

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2024.2.233-241>

EDN HJWWJK

УДК 628.16.067.1

**Результаты исследований по получению воды  
ультрафильтрованного качества  
сорбционно-фильтрационным методом**

<sup>1</sup>Гафаров Н.Н., <sup>1</sup>Кудряшова Л.В., <sup>1</sup>Губайдулин Ф.Р., <sup>1</sup>Сахабутдинов Р.З.,

<sup>1</sup>Кабилова А.Х., <sup>2</sup>Буслаев Е.С., <sup>3</sup>Авзалетдинов А.Г.

<sup>1</sup>Институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В. Д. Шашина,  
Альметьевск, Россия

<sup>2</sup>НПП «ТН-Гидрохим», Альметьевск, Россия

<sup>3</sup>СП «Татнефть-Добыча», Альметьевск, Россия

**Results of research of ultrafiltrated quality water production  
using sorption-filtration method**

<sup>1</sup>N.N. Gafarov, <sup>1</sup>L.V. Kudryashova, <sup>1</sup>F.R. Gubaidulin, <sup>1</sup>R.Z. Sakhabutdinov,

<sup>1</sup>A.Kh. Kabirova, <sup>2</sup>E.S. Buslaev, <sup>3</sup>A.G. Avzaletdinov

<sup>1</sup>TatNIPIneft Institute – PJSC TATNEFT, Almeteyevsk, Russia

<sup>2</sup>TN-Hydrochim, Almeteyevsk, Russia

<sup>3</sup>SP Tatneft-Dobycha, Almeteyevsk, Russia

**E-mail: GafarovNilN@tatnipi.ru**

**Аннотация.** Целью исследований является определение возможности получения воды ультрафильтрованного качества в процессе предварительной подготовки сорбционно-фильтровальным методом для оптимизации эксплуатации блоков ультрафильтрации установок подготовки попутно добываемой воды на месторождениях сверхвязкой нефти.

В статье приведены результаты испытаний в промысловых условиях и предложены пути повышения качества очистки попутно добываемой воды с использованием гранулированных фильтровальных материалов.

Полученные результаты имеют важное практическое применение и позволяют получить воду высокого качества очистки от нефти и взвешенных частиц, что значительно снижает затраты на химические промывки блоков ультрафильтрации и увеличивает срок службы дорогостоящих ультрафильтрационных мембран.

**Ключевые слова:** *попутно добываемая вода (ПДВ), очистка сточных вод, фильтрационный материал, сорбционно-фильтрационная установка*

**Для цитирования:** Гафаров Н.Н., Кудряшова Л.В., Губайдулин Ф.Р., Сахабутдинов Р.З., Кабилова А.Х., Буслаев Е.С., Авзалетдинов А.Г. Результаты исследований по получению воды ультрафильтрованного качества сорбционно-фильтрационным методом // Нефтяная провинция.-2024.-№2(38).-С. 233-241. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2024.2.233-241>. - EDN HJWWJK

**Abstract.** The research is aimed at determination of the potential for production of ultrafiltered quality water during preliminary treatment via sorption-filtration method to optimize the performance of produced water ultrafiltration units at extra-viscous oil fields.

The paper presents the results of field tests and approaches to improve the quality of produced water treatment using granular filter materials.

Research findings are very useful for practical applications and enable production of high-quality water, free of residual oil and suspended solids, to result in substantial reduction of the costs on chemical cleaning of ultrafiltration units and improved service life of expensive ultrafiltration membranes.

**Key words:** *produced water, wastewater treatment, filter material, sorption-filtration unit*

**For citation:** N.N. Gafarov, L.V. Kudryashova, F.R. Gubaidulin, R.Z. Sakhabutdinov, A.Kh. Kabirova, E.S. Buslaev, A.G. Avzaletdinov Rezul'taty issledovaniy po polucheniyu vody ul'trafil'trovannogo kachestva sorbtсионно-fil'tratsionnym metodom [Results of research of ultrafiltered quality water production using sorption-filtration method]. Neftyanaya Provintsiya, No. 2(38), 2024. pp. 233-241. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2024.2.233-241>. EDN HJWWJK (in Russian)

Для производства пара при добыче сверхвязкой нефти в ПАО «Татнефть» используются четыре установки подготовки попутно добываемой воды (УППДВ) «Каменка», «Кармалка» (блоки № 1, 2) и «Абдулово», в состав которых входит блок ультрафильтрационных модулей производства компании «Pentair» (США). Блок ультрафильтрации (УФ) предназначен для удаления из воды эмульгированной нефти до 5,0 мг/дм<sup>3</sup>, взвешенных и коллоидных частиц размером более 0,01 мкм. Технология ультрафильтрации относится к баромембранным методам, где движущей силой является избыточное давление (до 6 бар), под действием которого происходит

