



Исследование влияния диаметра выходных отверстий на эффективность разделения эмульсии в прямоугольных сепараторах

© И.Н. Мадышев*, В.Э. Зинуров**, А.В. Дмитриев**,
Данг Суан Винь**, Г.Р. Бадретдинова**

*Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия

**Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

Резюме: Цель – экспериментальные исследования разделения водонефтяных эмульсий в прямоугольном сепараторе в диапазоне скоростей движения по рабочей зоне устройства от 1,43 до 2,5 м/с. Для определения эффективности разделения эмульсии был использован экспериментальный метод, основанный на измерении плотности двухфазной жидкости при условии, что плотность каждого компонента смеси была предварительно определена. Авторами работы предлагается использовать устройство с П-образными элементами для повышения его производительности при разделении водонефтяных эмульсий. Исследуемое устройство состоит из одной полной ступени разделения, представляющей собой два ряда П-образных элементов. Авторами были проведены экспериментальные исследования устройства с П-образными элементами на системе «масло – вода». В ходе экспериментальных исследований оценивалась эффективность разделения эмульсии. Установлено, что наиболее высокая эффективность разделения эмульсии в предлагаемых устройствах наблюдается при диаметре отверстий равных 2,5 мм, предназначенных для выхода тяжелой фазы в диапазоне скоростей движения эмульсии от 1,43 до 2,5 м/с, и составляет 68%. Проведенные экспериментальные исследования позволят подобрать модель турбулентности для расчета в таких программах как Ansys Fluent или FlowVision, которая будет наиболее адекватно описывать процесс разделения подобных эмульсий. Эксперименты доказали возможность получения высоких значений эффективности. Следовательно, правильный подбор технологических параметров (среднерасходной скорости, концентрации) и размеров характерных элементов предлагаемого устройства позволит определиться с конструкцией прямоугольного сепаратора, например, рассчитать количество ступеней для достижения требуемой эффективности разделения или определить размер сепарационных элементов.

Ключевые слова: водонефтяная эмульсия, сепаратор, отстойник, нефтепродукты, сточные воды

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-616.2020.8.

Для цитирования: Мадышев И.Н., Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Данг С.В., Бадретдинова Г.Р. Исследование влияния диаметра выходных отверстий на эффективность разделения эмульсии в прямоугольных сепараторах. *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2020. Т. 24. № 6. С. 1232–1242. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2020-6-1232-1242>

Investigation of outlet diameter effect on emulsion separation efficiency in rectangular separators

Ilnur N. Madyshev*, Vadim E. Zinurov**, Andrey V. Dmitriev**,
Dang Xuan Vinh**, Guzel R. Badretdinova**

*Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

**Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Abstract: The purpose of the study is to conduct experimental studies of oil-water emulsion separation in a rectangular separator in the range of velocities along the device working area from 1.43 to 2.5 m/s. The efficiency of emulsion separation is determined by an experimental method based on measuring the density of a two-phase liquid, provided that the density of each component of the mixture is previously determined. The authors propose to use a device with U-shaped elements to increase its performance when separating oil-water emulsions. The device under study including two rows of U-shaped elements consists of one complete separation stage. The authors have conducted experimental studies of the device with U-shaped elements on the "oil-water" system, during which the efficiency of emulsion separation was evalu-

ated. It was determined that the proposed device provides the highest efficiency of emulsion separation of 68% when the diameter of the holes intended for the exit of the heavy phase equals to 2.5 mm in the range of emulsion velocities from 1.43 to 2.5 m/s. The conducted experimental studies will allow to use a turbulence model for calculation in the programs like Ansys Fluent or FlowVision, which will most adequately describe the separation process of similar emulsions. The experiments have proved the possibility of obtaining high values of efficiency. Therefore, the correct selection of technological parameters (average flow rate, concentration) and the size of the characteristic elements of the proposed device will allow to specify the design of a rectangular separator, for example, to calculate the number of stages to achieve the required separation efficiency or to determine the size of the separation elements.

Keywords: oil-water emulsion, separator, sump, oil products, waste water

Acknowledgements: The work was performed at the financial support of the grant of the President of the Russian Federation no. МК-616.2020.8.

