фибра)



Рисунок 2. Образовавшийся субстрат с керамическими фильтрами проницаемостью 54 мД при температуре 74°С (слева-направо: перепад давления 2,07; 2,76; 3,45 МПа)

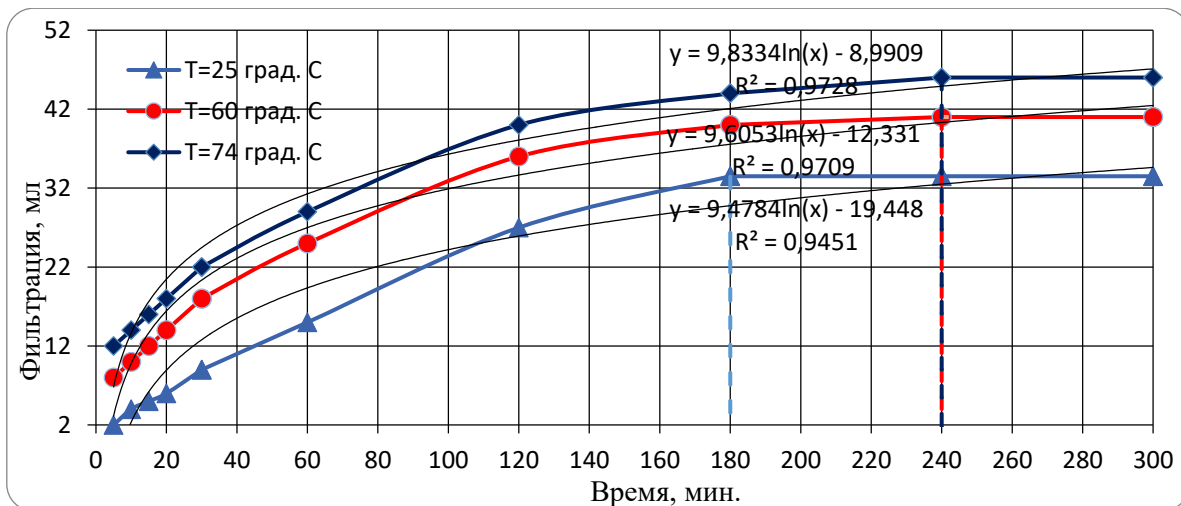


Рисунок 3. Зависимость фильтрации от времени через керамические фильтры проницаемостью 54 мД при перепаде давления 2,07 МПа и температурах 25°, 60° и 74°С (БПКС + фибра)

Проведённые эксперименты (рис. 3) показывают, что время кольтматации керамических фильтров проницаемостью 54 мД при температурах 60° и 74°С совпало и составляет 4 часа (240 мин.), незначительно превышая время при

температуре 25°C – 3 часа (180 мин.). Получается, что температура, в отличие от давления, незначительно влияет на время кольтматации.

Аналогичные выводы были получены при проведении исследований с керамическими фильтрами проницаемостью 76 мД. При этом время кольтматации при температурах 25°, 60° и 74°C совпало и составило 7 часов.

С целью оценки кольтматирующих возможностей различных наполнителей дополнительно были исследованы другие кольтматанты с БПКС: Kwik-Seal и EZ-Plug в концентрации 4 %. Результаты исследований кольтматирующей способности МК с фиброй, Kwik-Seal и EZ-Plug при температуре 74°C и перепаде давления 2,07 МПа представлены на рисунке 4. Образовавшийся при этом субстрат представлен на рисунке 5.

