

# АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

## ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGIES AT OIL REFINERIES AND PETROCHEMICAL ENTERPRISES OF THE RUSSIAN FEDERATION

V. Pushkina  
S. Burlaka

*Summary.* The article examines the main factors of the negative impact on the hydrosphere of water resources on the territory of our country as a result of the functioning of Russian petrochemical enterprises. The author conducted a comparative analysis of the impact of industrial activities in the field of oil production and refining on sea and river water, conducted a practical study of the specifics of wastewater treatment depending on the industrial facilities where they are formed. The stages of the technological cycle are determined, at which the primary purification and then post-treatment of wastewater are carried out as efficiently as possible. In addition, attention is paid not only to the polluting effects of oil industry enterprises, but also to promising technologies for cleaning water bodies from oil and oil-containing pollutants. In the course of the research, the paper considers combinations of various cleaning methods, analyzes the effectiveness of technologies operating on the territory of various enterprises and suggests ways to maximize the efficiency of the cleaning process.

*Keywords:* oil production, combined purification methods, industrial wastewater, demulsification, oil stabilization, physico-chemical properties of the pollutant, filtration.

Пушкина Виктория Александровна

Кубанский государственный технологический университет

Бурлака Светлана Дмитриевна

К.х.н., Кубанский государственный технологический университет  
burlaka\_71@mail.ru

*Аннотация.* В статье исследуются основные факторы негативного воздействия на гидросферу водных ресурсов на территории нашей страны в результате функционирования российских нефтехимических предприятий. Автором проведен сравнительный анализ влияния промышленной деятельности в сфере нефтедобычи и нефтепереработки на морскую и речную воду, проведено практическое исследование специфики очистки сточных вод в зависимости от промышленных объектов, на которых они образуются. Определяются этапы технологического цикла, на которых максимально эффективно проводить первичную очистку и затем доочистку сточной воды. Кроме того, уделяется внимание не только загрязняющему воздействию предприятий нефтяной отрасли, но и перспективным технологиям очистки водных массивов от нефтяных и нефтесодержащих загрязнений. В ходе исследования в работе рассматриваются комбинации различных методов очистки, анализируется эффективность технологий, действующих на территории различных предприятий и предлагаются способы, позволяющие максимально эффективно осуществлять процесс очистки.

*Ключевые слова:* нефтедобыча, комбинированные методы очистки, промышленные сточные воды, деэмульсация, стабилизация нефти, физико-химические свойства загрязнителя, фильтрация.

### Введение

**А**ктуальность исследования определяется текущим состоянием загрязнения водных ресурсов на территории нашей страны, снижением качества воды в проточных водоемах, а также тем, что существующие технологии первичной очистки и доочистки сточных вод не справляются с этим объемом. Это обусловлено тем, что нефтехимическая промышленность является одной из водоемких областей — на нее уходит до 60% воды, которая затрачивается в производственном процессе. Кроме того, по данным исследований та-

ких ученых как И.Г. Ибрагимов, В.А. Мартяшева, нефть, нефтепродукты и их производные возможно отнести к основным загрязнителям водных ресурсов [2; 115]

По данным международных исследований, в мировой океан попадает более 10 млн. тонн нефтепродуктов и переработанной нефти в год. Не менее актуальна эта проблема и для России, когда через черноморские порты проходит более 140 млн.т. нефти, а через другие водные ресурсы около 70 млн. тонн. Кроме того, на нефтедобывающих предприятиях отмечается максимальная степень загрязнения открытых водоемов [3; 192].

Безусловно на настоящий момент проводится реконструкция функционирующих и возведение новых очистных сооружений, однако объём загрязнённых водных массивов с каждым годом увеличивается, при этом меняется и физико-химический состав загрязнений, на который не действуют нынешние технологии очистки. При исследовании проблемы загрязнения вод необходимо учитывать специфику нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отрасли, которая заключается в том, что фенол и нефть в качестве исходных или промежуточных продуктов являются трудноокисляемыми, а значит, и наиболее токсичными для окружающей среды. Нефтяные углеводороды входят в разряд трудноокисляемых и биологически устойчивых органических отходов.

