

УДК 628.33

**В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, И. И. Шарипов,
С. В. Данг, В. В. Харьков**

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ТЭС ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ОТСТОЙНИКАХ

Ключевые слова: водонефтяная эмульсия, разделение, отстойник, эффективность извлечения.

Увеличение эффективности разделения водонефтяных эмульсий на составляющие компоненты является важной задачей с экологической и экономической точек зрения при очистке сточных вод на ТЭС. Неочищенные воды крайне негативно влияют на экосистему природных водоемов. В статье предлагаются разработанные авторами вставки с гофрированными перегородками, расположенными под различными углами, внутри горизонтального отстойника непрерывного действия. Глубина гофр составляла 10 мм. Для интенсификации расслоения водонефтяных эмульсий по длине и высоте пластин были проделаны круглые отверстия диаметром 1 мм, шаг между отверстиями – 3,5 мм. Достоинствами разработанных вставок являются повышение эффективности работы отстойников, легкость в использовании, ремонтпригодность и малая металлоемкость. Произведено исследование разделения водонефтяной эмульсии в экспериментальной установке при различных скоростях потока в диапазоне от 0,047 до 0,080 м/с. В ходе проведенных исследований было установлено, что применение различных вставок в отстойнике позволило повысить эффективность разделения водонефтяной эмульсии относительно отстойника без вставок в среднем на 9,2 % при концентрации нефти в исходной смеси водонефтяной эмульсии равной от 15 до 25 %. Показано, что наиболее высокие значения объемной доли нефти в легкой фазе на выходе из отстойника достигались при использовании экспериментальных вставок с гофрированными перегородками, расположенными под углом 135°, что обусловлено ориентацией гофрированных поверхностей, которые смещают направление движения компонентов нефти относительно воды, движущихся вверх устройства, тем самым интенсифицируя процесс расслоения эмульсии.

**V. E. Zinurov, A. V. Dmitriev, I. I. Sharipov,
S. V. Dang, V. V. Kharkov**

EFFICIENCY OF WASTEWATER TREATMENT FROM OIL IN THERMAL POWER STATIONS USING WASH TANKS

Keywords: water-oil emulsion, separation, wash tank, efficiency.

A separation efficiency increasing of the water-oil emulsion is a pressing issue that has both an ecological and economic interest in wastewater treatment at thermal power stations. Untreated wastewater has an extremely negative impact on the ecosystem of natural water reservoirs. The paper describes the inserts developed by the authors with corrugated partitions located under different angles, inside the horizontal continuous wash tank of continuous action. The depth of the corrugations is 10 mm. For an intensification of separation of water-oil emulsions, 1 mm holes were made along the length and height of plates, a step between holes was 3.5 mm. The advantages of the designed inserts are increased efficiency of the wash tanks, ease of use, repairability, and low metal consumption. Water-oil emulsion separation was investigated in a test set-up at different flow velocity ranging from 0.047 to 0.080 m/s. According to the results, the use of different inserts in the wash tank made can increase the efficiency of decomposition of the water-oil emulsion compared to the wash tank without inserts by an average of 9.2 % when the initial oil concentration in the mixture of the water-oil emulsion changes from 15 to 25 %. It was shown that the highest values of the volume fraction of oil in the light phase at the outlet of the wash tank were achieved by using experimental inserts with corrugated partitions located at an angle of 135°. It is caused by the orientation of corrugated surfaces, which transit the direction of motion of oil components relative to the water moving upward of the device, thereby intensifying the breaking of emulsion.

Сточные воды современных ТЭС содержат следы нефтепродуктов из-за наличия мазутных хозяйств, работы электротехнического оборудования и вспомогательных служб (депо, гаражи, склады и др.) и т.д. Неочищенные сточные воды крайне негативно влияют на экосистему природных водоемов, поэтому очистка загрязненных нефтепродуктами вод является актуальной задачей. Типовая схема очистки сточных вод ТЭС от нефти и ее производных заключается в последовательном извлечении их в нефтеловушке, флотаторе и доочистке на механических фильтрах, загруженных антрацитом или песком. Эффективность данной схемы составляет около 95 % [1, 2].

