

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ПАО «ПИГМЕНТ»

**Т. А. Сухорукова, В. Я. Борщев, Л. Г. Михайлова,  
Е. Г. Михайлова, Н. Н. Осипов**

*Кафедра «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»,  
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия;  
t.suhorukova2015@yandex.ru*

**Ключевые слова:** обезвреживание вод; очистка сточных вод; сточные воды.

**Аннотация:** Проведен анализ очистки промышленных сточных вод ПАО «Пигмент». Предложен алгоритм по обезвреживанию и вторичному использованию промышленных сточных вод. Проведены исследования качества сточных вод. Разработаны рекомендации по обезвреживанию и вторичному использованию промышленных сточных вод. Для повышения степени очистки сточных вод на ПАО «Пигмент» предложено использовать мембранную установку. В результате экспериментальных исследований установлено, что переработка анилинсодержащих стоков методом обратного осмоса на рулонных элементах невозможна. Для переработки анилинсодержащих стоков рекомендовано использовать перед мембранной установкой электрофлотатор или озонирование промышленных сточных вод.

---

Очистка производственных сточных вод проводится в целях использования их в системах последовательного, замкнутого или оборотного водоснабжения, обеспечения условий приема в городские системы водоотведения или сброса в водные объекты [1]. Для выбора наиболее оптимального метода очистки сточных вод следует знать их состав, количество, свойства и факторы, влияющие на их изменения. Выбор метода очистки зависит от физико-химических свойств, размеров частиц примесей и концентрации взвешенных частиц, необходимой степени очистки и расхода сточных вод [2, 3].

ПАО «Пигмент» г. Тамбова, как и любое промышленное предприятие, является потенциальным источником загрязнения окружающей среды. Основными вредными веществами, попадаемыми в сточные воды предприятия, являются аминокпродукты, нитропродукты, аммиак, сульфокислоты, поверхностно-активные вещества, различные соли и др.

Для анализа степени загрязненности сточных вод рассмотрим следующие стадии процесса производства пигмента красного С в цехе № 15 завода с использованием промышленных вод: подготовка суспензии 4-нитроанилина, очистная фильтрация диазосоединения на фильтр-прессе, промывка фильтр-пресса водой из водопроводной линии. Далее промывные воды очищают на фильтр-прессе.

Для разработки рекомендаций по обезвреживанию и вторичному использованию промышленных сточных вод на предприятии ПАО «Пигмент» следует располагать сведениями о содержании органических примесей в промышленных сточных водах [4].

В настоящей работе предложен следующий алгоритм по обезвреживанию и вторичному использованию промышленных сточных вод: выбор эффективного

метода очистки промышленных сточных вод; контроль содержания органических примесей в промышленных сточных водах; выбор мер по обезвреживанию промышленных сточных вод и вторичному их использованию.

На предприятии в настоящее время ежеквартально ведется мониторинг поверхностных вод по следующим объектам: Архиерейский пруд, река Цна, озеро Вронское. Проведенный анализ результатов мониторинга показал, что по всем рассматриваемым объектам химический состав воды по химическому потреблению кислорода (ХПК) остался практически неизменным, а в некоторых случаях даже несколько улучшился.

Проведены также исследования качества барражных вод, попадающих в ручей Чумарса. Из ручья отбирали пробы воды, затем в лаборатории проводили их комплексный химический анализ: на водородный показатель рН, биологическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>), ХПК, анионные поверхностно-активные вещества (АПАВ) и др. Пробы воды отбирали в разное время года. Анализ проб проводили с помощью фотометра фотоэлектрического КФК-3, анализатора жидкости «Флюорат 02-2М», иономера универсального ЭВ-74, весов лабораторных 1-го класса точности ВЛ-210. В качестве примера в табл. 1 приведены результаты анализа проб воды от 17.06.2015 г. Результаты исследований проб воды, отобранных из ручья Чумарса, свидетельствуют, что исследуемые пробы воды по химическим показателям соответствуют требованиям, предъявляемым к качеству сточных вод [5].