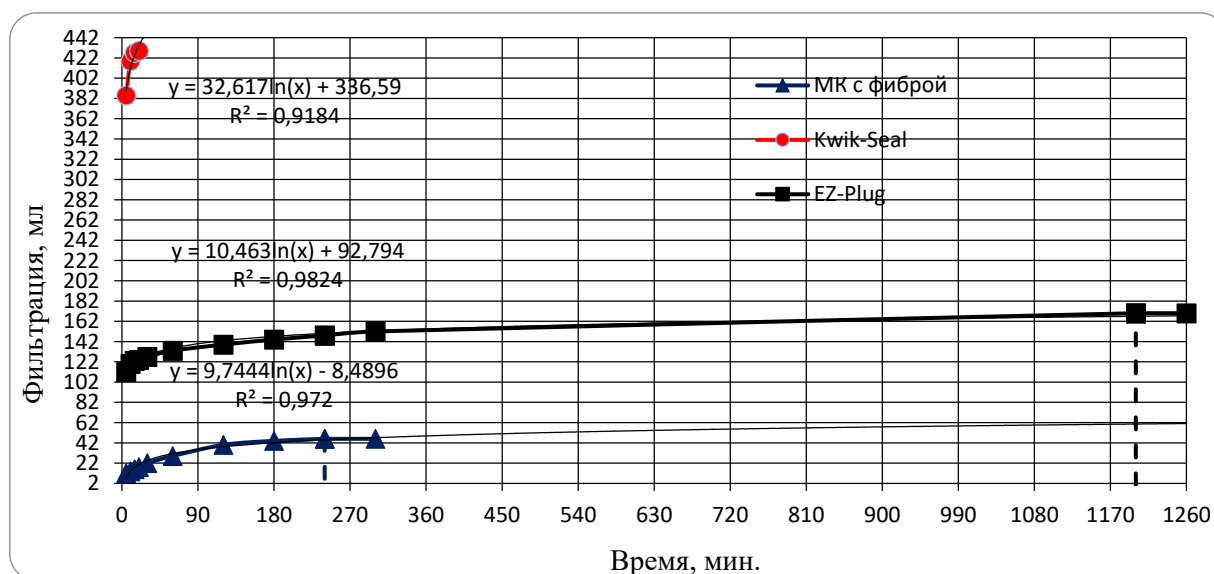


Рисунок 4. Зависимость фильтрации от времени через керамические фильтры проницаемостью 54 мД при температуре 74°C и перепаде давления 2,07 МПа (БПКС с наполнителями)

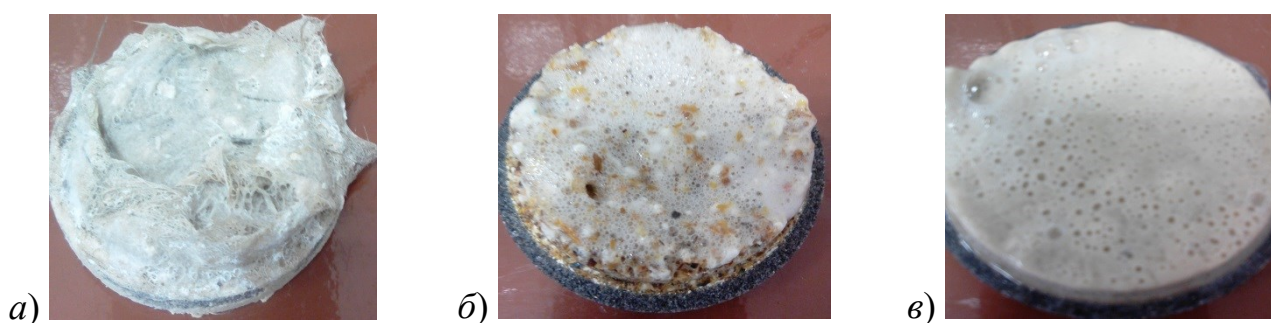


Рисунок 5. Образовавшийся субстрат с керамическими фильтрами проницаемостью 54 мД при температуре 74°C (слева-направо: с МК и фиброй, с Kwik-Seal, с EZ-Plug)

В дальнейшем, с целью усиления прочности и пластичности смеси, БПКС была дополнительно обработана газблоком в концентрации 0,5 %. Газблок представляет собой реагент на основе синтетических сульфированных полимеров. При этом эксперименты проводились без использования фибры. Результаты исследований представлены на рисунке 6.

