

**ОЧИСТКА НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД**

Е.И. Семёнова, Н.А. Бублиенко, Т.А. Шилофост

УДК: 628.356; 628.113; 628.543

**РЕФЕРАТ**

*НЕФТЕСОДЕРЖАЩИЕ СТОЧНЫЕ ВОДЫ, АППАРАТ С ПЕННЫМИ СЛОЯМИ, АЭРОТЕНК-ОСВЕТИТЕЛЬ, БИОХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА*

*Предмет работы – сточные воды, содержащие нефтепродукты. Тема работы – биодеструкция нефтепродуктов, содержащихся в сточных водах. Цель работы – исследование процесса биодеструкции нефтепродуктов в сточных водах двумя способами. Определены основные показатели данных вод и их пригодность к биохимической очистке, а именно концентрация нефтепродуктов – 80 мг/дм<sup>3</sup>, ХПК – 300 мг O<sub>2</sub> / дм<sup>3</sup>, БПК<sub>5</sub> – 130 мг O<sub>2</sub> / дм<sup>3</sup>. Проведена интенсификация процесса биохимической очистки с помощью блока биохимической очистки, который состоит из аппарата с пенными слоями и аэротенка-осветлителя. Очистка нефтесодержащих сточных вод с помощью блока биохимической очистки производилась в большей степени за счет биосорбционных процессов, которые проходят в аппарате с пенными слоями, и дальнейшая очистка в аэротенке-осветлителе. В результате проведенных опытов эффективность очистки по нефтепродуктам составила 98,5 %, по ХПК – 93,3 %, по БПК<sub>5</sub> – 87,0 %. Данное оборудование может быть применено на заводах пищевой промышленности, а также на судах и предприятиях других отраслей промышленности.*

**ABSTRACT**

*OILWASTEWATER, APPARATUS WITH FOAM LAYERS, AIRTANK-CLARIFIER, BIOCHEMICAL PURIFICATION*

*The given article discusses the problem of purification of oil wastewater. It provides the information of pollution of oil wastewater which is produced by the food enterprise, and also the ways of its purification.. The most effective way to dispose dissolved and digestible fractions of oil products is biological wastewater purification. The process of oil wastewater purification by airtank-mixer has been researched. The intensification of the process of purification by the block of biochemical oxidation has been conducted, which includes the apparatus with foam layers and an airtank-clarifier. The scientific novelty of the research lies in biosorption of oil gas-liquid countercurrent mode and oxidation in an airtank-clarifier.*

Влияние антропогенных факторов на биосферу Земли привело к возникновению нежелательных негативных явлений, что способствует деградации экосистем и глобальному экологическому кризису [7].

Вода – один из самых важных компонентов окружающей природной среды. Она постоянно взаимодействует с земельными, лесными ресурсами, с атмосферным воздухом и влияет на их качество.

Одной из категорий стоков, которые загрязняют водоемы, являются нефтесодержащие

сточные воды, образующиеся на судах и практически на всех предприятиях народного хозяйства. На каждом предприятии в результате мойки автомобильных цистерн, оборудования, попадания технических масел в воду образуются нефтесодержащие сточные воды. На сегодня очистка данных стоков производится, в основном, путем отстаивания и методом флотации. Так как нефтепродукты в сточных водах находятся в растворённом виде или в эмульгированном состоянии, это не позволяет в полной мере решить проблему удаления этих загрязнений из

них за счет механических и физико-химических методов. С этой целью для выполнения требований стандарта по качеству воды необходимо разрабатывать другие способы очистки сточных вод от всех фракций загрязнений, и наиболее перспективным из них является биохимическая очистка [1].

Загрязняющие вещества нефтесодержащих стоков отличаются от загрязнений бытовых сточных вод, так как содержат более тяжелоокисляемые компоненты. Такие сточные воды нуждаются в особом подходе к способу их очистки, а также к составу очистных сооружений для удаления вышеуказанных загрязнений, особенно это касается использования способа биохимической очистки [2, 4].