Кроме того, в процессе технологического цикла добычи или переработки нефти образуются нефтяные шламы, которые накапливаются в объектах длительного размещения нефти-мазутных ямах на предприятиях. Большинство из этих накопителей построены достаточно давно, гидроизоляция в них отсутствует и поэтому опасные химические элементы могут просачиваться в землю, попадать в грунтовые воды, и, тем самым наносить непоправимый вред экологии.

### Цель исследования

Проанализировать эффективность технологий очистки сточных вод в деятельности различных нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий

### Объекты и методика

В ходе нашего исследования важно определить содержание и степень загрязнения вод в результате технологических процессов нефтехимических предприятий. В целях сравнения эффективности работы водоочистных сооружений на предприятиях нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности необходимо определить основные факторы, влияющие на выбор технологии предварительной очистки и доочистки промышленных сточных вод. Это позволит проанализировать эффективность водоочистных сооружений в различных регионах РФ.

В ходе исследования были проанализированы результаты работы таких предприятий как ОАО «Нижекамскнефтехим», АО «Черномортранснефть» и ПАО «НКНХ», использующих различные системы водоочистных сооружений.

В качестве основных объектов нефтедобычи и нефтепереработки, на которых сточные воды нуждаются в максимальной очистке необходимо выделить уста-

новки комплексной подготовки нефти и промышленные нефтерезервуарные парки, которые реализуют процессы стабилизации и обезвоживания нефти. При этом состав нефти и содержание химических элементов при переработке нефти варьируется достаточно широко. К примеру, содержание капельной и пленочной нефти — в диапазоне от 350 до 2700 мг/л, а эмульгированной — от 50 до 350 мг/л.

В сфере деятельности нефтедобывающих предприятий исходные материалы нефтяного происхождения, которые не были изначально обработаны или переработаны, на дальнейших этапах технологического цикла посредством химических реакций образуют соединения, которые оказывают патогенное влияние на окружающую среду, особенно водные массивы. Химические элементы превращаются в высококонцентрированный токсичный раствор, который проникает и в грунтовые, и в поверхностные воды. Основой состава такого раствора становятся фенолы, диоксиды и углеводороды, которые трудно окисляются и существующие технологии доочистки не обеспечивают полноценную чистоту выпускаемых промышленных сточных вод.

На настоящий момент предприятия на территории нашей страны используют химические, биологические и механические способы очистки сточных вод [5;218]. И в дальнейшем на примере нескольких предприятий мы проанализируем основные показатели воды до и после технологического цикла и выявим максимально эффективные водоочистные системы. Выбирая метод очистки, необходимо понимать, что он зависит от таких факторов как: физические и химические свойства загрязнителей; лимиты загрязнения; территориальное расположение и условия эксплуатации объектов, на которых производится очистка и др.

В морских и речных портах эффективна работа комплекса очистки сточных вод «Дамба 20», который характеризуется увеличенной зоной отстаивания, для механической загрузки в нем применяется клиноптиллолит, а в технологический процесс очистки включены угли МАУ-2А. Данный комплекс используется на предприятии «Черномортранснефть», которое имеет нагрузку не только по переработке, но также и транспортировке нефтепродуктов, что увеличивает степень загрязнения воды в разы. Данное предприятие использует преимущественно механические и химические способы очистки.