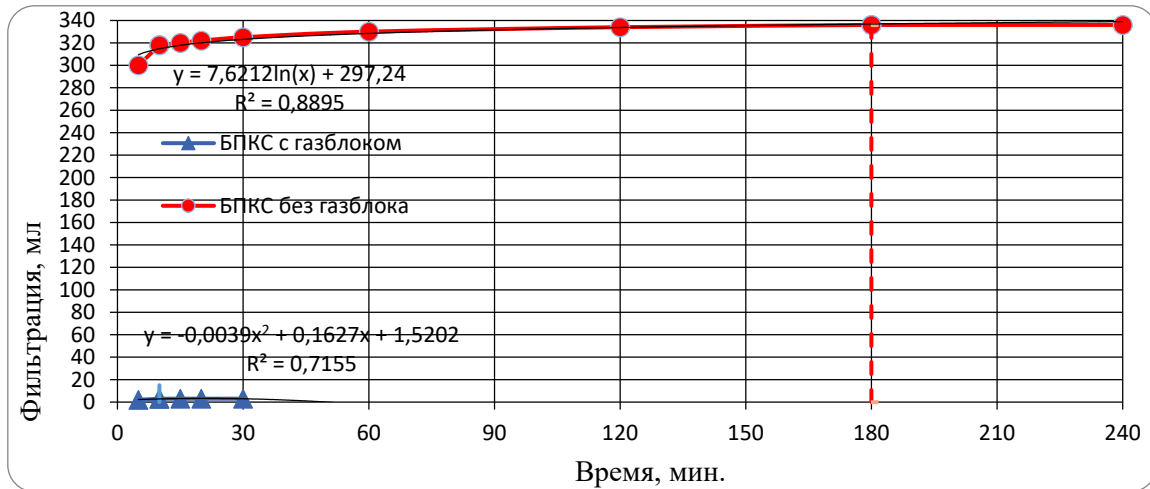


Рисунок 6. Зависимость фильтрации от времени через керамические фильтры проницаемостью 76 мД при температуре 74°С и перепаде давления 2,07 МПа (БПКС + 0,5 % газблока)

Проведённые эксперименты (рис. 6) показывают, что обработка БПКС газблоком позволила снизить время кольтматации в 18 раз. При этом полученная смесь обладает хорошей подвижностью и пластичностью.

Затем были проведены исследования БПКС с газблоком через керамические фильтры проницаемостью 76 мД при перепадах давления 0,69; 2,07; 2,76 и 3,45 МПа. Результаты исследований показаны на рисунке 7.

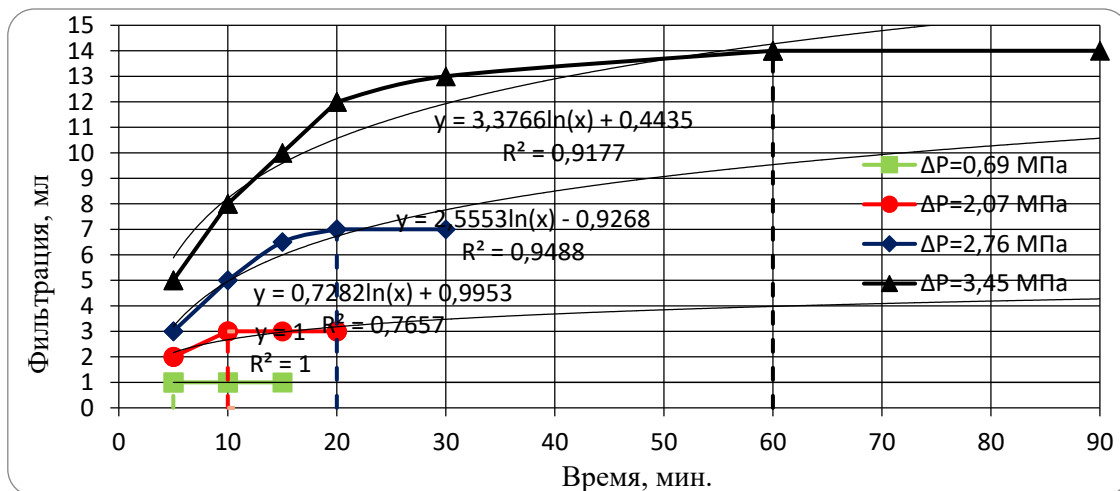


Рисунок 7. Зависимость фильтрации от времени через керамические фильтры проницаемостью 76 мД при температуре 74°С и перепадах давления 0,69; 2,07; 2,76; 3,45 МПа (БПКС + 0,5 % газблока)

Полученные результаты (рис. 7) показывают, что БПКС обладает достаточно эффективными кольтматирующими свойствами в относительно короткие сроки.

Аналогичные исследования были проведены с фильтрами проницаемостью 54 мД. Результаты эксперимента представлены на рисунке 8.

