

**ФЛОТАЦИОННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД,  
ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ МОЙКЕ ЕМКостей,  
ЗАГРЯЗНЕННЫХ ОРГАНИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ**

**Небеснова Т.В.**, к.хим.н., доцент,  
*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*  
vig@ogasa.org.ua

**Аннотация.** На основании установленных закономерностей процессов разделения фаз органических эмульсий методом ультрафлокуляции и турбулентной микрофлотации разработан проект мобильной флотационной установки, предназначенной для очистки промывных вод, образующихся при удалении нефтяных и масляных загрязнений с поверхности различных резервуаров. Внедрение данной установки позволит осуществить реализацию процесса мойки в режиме оборотного водоснабжения с использованием небольшого объема моющего раствора и эффективно утилизировать отмытые нефтепродукты.

**Ключевые слова:** промывные нефтесодержащие эмульсии, ультрафлокуляция, микрофлотация, катионные флокулянты, мобильная флокулярно-флотационная установка.

**ФЛОТАЦІЙНА УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД,  
ЯКІ УТВОРЮЮТЬСЯ ПРИ МИЙЦІ ЄМКостей,  
ЗАБРУДНЕНИХ ОРГАНІЧНИМИ РЕЧОВИНАМИ**

**Небеснова Т.В.**, к.хім.н., доцент,  
*Одеська державна академія будівництва та архітектури*  
vig@ogasa.org.ua

**Анотація.** На основі встановлених закономірностей процесів розділу фаз органічних емульсій методом ультрафлокуляції і турбулентної мікрофлотації розроблений проект мобільної флотаційної установки, яка призначена для очищення промивних вод, що утворюються при видаленні нафтових і масляних забруднень з поверхні різноманітних резервуарів. Впровадження даної установки дозволить здійснити реалізацію процесу мийки в режимі оборотного водопостачання з використанням невеликого об'єму миючого розчину і ефективно утилізувати відмиті нафтопродукти.

**Ключові слова:** промивні нафтовміщуючі емульсії, ультрафлокуляція, мікрофлотація, катіонні флокулянти, мобільна флокулярно-флотаційна установка.

**FLOTATION INSTALLATION FOR WASTEWATER TREATMENT, FORMING AT  
TANKS WASHING CONTAMINATED WITH ORGANIC SUBSTANCES**

**Nebesnova T.V.**, Candidate of Chemical Sciences,  
*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*  
vig@ogasa.org.ua

**Abstract.** Based on the established regularities of organic emulsions phase separation processes by the method of ultra flocculation and turbulent micro flotation, a mobile flotation unit designed to purify rinsing water formed during removal of oil and oil contaminants from the surface of aboveground and underground tanks of sea vessels fuel and oil tanks, railroads and truck tanks,

manholes of industrial and municipal sewerage is worked out. The containers were washed with an aqueous solution of GIPCH-3 A (a mixture of hydrochlorides of primary aliphatic amines), which is an effective flotation collector of fine-emulsified petroleum products.

Purification of spent detergent solution from petroleum products was carried out in a pneumatic flotation column with pretreatment in a flocculent using cationic flocculent and application of a certain medium velocity gradient.

The introduction of this installation will allow the implementation of the washing process in the mode of recycled water supply using a small volume of washing solution and efficiently utilizing washed oil products.

**Keywords:** washing oil-containing emulsions, ultra flocculation, microflotation, cationic flocculants, mobile flocculation flotation unit.

**Введение.** В практике работы промышленных предприятий, железнодорожных станций, морских и речных портов часто возникает проблема очистки промывных вод, образующихся при разовой (например, предремонтной) мойке емкостей, загрязненных нефтепродуктами и растительными маслами [1].

Содержание проблемы заключается в необходимости транспортировки больших объемов промывных вод на стационарные очистные сооружения, что не представляется целесообразным. Промывные воды от зачистки резервуаров содержат высоковязкие эмульгированные нефтепродукты и механические примеси. Вследствие высокой степени дисперсности загрязнений, образующейся в результате нагревания и турбулизации моечных растворов и большого значения электрокинетического потенциала частиц разделить данную систему на отдельные фазы представляет значительную трудность.

В этой связи актуальность представляют мобильные установки [2], позволяющие очищать загрязненные нефтепродуктами промывные воды на месте их образования. Достоинством таких установок является то, что они, как правило, основаны на новых технологических процессах, компактны, высокопроизводительны, могут быть быстро доставлены к объекту канализования. Это существенно уменьшает стоимость очистки сточных вод, упрощает эксплуатацию очистных сооружений, облегчает санитарный контроль.