ПАО «НКНХ» применяет высоконагруженные и капельные фильтры, в которых действуют бактерии *Bacillus brevis* и *Arthrobacter species*. Данная технология обладает высокой углеродоокисляющей активностью, и, соответственно максимально фильтрует сточные

Таблица 1. Усредненные данные по загрязнению сточных вод, поступающих на исследуемые предприятия

Загрязнитель сточных вод	норма	Концентрация мг/дм <sup>3</sup>					
		«Нижнекамскнефтехим»		«Черномортранснефть»		ПАО «НКНХ»	
		до очистки	после очистки	до очистки	после очистки	до очистки	после очистки
нефтепродукты	0,05	10,23	0,12	14,0	0,41	9,7	0,64
сульфаты	100	191,1	194,7	219,0	134,0	176,3	118,1
азот	0,5	35,91	0,74	74,2	3,6	21,7	2,18
нитриты	0,08	6,68	0,2	7,3	0,98	5,1	0,3
нитраты	40,0	4,99	2,01	8,6	5,4	5,2	3,91
фенол	0,001	1,32	0,005	4,0	0,76	2,6	0,036

воды- деструктурирует нефть, что отражает содержание биологической очистки сточных вод. На предприятии используется система адсорбционной очистки вод, эффективность которой велика- около 80–85%, однако один из главных недостатков — это одновременное использование 40–50 работающих фильтрационных установок, что является ресурсозатратным.

Предприятие «Нижнекамскнефтехим» также использует биологические очистные сооружения с системой оборотного водоснабжения, однако традиционные методы механической очистки дополняются использованием реагентов- коагулянтов, которые способствуют осветлению стоков промышленных отходов. В данном случае необходимо еще предусмотреть наличие отстойников для отделения активных шлаков от очищенной воды, что увеличивает необходимые площади для водоочистных сооружений.

Опыт работы каждого предприятия имеет специфические особенности, недостатки и положительные моменты. Это обуславливает необходимость разработки экономически рациональной и ресурсосберегающей технологий очистки сточных вод, опираясь на те технологии, которые можно назвать максимально эффективными.

Для выявления эффективности водоочистных сооружений необходимо сравнить с нормой данные, которые представлены в табл. 1. При этом также нужно отметить соотношение различных показателей до и после очистки на различных предприятиях.

Таким образом максимальная корреляция между исходными показателями загрязненности воды и данными полученными после поступления на очистные сооружения наблюдается на предприятиях, использующих внедрение физико- химических технологий очистки

На основе теоретико- методологического анализа различных технологий водоочистки, а также данных, иллюстрирующих их эффективность, нами предложена технология глубокой очистки промышленных сточных вод нами была разработана многоступенчатая технология, которая включает следующие этапы:

- ◆ предварительная очистка воды;
- ◆ глубокая очистка воды;
- ◆ доочистка воды, выпускаемой в водоем.

Изученный нами опыт функционирования систем водоочистки предприятий- баз исследования показывает, что чем меньше содержание в промышленных стоках различных примесей, тем более качественно производится их очистка. Это реализуется посредством способа локальной предварительной очистки сточных вод. Именно поэтому на начальном этапе наиболее эффективным будет применение механической очистки сточных вод для удаления активных частиц ила, различных примесей, не относящихся к нефтепродуктам, чтобы в дальнейшем обеспечить оптимальную химическую среду для более тщательной очистки стоков.

Процесс глубокой очистки целесообразно проводить с использованием углубленных процессов окисления, к которым относится озонирование, окисление с помощью  $H_2O_2$  в присутствии ионов  $Fe^{2+}$ . При этом катализаторами можно определить сульфат железа  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  и хлорида марганца  $MnCl_2$  [2;122]. Ряд ученых предлагают интенсифицировать процессы окисления озоном облучением ультрафиолетом, что на порядок повышает эффективность очистки воды от органических примесей [7;38]. Кроме того, озон можно получить, используя кислород из воздуха при помощи генератора озона.