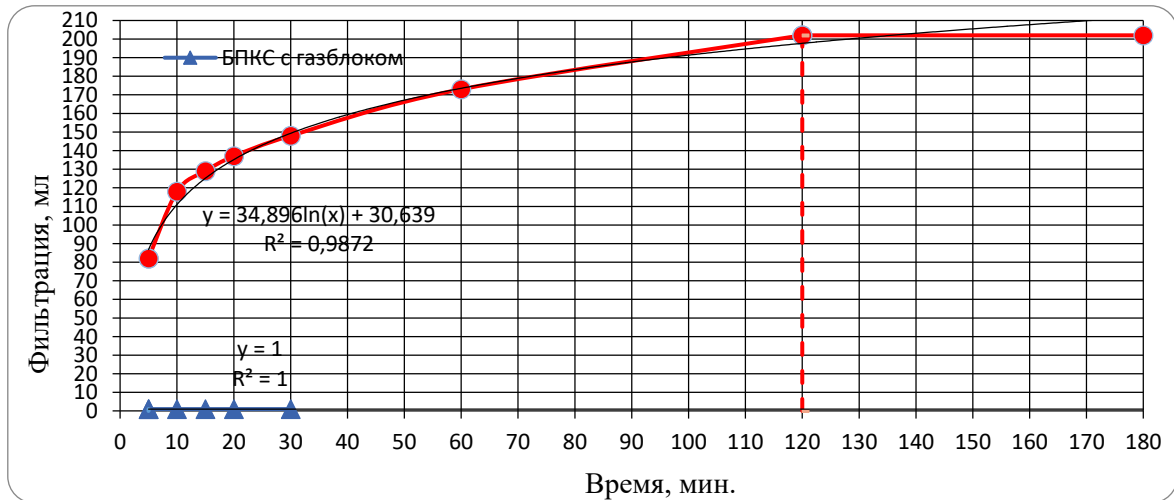


Рисунок 8. Зависимость фильтрации от времени через керамические фильтры проницаемостью 54 мД при температуре 74°С и перепаде давления 2,07 МПа (БПКС + 0,5 % газблока)

Результаты экспериментов, представленные на рисунке 8, показывают отсутствие фильтрации БПКС с газблоком через керамический фильтр проницаемостью 54 мД при температуре 74°С и перепаде давления 2,07 МПа, что указывает на эффективность использования газблока.

С целью оценки влияния перепада давления (0,69; 2,07; 2,76 и 3,45 МПа) на время кольтматации керамических фильтров проницаемостью 54 мД и интенсивность фильтрации были проведены эксперименты, результаты которых представлены на рисунке 9.

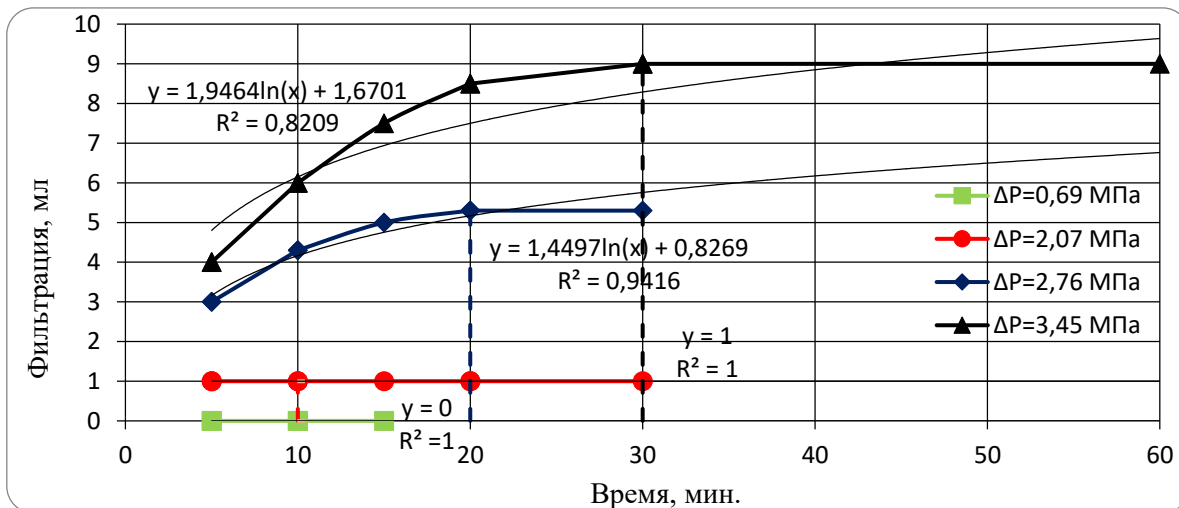


Рисунок 9. Зависимость фильтрации от времени через керамические фильтры проницаемостью 54 мД при температуре 74°С и перепадах давления 0,69; 2,07; 2,76; 3,45 МПа (БПКС + 0,5 % газблока)

Представленные на рисунке 9 результаты показывают прямопропорциональную зависимость времени кольтматации от перепада давления.

Также были проведены исследования высокощелочного бурового раствора [11], обработанного газблоком. Результаты исследований с использованием керамических фильтров проницаемостью 76 мД представлены на рисунке 10.