For citation: Madyshev IN, Zinurov VE, Dmitriev AV, Dang Xuan Vinh, Badretdinova GR. Investigation of outlet diameter effect on emulsion separation efficiency in rectangular separators. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2020;24(6):1232–1242. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2020-6-1232-1242>

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных задач на тепловых электрических станциях (ТЭС) является качественная очистка сточных вод от нефтепродуктов, источником которых служат мазутные хозяйства, работа электротехнического оборудования и вспомогательных служб (депо, гаражи, склады). Загрязненные сточные воды нефтепродуктами негативно влияют на окружающую среду: нарушается экосистема природных водоемов, загрязняется грунт [1–3]. Следует отметить, что на многих ТЭС мазут является резервным топливом и служит в качестве растопочного топлива. Это указывает на то, что тепловые станции, содержащие в качестве резервного топлива мазут, должны хранить достаточно большие его объемы для обеспечения энергией населенных пунктов в критическое время. В свою

очередь, хранение больших объемов мазутного и иных видов нефтяных топлив всегда несет риски, связанные с загрязнением окружающей среды. Подтверждением этому является недавно произошедшая на территории нашей страны экологическая катастрофа – утечка дизельного топлива в Норильске на ТЭЦ-3 вследствие разгерметизации бака с дизельным топливом. Отмечается, что в окружающую среду (далеко за пределы промзоны) утекло около 21 тыс. т дизельного топлива, 6 тыс. т из которых попали в грунт и 15 тыс. т попали в р. Далдыкан, которая является элементом цепочки до Карского моря. Помимо серьезной экологической катастрофы, нанесенный ущерб, оцененный Росприроднадзором, составил около 148 миллиардов рублей [4]. Следует отметить, что после произошедшей аварии на Норильской ТЭЦ-3

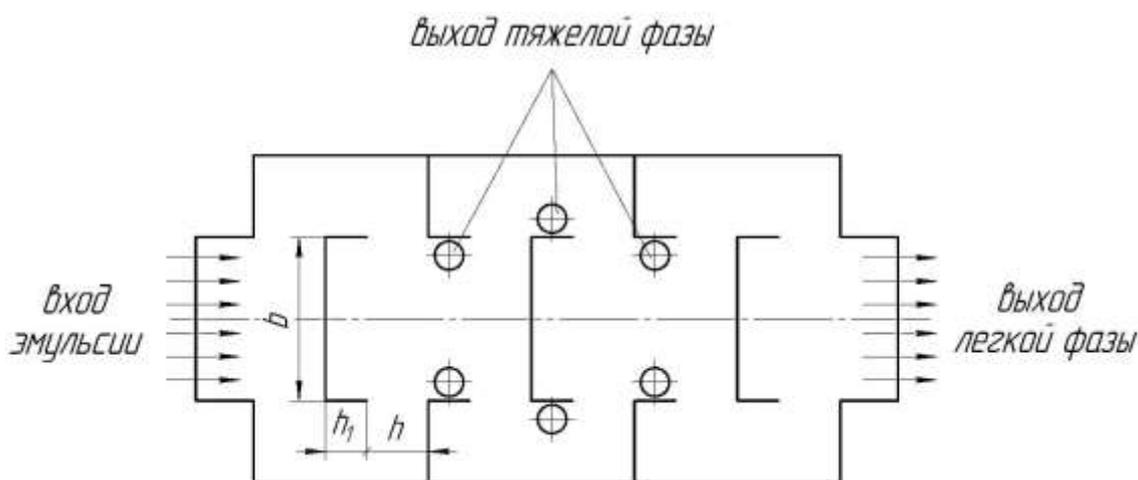


Рис. 1. Принцип работы предлагаемого аппарата для разделения водонефтяных эмульсий
Fig. 1. Operating principle of the proposed apparatus for separating oil-water emulsions



имелись проблемы с быстрой очисткой вод и их больших объемов от нефтепродуктов, так как они уносились течением реки в сторону Карского моря. Таким образом, тепловые электрические станции, использующие при производстве тепловой и электрической энергии различные виды нефтепродуктов, должны иметь в наличии оборудование для очистки сточных вод от нефтепродуктов. При этом должны соблюдаться некоторые требования для данного оборудования, в частности это простота использования оборудования, простота конструкции и, как показывает опыт, большая пропускная способность. Данные требования были сформулированы на основе того, что очистительное оборудование в случае необходимости будет применяться персоналом ТЭС, в основные обязанности которого входят другие задачи, поэтому должна обеспечиваться максимальная простота при использовании данного оборудования для удаления нефтяных компонентов из сточных вод. Также в случае нестандартных ситуаций очистительное оборудование должно обеспечивать максимально возможную пропускную способность.

ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА ВЫХОДНЫХ ОТВЕРСТИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗДЕЛЕНИЯ ЭМУЛЬСИИ В ПРЯМОУГОЛЬНЫХ СЕПАРАТОРАХ

В настоящее время имеется большое количество различных аппаратов для очистки сточных вод от нефтепродуктов (разделения водонефтяных эмульсий). Они подразделяются в зависимости от принципа действия: на основе гравитационного отстаивания, химических, термических, электрических и других способов [5–9]. Наиболее простым способом является гравитационное отстаивание нефтепродуктов в отстойниках [10–12]. К недостаткам такого подхода относится необходимость в больших производственных площадях для размещения данных аппаратов. Также гравитационное отстаивание осуществляется при низкой скорости. Использование аппаратов работниками ТЭС на основе других способов, представленных выше, носит затруднительный характер, так как принцип действия данных аппаратов достаточно

сложен [13–18]. Поэтому разработка новых конструкций аппаратов для разделения водонефтяных эмульсий, удовлетворяющих таким требованиям как высокая производительность, простота использования и простота применения, являются актуальными для топливно-энергетического комплекса.

Решение задачи повышения эффективности и производительности аппаратов для разделения водонефтяных эмульсий авторы видят в использовании устройства [7], содержащего множество П-образных элементов, они в каждом последующем ряду расположены между элементами в каждом предыдущем ряду (рис. 1). При движении водонефтяной эмульсии между элементами устройства возникает центробежная сила, приводящая к образованию зон циркуляционного движения с небольшими радиусами вихрей. Как показывают проведенные ранее численные исследования гидродинамики потока эмульсии в предлагаемом устройстве [10], эти вихри образуются вблизи стенок П-образных элементов с внешней стороны. В связи с этим в данной области выполнены отверстия для вывода расслоившейся эмульсии.

На практике при расслоении эмульсии в предлагаемых устройствах с П-образными элементами действует ряд факторов, существенно влияющих на эффективность разделения [19]. Так, например, при взаимодействии набегающего потока свежей эмульсии на закрученный вихревой поток вблизи отверстий определяющим становятся их результирующее влияние на гидродинамику потока (рис. 2). В связи с тем, что направление вращения вихревой структуры совпадает с направлением движения основного потока эмульсии, в области, расположенной в осевой части П-образного элемента наблюдается повышение скоростного напора, и, как следствие, снижение пьезометрического давления. Это приводит к тому, что к центральной части аппарата перемещается преимущественно более легкая фаза, а тяжелая за счет разности давлений, вызванных аналогом эффекта Магнуса, перемещается к выходным отверстиям. Такие эффекты, определяющие эффективность работы предлага-

емого сепаратора, наблюдаются на каждой ступени. При этом использование нескольких ступеней позволяет практически полностью разделять водонефтяные эмульсии на несколько фракций [20].

С целью оценки влияния конструктивного оформления разработанного аппарата на эффективность разделения водонефтяных эмульсий проведены экспериментальные исследования устройства с П-образными элементами на системе «масло – вода». Схема экспериментальной установки представлена на рис. 3.

Исследуемое устройство для разделения эмульсий состоит из одной полной ступени разделения, представляющее собой два ряда П-образных элементов. Ширина П-образного элемента составляла $b = 20$ мм, длина стенки $h_1 = 5$ мм, зазор между рядами $h = 7,5$ мм. В верхней крышке устройства были выполнены отверстия различного диаметра, значение которых варьировалось в диапазоне от 2,5 до 4,5 мм, при этом расстояние от оси отверстия до боковой стенки сепаратора составляло 4 мм. В исследуемом аппа-

рате на входе и выходе из устройства были предусмотрены участки стабилизации потока эмульсии длиной по 20 и 25 мм, соответственно. При этом ширина устройства составляла 40 мм, длина 75 мм и высота 15 мм. Патрубки входа эмульсии и выхода легкой фазы были выполнены в виде трубок размерами 20x2 мм. Фотография исследуемого сепаратора с различными диаметрами отверстий для выхода тяжелой фазы представлена на рис. 4.