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование эффективности работы компактной установки (с аппаратом с пенными слоями) в сравнении с работой аэротенка-смесителя при очистке нефтесодержащих сточных вод.

#### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Опыты проводили параллельно на двух лабораторных установках (аэротенк-смеситель и компактная установка). Процесс происходил в непрерывном режиме. Для поддержания постоянной концентрации активного ила в очистных сооружениях проводили его рециркуляцию.

В процессе исследования определялись показатели загрязненности по ХПК и БПК<sub>5</sub>, концентрации нефтепродуктов, взвешенных веществ, азота аммонийных солей, нитратов, нитритов; pH; эффективность очистки. Для определения основных показателей процесса очистки были использованы стандартные методики [3].

Нами были определены основные показатели загрязненности нефтесодержащих сточных вод, которые показали, что данные стоки пригодны для биохимической очистки, а именно: концентрация нефтепродуктов – 80 мг/дм<sup>3</sup>, БПК<sub>5</sub> – 130 мг O<sub>2</sub> / дм<sup>3</sup>, ХПК – 300 мг O<sub>2</sub> / дм<sup>3</sup>, взвешенные вещества – 125 мг/дм<sup>3</sup>, pH 6,9, азот аммонийных солей – 36 мг/дм<sup>3</sup>, нитриты – 0,30 мг/дм<sup>3</sup>, нитраты – 0,25 мг/дм<sup>3</sup>.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Процесс аэробной очистки нефтесодержащих сточных вод проводили на лабораторном аэротенке-смесителе, включающем аэротенк и отстойник в одном блоке.

Устройство выполнено в виде сооружения цилиндрической формы с коническим днищем, перегородка разделяет устройство на аэротенк и отстойник, что позволяет обеспечить компактность установки. Устройство снабжено системой циркуляции активного ила в виде расположенной соосно в центре емкости трубы, которая направляет активный ил из аэротенка в отстойник, что позволяет исключить дополнительные коммуникации для подачи сточных вод и активного ила в отстойник, и обеспечивает дополнительную компактность устройства. Трубопроводы циркуляционного активного ила и сжатого воздуха позволяют осуществлять непрерывный возврат ила в аэротенк, поддерживая в нем оптимальную концентрацию ила. Кроме того, все вышеперечисленное позволяет повысить эффективность очистки сточных вод [5].

В ходе непрерывной работы установки концентрация по БПК<sub>5</sub> снижалась с 130 до 40 мг O<sub>2</sub> / дм<sup>3</sup>, то есть на 69 %, что свидетельствует об эффекте неполной биохимической очистки. Загрязненность по ХПК снижалась с 300 до 69 мг O<sub>2</sub> / дм<sup>3</sup>, эффективность очистки по ХПК – 77 %.

Хотя эффект очистки по БПК<sub>5</sub> и ХПК не отвечал параметрам процесса полной биохимической очистки, эффективность удаления нефтепродуктов оказалась достаточно высокой.

Следует отметить, что ввиду малой доли легкоокисляемых веществ в смеси загрязнений нефтесодержащих сточных вод прирост активного ила по концентрации сухой массы отнюдь не означает, что речь идет о биомассе в абсолютном количественном выражении. Прирост ила в данном случае отражает скорее накопление на живой массе трудноокисляемых веществ, сорбированных хлопьями ила, в частности, нефтепродуктов. Поэтому для характеристики кинетики и расчетных параметров процесса прироста ила в данном случае непригодны такие величины, как удельный прирост ила, рассчитываемый на единицу количества снятого БПК<sub>5</sub>. Имеет смысл ограничиться величиной относительного суточного прироста ила, рассчитываемой в про-

центрах по отношению к исходной его концентрации.

Повышение эффективности удаления загрязнений, измеряемых по нефтепродуктам, в ходе роста биомассы свидетельствует о наличии сорбционных процессов, за счет которых активный ил изымает трудноокисляемые эмульгированные и грубодисперсные примеси.