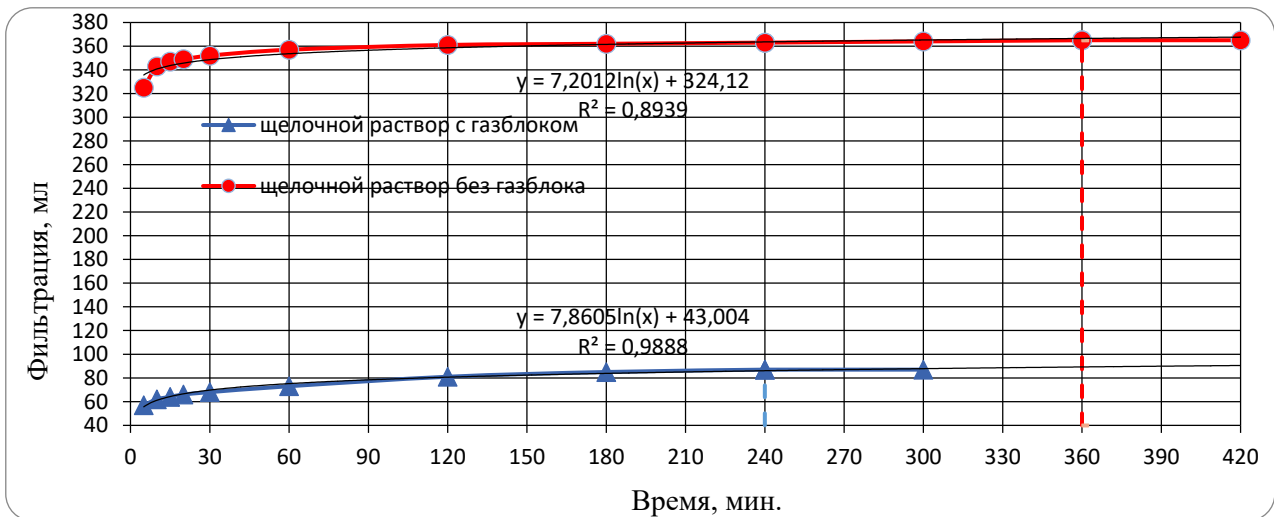


Рисунок 10. Зависимость фильтрации от времени через керамические фильтры проницаемостью 76 мД при температуре 74°С и перепаде давления 2,07 МПа (высокощелочной раствор + 0,5 % газблока)

Результаты экспериментов (рис. 10) показывают, что обработка высокощелочного бурового раствора [11] газблоком способствует уменьшению времени кольтматации в 1,5 раза.

Для определения влияния перепада давления на время кольтматации керамических фильтров проницаемостью 76 мД высокощелочным раствором [11], обработанным газблоком, были проведены исследования, результаты которых представлены на рисунке 11.

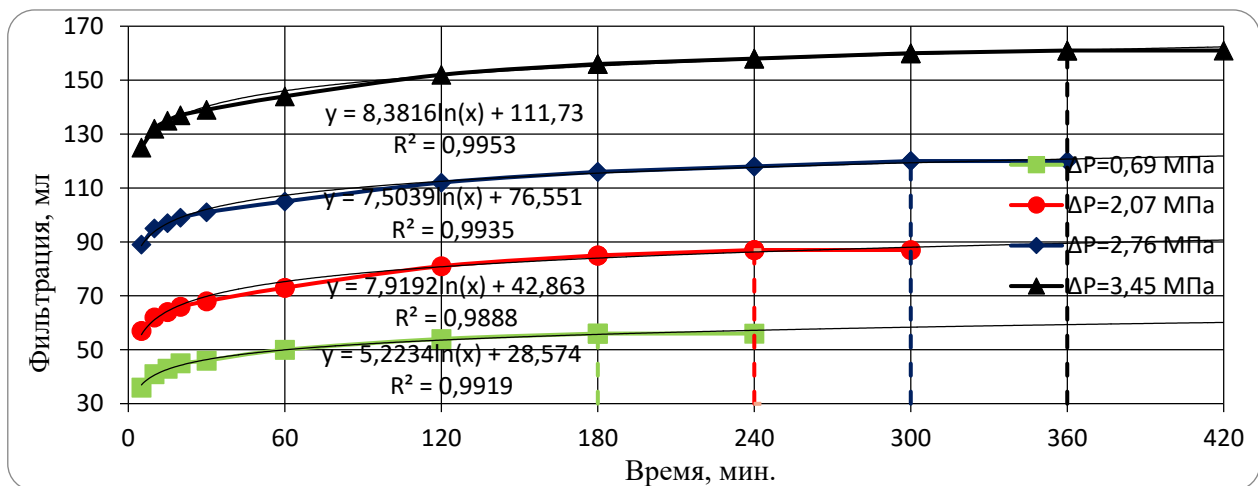


Рисунок 11. Зависимость фильтрации от времени через керамические фильтры проницаемостью 76 мД при температуре 74°С и перепадах давления 0,69; 2,07; 2,76; 3,45 МПа (высокощелочной раствор + 0,5 % газблока)