Для очистки нефтесодержащих сточных вод достаточно широко используют метод флокулярной флотации [3], отличающийся высокой производительностью, простотой конструкции, легкостью автоматизации и контроля, возможностью выделения ценных компонентов.

Однако в нашей стране отсутствует опыт применения мобильных флотационных установок с внедрением научно-обоснованных параметров их эффективной работы, позволяющий достичь желаемых результатов.

**Целью** данной работы является повышение эффективности процесса флотационного выделения тонкоэмульгированных нефтепродуктов из их устойчивых эмульсий на мобильной флокулярно-флотационной установке.

**Объект исследования** – устойчивые эмульсии промывных нефтесодержащих сточных вод.

**Предмет исследования** – процесс ультрафлокуляционного и микрофлотационного разделения эмульсий, образующихся в процессе мойки емкостей.

**Методы исследования** – экспериментальным методом исследовали:

- средний размер флокул определяли с помощью оптоэлектронной измерительной системы;
- концентрацию дисперсной фазы эмульсий – спектрофотометрически;
- влажность образующегося осадка – весовым методом.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе [4] на примере различных суспензий показано, что максимум эффективности флокулярного процесса в неоднородном турбулентном потоке соответствует максимуму силы сцепления (парной энергии связи) частиц, которая определяется их природой, а также типом и дозой флокулянта.

С целью интенсификации процесса флокулярной флотации фирмой «Турбофлотсервис» разработан метод гидродинамической обработки суспензий [5], позволяющий осуществить процесс формирования флокул в течение нескольких секунд и получить высокое качество осветленной воды.

В [6] показана высокая эффективность применения метода ультрафлокуляции и турбулентной микрофлотации для разделения фаз нефтесодержащих сточных вод (смазочно-охлаждающих жидкостей).

В [7] выявлена целесообразность использования смеси гидрохлоридов первичных алифатических аминов в качестве интенсификатора процесса флотационного выделения тонкоэмульгированных органических веществ (нефти, нефтепродуктов, растительных масел).

В работе [8] разработана технология сепарации вышеперечисленных эмульсий.

Эксперименты по выявлению закономерностей и рациональных параметров ведения вышеуказанных процессов проводили с помощью прибора «Ультрафлок Тестер – 2007» и микрофлотационной ячейки (фильтр Шотта №4) [6-8].

**Научные результаты.** На основании установленных закономерностей разработан проект мобильной флокулярно-флотационной установки, предназначенной для очистки промывных вод, образующихся при удалении нефтяных и масляных загрязнений с поверхности резервуаров, топливных и масляных танков морских судов, железнодорожных и автомобильных цистерн, смотровых канализационных колодцев.

Установку (рис. 1) монтируют в стандартном контейнере (6,0×2,5×3,0м), установленном на автомобильном прицепе. В этом же контейнере находится оборудование для дегазации и мойки емкостей, загрязненных нефтепродуктами, которое включает в себя: переносной электровентильатор 8, переносные моющие машинки 6, позволяющие обрабатывать внутреннюю поверхность емкости мощной вращающейся в горизонтальной и вертикальной плоскостях струей нагретого до требуемой температуры моющего раствора, цистерну с моющим раствором 1 со встроенными в неё электронагревателями 2, стационарный насос 3 для подачи моющего раствора к моющим машинкам, переносной пневмоприводной погружной насос 5, набор шлангов для моющей жидкости, сжатого воздуха и раствора флокулянта I – VI.

Установка позволяет очищать 10-15 м<sup>3</sup> промывных вод в час и обеспечивает:

- реализацию процесса мойки в режиме оборотного водоснабжения;
- утилизацию отмытых нефтепродуктов.

Мойку емкостей в зависимости от степени их загрязнения необходимо производить 0,01-0,05%-ным водным раствором смеси гидрохлоридов первичных алифатических аминов (ГИПХ – 3А). Максимальным моющим действием по отношению к металлической поверхности, загрязненной сырой нефтью, обладают 0,05%-ные растворы ГИПХ – 3А, нагретые до температуры 50 °С.

