

УДК 665.662

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Е.Е. Ергожин**, **А.А. Цхай**, **Т.К. Чалов**, **Т.В. Ковригина**, **Е.А. Мельников**

*Актуальность данной работы вызвана необходимостью сокращения использованных объемов воды на предприятиях и возвращением их в начало технологического процесса. В этой связи целью исследования явилось повышение качества оборотного водоснабжения нефтехимических и нефтеперерабатывающих заводов, в частности, ТОО «Атырауский нефтеперерабатывающий завод». В статье приведены данные по очистке продувочной воды методом обратного осмоса. Изготовлена пилотная обратноосмотическая установка производительностью 600 л/ч, разработаны технологическая схема очистки до норм, отвечающих требованиям подпиточной воды, и техническое задание на проектирование промышленных систем оборотного водоснабжения, предоставлены соответствующие рекомендации.*

*Ключевые слова: пилотная обратноосмотическая установка, производительность, степень очистки, нефтепродукты, общее солесодержание, жесткость воды, технологическая схема, пермеат, концентрат.*

### Введение

Согласно концепции устойчивого развития общества [1], одним из основных направлений научно-технического прогресса является внедрение ресурсосберегающих технологий. Наиболее насущным аспектом в этой связи представляется проблема экономии водных ресурсов, широко используемых в промышленности, в частности, нефтеперерабатывающей отрасли [2, 3]. Одной из основных мер рационального использования имеющихся водных ресурсов и сохранения их от загрязнений промышленными сточными водами является оборотное водоснабжение предприятий, предполагающее повторное применение очищенных сточных вод [4].

В промышленном водопотреблении одной из главных проблем является сокращение объема водопользования и сброса сточных вод. Важнейшим условием для функционирования ряда предприятий и промышленных комплексов является наличие замкнутых циклов водопользования, так называемых оборотных систем водопотребления. Данные мероприятия направлены на снижение нагрузки на общегородские очистные сооружения, минимизацию антропогенного воздействия на окружающую среду и, в целом, на повышение устойчивости экологического равновесия природных экосистем урбанизированных территорий. Известно, что наиболее опасными загрязняющими веществами для окружающей среды являются нефте-

продукты и их производные [5]. Как правило, данный комплекс загрязнителей присутствует в сточных водах промышленных объектов по производству синтетических красителей, гербицидов, нефтеперерабатывающих заводов, а также автомоечных станций. К основным проблемам низкой эффективности очистки сточной воды относится неправильный подбор локального очистного оборудования и технологической схемы очистки в целом [6]. При проектировании или монтаже готовой очистной системы необходимо учитывать не только производительность станции, но и изменяющиеся качественные и количественные показатели загрязненности стока.

Оборотные и замкнутые системы промышленного водоснабжения тесно связаны с повышением эффективности очистки сточных вод, снижением ее себестоимости и интенсификацией методов извлечения загрязняющих веществ.

Предлагаемые современные технические решения должны отвечать ряду требований, а именно: быть энергоресурсосберегающими, экологически безопасными, экономичными целесообразными и вместе с тем высокоэффективными [7, 8].

Целью данной работы является проведение испытаний пилотной обратноосмотической установки на продувочной воде ТОО «Атырауский нефтеперерабатывающий завод» (далее – ТОО «АНПЗ»).

### Результаты и обсуждение

В ходе проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ разработаны методы и технологическая схема очистки продувочных вод ТОО «АНПЗ». На рис. 1 представлена предлагаемая для испытаний технологическая схема очистки продувочной сточной воды системы оборотного водоснабжения. Схема очистки следующая: сточная вода поступает в исходную ёмкость, из которой насосом подается на фильтр предварительной грубой очистки с рейтингом филь-

трации 55 мкм, затем на фильтр сорбционный очистки для удаления нефтепродуктов и других органических соединений, далее на фильтр тонкой очистки (5 мкм). После предварительной очистки вода поступает на обратноосмотическую установку для обессоливания. Перед фильтрами и после фильтров установлены манометры, после каждого этапа очистки – пробоотборник. Расход пермеата (очищенной воды) и концентрата (рассола) контролируется по расходомерам.