фильтрацию жидкости через полупроницаемые полимерные мембраны. Каждая УППДВ производительностью 350 м<sup>3</sup>/час содержит 105 ультрафильтрационных модулей, собранных в 5 параллельно работающих блоков. На рис. 1 приведен внешний вид одного блока ультрафильтрации УППДВ. Для обеспечения высокой эффективности очистки попутно добываемой воды (ПДВ) от эмульгированной нефти, твердых взвешенных частиц (ТВЧ) требуются периодические промывки ультрафильтрационных мембран специальными химическими реагентами. Так, средний межмочный период блоков УФ на УППДВ «Каменка», введенной в эксплуатацию в 2016 г., составляет в настоящее время порядка 290 часов, после чего блоки поочередно выводят на мойку. Причем в начале эксплуатации этот показатель составлял не более 100 часов.



*Рис. 1. Внешний вид блока ультрафильтрации*

Увеличению межмочного периода способствовал, в первую очередь, ввод в эксплуатацию установки предварительной очистки попутно добываемой воды (УПОПДВ) в феврале 2019 г., в основе технологии которой заложено фильтрование ПДВ через гранулированный сорбционно-фильтрационный материал природного происхождения на основе алюмосиликатов, обеспечивающее на выходе концентрацию нефти в воде не более 5 мг/дм<sup>3</sup>, ТВЧ - не более 1 мг/дм<sup>3</sup>. УПОПДВ состоит из четырех параллельных линий, каждая из которых включает в себя два последовательно подключенных

вертикальных фильтра (первой и второй ступени очистки), загруженных фильтровальным материалом. На рис. 2 приведен внешний вид установки.

В фильтрах первой ступени фильтровальная загрузка имеет фракционный состав от 1,7 до 2,5 мм, второй ступени – от 0,7 до 1,7 мм. Направление фильтрования в каждой ступени «сверху-вниз». Фильтроцикл каждой линии фильтров составляет 4 суток, после чего производится регенерация очищенной водой.

Увеличение межмембранного периода УФ мембран также позволяет сохранять ресурс их работы. Срок службы УФ модулей может составлять от 1 до 10 лет в зависимости от условий эксплуатации. Учитывая, что УФ модули на УППДВ «Каменка» в целом эксплуатируются более 6 лет, в ближайшие годы может потребоваться их частичная или полная замена.

В 2022 году в рамках разработки плана по обеспечению непрерывности бизнеса в условиях санкционных мер на рынке РФ не было выявлено отечественных аналогов ультрафильтрационных мембран, которые необходимы для обеспечения работы УППДВ в долгосрочной перспективе.



**Рис. 2 - Установка предварительной очистки попутно добываемой воды (УПОПДВ)**

В сложившейся ситуации является актуальным поиск альтернативных способов очистки воды от нефти и ТВЧ, способных обеспечить качество ультрафильтрованной ПДВ.

На основании стабильно хороших результатов за весь период эксплуатации УПОПДВ «Каменка» по степени очистки и глубине удаления нефти

и ТВЧ, исследования по получению ПДВ ультрафильтрованного качества были продолжены с использованием более мелкой фракции алюмосиликатного сорбционно-фильтрационного материала.

Были проведены испытания в промышленных условиях с использованием существующего оборудования УПОПДВ [1]. В процессе испытаний исследовано влияние уменьшения фракционного состава фильтровального материала с заменой рабочей фракции 1,7-2,5 и 0,7-1,7 мм, загруженной в первую и вторую ступени фильтров на более мелкие гранулы фракцией 0,7-1,7 и 0,5-1,0 мм соответственно, а также апробирована подача коагулянта марки «Аква-Аурат» в поток очищаемой воды, что вызывает слипание частиц загрязнений нефти и ТВЧ между собой, укрупнение их общего размера и, соответственно, лучшее их отделение на поверхности фильтровального материала.

Нормативные, согласно Руководству по эксплуатации УФ [2], и усредненные фактические показатели качества ультрафильтрованной воды, принятые в качестве критерия успешности отработки технологических решений, приведены в табл. 1 и указаны по средним фактическим значениям на блоке УФ УППДВ «Каменка».