Целесообразность введения ГИПХ – 3А в моечную воду определяется тем, что ГИПХ – 3А принадлежит к числу ПАВ, наиболее хорошо отмывающих нефтяные загрязнения [9], обладает ярко выраженным ингибирующим действием [10], является эффективным собирателем тонкоэмульгированных нефтепродуктов [7].

Отработанный моющий раствор собирается на дне емкости и с помощью погружного насоса подается на очистку.

Очистка отработанного 0,01%-ного моющего раствора с ГИПХ – 3А от нефтепродуктов состоит в предварительной флокулярной обработке во флокуляторе 11 с катионным флокулянт (коагулянт) «Магнафлок 368», приготовленном в баке 10 (расход 0,25 кг/м<sup>3</sup>, длительность обработки 10 сек., градиент скорости среды  $G = 6000 \text{ с}^{-1}$ ). Концентрация нефтепродуктов в отработанном моющем растворе составила 7,5 г/л.

После выхода из флокулятора поток сфлокулированной эмульсии насыщается микропузырьками воздуха в пневматической флотационной колонне 12, где происходит налипание флокул взвеси на пузырьки и агрегирование последних в большие устойчивые флотоагрегаты. При этом процесс флотации завершается всего за несколько десятков секунд.

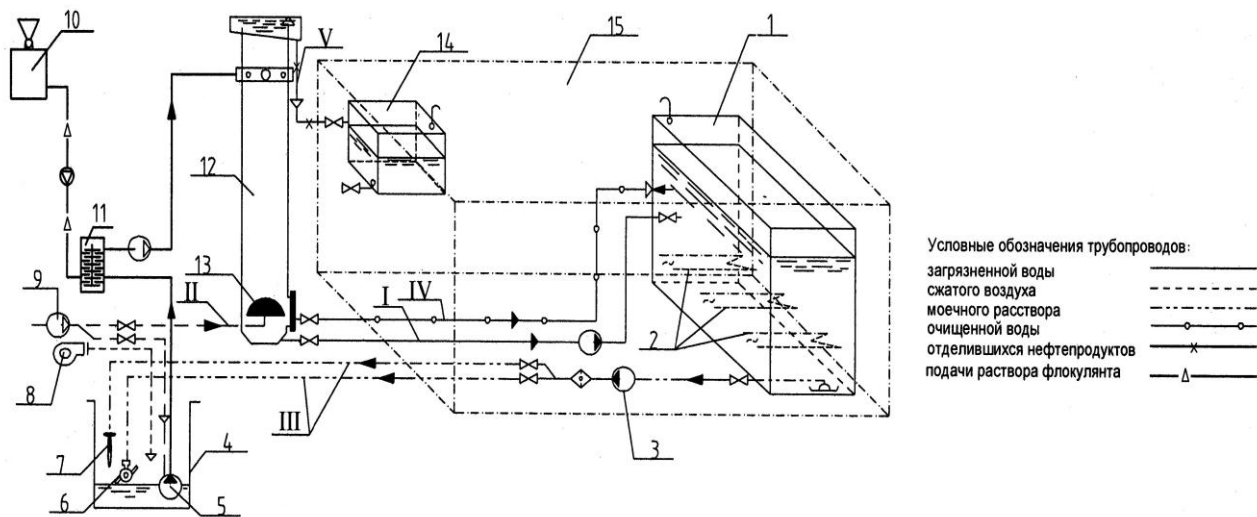


Рис. 1. Принципиальная схема мобильной флокуляционно-флотационной установки для очистки промывных нефтесодержащих сточных вод:

- 1 – цистерна с моющим раствором; 2 – электронагреватели; 3 – моечный насос; 4 – ёмкость, очищаемая от нефтепродуктов; 5 – погружной пневмоприводной насос; 6 – моющая машинка; 7 – ствол ручной домывки; 8 – электровентиль; 9 – компрессор; 10 – бак для приготовления раствора флокулянта; 11 – ультрафлокулятор; 12 – флотационная колонна; 13 – аэратор; 14 – ёмкость для сбора сфлотированных нефтепродуктов; 15 – контейнер.

Флотационная колонна имеет высоту 5,7 м и диаметр 0,8 м, на дне которой расположен трубчатый аэратор 13, изготовленный из перфорированной резины, что препятствует зарастанию отверстий аэратора флотируемыми частицами, поскольку отверстия аэратора способны играть роль не только диспергатора воздуха, но и обратного клапана. Резиновый аэратор позволяет также регулировать диаметр генерируемых с его помощью пузырьков воздуха путем изменения давления в нем воздуха.