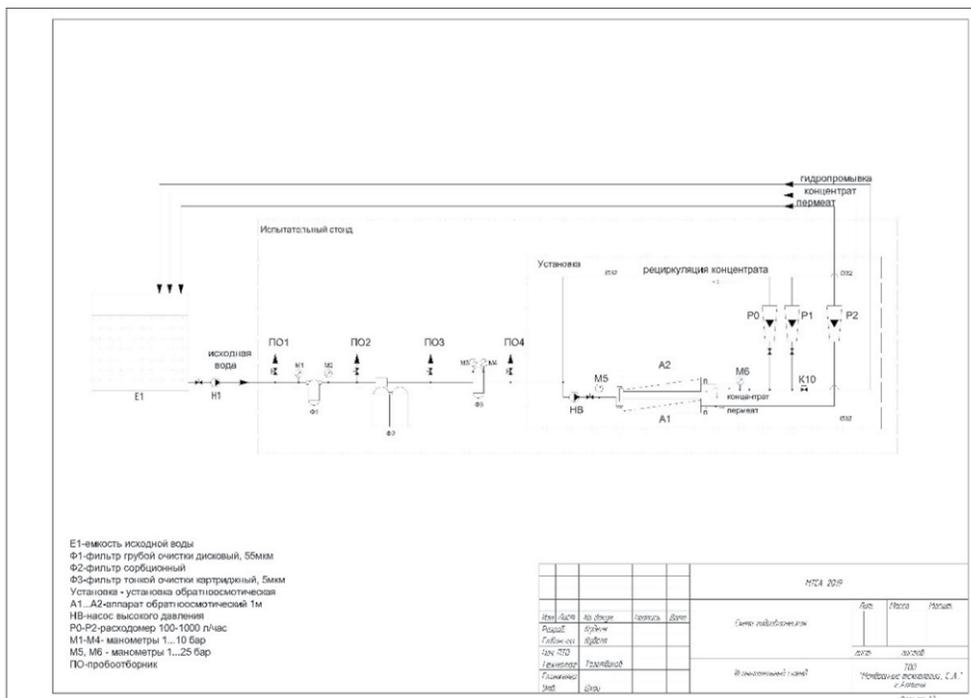


Рисунок 1. Предлагаемая технологическая схема очистки продувочной сточной воды системы оборотного водоснабжения ТОО «АНПЗ»

Изготовлена пилотная обратноосмотическая установка для очистки продувочных сточных вод систем оборотного водоснабжения производительностью 600 л/ч [9]. Согласно технологической схеме, исходная вода поступает в накопительную ёмкость, откуда подается на обратноосмотическую установку. Испытательный стенд работает по замкнутой схеме, т.е. пермеат и концентрат возвращаются в исходную

ёмкость. Контролируемые параметры испытательного стенда: производительность по пермеату, концентрату, рециркуляционной линии, перепад давления на каждом тракте, общее солесодержание (далее – TDS (total dissolved solids) в водяном паровом конденсате до очистки, в пермеате и концентрате проверяются 3 раза в день. На рис. 2 представлены этапы сборки испытательного стенда.



Рисунок 2. Этапы сборки испытательного стенда

Общий вид изготовленной пилотной обратноосмотической установки представлен на рис. 3.



Установка - установка обратноосмотическая  
A1...A2-аппарат обратноосмотический 1м  
HB-насос высокого давления  
P0-P2-расходомер 100-1000 л/час  
M5,M6- манометры показывающие 1...25 бар

Рисунок 3. Общий вид пилотной обратноосмотической установки производительностью 600 л/ч

На доставленной с ТОО «АНПЗ» производочной воде проведены испытания изго-

товленной пилотной установки. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты проведенных на обратноосмотической установке испытаний