В настоящее время основным недостатком большинства применяемых нефтеловушек является их

относительно низкая эффективность (не более 40–60 %), главным образом обусловленная высокой степенью дисперсности частиц. Как правило, в нефтеловушках задерживаются лишь плавающие примеси (пленка) и весьма крупные частицы. Более эффективными являются тонкослойные отстойники, эффективность очистки которых на 10–15% превышает эффективность нефтеловушек [3–5]. Также в схему очистки сточных вод ТЭС от нефти могут включаться различные аппараты, осуществляющие процесс разделения водонефтяной эмульсии на основе химических, термических, электрических и других способов. Дальнейшее ужесточение норм ПДК нефтепродуктов, содержащихся в сточных водах ТЭС, перед сбросом их в природные водоемы, приводит к необ-

ходимости поиска и разработки технико-экономических способом по более эффективной очистке [6–10].

Одним из перспективных направлений повышения эффективности разделения водонефтяных эмульсий является изучение различных способов усовершенствования конструкции и работы отстойников-нефтеловушек. Например, исследование различных устанавливаемых внутри отстойников перегородок в виде полок, щитов и других геометрических тел, которые повышают скорость расслоения водонефтяных эмульсий на составляющие компоненты за счет изменения структуры движения потока при огибании препятствий [11–16].

Авторами работы были разработаны три вида вставок с гофрированными перегородками (рис. 1):

- вставка с перегородками, расположенными под углом 45°;
- вставка с перегородками, расположенными под углом 135°;
- вставка с перекрестными перегородками.

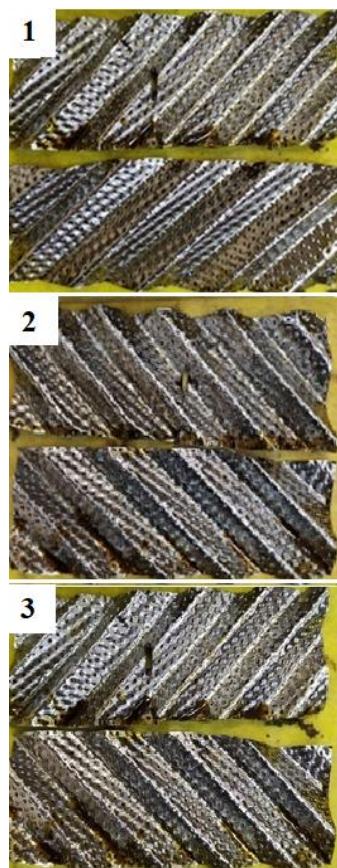


Рис. 1 – Внешний вид сепарационных вставок:

- 1 – с гофрированными перегородками, расположенными под углом 45°;
- 2 – с гофрированными перегородками, расположенными под углом 135°;
- 3 – с перекрестными гофрированными перегородками

Глубина гофр составляла 10 мм. Для интенсификации расслоения водонефтяных эмульсий по длине и высоте пластин были проделаны круглые отверстия диаметром 1 мм, шаг между отверстиями – 3,5 мм. Достоинствами разработанных вставок являются повышение эффективности работы отстойников, легкость в использовании, ремонтпригодность и малая металлоемкость.

Целью данной работы является экспериментальное исследование разделения водонефтяной эмульсии на составляющие компоненты при использова-

нии различных вставок внутри горизонтального отстойника непрерывного действия.

Исследование вставок с гофрированными перегородками проводилось на экспериментальной установке (рис. 2) оборудованной горизонтальным отстойником 7 с проходным сечением 60×60 мм, в который вставлялись экспериментальные вставки 1, клапанами регулирования расходов легкой и тяжелой фаз 2, пробоотборниками 3 для определения содержания концентрации нефти и воды после разделения водонефтяных эмульсий, расходомерами 4 для учета расхода разделенных потоков, емкостью с мешалкой 5 и насосом 6 для подачи водонефтяной эмульсии в отстойник.

Эксперимент проводился следующим образом: смешение воды и нефти осуществлялось в емкости с мешалкой, полученная водонефтяная эмульсия насосом подавалась в горизонтальный отстойник. После его заполнения до критического уровня открывались регулировочные клапаны, через которые легкая и тяжелая фазы проходили через пробоотборники и расходомеры, далее две фазы попадали снова в емкость с мешалкой. Определение концентраций легкой и тяжелой фаз на выходе из горизонтального отстойника производилось весовым методом – с периодичностью в тридцать минут. Следует отметить, что после разделения водонефтяной эмульсии на составляющие, более легкая фаза – нефть, поступала в верхнюю часть линии пробоотборника, тяжелая фаза – вода, поступала в нижнюю часть пробоотборника.