Таблица 1

*Показатели качества ультрафильтрованной воды*

Показатели	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>	
	Нефть	ТВЧ
Нормативные	5,0	0,5
Фактические	0-1,0	0-0,2

В результате проведения пилотных испытаний сделаны выводы, что рабочая фракция 0,5-1,0 мм, загруженная во вторую ступень фильтров вместо 0,7-1,7 мм, успешно выполняет функцию полировочной очистки и доводит концентрацию загрязнений в воде в среднем до значений по нефти - 0,2 мг/дм<sup>3</sup>, по ТВЧ - 0 мг/дм<sup>3</sup>, по мутности - 0,2 мг/дм<sup>3</sup>, что вполне

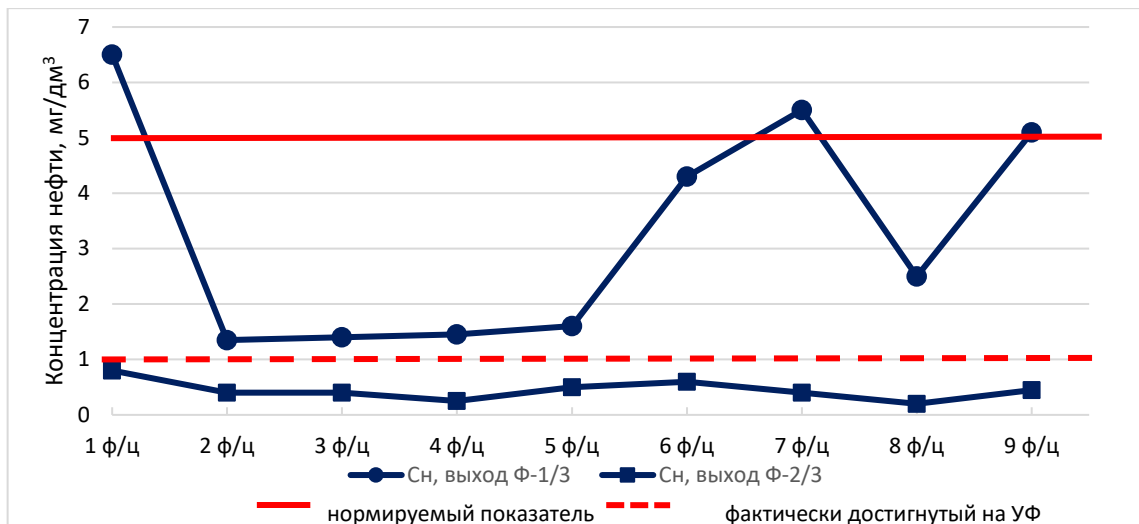
обеспечивает нормативные показатели качества ультрафильтрованной воды, дополнительная подача коагулянта в поток очищаемой воды вызывает формирование укрупненных хлопьев и, соответственно, лучшее удержание загрязнений на поверхности фильтровального материала.

С целью подтверждения полученных результатов пилотных испытаний на УПОПДВ «Каменка» начаты опытно-промышленные испытания с заменой сорбционно-фильтровального материала на одной из линии фильтров (Ф1/3 и Ф2/3). Аналогично пилотным испытаниям загрузки первой и второй ступеней фракцией 1,7-2,5 и 0,7-1,7 мм были заменены на фракции 0,7-1,7 и 0,5-1,0 мм соответственно.

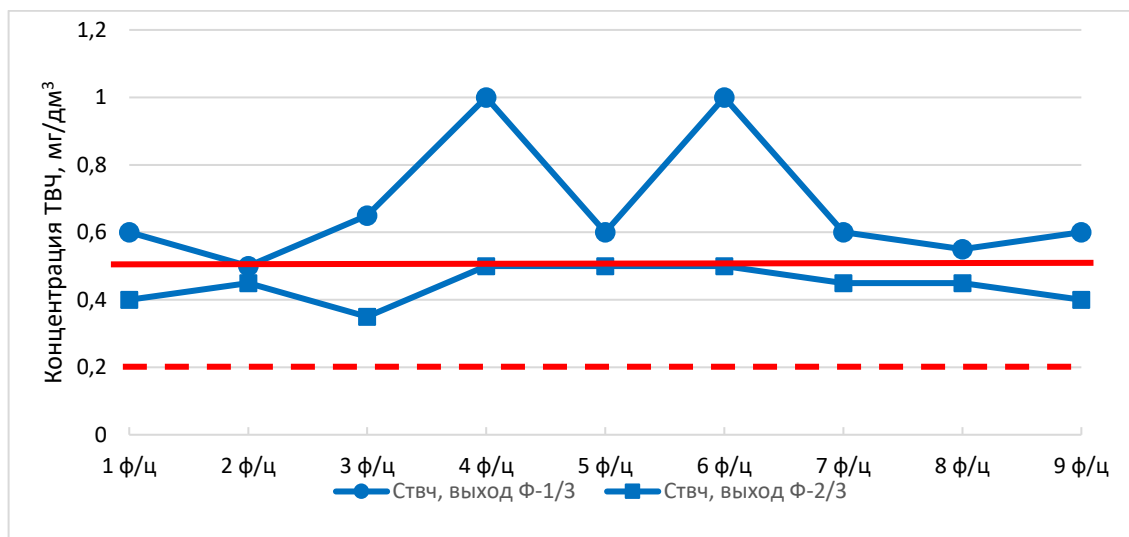
На первом этапе опытно-промышленных испытаний (ОПИ) выполнено 9 циклов фильтрования с межрегенерационным интервалом 4 суток. Регенерация фильтрующего материала выполнялась очищенной водой. Скорость фильтрования при проведении ОПИ была снижена на 10-15% от скорости на базовых фракциях и составляла в среднем  $85 \text{ м}^3/\text{час}$ . Перепад давлений на ступени Ф-1/3 составлял 0,18 атм., на ступени Ф-2/3 – 0,15 атм.