В ходе экспериментальных исследований предлагаемого сепаратора оценивалась эффективность разделения эмульсии. В качестве эмульсии использовались вода и масло, разбавленное в пропорции 0,67:0,33 по объему. Эмульсия вручную перемешивалась в емкости 1 и через жидкостной фильтр 5, служащий для улавливания твердых включений, насосом 3 подавалась в исследуемый аппарат 2. Определение плотности исходной смеси выполнялось соответствующим замером из емкости для пробоотборника 4 (см. рис. 3).

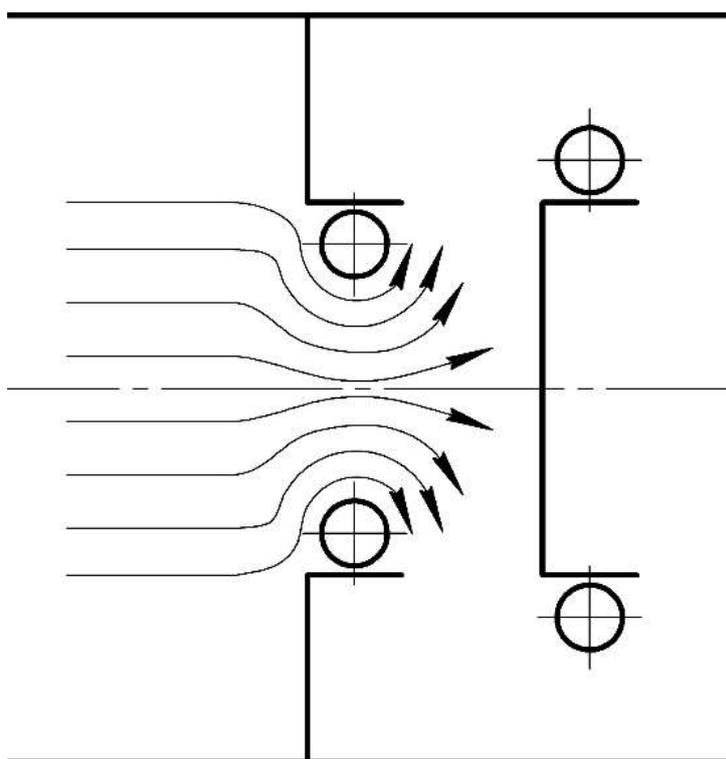


Рис. 2. Структура потока в предлагаемом устройстве с П-образным элементом для разделения эмульсий
Fig. 2. Flow structure in the proposed device with a U-shaped element for separating emulsions