Следовательно, совершенствование аппаратного оформления с целью интенсификации процесса биохимической очистки нефтесодержащих сточных вод должно предусматривать максимальное использование сорбционных свойств активного ила. Это нашло выражение в использовании устройства с газожидкостным противотоком в компактной установке, которая представлена на рисунке 1. Этот блок состоит из аппарата с пенными слоями и аэротенка-осветлителя.

Аппарат с пенными слоями представляет собой вертикально скомпонованную батарею ячеек смешения, соединенных последовательно. В нем преобладает процесс биосорбции, то есть переход значительной части загрязнений из фаз коллоидов, мелкодиспергированных взвесей и частично молекулярных растворов в фазу активного ила.

В пенных слоях происходит интенсивное перемешивание жидкой фазы, что, в свою очередь, способствует интенсификации процесса биосорбции. На омываемых жидкостью и воздухом нижних поверхностях перегородок и стенках аппарата с пенными слоями образуется слой биопленки, что способствует также дополнительной интенсификации процесса биосорбции и, следовательно, процесса изъятия загрязнений в целом [6].

Иловодяная смесь, насыщенная кислородом в аппарате с пенными слоями, требует меньшего времени пребывания в аэротенке-осветлителе. Такое сочетание устройств обеспечивает высокий эффект очистки сточных вод.

Результаты исследования процесса очистки нефтесодержащих сточных вод в аэротенке-смесителе и в блоке биохимической очистки представлены на рисунках 2, 3, 4.

Результаты, представленные на рисунках 2, 3, 4, свидетельствуют об экспериментальном подтверждении положительного влияния аппарата с

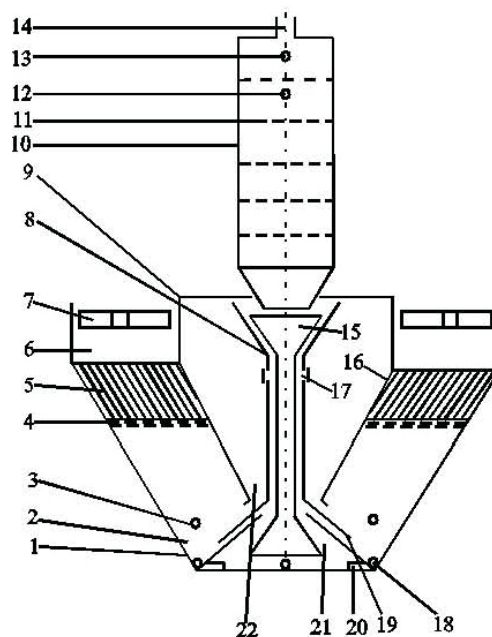


Рисунок 1 – Схема блока биохимической очистки: 1 – корпус; 2 – зона зависшего слоя; 3 – выпуск циркулирующего активного ила; 4 – сетка-электрод; 5 – ламинаризаторы; 6 – защитная зона; 7 – сборные лотки, выход очищенной воды; 8 – перегородка; 9 – перекрытие; 10 – корпус аппарата с пенными слоями; 11 – тарелки; 12 – впуск циркулирующего ила; 13 – впуск сточной воды; 14 – выпуск воздуха; 15 – направляющая колонка; 16 – перегородка; 17 – переливные окна с шиберами; 18 – система выпуска; 19 – «зубы»; 20 – аэраторы; 21 – зона аэрации; 22 – зона дегазации

пенными слоями на процесс извлечения нефтепродуктов. Так, эффективность извлечения нефтепродуктов увеличилась с 93,2 % до 98,5 %, что, по нашему мнению, обуславливается процессом биосорбции, протекающим в пенных слоях. Кроме того, скорость изъятия по нефтепродуктам увеличилась с 15,58 мг/(г·час) до 25,25 мг/(г·час).

Аппарат с пенными слоями функционирует как узел для прохождения процесса насыщения сточной воды кислородом и удаления загрязнений с воды активным илом за счет адсорбции. Проведены измерения концентрации кислорода, растворенного в ило-водяной смеси, на разных уровнях высоты аппарата с пенными слоями, а также концентрация загрязнений по БПК<sub>5</sub> в отстоянных пробах, взятых на тех же уровнях. Результаты измерений представлены на рисунке 5.