Анализ результатов исследований (рис. 11) показывает прямопропорциональную зависимость времени кольтматации керамических фильтров от перепада давления.

Аналогичные исследования были проведены с фильтрами проницаемостью 54 мД. Результаты эксперимента представлены на рисунке 12.

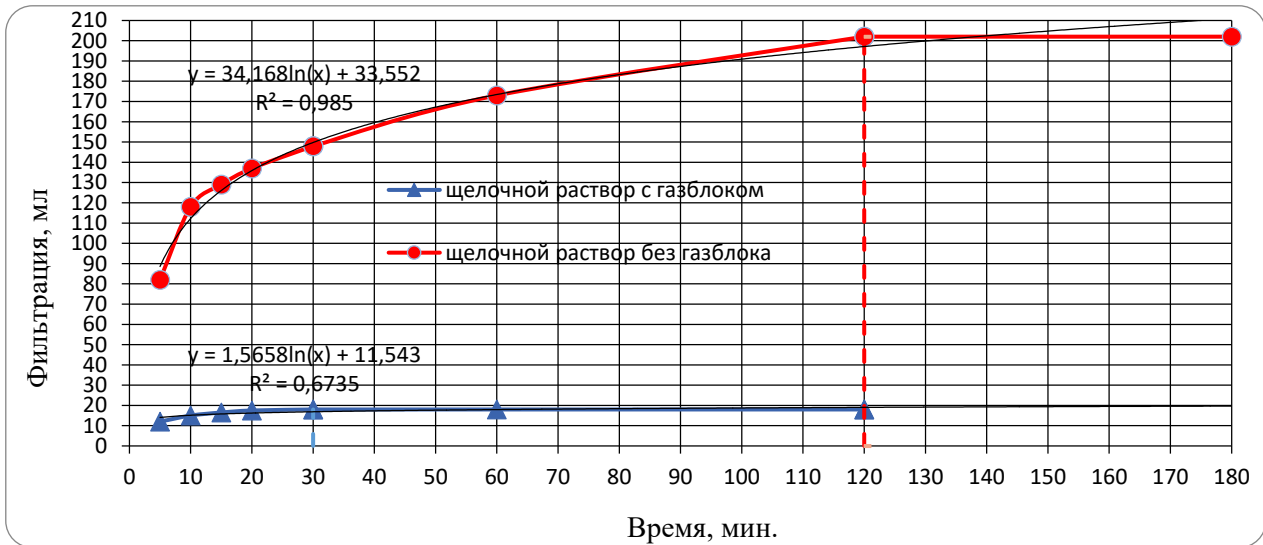


Рисунок 12. Зависимость фильтрации от времени через керамические фильтры проницаемостью 54 мД при температуре 74°С и перепаде давления 2,07 МПа (высокощелочной раствор + 0,5 % газблока)

Анализ результатов исследований (рис. 12) показывает снижение времени кольтатации в 4 раза, указывая на эффективность обработки бурового раствора [11] газблоком.

В дальнейшем было оценено влияние перепада давления на интенсивность кольтатации керамических фильтров проницаемостью 54 мД высокощелочным раствором [11] с газблоком. Результаты исследований показаны на рисунке 13.