Таблица 1

**Результаты пробы воды от 17.06.2015**

Наименование показателей	Единицы измерений	р. Чумарса в створе 500 м выше выпуска очищенных сточных вод	Очищенная сточная вода (среднее)	р. Чумарса в створе 500 м ниже выпуска очищенных сточных вод
рН	Абсолютные единицы	5,3	7,8	7,3
Взвешенные вещества	мг/л	7,1	7,3	5,3
БПК <sub>5</sub>	мг O <sub>2</sub> /л	3,6	3,82	3,6
ХПК		28,7	45,9	40,1
Сухой остаток	мг/л	443,8	586,3	462,2
Анилин		0,0001	0,0002	0,0000
Бензол		0,0002	0,0002	0,00013
Нитрат-ион		0,32	0,6	0,39
Нитрит-ион		0,06	0,07	0,03
АПАВ		0,03	0,039	0,02
Аммоний-ион		1,2	1,4	1,0
Фенол		0,017	0,02	0,012
Ксилол		0,00	0,00	0,00
Железо общее		0,24	0,27	0,21
Толуол		0,003	0,004	0,002
Нефтепродукты		0,04	0,06	0,02
Фосфаты		0,04	0,061	0,034
Сульфаты		91,09	92,13	90,18
Хлориды		104,2	106,25	103,43

В реках и других водоемах естественный процесс самоочищения воды протекает достаточно медленно. Поэтому чрезвычайно актуальной задачей является разработка комплекса мероприятий по внедрению эффективной системы очистки промышленных сточных вод на ПАО «Пигмент», после которой вода будет поступать на повторное использование в производстве. Эти мероприятия должны существенно снизить водопотребление, объем закачиваемых стоков, а также повлиять на улучшение экологической ситуации, в частности улучшения водных объектов. Для повышения степени очистки сточных вод на ОАО «Пигмент» предложено использовать типовую мембранную установку (рис. 1).

Промышленная сточная вода, используемая в исследованиях, представляет собой прозрачную, слабоокрашенную жидкость со слабым органическим запахом, солесодержанием от 500 до 7000 мг/л. Исходя из требования максимально возможной степени обессоливания и удаления органических примесей из сточных вод, для проведения испытаний была выбрана мембрана с паспортной селективностью 99 %. Исходная сточная вода в экспериментах имела среднее солесодержание 1200...1600 мг/л.

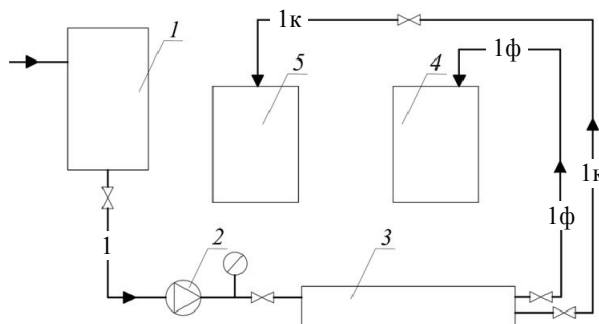
В ходе экспериментального исследования реализовано несколько режимов организации процесса очистки сточных вод, различающихся условиями разделения и исходными данными.

1. Исследования при начальных условиях: температура исходной сточной воды 20 °С, рабочее давление 14 бар, исходные расходы фильтрата и концентрата соответственно 18 и 12 л/ч, объем исходной сточной воды 60 л, исходное солесодержание 1600 мг/л.

Методика экспериментальных исследований заключалась в следующем. Сточная вода из емкости поступала на мембранное разделение, полученные в процессе разделения фильтрат и концентрат возвращали в исходную емкость. Разделение проводили в течение 80 ч. Солесодержание фильтрата в течение этого времени изменялось в пределах 9...29 мг/л, что соответствует удельной электропроводности 20...60 мкСм/см. Фильтрат представлял собой бесцветную абсолютно прозрачную жидкость, практически без запаха.