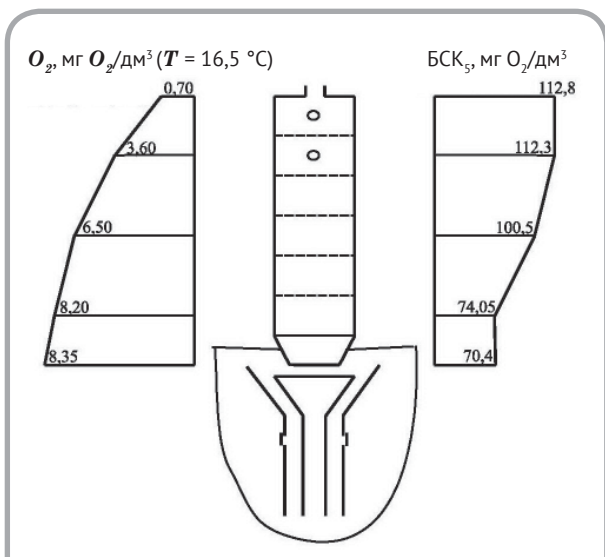
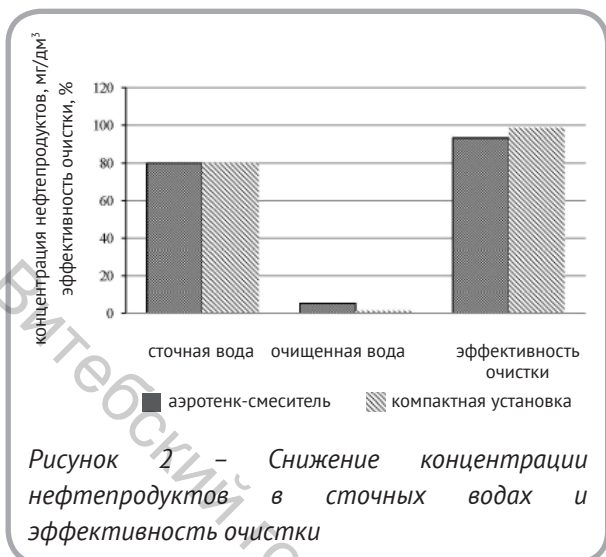
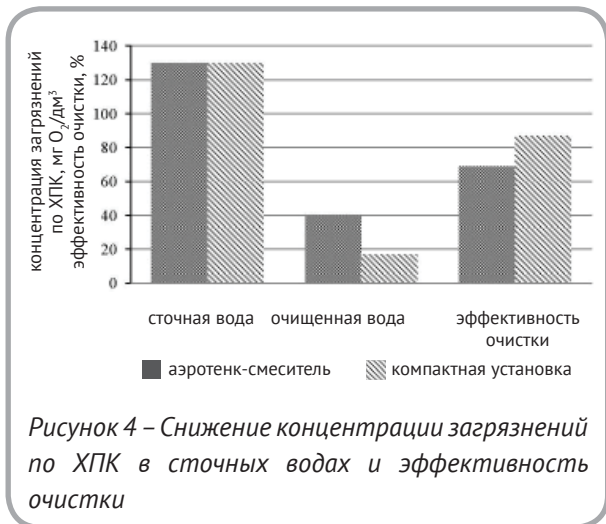


Рисунок 5 – Разделение концентрации кислорода и БПК<sub>5</sub> по высоте аппарата с пенными слоями

в аэротенк-осветлитель, практически насыщена кислородом, а загрязнения по БПК<sub>5</sub> в сточной жидкости перемещены частично с жидкой фазы на хлопья ила, что подаются эрлифтом из зоны взвешенного слоя аэротенка-осветлителя в аппарат с пенными слоями. Без сомнений, некоторая часть загрязнений, которые преобладают в растворимой фазе и легко окисляются, используются илом в качестве питательных веществ.