На этом же этапе целесообразна установка аналогов фильтров- мембранных установок, которые позволяют усилить действие катализаторов и ускорить процесс

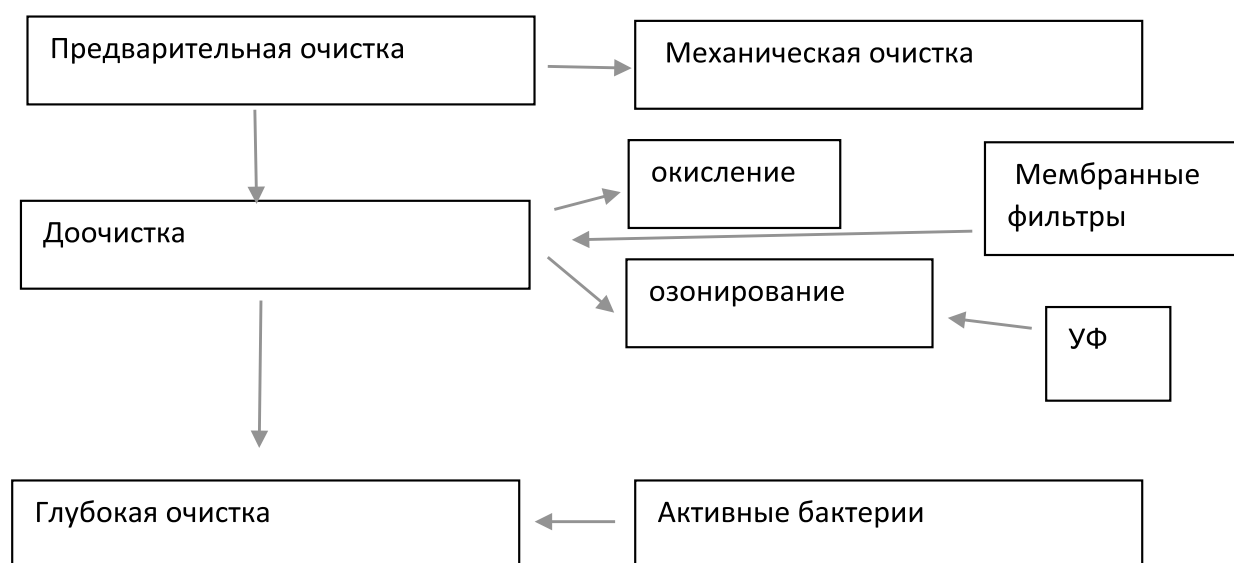


Рис. 1. Многоступенчатая система очистки промышленных сточных вод на предприятиях нефтехимической промышленности

окисления. Кроме того, обладая сдерживающим эффектом, мембраны позволяют удалить различные органические загрязнения. В процессе обработки сточных вод озон, подаваемый в мембрану, трансформируется в озон-кислородную смесь, которая диспергируется на мелкие пузырьки и вступает в химические реакции с загрязнителями воды.

И наконец, на заключительном этапе возможно применение биологически активных штаммов (например, *Bacillus sp.*) в целях окончательной доочистки вод, выпускаемых в водоем. При этом не требуется наличие отстойников или дополнительных емкостей, потому что данные бактерии, являясь анаэробными, не содержат растворенный кислород, не требовательны к наличию питательной среды и сохраняют высокую активность даже в загрязненной среде.

Предлагаемая нами многоступенчатая схема очистки сточных вод отражена на рис. 1.

Данная технология была рекомендована к практическому применению на предприятии АО «Черномортранснефть» при установке новых водоочистных сооружений и оптимизации деятельности функционирующих систем механической и химической очистки стоков. Сложность и многокомпонентность данного процесса компенсируется уменьшением ресурсозатратности — на дополнительные площади, реагенты, а также способствуют выпуску в водоемы сточных вод, очищенных также и от неорганических отходов путем дополнительного прохождения через мембраны.