Производительность лабораторной установки по фильтрату в ходе эксперимента уменьшилась незначительно, что позволило спрогнозировать стабильную работу промышленной установки.

2. Исследование при стационарных условиях разделения, характеризующихся обеспечением постоянного соотношения потоков фильтрата и концентрата. Начальная условия: температура исходной воды 20 °С; объем разделяемой сточной воды 75 л; исходное солесодержание 1200 мг/л. В течение трех с половиной часов работы установки получено 62 л фильтрата и 13 л концентрата. Производительность по фильтрату и концентрату составила 18 и 4,5 л/ч соответственно. Солесодержание фильтрата находилось в пределах 13...30 мг/л.



**Рис. 1. Схема лабораторной мембранной установки:**

1 – бак исходной воды; 2 – насос; 3 – мембранный аппарат; 4 – бак сбора фильтрата; 5 – бак сбора концентрата; -1- – сточная вода, -1ф- – фильтрат, -1к- – концентрат

При реализации этого режима исходная вода поступала на мембранное разделение, получаемые фильтрат и концентрат подавались в отдельные емкости. В эксперименте фиксировали: соотношение потоков фильтрата и концентрата (80/20), рабочее давление. Анализировали изменение производительности по фильтрату и солесодержание фильтрата.

3. Исследование при нестационарных условиях разделения, характеризующихся обеспечением максимального концентрирования. Начальные условия: объем исходного раствора 60 л; исходные параметры сточной воды: солесодержание 1500 мг/л, температура 20 °С. В результате экспериментальных исследований установлено, что при концентрировании данного раствора в 3 раза по объему производительность мембранной установки и солесодержание изменялись незначительно, но при дальнейшем концентрировании (солесодержание в подаваемом растворе превышает 6000 мг/л) производительность по фильтрату резко снижалась, а солесодержание фильтрата резко увеличивалась.

При реализации нестационарных условий разделения исходная вода поступала на разделение, фильтрат отводится в отдельную емкость, концентрат возвращался в исходную емкость. В процессе разделения фиксировали рабочее давление, измеряли расход и солесодержание фильтрата в зависимости от степени концентрирования исходного раствора.

4. Значительный практический интерес представляет исследование процесса регенерации мембранного рулонного фильтрующего элемента. В процессе эксплуатации предполагается, что мембранные элементы будут постепенно загрязняться отложениями солей жесткости, коллоидными частицами гидроокисей (в том числе железа), красителями. Регенерацию мембранных элементов проводят, как правило, их промывкой. При проведении промывки фильтрующего элемента руководствовались рекомендациями фирм-изготовителей мембранных элементов: вначале проводить кислую, затем щелочную мойки во избежание перекристаллизации в щелочной среде неорганических осадков.

Кислую и щелочную мойки проводили моющими средствами для мембранных элементов обратного осмоса соответственно «Энерготрит» и «Гидротрит» под общей маркой «Чистил-М», выпускаемыми компанией «Энерго» (Россия).

В ходе кислой мойки, в первые же минуты промывочный раствор окрасился в оранжево-красный цвет, интенсивность которого возрастала в течение 30 мин, а в последующие 30 мин не изменялась. После отмывки установки от кислого моющего средства проведено тестовое разделение промывной воды. При этом производительность мембранной установки составила 18 л/ч, то есть она полностью восстановилась.

В ходе щелочной мойки, в первые минуты раствор окрасился в грязновато-красный цвет, интенсивность которого возрастала в первые 15...30 мин.

В результате исследования регенерации мембран установлено, что и кислый и щелочной реагенты удаляют с поверхности мембран не только неорганические загрязнения, но и присутствующие в промывной воде красители.

По результатам проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. Выбранные мембранные элементы производства «Дженерел Электрик» обеспечивают получение очищенной (частично обессоленной и обесцвеченной) воды с удельной электропроводностью 20...200 мкСм/см.