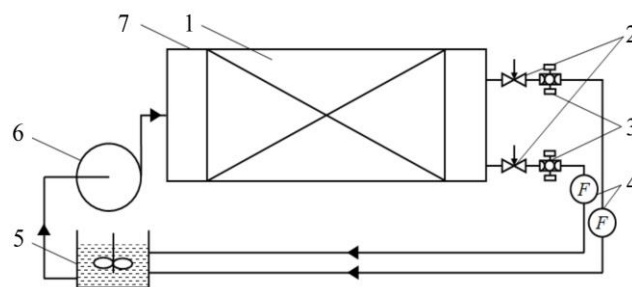


Рис. 2 - Экспериментальная установка: 1 – экспериментальная вставка; 2 – регулировочные клапаны; 3 – пробоотборники; 4 – расходомеры; 5 – емкость с мешалкой; 6 – насос; 7 – отстойник

В ходе проведенных исследований следующие параметры принимались фиксированными: плотность воды 998,2 кг/м³, температура окружающей среды 20 °С, коэффициент динамической вязкости воды 0,001004 Па·с, плотность нефти 880 кг/м³, коэффициент динамической вязкости нефти 0,0198 Па·с. Для получения большой выборки экспериментальных данных в емкость с мешалкой подавались различные доли воды и нефти, чтобы концентрация нефти в водонефтяной эмульсии составляла от 15 до 25 %.

Эффективность разделения водонефтяной эмульсии E рассчитывалась по выражению:

$$E = \frac{x_D - x_F}{1 - x_F},$$

где $\overline{x_D}$ – массовая доля масла в легкой фазе, кг/кг;
 $\overline{x_F}$ – массовая доля масла в исходной смеси, кг/кг.

Результаты проведенных исследований были представлены на рис. 3–6. Увеличение скорости движения водонефтяной эмульсии в горизонтальном отстойнике приводит к увеличению эффективности ее разделения на составляющие компоненты, вследствие усиления эффекта расслоения, которое вызвано уменьшением временного промежутка нахождения компонентов водонефтяной эмульсии в тех областях отстойника, где жидкость не контактирует с экспериментальными вставками, так как в них может осуществляться процесс перемешивания компонентов из-за вихрей в потоке.

Как видно на рис. 1, такие области находятся между гофрированными перегородками вставок. Повышение скорости приводит к наиболее быстрому перемещению водонефтяной эмульсии к следующей точке поверхности гофрированной перегородки, обволакивание которой приводит к усилению интенсификации разделения эмульсии на воду и нефть. Эффективность разделения водонефтяной эмульсии на составляющие компоненты в среднем составляла 73,1, 74,7, 70,1 и 63,2 % при использовании экспериментальной установки с вставками с гофрированными перегородками, расположенными под углом 45°, 135°, с перекрестными гофрированными перегородками и без вставок, соответственно, при средней скорости движения эмульсии в диапазоне от 0,047 до 0,08 м/с.

При разделении водонефтяной эмульсии при концентрации нефти в исходной смеси равной 15 % эффективность в среднем составляла 62,3, 64,9, 61,5 и 50,9% при использовании устройства с вставками с гофрированными перегородками, расположенными под углом 45°, 135°, с перекрестными гофрированными перегородками и без вставок, соответственно. Увеличение скорости водонефтяной эмульсии в горизонтальном отстойнике на 10 % приводило к повышению эффективности процесса разделения в среднем на 93,3, 69,2, 100,2 и 78,8 % при исследовании отстойника с вставками с гофрированными перегородками, расположенными под углом 45°, 135°, с перекрестными гофрированными перегородками и без вставок, соответственно (рис. 3).

Повышение начальной концентрации нефти в водонефтяной эмульсии с 15 до 20 % привело к увеличению эффективности разделения водонефтяной эмульсии в среднем на 8,7, 8,4, 9,8 и 12,7 % при использовании вставок с гофрированными перегородками, расположенными под углом 45°, 135°, с перекрестными гофрированными перегородками и без вставок, соответственно. Эффективность извлечения нефти из водонефтяной эмульсии при ее концентрации в исходной смеси 20 % в среднем составила 71,1, 73,4, 71,4 и 63,7 % при проведении эксперимента в отстойнике с вставками с гофрированными перегородками, расположенными под углом 45°, 135°, с перекрестными гофрированными перегородками и без вставок, соответственно (рис. 4).