При этом концентрация нефти на входе первого фильтра составляла в среднем  $51,45 \text{ мг}/\text{дм}^3$ , ТВЧ -  $0,82 \text{ мг}/\text{дм}^3$ . На рис. 3 и 4 приведена динамика усредненных концентраций нефти и ТВЧ в очищенной воде с первой Ф-1/3 и второй Ф-2/3 ступеней фильтра, откуда видно, что за 9 фильтроциклов на выходе второй ступени концентрация нефти в ПДВ менялась в среднем от 0,2 до 0,8  $\text{мг}/\text{дм}^3$ , что соответствует фактически достигнутому на блоке УФ показателю качества ультрафильтрованной воды и существенно ниже нормируемого показателя, указанного в руководстве по эксплуатации УФ.

Концентрации ТВЧ в процессе ОПИ менялась от 0,35 до 0,5  $\text{мг}/\text{дм}^3$ , что соответствует нормируемому показателю по УФ.



*Рис. 3. Динамика усредненных концентрации нефти в очищенной воде*



*Рис. 4. Динамика усредненных концентрации ТВЧ в очищенной воде*

В настоящее время ОПИ продолжают, и на следующем этапе будет отработан данный процесс с подачей коагулянта, что позволит повысить качество очистки ПДВ от нефти и ТВЧ, обеспечить стабильность показателей получения воды ультрафильтрованного качества с использованием сорбционно-фильтрационного метода, исключив из схемы подготовки воды дорогостоящий блок ультраfiltrации.

#### Список литературы

1. Результаты пилотных испытаний фильтрационного материала на УПОПДВ «Каменка». Н.Н. Гафаров, Ф.Р. Губайдулин, А.С. Нурутдинов, Е.С. Буслаев, Р.А. Шамсуллин, А.Г. Авзалетдинов/ Сборник научных трудов ТатНИПИнефть / ПАО

- «Татнефть». – Набережные Челны: ООО «Экспозиция Нефть Газ», 2023. – Вып. 91. - С. 249-255.
2. Руководство по эксплуатации ИТКД.043.10.000Р. Установка подготовки попутно добываемой со сверхвязкой нефтью воды. Установка ультрафильтрации ИТ М(У)-125-ТАТН/- ЗАО «Ионообменные технологии», 2016г.-С. 45.
  3. Опыт эксплуатации установок глубокой подготовки попутно добываемой воды для выработки пара на месторождениях сверхвязкой нефти / Р.С. Магсумова, А.С. Нурутдинов, О.Ю. Антонов, Л.В. Кудряшова, Ф.Р. Губайдулин, Е.С. Буслаев // Сборник научных трудов ТатНИПИнефть / ПАО "Татнефть". - М.: Нефтяное хозяйство, 2020. - Вып. 88. - С. 224-228.

### References

1. Results of pilot tests of filtration material at Ka-menka UPOPDV./N.N. Gafarov, F.R. Gubaidulin, A.S. Nurutdinov, E.S. Buslaev, R.A. Sham-sullin, A.G. Avzaletdinov/Collection of scientific works Tat NIPIneft/PJSC Tat-neft. - Naberezhnye Chelny: "Exposition Oil Gas" LLC, 2023. - Issue. 91. - P. 249-255. (in Russian)
2. ИТКД.043.10.000Р Operating Manual. Produced water treatment unit with extra-viscous oil. ИТ М (У) ultrafiltration unit -125-TATN/- Ion Exchange Technologies CJSC, 2016. P. 45. (in Russian)
3. Experience in Operating Deep Produced Water Treatment Units for Steam Generation at Extra-Viscous Oil Fields/R.S. Magsumova, A.S. Nurutdinov, O.Yu. Antonov, L.V. Kudryashova, F.R. Gubaidulin, E.S. Buslaev//Collection of scientific works by Tat-NIPIneft/PJSC TATNEFT. - Moscow: Oil industry, 2020. - Issue. 88. - P. 224-228. (in Russian)