Дата	ΔР <sub>вх.</sub> бар	ΔР <sub>вых.</sub> бар	TDS, мг/л			Т, °С			рН		
			исх.	перм.	конц.	исх.	перм.	конц.	исх.	перм.	конц.
5.09.19	6,4	6,4	1495,9	511,4	6487,1	20	20	20	8,37	7,86	8,98
6.09.19	6,4	6,4	1495,9	511,1	6486,2	20	21	21	8,37	7,89	8,96
9.09.19	6,4	6,4	1495,9	510,8	6487,3	21	21	21	8,37	7,88	8,94
10.09.19	6,5	6,4	1495,9	512,1	6487,6	19	19	19	8,37	7,87	8,98
11.09.19	6,5	6,4	1495,9	510,8	6487,2	21	22	22	8,37	7,86	8,96
12.09.19	6,4	6,3	1495,9	512,2	6487,0	20	20	20	8,37	7,86	8,96
13.09.19	6,4	6,4	1495,9	511,3	6487,2	19	20	20	8,37	7,89	8,96
16.09.19	6,5	6,4	1495,9	510,8	6487,6	20	21	21	8,37	7,86	8,94
17.09.19	6,4	6,4	1495,9	511,4	6487,5	19	19	19	8,37	7,85	8,97
18.09.19	6,5	6,4	1495,9	510,8	6487,6	20	21	21	8,37	7,87	8,96
20.09.19	6,4	6,4	1495,9	511,0	6487,6	20	20	20	8,37	7,88	8,96
23.09.19	6,5	6,4	1495,9	510,9	6487,6	20	21	21	8,37	7,86	8,94
24.09.19	6,5	6,4	1495,9	500,9	6496,9	20	21	21	8,37	7,85	8,92
25.09.19	6,4	6,4	1495,9	471,1	6496,2	20	21	21	8,37	7,89	8,96
26.09.19	6,5	6,4	1495,9	310,8	6587,2	22	22	22	8,37	7,85	8,95
27.09.19	6,5	6,4	1495,9	242,1	6687,6	19	19	19	8,37	7,87	8,98
30.09.19	6,5	6,4	1495,9	171,0	6687,3	21	22	22	8,37	7,85	8,98
1.10.19	6,4	6,3	1495,9	162,2	6687,0	20	20	20	8,37	7,86	8,96
2.10.19	6,5	6,4	1495,9	140,9	6688,1	18	18	18	8,37	7,88	8,96
4.10.19	6,4	6,4	1495,9	61,4	6787,5	19	19	19	8,37	7,85	8,97
7.10.19	6,5	6,5	1495,9	51,1	6787,8	19	19	19	8,37	7,86	8,96
8.10.19	6,4	6,4	1495,9	33,2	6787,8	21	22	22	8,37	7,86	8,96
9.10.19	6,5	6,4	1495,9	19,9	6787,6	20	21	21	8,37	7,86	8,94
10.10.19	6,4	6,4	1495,9	12,7	6787,3	21	22	22	8,37	7,87	8,94
11.10.19	6,4	6,4	1495,9	10,1	6786,2	20	21	21	8,37	7,89	8,96
14.10.19	6,4	6,4	1495,9	8,8	6887,3	21	21	21	8,37	7,88	8,94
15.10.19	6,5	6,4	1495,9	8,3	6887,6	19	19	19	8,37	7,87	8,98
16.10.19	6,5	6,4	1495,9	8,8	6887,3	21	22	22	8,37	7,85	8,98
17.10.19	6,5	6,4	1495,9	8,9	6888,3	20	21	21	8,37	7,88	8,95
18.10.19	6,5	6,4	1495,9	8,9	6888,1	18	18	18	8,37	7,88	8,96
21.10.19	6,4	6,3	1495,9	8,3	6886,9	20	21	21	8,37	7,86	8,96
22.10.19	6,4	6,4	1495,9	8,4	6887,5	19	19	19	8,37	7,85	8,97
23.10.19	6,5	6,5	1495,9	9,1	6887,8	19	19	19	8,37	7,86	8,96
24.10.19	6,4	6,4	1495,9	9,0	6887,5	20	20	20	8,37	7,88	8,96
25.10.19	6,5	6,4	1495,9	8,9	6887,6	20	21	21	8,37	7,86	8,94
28.10.19	6,4	6,4	1495,9	8,7	6887,3	21	22	22	8,37	7,87	8,94
29.10.19	6,5	6,4	1495,9	9,3	6888,1	20	21	21	8,37	7,86	8,97
30.10.19	6,5	6,4	1495,9	8,8	6887,2	22	22	22	8,37	7,85	8,95
31.10.19	6,5	6,5	1495,9	8,6	6885,8	21	22	22	8,37	7,86	8,95
1.11.19	6,5	6,4	1495,9	9,0	6887,3	21	22	22	8,37	7,85	8,98
4.11.19	6,5	6,4	1495,9	9,1	6888,3	20	21	21	8,37	7,88	8,95
5.11.19	6,4	6,4	1495,9	9,3	6887,2	19	20	20	8,37	7,89	8,96
6.11.19	6,5	6,5	1495,9	9,0	6888,1	20	20	20	8,37	7,85	8,95
7.11.19	6,4	6,4	1495,9	9,4	6887,5	19	19	19	8,37	7,85	8,97
8.11.19	6,5	6,5	1495,9	9,1	6887,8	19	19	19	8,37	7,86	8,96
11.11.19	6,4	6,4	1495,9	9,2	6887,8	21	22	22	8,37	7,86	8,96
12.11.19	6,5	6,4	1495,9	8,9	6887,9	20	21	21	8,37	7,86	8,94

Примечание: Q<sub>перм.</sub> – 0,5 м³/ч, Q<sub>конц.</sub> – 0,1 м³/ч, Q<sub>рец.</sub> – 0,35 м³/ч

Испытания проводились в период с 5 по 12 ноября 2019 г. В ходе долгосрочных испытаний на экспериментальной установке был подобран оптимальный режим опреснения и объема потока воды в рециркуляционном тракте обратноосмотической установки, который составил 0,35 м<sup>3</sup>/ч.