При разделении водонефтяной эмульсии при концентрации нефти в исходной смеси 25 % эффектив-

ность в среднем составила 85,3, 84,5, 77,4 и 74,6 % при использовании вставок с гофрированными перегородками, расположенными под углом 45°, 135°, с перекрестными гофрированными перегородками и без вставок, соответственно. Увеличение концентрации нефти с 20 до 25 % привело к повышению эффективности разделения водонефтяной эмульсии в среднем на 14,1, 11,3, 6,2 и 10,9 % при использовании отстойника с вставками с гофрированными перегородками, расположенными под углом 45°, 135°, с перекрестными гофрированными перегородками и без вставок, соответственно (рис. 5).

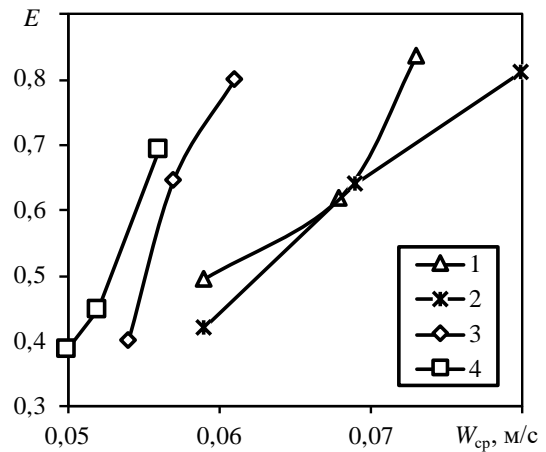


Рис. 3 - Эффективность извлечения нефти из водонефтяной эмульсии от ее средней скорости движения в отстойнике при использовании экспериментальных вставок: 1 – с гофрированными перегородками, расположенными под углом 45°; 2 – с гофрированными перегородками, расположенными под углом 135°; 3 – с перекрестными гофрированными перегородками; 4 – без вставок. Начальная концентрация нефти в водонефтяной эмульсии – 15 %

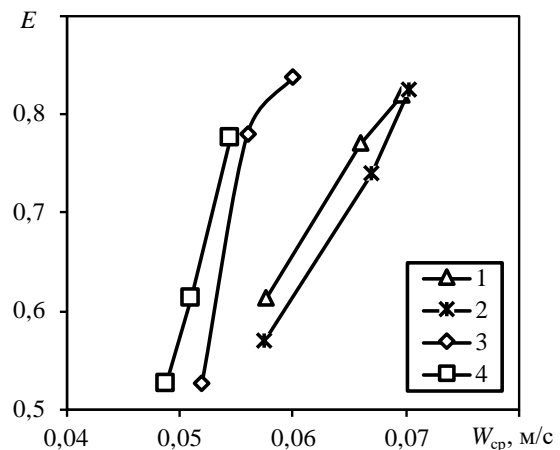


Рис. 4 - Эффективность извлечения нефти из водонефтяной эмульсии от ее средней скорости движения в отстойнике при использовании экспериментальных вставок: 1 – с гофрированными перегородками, расположенными под углом 45°; 2 – с гофрированными перегородками, расположенными под углом 135°; 3 – с перекрестными

гофрированными перегородками; 4 – без вставок. Начальная концентрация нефти в водонефтяной эмульсии – 20 %

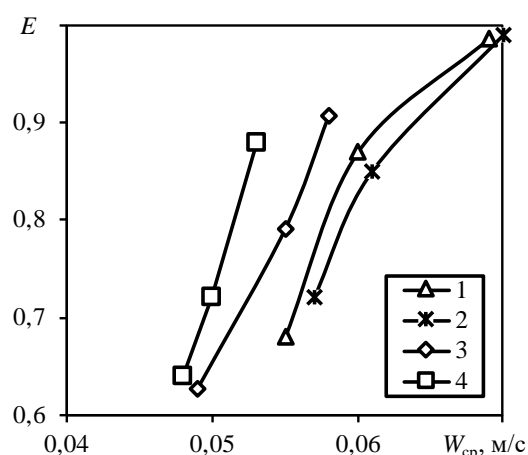


Рис. 5 - Эффективность извлечения нефти из водонефтяной эмульсии от ее средней скорости движения в отстойнике при использовании экспериментальных вставок: 1 – с гофрированными перегородками, расположенными под углом 45°; 2 – с гофрированными перегородками, расположенными под углом 135°; 3 – с перекрестными гофрированными перегородками; 4 – без вставок. Начальная концентрация нефти в водонефтяной эмульсии – 25 %