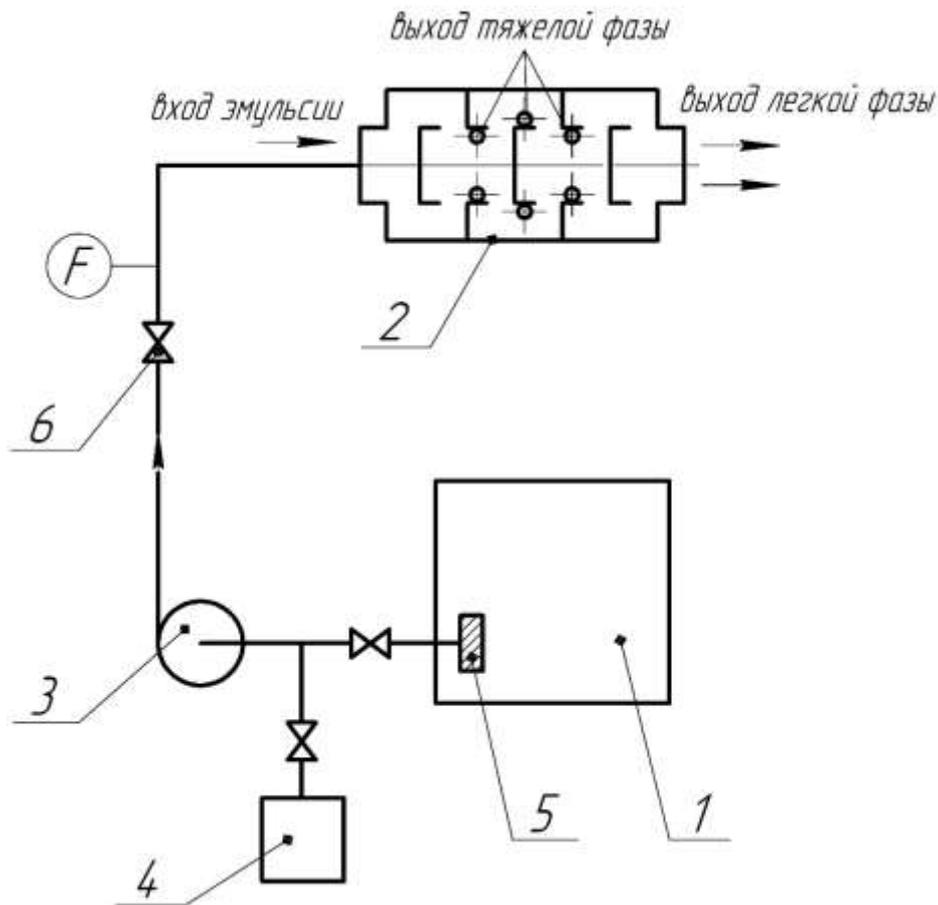


Рис. 3. Схема экспериментальной установки: 1 – емкость с исходной эмульсией; 2 – устройство с П-образными элементами; 3 – насос; 4 – емкость для пробоотборника; 5 – жидкостной фильтр; 6 – запорная арматура на линии подачи эмульсии
Fig. 3. Diagram of the experimental setup: 1 – tank with the initial emulsion; 2 – device with U-shaped elements; 3 – pump; 4 – sampler tank; 5 – liquid filter; 6 – shut-off valves on the emulsion supply line



Рис. 4. Фотография устройства с П-образными элементами, предназначенного для разделения эмульсий
Fig. 4. View of a device with U-shaped elements designed for separating emulsions

Расход подаваемой эмульсии регулировался с помощью запорной арматуры 6 в виде шарового крана, а измерение производилось при помощи счетчика, имеющего относительную погрешность не более $\pm 5\%$. В хо-

де исследований определялась плотности исходной эмульсии, легкой и тяжелой фаз при помощи ареометров АНТ-1 830-890, АНТ-1 890-950 и АНТ-1 950-1010, предназначенных для измерения плотности нефтепродук-

тов в диапазоне значений от 830 до 1010 кг/м³. Массовый расход изменялся в пределах 0,15–0,73 кг/с, что соответствует действительным скоростям движения эмульсии в наиболее узком сечении сепаратора от 0,5 до 2,65 м/с. При этом соотношение массовых расходов тяжелой и легкой фаз составляло в среднем 1:10.

Результаты экспериментальных исследований устройства с П-образными элементами с диаметром отверстий равным 2,5 мм для выхода тяжелой фазы представлены в табл. 1.

Массовую долю масла в эмульсии можно определить из выражения:

$$\rho_{см} = \frac{1}{\frac{x}{\rho_{масло}} + \frac{1-x}{\rho_{вода}}},$$

где $\rho_{см}$ – плотность эмульсии, кг/м³; $\rho_{масло}$ – плотность масла, кг/м³; $\rho_{вода}$ – плотность воды, кг/м³; x – массовая доля масла в эмульсии, кг масла/кг эмульсии.

Результаты выражения массовой доли масла в эмульсии представлены в табл. 2.

Эффективность разделения эмульсии можно оценить по выражению:

$$E = \frac{\bar{x}_D - \bar{x}_F}{1 - \bar{x}_F},$$

где \bar{x}_D – массовая доля масла в легкой фазе, кг/кг; \bar{x}_F – массовая доля масла в исходной смеси, кг/кг.