Воздух в пневматическую колонну подается компрессором 9 по трубопроводу II под давлением  $(1,5-1,8) \times 10^5$  Па. Газонаполнение сточных вод воздухом в колонне составляет 3-5 объемных процента.

Очищенный от нефтепродуктов моющий раствор из флотационной колонны по трубопроводу IV поступает в цистерну с моющим раствором и снова используется для мойки емкостей.

Содержание нефтепродуктов в очищенном моющем растворе определяется физико-химическими свойствами отмываемых загрязнений и начальным их содержанием в отработанном моющем растворе и составляет несколько мг/л, реже несколько десятков мг/л.

Пенный (верхний) продукт собирается в колпаке флотационной колонны и по трубопроводу V поступает в емкость для сбора отмытых нефтепродуктов 14.

Нефтепродукты, отделенные от водной фазы, легко отдают влагу, и содержание воды в них составляет 50-60 мас.%. После обезвоживания на центрифуге либо гидроциклоне и соответствующей подготовки выделенные нефтепродукты можно использовать как водоземulsionное топливо.

Справедливость вышесказанного, подтверждают результаты лабораторных исследований (рис. 2, 3), посвященные изучению кинетики процесса флокуляционно-флотационного выделения тонкоэмульгированных нефтепродуктов из их устойчивых эмульсий. Из рисунков следует, что предварительная обработка эмульсий нефти, минерального масла и мазута в ультрафлокуляторе с катионным флокулятором «Магнифлок 368» увеличивает степень флотационного выделения вышеперечисленных нефтепродуктов вплоть до 99,8% и резко сокращает время флотационной обработки (более чем на порядок), которое не превышает 120 с. Также надо отметить, что добавка ГИПХ – 3А существенно расширяет область значений pH,

благоприятных для флотационного выделения нефтепродуктов, что позволяет с максимальной эффективностью проводить данный процесс в нейтральной среде.



Рис. 2. Кинетика флотационного выделения дисперсной фазы нефти (1), минерального масла (2) и мазута (3) из их 0,75%-ных водных эмульсий, содержащих добавку 0,1 г/л ГИПХ –3А; рН среды – 6,5

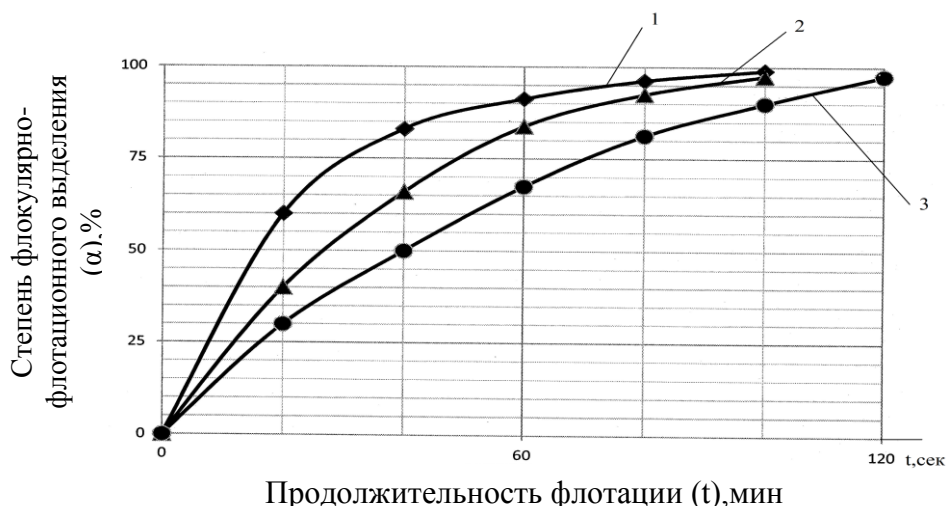


Рис. 3. Кинетика флокулярно-флотационного выделения дисперсной фазы нефти (1), минерального масла (2) и мазута (3) из их 0,75%-ных водных эмульсий, содержащих добавку 0,1 г/л ГИПХ – 3А, предварительно обработанную ультрафлокуляцией с добавкой флокулянта «Магнифлок – 368» – 0,25 г/л, длительность обработки – 10 сек; градиент скорости среды  $G = 6000 \text{ c}^{-1}$ , рН среды – 6,5

Разработанная установка может быть применена и для очистки балластных вод при их загрязнении в аварийных ситуациях, а также при мойке емкостей, загрязненных другими органическими веществами (например, растительными маслами) в случае регулирования рациональных параметров ведения процесса.