Иловодяная смесь, насыщенная кислородом в аппарате с пенными слоями, нуждается в меньшем времени пребывания в аэротенке-осветлителе, чем достигается высокая эффективность очистки сточной жидкости при меньшем времени её обработки в аэротенке данного типа.

Взвешенный слой ила в аэротенке-осветлителе служит не только зоной раздела ило-водяной смеси, но и реактором окисления. Зона размещения ламинаризаторов (над взвешенным слоем) обеспечивает, с одной стороны, повышение эффективности осветления очищенной воды, а с другой – и это главное её предназначение – стабилизирует работу установки при динамических нарушениях.

В аппарате с пенными слоями на тарелках образуется пенный слой. Условия газо-жидкостного противотока обеспечивает измельчение жидкости на капли в междутарелочном пространстве и, таким образом, развитую поверхность контактирования жидкости и кислорода воздуха. Такие условия контактирования очень благоприятны

Эти результаты показывают, что иловодяная смесь, что выходит с аппарата с пенными слоями



для биосорбции эмульгированных нефтепродуктов активным илом.

Сравнение технико-экономических показателей обеих установок должно быть проведено при равных качественных показателях, доочистка сточных вод в варианте с аэротенком-смесителем не предусматривалась. Тем не менее, необходимо учесть, что качество очищенной воды в варианте с аппаратом с пенными слоями по содержанию нефтепродуктов значительно лучше, чем в первом варианте, и это является несомненным техническим преимуществом компактной установки (с аппаратом с пенными слоями).

Годовой экономический эффект при работе блока биохимической очистки был рассчитан по формуле

$$\mathcal{E}_{год} = (C_1 + E_n K_1) - (C_2 + E_n K_2),$$

где  $C$  и  $K$  – эксплуатационные и капитальные затраты,  $E$  – нормативный коэффициент окупаемости, равный 0,15.

$$\mathcal{E}_{год} = (2150 + 0,15 \cdot 3970) - (985 + 0,15 \cdot 1760) = 1496,5 \text{ (грн/год)}.$$

Эргономические характеристики компактной установки (блока биохимической очистки) выражаются в удобстве работы эксплуатационного персонала. Точнее, эргономические достоинства рассматриваются с точки зрения оценки трех

поддающихся измерению величин: а) времени, затрачиваемого на операции по управлению работы установок; б) объема движений, необходимых при совершении операций; в) характера и протяженности движений.

Расчеты сведены в таблице 1.

По результатам проведенных исследований и расчётов можно сделать выводы, что компактная установка, которая состоит с аэротенка-осветителя и аппарата с пенными слоями, дает положительный эффект не только по очистке сточных вод от нефтепродуктов, а также будет иметь экономический эффект при её внедрении. Поэтому компактную установку можно рекомендовать для очистки сточных вод от нефтепродуктов на пищевых и промышленных предприятиях, а также для очистки судовых сточных вод.

## ВЫВОДЫ

Подобрано оборудование и такие параметры его работы, при которых достигается высокая степень очистки стоков от нефтепродуктов (до 98,5 %). Результаты подтверждают, что извлечение нефтепродуктов биосорбцией в пенных слоях положительно влияет на процесс очистки сточной воды по всем показателям. Эта разработка имеет значительный социально-экологический эффект, так как позволяет значительно снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

Таблица 1 – Сводные результаты расчета ожидаемой экономической эффективности от внедрения очистной компактной установки (с аппаратом с пенными слоями)

Показатели	Единица измерения	Очистные установки	
		аэротенк-смеситель	компактная установка
Годовая производительность установок	м <sup>3</sup> /год	73000	73000
Себестоимость очистки сточных вод	коп./м <sup>3</sup>	9,52	4,35
Удельные капиталовложения на сооружение очистных установок	грн./м <sup>3</sup> год	0,126	0,078
Дополнительная прибыль за счет снижения себестоимости	грн.	-	1170
Срок окупаемости	годы	6,7	6,7
Высвобождение численности эксплуатационного персонала	чел.	-	2
Объем затрат	тыс. грн.	3970	1760
Годовой экономический эффект от внедрения компактной установки на очистной станции производительностью 200 м <sup>3</sup> /сут.	грн./год	-	1496,5