Из представленного на рис. 6 графика очевидно, что наиболее высокая эффективность разделения эмульсии в предлагаемых

Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований разделения водомасляной эмульсии

Table 1. Results of experimental studies of water-oil emulsion separation

№ опыта	Действительная скорость W_h , м/с	Плотность исходной эмульсии ρ_F , кг/м ³	Плотность легкой фазы ρ_D , кг/м ³	Плотность тяжелой фазы ρ_W , кг/м ³
1	1,432	943	888	950
2	1,434	936	886	957
3	1,512	944	895	950
4	1,801	944	882,5	949
5	2,035	937	897	938
6	2,146	949	898	950
7	2,216	938	892,5	953
8	2,307	945	896	950
9	2,345	957	891	958
10	2,477	949	897,5	950
11	2,497	941	892	947

Таблица 2. Массовые доли масла при различных значениях скорости движения эмульсии

Table 2. Mass fractions of oil at different values of emulsion velocity

№ опыта	Действительная скорость W_h , м/с	Массовая доля масла, кг/кг		
		в исходной эмульсии \bar{x}_F	в легкой фазе \bar{x}_D	в тяжелой фазе \bar{x}_W
1	1,432	0,396	0,84	0,34
2	1,434	0,45	0,86	0,29
3	1,512	0,39	0,79	0,34
4	1,801	0,39	0,89	0,35
5	2,035	0,45	0,765	0,44
6	2,146	0,35	0,76	0,34
7	2,216	0,43	0,8	0,32
8	2,307	0,38	0,775	0,34
9	2,345	0,336	0,82	0,29
10	2,477	0,35	0,76	0,34
11	2,497	0,41	0,81	0,366

