

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2025.2.191-199>

EDN ZGAJWC

УДК 628.16

**Применение сорбционно-фильтрационной технологии
подготовки попутно добываемых вод для низкопроницаемых
коллекторов**

Гафаров Н.Н.

*Институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина,
Альметьевск, Россия*

**Application of sorption-filtration technology
treatment of produced water for low-permeability reservoirs**

N.N. Gafarov

TatNIPIneft Institute of PJSC Tatneft, Almetyevsk, Russia

E-mail: GafarovNilN@tatnipi.ru

Аннотация. При разработке трудноизвлекаемых запасов нефти качество закачиваемых в нефтяные пласты и продвигающих оторочки вод часто не соответствует пористости и проницаемости разрабатываемых пластов.

Целью исследований является определение возможности получения воды требуемого качества для низкопроницаемых коллекторов в процессе водоподготовки сорбционно-фильтрационным методом.

В статье показаны нормативные требования и особенности технологии подготовки вод для закачки в продуктивные пласты, приведены результаты пилотных испытаний в промысловых условиях, и предложены пути повышения качества очистки попутно добываемой воды с использованием гранулированных фильтрационных материалов.

Полученные результаты имеют важное практическое применение и позволят получить воду высокой степени очистки от нефти и механических примесей для последующего её использования в системе поддержания пластового давления, в том числе для низкопроницаемых коллекторов традиционных месторождений нефти.

Ключевые слова: трудноизвлекаемые запасы, низкопроницаемые коллектора, попутно добываемая вода, подготовка, глубокая очистка, фильтрационный материал, сорбционно-фильтрационная установка

Для цитирования: Гафаров Н.Н. Применение сорбционно-фильтрационной технологии подготовки попутно добываемых вод для низкопроницаемых коллекторов // Нефтяная провинция.-2025.- №2(42).-С. 191-199. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2025.2.191-199>. - EDN ZGAJWC

Abstract. During the development of hard-to-recover oil reserves the quality of water injected into oil reservoirs and promoting rims often does not correspond to the porosity and permeability of the developed reservoirs.

The purpose of research is to determine the possibility of obtaining water of the required quality for low-permeable reservoirs in the process of water treatment by sorption-filtration method.

The article shows the normative requirements and peculiarities of water preparation technology for injection into productive formations, presents the results of pilot tests in field conditions, and suggests ways to improve the quality of purification of produced water using granulated filtration materials.

The obtained results have important practical application and will allow to obtain water of high degree of purification from oil and mechanical impurities for its further use in the system of reservoir pressure maintenance, including for low-permeable reservoirs of traditional oil fields.

Key words: *hard-to-recover reserves, low-permeable reservoirs, produced water, treatment, deep purification, filtration material, sorption-filtration unit*

For citation: N.N. Gafarov Primenenie sorbtionno-filtratsionnoy tekhnologii podgotovki poputno dobyvaemykh vod dlya nizkopronitsaemykh kollektorov [Application of sorption-filtration technology treatment of produced water for low-permeability reservoirs]. Neftyanaya Provintsiya, No. 2(42), 2025. pp. 191-199. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2025.2.191-199>. EDN ZGAJWC (in Russian)

Введение

Падение уровня добычи нефти связано с ухудшением структуры извлекаемых запасов. Суммарная доля трудноизвлекаемых запасов глинистых высоко- и малопродуктивных коллекторов на ряде площадей и месторождений ПАО «Татнефть» существенно возросла и составляет более 76 % от остаточных извлекаемых запасов [1].

Кроме того, пористость и проницаемость пластов характеризуются крайней неоднородностью, в связи с чем нефть в принципе не может быть

вытеснена из участков низкой проницаемости, особенно, если путь закачиваемой воде преграждают зоны пласта, кольматированные частицами, находящимися в ней. В таких случаях возможность извлечения нефти из слабопродуктивных горизонтов и пластов с ухудшенными коллекторскими свойствами значительно снижается, если при этом не будет использована для закачки в пласт вода высокой степени очистки [2].

Закачка в пласт попутно добываемых вод (ПДВ), содержащих значительное количество твердых взвешенных частиц (ТВЧ), увеличивает зональную и послойную неоднородность пластов, ухудшая тем самым условия их выработки, сокращает межремонтные периоды нагнетательных скважин, приводит к увеличению расхода электроэнергии в связи с ростом сопротивления пластов, уменьшению текущих объемов закачки, завышению числа нагнетательных скважин, необходимости бурения боковых стволов для выхода из закольматированных зон или вообще бурения новых скважин и обуславливает экономические потери, исчисляемые миллиардами рублей [1].

