

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2025.3.224-232>

EDN MKLDMP

УДК 628.32

Результаты промысловых испытаний гидроциклонной установки по очистке сточной воды

¹Гафаров Н.Н., ¹Кудряшова Л.В., ¹Губайдулин Ф.Р.,

¹Нурутдинов А.С., Гадиев И.И., ¹Сахапов Н.М.,

²Авзалетдинов А.Г., ²Трубкин С.А., ³Мингазов И.И.

¹Институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина,
Альметьевск, Россия

²СП «Татнефть-Добыча» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина, Альметьевск, Россия

³ООО «Руснефтемаш», Самара, Россия

Results of field tests of a hydrocyclone wastewater treatment plant

¹N.N. Gafarov, ¹L.V. Kudryashova, ¹F.R. Gubajdulin, ¹A.S. Nurutdinov,

¹I.I. Gadiev, ¹N.M. Sahapov, ²A.G. Avzaletdinov, ²S.A. Trubkin, ³I.I. Mingazov

¹TatNIPIneft Institute - PJSC TATNEFT, Almeteyevsk, Russia

²JV Tatneft-Dobycha - PJSC TATNEFT, Almeteyevsk, Russia

³LTD Rusneftemash, Samara, Russia

E-mail: iskandarus@bk.ru

Аннотация. В современных условиях актуальность поиска альтернативных технологий и оборудования для очистки попутно добываемых вод (ПДВ) значительно возрастает. Традиционные методы, такие как гравитационный отстой, не всегда обеспечивают необходимую степень очистки воды от нефти, что требует внедрения более эффективных решений. Одним из перспективных направлений в этой области является использование гидроциклонных установок, принцип работы которых основан на разделении компонентов жидкости за счет центробежной силы, возникающей внутри установки. Целью данного исследования является определение возможности применения гидроциклонной установки разработки компании ООО «Руснефтемаш» для очистки попутно добываемой воды и оценка её эффективности в условиях промыслового объекта. В статье представлены результаты опытно-промышленных испытаний, которые демонстрируют

возможности значительного снижения концентрации нефти. Полученные данные имеют практическую ценность и могут быть использованы в системах водоподготовки на нефтедобывающих предприятиях.

Ключевые слова: технология очистки воды, попутно добываемая вода (ПДВ), концентрация нефти, гидроциклонная установка, центробежная сила

Для цитирования: Гафаров Н.Н., Кудряшова Л.В., Губайдулин Ф.Р., Нурутдинов А.С., Гадиев И.И., Сахапов Н.М., Авзалетдинов А.Г., Трубкин С.А., Мингазов И.И. Результаты промысловых испытаний гидроциклонной установки по очистке сточной воды // Нефтяная провинция.-2025.-№3(43).- С. 224-232. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2025.3.224-232>. - EDN MKLDMP

Abstract. In modern conditions, the relevance of searching for alternative technologies and equipment for treatment of produced water (APW) is significantly increasing. Traditional methods, such as gravity settling, do not always provide the necessary degree of purification, which requires the introduction of more effective solutions. One of the promising directions in this area is the use of hydrocyclone plants, the principle of operation of which is based on the separation of liquid components due to the centrifugal force arising inside the plant. The purpose of this study is to determine the possibility of using a hydrocyclone unit for purification of produced water and to assess its effectiveness in the conditions of the field facility. The article presents the results of pilot tests, which demonstrate the possibility of significant reduction of oil concentration. The obtained data have practical value and can be used in water treatment systems at oil producing enterprises.