### Сведения об авторах

*Гафаров Нил Назипович*, старший научный сотрудник отдела ИППНГиВ, институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина  
Россия, 423458, Альметьевск, ул. Советская, 186а  
E-mail: GafarovNilN@tatnipi.ru

*Кудряшова Любовь Викторовна*, заведующий лабораторией отдела ИППНГиВ, институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина  
Россия, 423458, Альметьевск, ул. Советская, 186а  
E-mail: kudryashova@tatnipi.ru

*Губайдулин Фаат Равильевич*, начальник отдела ИППНГиВ, институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина  
Россия, 423458, Альметьевск, ул. Советская, 186а  
E-mail: gfr@tatnipi.ru

*Сахабутдинов Рифкат Зиннурович*, главный научный сотрудник отдела ИППНГиВ, институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина  
Россия, 423458, Альметьевск, ул. Советская, 186а  
E-mail: rifkat@tatnipi.ru

*Кабирова Аlesia Хатиповна*, старший научный сотрудник отдела ИСКиУ, институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина  
Россия, 423458, Альметьевск, ул. Советская, 186а



E-mail: [ahkabirova@tatnipi.ru](mailto:ahkabirova@tatnipi.ru)

*Буслаев Евгений Сергеевич*, руководитель НПП «ТН-Гидрохим»  
Россия, 423462, Альметьевск, ул. Тельмана, 88  
E-mail: [BuslaevES@tatneft.tatar](mailto:BuslaevES@tatneft.tatar)

*Авзалетдинов Айдар Габбасович*, начальник отдела ЭОПВ и ХП УПСН СП «Татнефть-Добыча» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина  
Россия, 423450, Альметьевск, ул. Ленина, 75  
E-mail: [avzaletdinov@tatneft.ru](mailto:avzaletdinov@tatneft.ru)

## Authors

*N.N. Gafarov*, Senior Research Associate, Department for Evaluation and Treatment of Oil, Gas, and Water, TatNIPIneft Institute – PJSC TATNEFT  
186a, Sovetskaya Str., Almetьевsk, 423458, Russian Federation  
E-mail: [GafarovNilN@tatnipi.ru](mailto:GafarovNilN@tatnipi.ru)

*L.V. Kudryashova*, Head of Laboratory, Department for Evaluation and Treatment of Oil, Gas, and Water, TatNIPIneft Institute – PJSC TATNEFT  
186a, Sovetskaya Str., Almetьевsk, 423458, Russian Federation  
E-mail: [kudryashova@tatnipi.ru](mailto:kudryashova@tatnipi.ru)

*F.R. Gubaidulin*, Head of Department, Department for Evaluation and Treatment of Oil, Gas, and Water, TatNIPIneft Institute – PJSC TATNEFT  
186a, Sovetskaya Str., Almetьевsk, 423458, Russian Federation  
E-mail: [gfr@tatnipi.ru](mailto:gfr@tatnipi.ru)

*R.Z. Sakhabutdinov*, Senior Research Associate, Department for Evaluation and Treatment of Oil, Gas, and Water, TatNIPIneft Institute – PJSC TATNEFT  
186a, Sovetskaya Str., Almetьевsk, 423458, Russian Federation  
E-mail: [rifkat@tatnipi.ru](mailto:rifkat@tatnipi.ru)

*A.Kh. Kabirova*, Senior Research Associate, Formation Evaluation and Well Test Department, TatNIPIneft Institute – PJSC TATNEFT  
186a, Sovetskaya Str., Almetьевsk, 423458, Russian Federation  
E-mail: [ahkabirova@tatnipi.ru](mailto:ahkabirova@tatnipi.ru)

*E.S. Buslaev*, Head of TN-Hydrochim  
88, Telman Str., Almetьевsk, 423462, Russian Federation  
E-mail: [BuslaevES@tatneft.tatar](mailto:BuslaevES@tatneft.tatar)

*A.G. Avzaletdinov*, Head of Department, JV Tatneft-Dobycha – PJSC TATNEFT  
75, Lenina Str., Almetьевsk, 423450, Russian Federation  
E-mail: [avzaletdinov@tatneft.ru](mailto:avzaletdinov@tatneft.ru)

*Статья поступила в редакцию 04.05.2024*  
*Принята к публикации 19.06.2024*  
*Опубликована 30.06.2024*