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Долина, Л.Ф. (2005), *Современная технология и сооружения для очистки нефтесодержащих сточных вод*, Континент, 140 с.
2. Жмур, Н.С. (2003), *Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками*, Москва, Акварос, 512 с.
3. Муравьев, А.Г. (2004), *Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами*, Санкт-Петербург, Крисмас, 248 с.
4. Семенова, О.І., Бублиенко, Н.О., Ткаченко, Т.Л. (2012), Очищення стічних вод, що містять нафтопродукти, *Наукові праці НУХТ*, 2012, № 42, С. 53 – 60.
5. Патент України на винахід 21309А, МПК С02F3/12. Пристрій для аеробної очистки стічних вод / Нікітін Г.О., Пилипко Ю.С., Левітіна Н.В., Семенова О.І.; заявник і власник Український державний університет харчових технологій. – № 97063359; заявл. 27.06.97; опубл. 30.04.98, Бюл. 2.
6. Пат. 75309 Україна, МПК С02F 11/02 (2006.01). Аеротенк-прояснювач / Семенова О.І., Ткаченко Т.Л., Бублиенко Н.О., Шилофост Т.О.; власник Національний університет харчових технологій. – № у 2012 06205; заявл. 23.05.2012; опубл. 26.11.2012, Бюл. № 22.
7. Biochemical purification of oil wastewater / Semenova O., Bubljenko N., Smirnova J., Shylofost T. // «Aktualne problem nowoczesnych nauk-2012»: Materiały VIII międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, 7 – 15.06.2012. – Vol. 40. – Przemysl: 2012. – P. 29 – 32.

## REFERENCES

1. Dolina, L.F. (2005), *Sovremennaja tehnologija i sooruzhenija dlja ochistki neftesoderzhashchih stochnyh vod* [Modern technology and facilities for oil wastewater], Dnepropetrovsk, Kontinent, 140 p.
2. Zhmur, N.S. (2003), *Tehnologicheskie i biohimicheskie processy ochistki stochnyh vod na sooruzhenijah s ajerotenkami* [Technological and biochemical processes at wastewater treatment plants with aeration tanks], Moscow, Akvaros, 512 p.
3. Murav'ev, A.G. (2004), *Rukovodstvo po opredeleniju pokazatelej kachestva vody polevymi metodami* [Guidelines for the determination of water quality field methods], St. Petersburg, Krimas, 248 p.
4. Semenova, O.I., Bubljenko, N.O., Tkachenko T.L. (2012), The purification of oil wastewater [Ochyshhennja stichnyh vod, shho mistjat' naftoprodukty], *Naukovi praci NUHT – Proceedings NUFT* (42), pp. 53 – 60.
5. Ukraine for invention patent [Patent Ukrainy na vynahid] 21309, МПК S02F3/12. An apparatus for aerobic sewage treatment [Prystrij dlja aerobnoi' ochystky stichnyh vod ]/ Nikitin G.O., Pylypko Y.S., Levitin N.V. Semenova O.I.; applicant and owner of Ukrainian State University of Food Technologies. - № 97063359; appl. 27.06.97; publ. 04.30.98, Bull. 2.
6. Pat. 75309 Ukraine, IPC S02F 11/02 (2006.01). Aerotank-clarifier [Aerotenk-projasnjuvach] Semenova O.I. Tkachenko T.L., Bubljenko N.A., Shylofost T.A.; owner of the National University of Food Technologies [vlasnyk Nacional'nyj universytet harchovyh tehnologij] № u 2012 06205; appl. 23.05.2012; publ. 26/11/2012, Bull. Number 22.

7. Biochemical purification of oil wastewater / Semenova O., Bubljenko N., Smirnova J., Shylofost T. // «Aktualne problem nowoczesnych nauk-2012»: Materiały VIII międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, 7 – 15.06.2012. – Vol. 40. – Przemysł: 2012. – P. 29 – 32.

Витебский государственный технологический университет

*Статья поступила в редакцию 12.06.2014 г.*