2. За 100 суммарных часов работы мембранной установки производительность по фильтрату уменьшилась не более, чем на 10 %, что соответствует стандартным условиям разделения жидкостей методом обратного осмоса.

3. Снижение производительности по фильтрату можно объяснить отложениями частиц красителей, находящихся в промывных водах.

4. Периодическую химическую мойку мембранных элементов следует проводить вначале кислым, затем щелочным реагентом, поскольку отмывочные растворы в обоих случаях приобретают окраску. Периодичность моек устанавливается в процессе эксплуатации установки, однако в любом случае ее необходимо

проводить при снижении производительности по фильтрату до 80 % от первоначальной.

5. Концентрирование сточных вод рекомендуется проводить до содержания концентрата 5000...7000 мг/л, так как дальнейшее концентрирование приводит к существенному снижению производительности по фильтрату.

6. В процессе испытаний установлено, что переработка анилинсодержащих стоков методом обратного осмоса на рулонных мембранных элементах невозможна. Для их переработки целесообразно использовать электрофлотатор или озонирование промышленных сточных вод перед мембранной установкой [6].

#### *Список литературы*

1. Абдрахимов, Ю. Р. Основы промышленной экологии в нефтепереработке и нефтехимии : учеб. пособие / Ю. Р. Абдрахимов, Р. Р. Хабибуллин, А. А. Рахматуллина ; Уфим. нефт. ин-т. – Уфа : УНИ, 1991. – 140 с.

2. Шумяцкий, Ю. И. Адсорбционные процессы : учеб. пособие / Ю. И. Шумяцкий. – М. : Изд-во РХТУ им. Менделеева, 2005. – 164 с.

3. Шубина, А. Г. Очистка сточных вод на Федеральном государственном унитарном предприятии «Опытный завод “Тамбоваппарат”» от ионов хрома, железа, меди и цинка / А. Г. Шубина, С. Е. Синюткина, Р. А. Шубин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2009. – Т. 15, № 3. – С. 598 – 603.

4. Тришакова, Т. А. Анализ деятельности по обеспечению экологической безопасности на ОАО «Пигмент» / Т. А. Тришакова, С. Ю. Слюняева, М. А. Синельникова // Проблемы техносферной безопасности – 2014 : материалы 3-й междунар. науч.-прак. конф. молодых ученых и специалистов, 8 апр. 2014 г. Москва / Акад. Гос. противопожар. службы МЧС России. – М., 2014. – С. 221 – 223.

5. Лурье, Ю. Ю. Химический анализ производственных сточных вод / Ю. Ю. Лурьев. – М. : Химия, 1966. – 168 с.

6. Кожин, В. Ф. Установки для озонирования воды / В. Ф. Кожин. – М. : Стройиздат. – 1968. – 172 с.

---

## **Research into Wastewater Treatment at JSC “Pigment”**

**T. A. Sukhorukova, V. Ya. Borshchev, L. G. Mikhailova,  
E. G. Mikhailova, N. N. Osipov**

*Department “Technological Processes, Devices and Technosphere Safety”, TSTU,  
Tambov, Russia; t.sukhorukova2015@yandex.ru*

**Keywords:** recycling of sewage; treatment of wastewater; wastewater.

**Abstract:** The paper analyzes industrial wastewater treatment at JSC “Pigment”. An algorithm for the disposal and recycling of industrial wastewater is proposed. The quality of wastewater is tested. The recommendations on treatment and recycling of industrial wastewater are made. It is proposed to use the membrane installation to improve the level of wastewater treatment at JSC “Pigment”. The experimental studies showed that treatment of wastewater containing aminobenzene by reverse osmosis is impossible on spiral wound elements. It is recommended to use the electrical floater for wastewater containing aminobenzene or subject it to ozone treatment prior to the use of the membrane installation.

#### *References*

1. Abdrahimov Yu.R., Khabibullin R.R., Rakhmatullina A.A. *Osnovy promyshlennyi ekologii v neftepererabotke i neftekhimii* [Fundamentals of Industrial Ecology in the oil refining and petrochemical industry], Ufa: UNI, 1991, 140 p. (In Russ.)