#### **Описание режима по расходам воды на экспериментальных установках**

На вход в линию насоса высокого давления обратноосмотической установки подавался поток воды с производительностью 0,6 м<sup>3</sup>/ч, выход по пермеату составлял 0,5 м<sup>3</sup>/ч, сброс в концентратный тракт – 0,45 м<sup>3</sup>/ч, из которых 0,35 м<sup>3</sup>/ч по рециркуляционному тракту подавался обратно на вход в насос высокого давления. Таким образом, сброс концентрата составлял 0,1 м<sup>3</sup>/ч.

Следует отметить, что pH исходной воды составлял 8,37, после опреснения воды происходил сдвиг pH в менее щелочную среду (пермеат) и в более щелочную среду на концентратном тракте, что связано с уменьшением и, соответственно, увеличением гидрокарбонат-ионов в пермеате и концентрате.

Установлено, что общее солесодержание в исходной воде составляло 1637,2 мг/л, а в пермеате оно снизилось до 8,9 мг/л. Максимальный pH исходной пробы составил 8,37, а в пермеате он снизился до 6,42.

На основании проведенных испытаний разработаны техническое задание и техническая документация. Технические характеристики: производительность – 0,6 м<sup>3</sup>/ч, сбросы рассола 0,1 м<sup>3</sup>/ч, рабочее давление 6,5–7,0 бар (в зависимости от температуры раствора, периода времени), напряжение – 380 В.

Данная технология разработана на основании представленных результатов анализа проб воды. Если состав воды изменится (увеличение нефтепродуктов, взвешенных веществ, химическое потре-

бление кислорода, минерализация), то схема может измениться, установка может быть дополнена блоком предочистки и с целью сокращения реагентов (ингибитора снижения солей жесткости) может использоваться прибор электромагнитной обработки.

Для получения положительного результата при создании или реконструкции установки водоподготовки необходимы:

- максимальная минимизация капитальных затрат;
- учет эксплуатационных затрат;
- экономия производственных площадей;
- внимание к экологическому фактору;
- стремление к снижению потребления и складирования химических реагентов;
- переход к полной автоматизации процессов;
- максимальная унификация оборудования;
- учет местных особенностей объекта и квалификации персонала.

Таким образом, для ТОО «АНПЗ» рекомендуется применение технологии обратного осмоса, что позволит существенно уменьшить сброс концентрата (до 10%) и значительно сократить расходы по применению ингибитора отложения минеральных солей, тем самым снизив расходы на реагенты.

#### **Выводы**

Разработана высокоэффективная технология очистки продувочной воды ТОО «АНПЗ», основанная на методе обратного осмоса. Установлено, что применение данной технологии позволяет минимизировать сброс воды до 10%. При этом достигается высокое опреснение воды до норм, отвечающим требованиям подпиточной воды. Разработаны соответствующие рекомендации для улучшения качества оборотного водоснабжения данного предприятия.

#### **Список использованной литературы**

1. Пустохина Н.Г., Валиев В.Н. Концепция устойчивого развития: основные положения. – Известия Уральского государственного горного университета, 2015, №2(38), с. 37–41.
2. Воробьев И.В., Кувшинников И.М. Физико-химические и технологические основы глубокой очистки природной воды и промышленных стоков от примесей нефтепродуктов

и других органических соединений. – Энергосбережение и водоподготовка, 2013, №1, с. 2–6.

3. Ергожин Е.Е., Чалов Т.К., Мельников Е.А. Состояние и перспективы мировой нефтеперерабатывающей промышленности. – Алматы, Изд. «ИП «Бекетаева», 2019, 562 с.

4. Баландина А.Г., Хангильдин Р.И., Ибрагимов И.Г., Мартяшева В.А. Развитие мембранных технологий и возможность их применения для очистки сточных вод предприятий химии и нефтехимии. – Нефтегазовое дело, 2015, №5, с. 336–375.

5. Некрасова А.А., Привалов Д.М., Попова О.С., Привалова Н.М., Двадненко М.В. Воздействие нефти и нефтепродуктов на окружающую среду. – Научный журнал КубГАУ, 2017, №125(01), с. 1–10.

6. Дубровская О.Г., Евстигнеев В.В., Кулагин В.А. Проблемы очистки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты в оборотных системах замкнутых циклов водопользования, и пути их решения. – Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Техника и технологии», 2013, т. 6, вып. 6, с. 680–688.