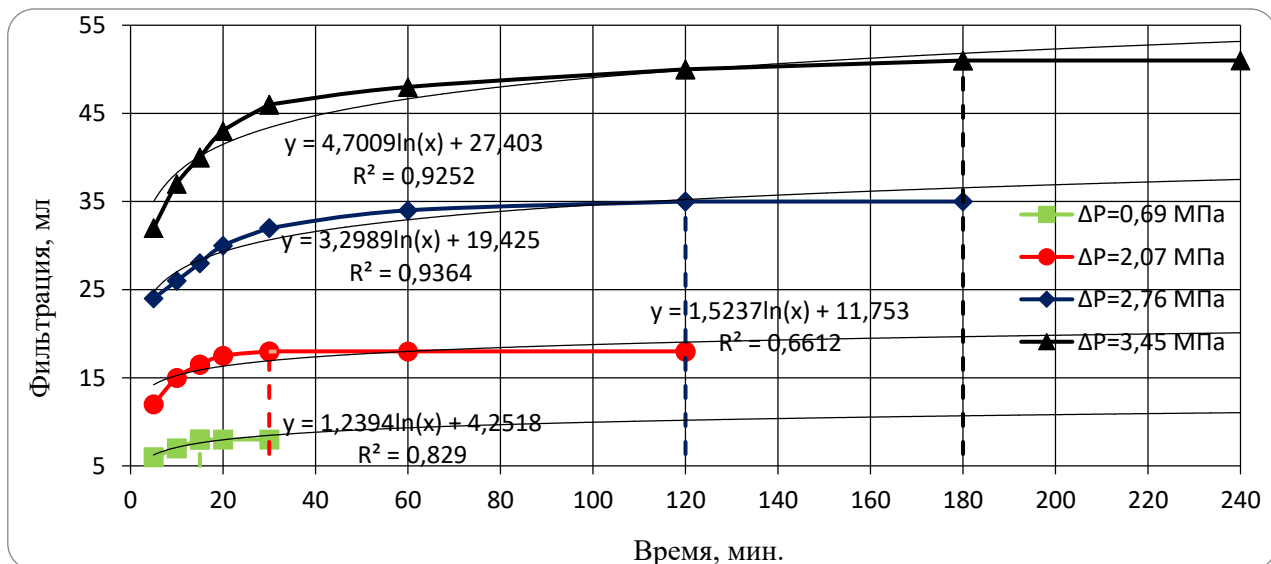


Рисунок 13. Зависимость фильтрации от времени через керамические фильтры проницаемостью 54 мД при температуре 74°С и перепадах давления 0,69; 2,07; 2,76; 3,45 МПа (высокощелочной раствор + 0,5 % газблока)

Как и в предыдущих случаях (рис. 1, 9, 11), на рисунке 13 отмечается прямопорциональная зависимость времени кольтатации керамического фильтра проницаемостью 54 мД от перепада давления.

В результате проведённых исследований был установлен оптимальный состав БПКС и определены её основные свойства и параметры, которые представлены в таблице 3, из которой видно, что смесь обладает хорошими структурно-механическими свойствами и адгезионной активностью.

Таблица 3 – Свойства и параметры БПКС

Концентрация ингредиентов БПКС	Параметры БПКС в зависимости от концентрации ингредиентов							рН
	Плотность, кг/м ³	Фильтрация, мл/30 мин.	ДНС*, дПа	ПВ*, Па·с	СНС* ₁ , дПа	СНС* ₁₀ , дПа	Интенсивность адгезии**, мм/мин.	
минимальная	770	8	35	0,025	3	4	0,56	12,55
оптимальная	820	6	65	0,030	6	8	1,82	12,73
максимальная	870	4	85	0,034	8	10	2,73	12,83

Примечание:

* ДНС – динамическое напряжение сдвига; ПВ – пластическая вязкость; СНС – статическое напряжение сдвига.

** Интенсивность адгезии определена согласно методике, разработанной Р. Г. Ахмадеевым, И. В. Куваевым (RU 1772699).

Выводы

Проведённые эксперименты позволяют сделать следующие выводы:

1. Безглинистый высокощелочной буровой раствор с повышенными кольматирующими свойствами для бурения в агрессивных средах (заявка на изобретение № 2016126737 от 13.07.2016) [11] обладает кольматирующими свойствами.

2. Разработан состав БПКС, включающий: разветвлённый биополимер, целлюлозу, модифицированный крахмал, оксид кальция, сшиватель (биоцидол), газблок и мраморную крошку. При необходимости возможна добавка фибры.

3. Добавка газблока позволяет усилить эффективность кольматации при непосредственной обработке как бурового раствора [11], так и БПКС.

4. Время кольматации разработанной БПКС зависит от перепада давления, причём зависимость носит прямопропорциональный характер. Температура практически не оказывает значимого влияния на время кольматации.

Список литературы

1. Василенко И. Р., Сенатов В. В. Повышение качества крепи скважин в осложнённых условиях Р-С залежи Усинского месторождения // Бурение и нефть. М. : Недра, 2010. № 2. С. 32–34.