2. Shumyatsky Yu.I. *Adsorbtsionnye protsessy* [Adsorption processes: a tutorial], Moscow: RKhTU imeni Mendeleeva, 2005, 164 p. (In Russ.)

3. Shubina A.G., Sinyutina S.E., Shubin R.A. [Wastewater Purification from Chrome, Iron, Copper and Zinc Ions at Federal State Unitary Enterprise "Experimental Plant "Tambovapparat"], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2009, vol. 15, no. 3, pp. 598-603. (In Russ., abstract in Eng.)

4. Trishakova T.A., Slyunyayeva S.Yu., Sinelnikova M.A. [Analysis of the activities to ensure environmental safety at JSC "Pigment"], *Problemy tekhnosfernoi bezopasnosti – 2014* [Problems of technosphere safety – 2014], Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists, 8 April 2014, Moscow, pp. 221-223. (In Russ.)

5. Lurie Yu.Yu. *Khimicheskii analiz proizvodstvennykh stochnykh vod* [Chemical Analysis of Industrial Waste Water], Moscow: Khimiya, 1966, 168 p. (In Russ.)

6. Kozhinov V.F. *Ustanovki dlya ozonirovaniya vody* [Installations for Water Ozonation], Moscow: Stroyizdat, 1968, 172 p. (In Russ.)

---

### **Untersuchung des Prozesses der Reinigung der Abwässer auf der ÖAG „Pigment“**

**Zusammenfassung:** Es ist die Analyse der Reinigung der industriellen Abwässer der ÖAG „Pigment“ durchgeführt. Es ist der Algorithmus nach dem Unschädlichmachen und der nochmaligen Nutzung der industriellen Abwässer angeboten. Es sind die Forschungen der Qualität der Abwässer durchgeführt. Es sind die Empfehlungen nach dem Unschädlichmachen und der nochmaligen Nutzung der industriellen Abwässer entwickelt. Für die Erhöhung der Stufe der Reinigung der Abwässer auf der ÖAG „Pigment“ ist es vorgeschlagen, die Membrananlage zu verwenden. Infolge der experimentalen Forschungen ist es bestimmt, dass die Verarbeitung der anilinhaltenden Abflüsse von der Methode der rückgängigen Osmose auf den Rollenelementen unmöglich ist. Für die Verarbeitung der anilinhaltenden Abflüsse ist es empfohlen, den Elektroflotator oder die Ozonisierung der industriellen Abwässer vor der Membrananlage zu verwenden.

---

### **Etude du processus du traitement des eaux usées de l'entreprise «Pigment»**

**Résumé:** Est effectuée une analyse du traitement des eaux usées industrielles de l'entreprise «Pigment». Est proposé un algorithme pour la neutralisation et pour l'utilisation secondaire des eaux usées industrielles. Sont réalisées les études de la qualité des eaux usées. Sont élaborées des recommandations pour la neutralisation et pour l'utilisation secondaire des eaux usées industrielles. Pour augmenter le degré du traitement des eaux usées de l'entreprise «Pigment» est proposé d'utiliser l'installation de membrane. A la suite d'études expérimentales est montré que le traitement des égouts comportant de l'aniline par la méthode d'osmose inverse sur les éléments de rouleau n'est pas possible. Pour le traitement des égouts comportant de l'aniline est recommandé d'utiliser avant d'installer la membrane le flottateur électrique ou bien l'ozonation des eaux usées industrielles.

---

**Авторы:** *Сухорукова Татьяна Александровна* – аспирант кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»; *Борщев Вячеслав Яковлевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»; *Михайлова Людмила Геннадьевна* – магистрант; *Михайлова Евгения Геннадьевна* – магистрант; *Осипов Николай Николаевич* – магистрант, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

**Рецензент:** *Карпушкин Сергей Викторович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.