Качество закачиваемых в нефтяные пласты и продвигающих оторочки вод часто не соответствует пористости и проницаемости разрабатываемых пластов, должно быть улучшено и приведено в соответствие с характеристиками пласта. Очевидно, если по каким-либо причинам в недостаточной степени осуществлять подготовку закачиваемых вод до «требований пласта», то это сделает сам пласт. Процесс доочистки вод автоматически перемещается при фильтрации в пласт, нанося существенный ущерб разработке нефтяных месторождений, оставляя неизвлеченными значительные запасы нефти и осложняя эксплуатацию скважин [3].

Использование попутно добываемой воды в виде агента для поддержания пластового давления (ППД) путем закачки в нагнетательные скважины имеет технологические ограничения. Согласно СТО 00136352-001-

2024 («Воды, используемые для поддержания пластового давления на месторождениях углеводородного сырья ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина в границах Приволжского федерального округа. Требования к качеству») допустимая концентрация остаточной нефти в подготовленной воде должна быть не более 60 мг/дм³, концентрация твердых взвешенных частиц – не более 50 мг/дм³ [4]. Требования по допустимому содержанию механических примесей и нефти в закачиваемой в продуктивный коллектор воде с целью поддержания пластового давления согласно ОСТ 39-225-88 («Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству») приведены в табл. 1 [5].

Таблица 1

Допустимое содержание механических примесей и нефти в закачиваемой в продуктивный коллектор воде с целью поддержания пластового давления (ОСТ 39-225-88)

Проницаемость пористой среды коллектора, мкм ²	Коэффициент относительной трещиноватости коллектора	Допустимое содержание в воде, мг/дм ³	
		механических примесей	нефти
до 0,1 вкл. свыше 0,1	- -	до 3 до 5	до 5 до 10
до 0,35 вкл. свыше 0,35	от 6,5 до 2 вкл. менее 2	до 15 до 30	до 15 до 30
до 0,6 вкл. свыше 0,6	от 35 до 3,6 вкл. менее 3,6	до 40 до 50	до 40 до 50

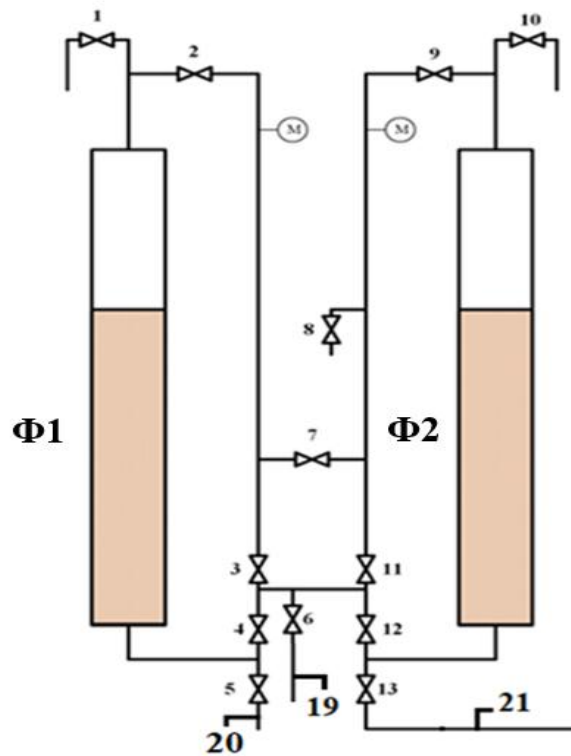
При этом, на ряде объектов водоподготовки традиционных месторождений ПАО «Татнефть» при использовании существующих технологий гравитационного динамического отстаивания в РВС и горизонтальных отстойниках (ОГ) отмечена недостаточная степень очистки ПДВ с превышением данных нормативных значений. Для проведения реконструкции таких объектов с целью повышения качества очистки закачиваемой воды в систему ППД необходимы существенные капитальные и эксплуатационные затраты, что не всегда экономически оправдано.

Ранее для месторождений сверхвязкой нефти (СВН) специалистами Института «ТатНИПИнефть» разработана и внедрена технология глубокой очистки ПДВ от нефти и механических примесей перед установкой подготовки попутно добываемой воды (УППДВ) с применением сорбционно-фильтрационной установки [6].