2. Зозуля Г. П. Исследование и разработка технологий предупреждения осложнений при бурении и разобщении пластов на основе обобщения фильтрационных процессов в системе «скважина-пласт» (на примере строительства скважин в Сибири) : автореферат дис. ...доктора технических наук: специальность: 05.15.10 «Бурение скважин» / Зозуля Григорий Павлович. Тюмень : ТГНУ, 1997. 47 с. Место защиты: Тюменский государственный нефтяной университет.

3. Ясов В. Г., Мыслюк М. А. Осложнения в бурении. М. : Недра, 1991. 334 с.
4. Роджерс В. Ф. Состав и свойства промывочных жидкостей. М. : Недра, 1967.
5. Ивачёв Л. М. Борьба с поглощением промывочной жидкости при бурении геологоразведочных скважин. М. : Недра, 1982. 293 с.
6. Крылов В. И. Изоляция поглощающих пластов в глубоких скважинах. М. : Недра, 1980. 304 с.
7. Горонович С. Н. Методы обеспечения совместимости интервалов бурения : автореферат дис. ...доктора технических наук: специальность: 25.00.15 «Технология бурения и освоения скважин» / Горонович Сергей Николаевич. Тюмень : ООО «ВолгоУралНИПИгаз», 2010. 58 с. Место защиты: Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН.
8. Каменских С. В. [и др.]. Осложнения и аварии при строительстве нефтяных и газовых скважин : учебное пособие. Ухта : УГТУ, 2014. 231 с. : ил.
9. Каменских С. В., Близиюков В. Ю. Техника и технология строительства скважин в высокопроницаемых горных породах : учебное пособие. Ухта : УГТУ, 2016. 116 с.: ил.
10. Каменских С. В. Опыт борьбы с поглощениями буровых и тампонажных растворов при строительстве скважин // Научные труды Донецкого национального технического университета: Серия «Горно-геологическая». Донецк : ДНТУ, 2016. № 2(25). С. 36–51.
11. Каменских С. В. Сравнительная оценка степени влияния сероводорода на свойства полимерных химических реагентов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море: научно-технический журнал. М. : ВНИИОЭНГ, 2015. № 12. С. 25–30.

List of reference

1. Vasilenko, I. R., Senatov, V. V., “Improving the quality of shoring wells in complicated conditions of R-S deposit of Usinskoe deposit”, *Drilling and oil*, Moscow, Nedra, 2010, no. 2, pp. 32–34.
2. Zozulya Grigorij Pavlovich, *Research and development of technologies to prevent complications during drilling and segregation of seams based on the generalization of filtration processes in the “well-reservoir” system (for example, the construction of wells in Sibirya)*, abstract of the dis. ... Doctor of Technical Sciences, 05.15.10 Drilling of the wells, Tyumen, Tyumen State Oil University, 1997, 47 p.
3. Yasov, V. G., Myslyuk, M. A., *Complications in drilling*, Moscow, Nedra, 1991, 334 p.
4. Rodgers, V. F., *Composition and properties of washing liquids*, Moscow, Nedra, 1967.
5. Ivachev, L. M., *Combating the absorption of drilling fluid during drilling of geological exploration wells*, Moscow, Nedra, 1982, 293 p.
6. Krylov, V. I., *Isolation of absorbing layers in deep wells*, Moscow, Nedra, 1980, 304 p.

7. Goronovich Sergej Nikolaevich, *Methods for ensuring compatibility of drilling intervals* : abstract of the dis. ... Doctor of Technical Sciences, 25.00.15 Technology of drilling and development of wells, Tyumen, LLC VolgoUralNIPIgaz, 2010, 58 p.

8. Kamenskih, S. V., et. al. *Complications and accidents in the construction of oil and gas wells* : tutorial, Ukhta, USTU, 2014, 231 p.

9. Kamenskih, S. V., Bliznyukov, V. Yu., *Technique and technology of well construction in high permeability rocks*, tutorial, Ukhta, USTU, 2016, 116 p.

10. Kamenskih, S. V., “Experience in controlling the absorption of drilling and grouting mortars during the construction of wells”, *Scientific works of Donetsk National Technical University*, The series Mining-geological. Donetsk: Donetsk National Technical University, 2016, no. 2(25), pp. 36–51.

11. Kamenskih, S. V., “A comparative evaluation of the degree of influence of hydrogen sulfide on the properties of polymer chemical reagents”, *Construction of oil and gas wells on land and at sea*, scientific and technical journal, Moscow, VNIIO-ENG, 2015, no, 12, pp. 25–30.