Key words: water treatment technology, produced water, oil concentration, hydrocyclone unit, centrifugal force

For citation: N.N. Gafarov., L.V. Kudryashova., F.R. Gubajdulin, A.S. Nurutdinov, I.I. Gadiev, N.M. Sahapov, A.G. Avzaletdinov, S.A. Trubkin, I.I. Mingazov Rezultaty promyslovyh ispytaniy gidrociklonnoj ustanovki po ochistke stochnoj vody [Results of field tests of a hydrocyclone wastewater treatment plant]. Neftyanaya Provintsiya, No. 3(43), 2025. pp. 224-232. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2025.3.224-232>. EDN MKLDMP (in Russian)

Очистка пластовых и сточных вод от нефтепродуктов являются одной из важных задач для нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей и других отраслей промышленности. В настоящее время на традиционных месторождениях нефти при подготовке сточной воды для системы поддержания пластового давления (ППД), в основном, применяются классические гравитационные методы очистки воды от нефти и твердых взвешенных частиц (ТВЧ) с использованием горизонтальных отстойников (ОГ) или от-

стойников с жидкостным гидрофобным фильтром (ОЖГФ), а также вертикальных резервуаров (РВС). Технология гравитационного отстаивания обладает как преимуществами, так и недостатками. Основные преимущества гравитационных отстойников: высокая эффективность при относительно простой конструкции и эксплуатации; высокая износостойкость; возможность использования в аварийных ситуациях для накопления жидкости. Среди недостатков можно отметить: сравнительно большую металлоемкость; снижение эффективности при изменении физико-химических свойств жидкости; значительные площади, отводимые под очистные сооружения при обустройстве.

В этой ситуации становится актуальным поиск альтернативных технологий, позволяющих добиться высокой степени очистки пластовых и сточных вод при относительно малых затратах. Одним из таких решений является применение гидроциклонов. Принцип работы гидроциклона основывается на разделении двух несмешивающихся жидкостей различной плотностью за счет возникновения центробежных сил при высоких угловых скоростях потока [1]. Применение гидроциклона имеет ряд преимуществ:

- высокая степень очистки по сравнению с отстойниками;
- малые размеры аппарата и относительно низкая металлоемкость;
- сокращение занимаемой площади объектов водоподготовки.

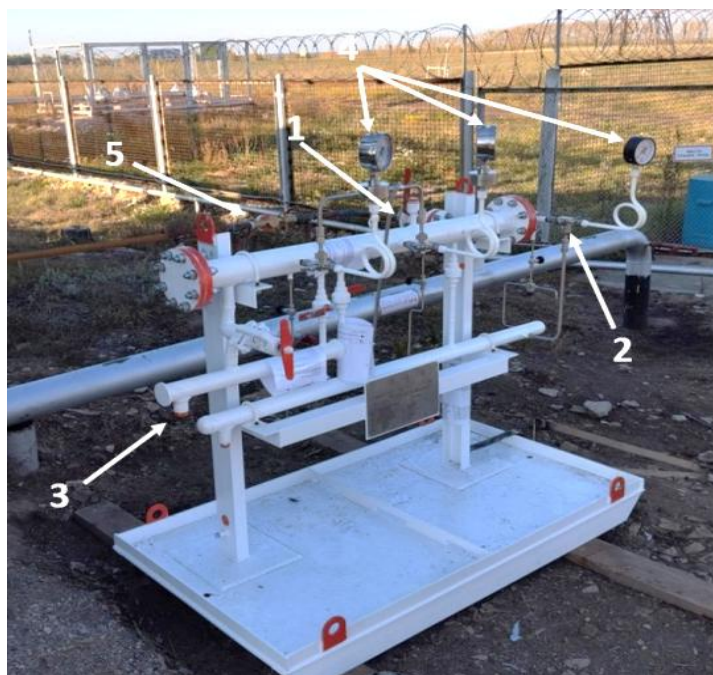
Для определения возможности повышения степени очистки сточных вод, закачиваемых для целей ППД, до норм СТО 00136352-001-2024 [2] в условиях дожимной насосной станции (ДНС) проведены опытно-промышленные испытания (ОПИ) гидроциклона производства компании ООО «Руснефтемаш». Гидроциклон имеет тангенциально расположенный входной патрубок, переходящий в трубку в форме конуса, а также два выхода: на одной стороне для отвода очищенной воды, на другой – для отвода уловленной нефти. Эффективность разделения нефти и воды обеспечивается за счет центробежной силы, возникающей в результате вращательного движения

жидкости по спирали внутри корпуса гидроциклонного элемента.