Глубокая очистка достигается фильтрованием ПДВ через специальный гранулированный фильтровальный материал. Регенерация фильтровального материала осуществляется путем создания устойчивого псевдоожиженного слоя обратным потоком воды, что позволяет полностью очистить фильтр от задержанных загрязнений. Технология защищена патентом №2704664 «Система обустройства месторождения тяжелой нефти и природного битума» [7]. В настоящее время на месторождениях СВН для предварительной очистки ПДВ, направляемой на УППДВ, внедрены и успешно эксплуатируются три сорбционно-фильтрационные установки с производительностью от 450 до 750 м³/ч с качеством очистки воды до 5,0 и 1,0 мг/дм³ по концентрации нефти и ТВЧ соответственно.

Для определения возможности повышения степени очистки закачиваемых вод для низкопроницаемых коллекторов до нормативных требований, при применении технологии глубокой очистки на традиционных месторождениях, были проведены пилотные испытания сорбционно-фильтрационной установки в условиях добычи угленосной нефти на объекте ДНС. Принципиальная технологическая схема и внешний вид пилотной установки приведены на рис. 1 и 2 соответственно.

Пилотная установка включает две ступени фильтрации, каждая ступень представляет собой напорный аппарат, загруженный гранулированным фильтрационным материалом. Характеристики применяемого фильтрационного материала приведены в табл. 2.



1-13 - задвижки; Ф1, Ф2 - фильтры; М - манометры; 19-21 - пробоотборные устройства

Рис. 1. Принципиальная схема пилотной установки



Рис. 2. Внешний вид пилотной установки

Таблица 2

Характеристики фильтрационного материала

Наименование материала		Фракционный состав, мм	Насыпной вес, кг/м ³	Назначение
Ф1	Гранулированный фильтрационный материал на основе алюмосиликатов	1,7–2,5	680–750	Используется для очистки воды от железа, марганца, нефтепродуктов.
Ф2		0,7–1,7	680–750	

Результаты промысловых испытаний пилотной сорбционно-фильтрационной установки приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытаний пилотной установки

Номер фильтро-цикла	Показатели						
	Расход ПДВ, м ³ /ч	Температура ПДВ, °С	Концентрация нефти в воде, мг/дм ³			Концентрация ТВЧ в воде, мг/дм ³	
			Вход	Выход Ф1	Выход Ф2	Вход	Выход Ф1
1	70-71	14,9	70,3	25,4	2,7	3,2	2,5
2	70-71	14,9	65,4	18,7	0,3	2,3	1,2
3	70-71	15,0	93,3	23,6	1,2	-	-
4	70-71	15,0	82,1	18,2	0,4	-	-
5	70-71	14,7	63,8	19,3	0,6	-	-
6	70-71	14,7	110,5	49,7	0,6	3,5	2,8
7	70-71	15,3	44,0	5,4	0,4	1,9	1,1
8	70-71	15,3	67,2	30,3	2,1	1,1	0,8
9	70-71	14,7	31,4	11,3	2,8	-	-
10	70-71	15,0	81,1	10,2	3,2	1,9	1,2
11	70-71	8,5	91,8	24,5	3,3	-	-
12	70-71	8,5	102,4	34,2	3,6	-	-
13	70-71	9,5	100,3	26,1	5,2	-	-
14	70-71	10,5	258,8	24,0	6,2	2,6	1,4
15	70-71	10,5	219,8	42,1	19,2	-	-
16	70-71	12,0	199,3	38,9	10,3	-	-
17	70-71	12,0	172,9	34,0	12,1	-	-
18	70-71	12,0	127,0	12,1	10	-	-
19	70-71	11,0	108,2	21,4	5,3	2,1	1,5
20	70-71	11,0	83,3	26,3	3,6	-	-
Средние значения	70,5	12,7	108,6	24,8	4,6	2,3	1,6

Проведенные испытания пилотной установки подтвердили высокую эффективность очистки попутно добываемой воды с применением сорбционно-фильтрационной технологии. По результатам испытаний степень очистки воды в среднем составила 4,6 и 1,6 мг/дм³ по концентрации нефти и ТВЧ соответственно, при этом кратность очистки от нефти составила в среднем 23,6.

Использование сорбционно-фильтрационной установки на объектах водоподготовки позволит:

- снизить концентрацию остаточной нефти и твердых взвешенных частиц в воде до нормативных требований;
- сократить потери нефти за счет более глубокой очистки воды;
- сохранить фильтрационные свойства пластов при закачке очищенной ПДВ с пониженным содержанием загрязняющих веществ.
- снизить затраты на обработку призабойных зон нагнетательных скважин по восстановлению приемистости.

Таким образом, применение сорбционно-фильтрационной технологии позволит улучшить качество подготовки воды для последующего её использования в системе ППД, в том числе для низкопроницаемых коллекторов традиционных месторождений нефти.