В ходе проведенных исследований было установлено, что применение различных вставок в отстойнике позволило повысить эффективность разделения водонефтяной эмульсии относительно отстойника без вставок в среднем на 9,2 % при концентрации нефти в исходной смеси водонефтяной эмульсии равной от 15 до 25 %. Максимальные показатели работы отстойника были зафиксированы при использовании вставок с гофрированными перегородками, расположенными под углом 135°. Эффективность разделения водонефтяной эмульсии в среднем составляла 74,7 %. Это обусловлено тем, что такая ориентация гофрированных поверхностей смещает направление движения компонентов нефти относи-

тельно воды, движущихся вверх устройства, тем самым интенсифицируя процесс расслоения эмульсии. При использовании других вставок расслоение водонефтяной эмульсии ухудшается, вследствие образования менее эффективной структуры движения потоков.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК–616.2020.8.

Литература

1. Н.К. Лаптедутьче, Е.С. Сергеева Е.С., *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*, 2007, 11–12, 99–104 (2007).
2. А.В. Дмитриев, В.Э. Зинуров, О.С. Дмитриева, *Вестник Казанского государственного энергетического университета*, 3 (39), 65–71 (2018).
3. А.Г. Лаптев, М.М. Башаров, *ИФЖ*, 91, 2, 377–386 (2018).
4. W. Jiang, Y. Chen, M. Chen M., *Separation and Purification Technology*, 211, 259–268 (2019).
5. H. Zhang, Y. Liang, X. Yan, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 156, 366–372 (2017).
6. А.А. Мусин, Э.Р. Тухбатова, Н.А. Анисенкова, *Вестник Башкирского университета*, 3, 622–626 (2017).
7. А.Н. Беркутов, В.А. Нестеров, *Новая наука: стратегии и векторы развития*, 1–2(58), 62–64 (2016).
8. И.В. Артющкин, *Вестник Самарского государственного технического университета*, 3 (59), 7–16 (2018).
9. M. Ochowiak, M. Matuszak, S. Włodarczyk S., *J. of Environ. Man.*, 189, 22–28 (2017).
10. M.T. Shah, H.V. Parmar, L.D. Rhyne, *J. of Petrol. Sc. and Eng.*, 182, 106352 (2019).
11. В.П. Коваленко, Е.А. Улюкина, А.Н. Зотов, *Вестник МГАУ*, 2(62), 15–19 (2014).
12. В.Э. Зинуров, А.В. Дмитриев, О.С. Дмитриева, *Вестник технологического университета*, 21, 11, 75–79 (2018).
13. Н.С. Урмитова, Р.Н. Абитов, Л.Р. Хисамеева, *Известия КГАСУ*, 4(34), 248–252 (2015).
14. А.А. Овчинников, В.В. Харьков, *Вестник технологического университета*, 17, 23, 322–325 (2014).
15. Л.И. Вольфтруб, В.М. Корабельников, А.Е. Гудошникова, *Водоснабжение и санитарная техника*, 5, 47–50 (2010).
16. А.В. Дмитриев, В.Э. Зинуров, О.С. Дмитриева, *Вестник Казанского государственного энергетического университета*, 10, 1(37), 74–81 (2018).

© В. Э. Зинуров – аспирант ФГБОУ ВО «КГЭУ», vadd_93@mail.ru; А. В. Дмитриев – д.т.н., зав. кафедрой «Теоретические основы теплотехники» (ТОТ) ФГБОУ ВО «КГЭУ», ieremiada@gmail.com; И. И. Шарипов – к.т.н., доцент кафедры ТОТ ФГБОУ ВО «КГЭУ», ranli@rambler.ru; Данг Суан Винь – аспирант ФГБОУ ВО «КГЭУ», ssonvinh@gmail.com; В. В. Харьков – старший преподаватель кафедры оборудования пищевых производств ФГБОУ ВО «КНИТУ», v.v.kharkov@gmail.com.

© V. E. Zinurov – postgraduate student, Kazan State Power Engineering University (KSPEU), vadd_93@mail.ru; A. V. Dmitriev – Doctor of Engineering, Head of Department «Theoretical Basis of Thermotechnics», KSPEU, ieremiada@gmail.com; I. I. Sharipov – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Department of Theoretical Basis of Thermotechnics, KSPEU, ranli@rambler.ru; Suan Vinh Dang – postgraduate student, KSPEU, ssonvinh@gmail.com; V. V. Kharkov – Senior Lecturer, Department of Food Production Equipment, Kazan National Research Technological University, v.v.kharkov@gmail.com.