#### Выводы:

1. Применение технологии очистки сточных вод, образующихся при мойке емкостей, загрязненных нефтепродуктами с помощью разработанной мобильной флокулярно-флотационной установки позволяет достичь эффекта выделения по взвешенным и коллоидным веществам до 99,8%.

2. Рациональные условия ведения процесса флокулярной флотации при очистке нефтесодержащих промывных вод, содержащих добавку катионного ПАВ ГИПХ – 3А в количестве 0,1 г/л, являющегося интенсификатором как процесса мойки, так и флотационного выделения нефтепродуктов из их эмульсий: расход флокулянта 0,25 г/л, длительность обработки 10 сек., градиент скорости среды  $6000 \text{ с}^{-1}$  – при предварительной обработке катионным флокулянтом «Магнифлок 368».

3. Введение в технологическую схему мобильной установки узла предварительной обработки отработанного моющего раствора на ультрафлокуляторе позволяет сократить время последующей флотационной очистки более чем на порядок. Оно составило 120 с., что позволяет завершить процесс мойки крупногабаритных резервуаров за несколько часов.

4. Разработанная установка обеспечивает реализацию процесса мойки в режиме оборотного водоснабжения с использованием сравнительно небольшого объема (5-6 м<sup>3</sup>) моющего раствора в цикле.

5. Выделенная нефтяная фаза отработанного моющего раствора представляет собой плотную консистенцию и после соответствующей подготовки может быть использована в качестве водоэмульсионного топлива.

### Литература

1. Исаков А.Я. Утилизация нефтесодержащих вод в судовых условиях: дис. доктора техн. наук: 05.26.02 / Исаков Алексей Яковлевич – Петропавловск-Камчатский, 2002. – 284 с.

2. Бейгельдруд Г.М. Мобильный комплекс очистки нефтесодержащих сточных вод нефтяных месторождений / Г.М. Бейгельдруд, В.Г.Габленко. – Дубна: НПО «Перспектива», 2002. – 32 с.

3. Рулёв Н.Н. Интенсификация процесса сгущения хвостов флотации ультрафлокуляцией / Н.Н. Рулёв, В.В.Лукьянова // Сб. материалов VIII Конгресса обогатителей стран СНГ. – 2011. – Т.1. – С.23-26.

4. Рулёв Н.Н. Парная энергия связи частиц и размер флокул, образующихся в турбулентном потоке / Н.Н. Рулёв, Т.А.Донцова, Т.В. Небеснова // Химия и технология воды. – 2005. – Т.27. – №1. – С.21-37.

5. Rulyov N.N. Ultra-flocculation: Theory, Experiment, Application / N.N. Rulyov // Particle Size Enlargement in Mineral. – Montreal: Metallurgy and Petroleum, 2004. – P. 197-214.

6. Рулев Н.Н. Интенсификация процесса сепарации фаз маслосодержащих сточных вод методом ультрафлокуляции и микрофлотации / Н.Н. Рулев, Т.В. Небеснова // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2015. – Вип. 60. – С. 467-473.

7. Небеснова Т.В. Область использования гетерокоагуляционной модели для описания процесса флотационной очистки сточных вод / Т.В. Небеснова // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2005. – Вип. 18. – С.167-170.

8. Рулев Н.Н. Технология сепарации фаз отработанных смазочно-охлаждающих жидкостей / Н.Н.Рулев, Т.В. Небеснова // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2016. – Вип.65. – С. 165-170.

9.Скрылёв Л.Д. Адсорбционно-мицелярное энергетическое соотношение ПАВ, как критерий их моющего действия по отношению к загрязненной нефтью металлической поверхности / Л.Д. Скрылёв, Л.М. Солдаткина, Е.А.Стрельцова, Т.Л.Скрылёва // Изв.вузов. Химия и хим.технология. – М.,1992. – Т.35. – Вып.8. – С. 102-104.

10. Скрылёв Л.Д. Длина углеводородной цепи и ингибирующее действие хлоридов аммония / Л.Д. Скрылёв, Е.А. Стрельцова, Т.Л. Скрылёва // Защита металлов. – Киев, 1991. – Т.27. – №6. – С. 977-980.

Стаття надійшла 15.06.2017