## Результаты и обсуждение

Проанализировав опыт деятельности водоочистных сооружений различных предприятий, можно отметить, что очистка стоков нефтехимической промышленности является одной из самых трудоемких и эксплуатационно затратных, т.к. предполагает удаление из воды трудноокисляемых веществ. Кроме того, использование различных окислителей может привести к появлению более токсичных соединений. А биохимические процессы, сопровождающие окисление, требуют большого количества кислорода, что также повышает энергозатратность очистной технологии. Поэтому с учетом максимальной концентрации токсических веществ на промежуточной стадии между механической и биохимической, в технологическую схему очистных сооружений необходимо включить физико-химическую стадию, например, флокуляцию. В качестве метода доочистки больших объемов сточных вод (порядка 50 млн. м<sup>3</sup>/год) ряд предприятий также эффективно применяют фитоочистку на биологических фильтрах и в биопрудах при помощи вышеописанных бактериальных культур.

Технология каталитического окисления с применением мембран ускоряет процесс окисления и повышает надежность очистки промышленных сточных вод, выпускаемых в водоемы. Это обусловлено еще и тем, что в мембране со стороны входа частично очищенных стоков образуется слой веществ, повышенная концентрация которых ускоряет химическое взаимодействие поступающих токсинов с реагентами, тем самым дополнительно очищая водные массивы.

Подводя итог исследованию, необходимо отметить, что на современном этапе развития нефтехимической промышленности, с регулярным увеличением объёма загрязняемых вод максимально эффективной будет

комплексная технология, имеющая в своем основании уже реализующиеся способы очистки, дополненные современными биохимическими и физико-механическими элементами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева С.А., Хузиахметова К.Р. Исследование процесса очистки промышленных сточных вод с высококонцентрированными органическими примесями // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2017. № 4 (36). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-protssessa-ochistki-promyshlennyh-stochnyh-vod-s-vysokokontsentrirrovannymi-organicheskimi-primesyami> (дата обращения: 25.01.2022).
2. Баландина А.Г., Хангильдин Р.И., Ибрагимов И.Г., Мартяшева В.А. Анализ воздействия предприятий нефтехимического комплекса на гидросферу и пути минимизации их негативного влияния // Баш. хим. ж. 2015. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vozdeystviya-predpriyatij-neftehimicheskogo-kompleksa-na-gidrosferu-i-puti-minimizatsii-ih-negativnogo-vliyaniya-1> (дата обращения: 25.01.2022).
3. Гуславский А.И., Канарская З.А. Перспективные технологии очистки воды и почвы от нефти и нефтепродуктов // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 20. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnye-tehnologii-ochistki-vody-i-pochvy-ot-nefti-i-nefteproduktov> (дата обращения: 27.01.2022).
4. Зарипова А.Ф. Возможные пути снижения негативного воздействия объектов нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности на окружающую среду // Достижения науки и образования. 2018. № 16 (38). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnye-puti-snizheniya-negativnogo-vozdeystviya-obektov-neftepererabatyvayushey-i-neftehimicheskoy-promyshlennosti-na> (дата обращения: 27.01.2022).
5. Клешнина И.И. История решения вопросов очистки промышленно-бытовых сточных вод (пример очистки сточных вод ОАО «Нижнекамскнефтехим») // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 23. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-resheniya-voprosov-ochistki-promyshlennobytovyh-stochnyh-vod-primer-ochistki-stochnyh-vod-oao-nizhnekamskneftehim> (дата обращения: 27.01.2022).
6. Фаттахова А.М., Баландина А.Г., Хангильдин Р.И., Мартяшева В.А. Совершенствование способов очистки сточных вод с химически загрязненных территорий // Транспорт и хранение нефтепродуктов. 2014. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-sposobov-ochistki-stochnyh-vod-s-himicheskii-zagryaznennyh-territoriy> (дата обращения: 27.01.2022).
7. Чуркина А.Ю. Проблемы повышения эффективности очистки сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий // Стратегия устойчивого развития регионов России. 2014. № 21. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemu-povysheniya-effektivnosti-ochistki-stochnyh-vod-neftepererabatyvayuschih-predpriyatij> (дата обращения: 28.01.2022).