7. Юрчевский Е.Б., Первов А.Г., Пичугина М.А. Очистка воды от органических загрязнений с использованием мембранных технологий водоподготовки. – Энергосбережение и водоподготовка, 2016, №5, с. 32–45.

8. Ергожин Е.Е., Чалов Т.К., ХакиMBOLАТОВА К.Х. Мембраны и мембранные технологии. – Алматы, Изд. «ИП «Бекетаева», 2017, 260 с.

9. Ташлыков Е.И., Заболоцкий В.И., Горбунов М.В., Цхай А.А., Каминский Ю.Н., Шубин Д.А. Гибридная бароэлектромембранная установка для получения сверхчистой воды. – Российская конф.-школа с межд. участием «Ионный перенос в органических и неорганических мембранах», Краснодар, 2006, с. 146–148.

## МҰНАЙ ӨҢДЕУ КӘСІПОРЫНДАРЫН АЙНАЛМАЛЫ СУМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ САПАСЫН АРТТЫРУ

**Е.Е. Ергожин, А.А. Цхай, Т.К. Чалов, Т.В. Ковригина, Е.А. Мельников**

*Бұл жұмыстың өзектілігі кәсіпорындарда пайдаланылатын су көлемін қысқарту қажеттілігінен туындаған. Осыған байланысты бұл жұмыстың мақсаты мұнай-химия және мұнай өңдеу зауыттарының, атап айтқанда «Атырау мұнай өңдеу зауыты» ЖШС («АМӨЗ» ЖШС) айналымдық сумен жабдықтау сапасын арттыру болып табылады. Бұл мақалада үрленетін суды кері осмос әдісімен тазарту туралы деректер берілген. Өнімділігі 600 л/сағ пилоттық кері осмостық қондырғы әзірленді. Өнімділігі 600 л/сағ болатын кері-осмос қондырғысы жасақталып, қоректік судың тазалығын нормативтік шамаға келтіру және де су тазалау технологиялық сызбасы жасақталды. Сонымен қатар, айналымдағы өнеркәсіптік сумен жабдықтауды жобалауға арналған техникалық тапсырма жасақталып, жабдықтау жүйелеріне байланысты тиісті ұсыныстар берілді.*

*Түйін-сөздер: пилоттық кері осмотикалық қондырғы, өнімділік, тазарту дәрежесі, мұнай өнімдері, жалпы тұз құрамы, судың кермектігі, технологиялық сызбаа, пермеат, концентрат.*

## IMPROVEMENT OF QUALITY OF RECIRCULATED WATER SUPPLY OF OIL REFINERIES

**E.E. Ergozhin, A.A. Tskhay, T.K. Chalov, T.V. Kovrigina, Ye.A. Melnikov**

*The relevance of this work is associated with the need to reduce the volume of water used by returning it to the start of the technological process. Thus, the work aims to improve the quality of the recycled water supply to petrochemical and oil refineries, in particular "Atyrau Refinery" LLP. This article provides data on purification of blowdown water by reverse osmosis method. A pilot reverse osmosis unit with a capacity of 600 l / h has been manufactured and a technological scheme for purification to standards that meet the requirements of make-up*

*water has been developed, as well as a technical task for the design of industrial recycling water supply systems and appropriate recommendations have been provided.*

*Keywords: pilot reverse osmosis plant, capacity, degree of purification, oil products, total salt content, water stiffness, technological scheme, permeate, concentrate.*

### **Информация об авторах**

**Ергожин Едил Ергожаевич** – академик НАН РК, [ics\\_rk@mail.ru](mailto:ics_rk@mail.ru).

**Чалов Тулеген Каменович** – докт. хим. наук, профессор, зав. лабораторией ионообменных смол и мембран АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова», [chalov.45@mail.ru](mailto:chalov.45@mail.ru).

**Ковригина Татьяна Васильевна** – канд. хим. наук, ассоциированный профессор, главный научный сотрудник лаборатории ионообменных смол и мембран АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова», [kovriginatat@mail.ru](mailto:kovriginatat@mail.ru).

**Мельников Евгений Александрович** – доктор PhD, старший научный сотрудник лаборатории ионообменных смол и мембран АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова», [sebas273@mail.ru](mailto:sebas273@mail.ru).

АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова», г. Алматы, Казахстан.

**Цхай Александр Алексеевич** – докт. техн. наук, [info@mtca.kz](mailto:info@mtca.kz).

ТОО «Мембранные технологии, С.А.», г. Алматы, Казахстан.