Цели проведения испытаний гидроциклонной установки производства компании ООО «Руснефтемаш»:

- определение возможности применения гидроциклонной технологии очистки попутно добываемой воды;
- определение эффективности очистки попутно добываемой воды при использовании гидроциклонной установки;
- обеспечение снижения концентрации нефти в воде на выходе гидроциклонной установки менее 60 мг/дм^3 при исходной концентрации до 150 мг/дм^3 ;
- определение технологических параметров эксплуатации гидроциклонной установки в промышленных условиях на объекте водоподготовки, при котором качество очистки воды не превышает нормативных значений СТО 00136352-001-2024.

Внешний вид стендовой гидроциклонной установки представлен на рис. 1.



1 – вход ПДВ; 2 – выход нефти; 3 – выход очищенной ПДВ;
4 – манометры; 5 – счетчик жидкости

Рис. 1. Стендовая гидроциклонная установка

Стендовая гидроциклонная установка была подключена к отводящему трубопроводу, по которому транспортируется подготовленная ПДВ в систему ППД. Вода, подаваемая в гидроциклон, поступала после отстойников с концентрацией нефти до 150 мг/м^3 . При проведении испытаний расход ПДВ на входе установки находился в интервале от 2,0 до $3,1 \text{ м}^3/\text{ч}$ (в среднем $2,6 \text{ м}^3/\text{ч}$). Отбор проб воды для исследования концентрации нефти производился на входе и выходе установки.

Весь период опытно-промышленных испытаний условно разделен на 4 этапа. ОПИ проводились в 30 режимах работы установки. Режим работы установки определялся давлением воды на входе в установку, выходе из него, а также объемной долей нефти на выходе из гидроциклона.

Сводные результаты испытаний гидроциклона показаны на рис. 2.