Список литературы

1. Тронов В. П., Тронов А. В. Очистка вод различных типов для использования в системе ППД. – Казань: Фэн, 2001. 560 с.
2. Воздействие на нефтяные залежи, содержащей взвешенные частицы. / И.С. Мищенко // Нефтяное хозяйство, 1991. – № 4 – С. 53-55.
3. Тронов В. П. Фильтрационные процессы и разработка нефтяных месторождений. – Казань: Фэн, 2004. 584 с.
4. СТО 00136352-001-2024. Воды, используемые для поддержания пластового давления на месторождениях углеводородного сырья ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина в границах Приволжского федерального округа. Требования к качеству.
5. ОСТ 39-225-88. Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству. – утвержден приказом Министерства нефтяной промышленности от 28.03.1988 № 147.
6. Подготовка попутно добываемой воды с целью выработки пара на месторождениях сверхвязкой нефти ПАО «Татнефть» / Ф.Р. Губайдулин, Л.В. Кудряшова, Н.Н. Гафаров [и др.] // Нефтяное хозяйство, 2021. – № 7 – С. 53-55.

7. Патент 2704664 Российская Федерация, МПК E21B 43/20. Система обустройства месторождения тяжелой нефти и природного битума / Л.В. Кудряшова, Ф.Р. Губайдулин, Р.З. Сахабутдинов, А.С. Нурутдинов, А.А. Арсентьев, Е.С. Буслаев; заявитель и патентообладатель ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина. – № 2018140321; заявл. 14.11.18; опубл. 30.10.2019.

References

1. Tronov V.P., Tronov A.V. Ochistka vod razlichnykh tipov dlya ispol'zovaniya v sisteme PPD [Water treatment of various types for use in waterflood systems]. Kazan: Fen, 2001. 560 p. (in Russian)
2. Mishchenkov I.S. Vozdeystvie na neftyanye zalezhi, sodержashchey vzveshennye chastitsy [Impact on oil reservoirs containing suspended particles]. Neftyanoe khozyaystvo, 1991, no. 4, pp. 53-55. (in Russian)
3. Tronov V.P. Fil'tracionnye protsessy i razrabotka neftyanykh mestorozhdeniy [Filtration processes and oil field development]. Kazan: Fen, 2004. 584 p. (in Russian)
4. STO 00136352-001-2024. Vody, ispol'zuemye dlya podderzhaniya plastovogo davleniya na mestorozhdeniyakh uglevodorodnogo syr'ya PAO "Tatneft" im. V.D. Shashina v granitsakh Privolzhskogo federal'nogo okruga. Trebovaniya k kachestvu [Water used for reservoir pressure maintenance at hydrocarbon fields of PJSC "Tatneft" named after V.D. Shashin within the Volga Federal District. Quality requirements]. (in Russian)
5. OST 39-225-88. Voda dlya zavodneniya neftyanykh plastov. Trebovaniya k kachestvu [Water for oil reservoir flooding. Quality requirements]. Approved by Order of the USSR Ministry of Oil Industry No. 147 dated 28.03.1988. (in Russian)
6. Gubaydulín F.R., Kudryashova L.V., Gafarov N.N. [et al.] Podgotovka poputno dobyvaemoy vody s tsel'yu vyrabotki para na mestorozhdeniyakh sverkhvyezkoj nefti PAO "Tatneft" [Treatment of associated produced water for steam generation at extra-heavy oil fields of PJSC "Tatneft"]. Neftyanoe khozyaystvo, 2021, no. 7, pp. 53-55. (in Russian)
7. Pat. 2704664 Russian Federation, IPC E21B 43/20. Sistema obustroystva mestorozhdeniya tyazheloy nefti i prirodnogo bituma / L.V. Kudryashova, F.R. Gubaydulín, R.Z. Sakhabutdinov [et al.]; applicant and patentee PJSC "Tatneft" named after V.D. Shashin. no. 2018140321; filed 14.11.2018; publ. 30.10.2019. (in Russian)

Сведения об авторах

Гафаров Нил Назипович, старший научный сотрудник, Институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина
Россия, 423462, Альметьевск, ул. Советская, 186а
E-mail: GafarovNilN@tatnipi.ru

Authors

N.N. Gafarov, senior researcher, TatNIPIneft Institute of PJSC Tatneft
186a, Sovetskaya Str., Almet'yevsk, 423462, Russian Federation
E-mail: GafarovNilN@tatnipi.ru

Статья поступила в редакцию 21.02.2025
Принята к публикации 17.06.2025
Опубликована 30.06.2025