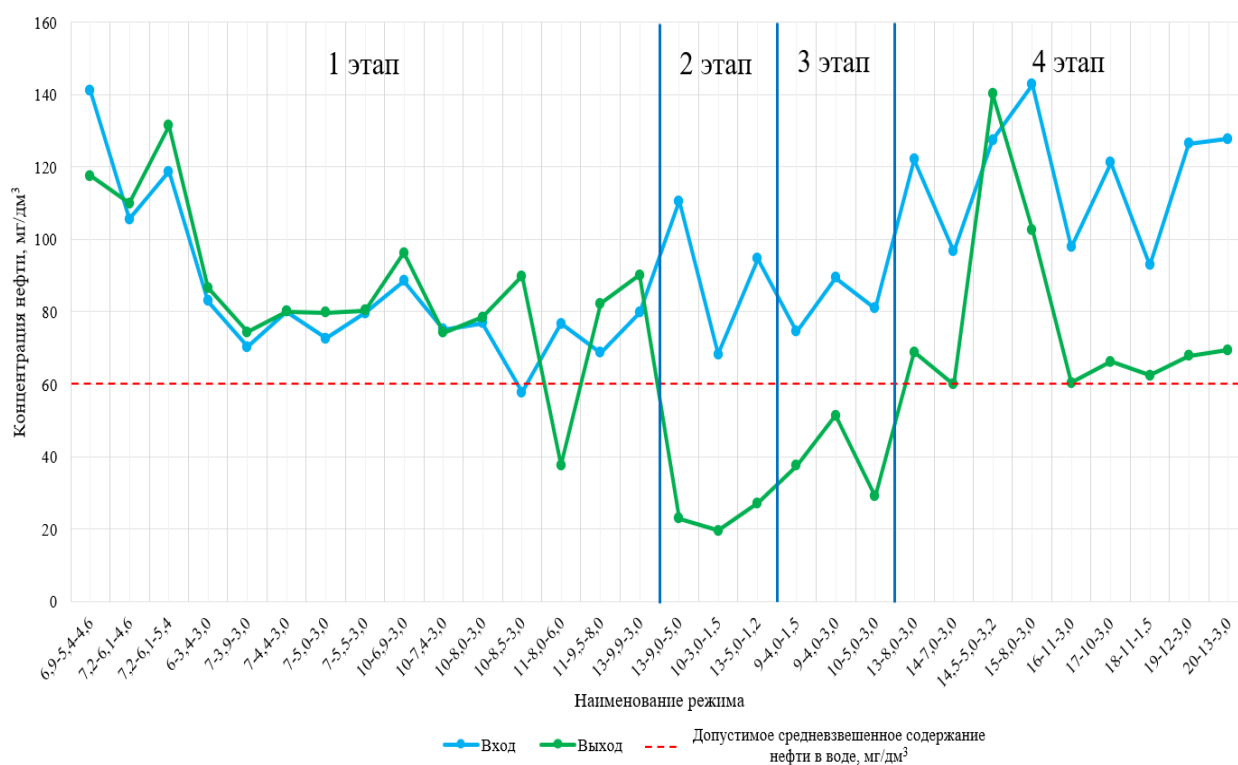


Рис. 2. Концентрация нефти в воде на входе и выходе гидроциклонной установки

Внешний вид отобранных проб на входе и выходе гидроциклона показан на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид проб

(слева-направо: исходная вода, вода после очистки, уловленная нефть)

По результатам опытно-промышленных испытаний было выявлено:

1. Перепад давления на входе и выходе гидроциклонной установки варьировался от 0,11 до 0,93 МПа, в среднем 0,42 МПа.
2. Положительные результаты по очистке ПДВ от нефти получены во 2 и 3 этапах (Рис. 2). На входе в гидроциклонную установку концентрация нефти находилась в интервале от 57,7 до 142,7 мг/дм³ (в среднем 94,9 мг/дм³), на выходе – от 19,6 до 51,4 мг/дм³ (в среднем 31,3 мг/дм³), при перепаде давления на входе и выходе установки 0,5-0,7 МПа. Средняя эффективность очистки от нефти во 2-3 этапах составила 63,8 %.
3. Наибольшая степень очистки исходной воды наблюдалась во втором этапе в режиме № 13-9,0-5,0 и составила 79,2 % (снижение концентрации нефти от 110,5 до 23,0 мг/дм³).
4. Эффективность очистки воды от нефти во 2 и 3 этапах ОПИ (в среднем 31,3 мг/дм³) соответствует требованиям СТО 00136352-001-2024 (допустимая средневзвешенная концентрация нефти в воде – не более 60 мг/дм³). При этом эффективная очистка воды отмечена при перепаде давления на входе и выходе гидроциклонной установки не менее 0,5 МПа.

С учетом подбора определенных режимов работы и обеспечения необходимого перепада давления использование гидроциклонной установки для очистки попутно добываемой воды на объектах водоподготовки позволит:

- снизить концентрацию остаточной нефти в воде до норм СТО 00136352-001-2024;
- сократить металлоемкость очистных сооружений за счет меньших габаритов гидроциклонных аппаратов.

Список литературы

1. Башаров, М. М. Устройство и расчет гидроциклонов: учебное пособие / М. М. Башаров, О. А. Сергеева. – Казань: Вестфалика, 2012 – 92 с. – (Университеты России). – Текст: непосредственный.
2. 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.

References

1. Basharov M.M., Sergeeva O.A. Ustroystvo i raschet gidrotsiklonov: uchebnoe posobie [Design and calculation of hydrocyclones: textbook]. Kazan: Vestfalika, 2012. 92 p. (Universities of Russia). (in Russian)
2. 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 [Waters 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)

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

Кудряшова Любовь Викторовна, заведующий лабораторией,
Институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина
Россия, 423462, Альметьевск, ул. Советская, 186а
E-mail: kudryashova@tatnipi.ru

Губайдулин Фаат Равильевич, кандидат технических наук, начальник отдела,
Институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина
Россия, 423462, Альметьевск, ул. Советская, 186а
E-mail: gfr@tatnipi.ru

Нурутдинов Альберт Салимович, старший научный сотрудник,
Институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина
Россия, 423462, Альметьевск, ул. Советская, 186а
E-mail: nurutdinov@tatnipi.ru

Гадиев Искандар Ильсурович, инженер 2 категории,
Институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина
Россия, 423462, Альметьевск, ул. Советская, 186а
E-mail: GadievIskandarI@tatnipi.ru

Саханов Насим Магсумович, ведущий инженер,
Институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина
Россия, 423462, Альметьевск, ул. Советская, 186а
E-mail: Sakhapov.N.M@tatnipi.ru

Авзалетдинов Айдар Габбасович, начальник отдела,
СП «Татнефть-Добыча» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина
Россия, 423450, Альметьевск, ул. Ленина, 75
E-mail: avzaletdinov@tatneft.ru

Трубкин Сергей Анатольевич, заместитель начальника отдела,
СП «Татнефть-Добыча» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина
Россия, 423450, Альметьевск, ул. Ленина, 75
E-mail: TrubkinSA@tatneft.tatar

Мингазов Ильдар Исмагилович, технический директор, ООО «Руснефтемаш»
Россия, 443030, Самара, ул. Урицкого, 19
E-mail: mii@rusnm.ru

Authors

N.N. Gafarov, senior researcher, TatNIPIneft Institute – PJSC TATNEFT
186a, Sovetskaya Str., Almetьевsk, 423462, Russian Federation
E-mail: GafarovNilN@tatnipi.ru

L.V. Kudryashova, head of laboratory, TatNIPIneft Institute – PJSC TATNEFT
186a, Sovetskaya Str., Almetьевsk, 423462, Russian Federation
E-mail: kudryashova@tatnipi.ru

F.R. Gubaidulin, PhD, head of department, TatNIPIneft Institute – PJSC TATNEFT
186a, Sovetskaya Str., Almetьевsk, 423462, Russian Federation
E-mail: gfr@tatnipi.ru

A.S. Nurutdinov, senior researcher, TatNIPIneft Institute – PJSC TATNEFT
186a, Sovetskaya Str., Almetьевsk, 423462, Russian Federation
E-mail: nurutdinov@tatnipi.ru

I.I. Gadiev, category 2 engineer, TatNIPIneft Institute – PJSC TATNEFT
186a, Sovetskaya Str., Almetьевsk, 423462, Russian Federation
E-mail: GadievIskandarI@tatnipi.ru

N.M. Sakhapov, lead engineer, TatNIPIneft Institute – PJSC TATNEFT
186a, Sovetskaya Str., Almetьевsk, 423462, Russian Federation
E-mail: Sakhapov.N.M@tatnipi.ru

A.G. Avzaletdinov, head of department, JV Tatneft-Dobycha - PJSC TATNEFT
75, Lenina Str., Almetьевsk, 423450, Russian Federation
E-mail: avzaletdinov@tatneft.ru

S.A. Trubkin, deputy head of department, JV Tatneft-Dobycha - PJSC TATNEFT
75, Lenina Str., Almetьевsk, 423450, Russian Federation
E-mail: TrubkinSA@tatneft.tatar

I.I. Mingazov, technical director, LLC Rusneftemash
19, Uritskogo Str., Samara, 443030, Russian Federation
E-mail: mii@rusnm.ru

Статья поступила в редакцию 26.05.2025
Принята к публикации 16.09.2025
Опубликована 30.09.2025