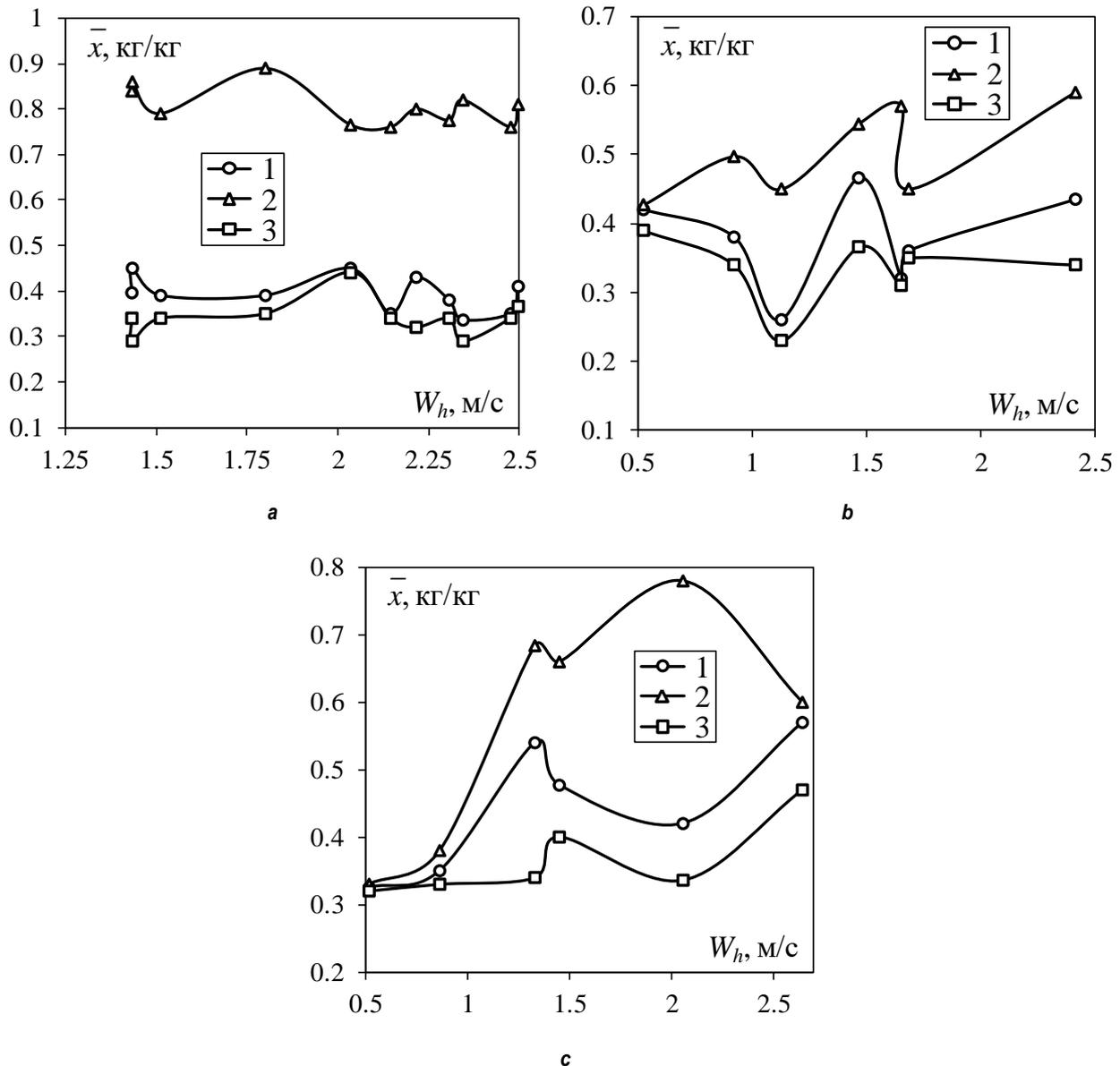


Рис. 5. Зависимость массовой доли масла в эмульсии от действительной скорости движения потока для: 1 – исходной смеси, 2 – легкой фазы, 3 – тяжелой фазы; диаметр отверстий, предназначенных для выхода тяжелой фазы d_0 , мм: а – 2,5, б – 3, с – 4,5
Fig. 5. Dependence of the mass fraction of oil in emulsion on the actual flow velocity for: 1 – initial mixture, 2 – light phase, 3 – heavy phase; diameter of holes for heavy phase exit d_0 , mm: а – 2.5, б – 3, с – 4.5

П-образных элементах наблюдается при диаметре отверстий равных 2,5 мм, предназначенных для выхода тяжелой фазы. При этом средняя эффективность на одной полной ступени разделения в диапазоне скоростей движения эмульсии от 1,43 до 2,5 м/с составляет 68%. В то же время в рассматриваемом диапазоне скоростей при диаметре отверстий равном 3 мм средняя эффективность разделения составляет 23,2%, при диаметре отверстий 4,5 мм – 23,1%. Это го-

ворит о ключевом влиянии аналога эффекта Магнуса на эффективность разделения эмульсии в предлагаемых устройствах с П-образными элементами, при котором увеличивается разность давлений вблизи выходных отверстий при ее небольших диаметрах. Заметим, что увеличение действительной скорости движения потока приводит, как правило, к повышению эффективности разделения эмульсий.

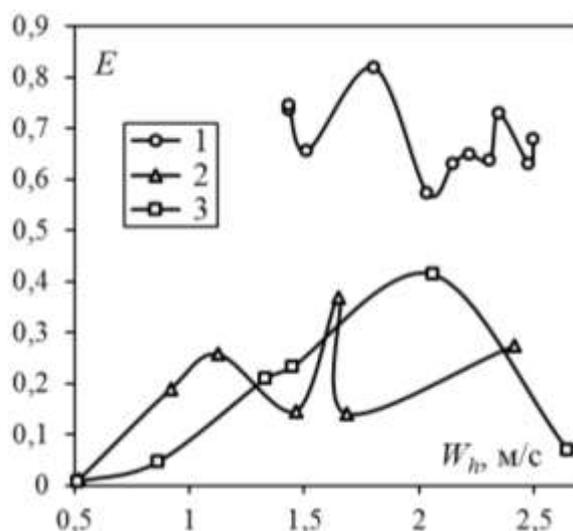


Рис. 6. Зависимость эффективности разделения эмульсии от действительной скорости движения потока при различных диаметрах отверстий для выхода тяжелой фазы d_0 , мм: 1 – 2,5; 2 – 3; 3 – 4,5
Fig. 6. Dependence of the emulsion separation efficiency on the actual flow velocity at different diameters of the heavy phase exit holes d_0 , mm: 1 – 2.5; 2 – 3; 3 – 4.5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования по оценке эффективности разделения эмульсий в предлагаемых сепараторах показывают возможности относительно высокого качества разделения на одной ступени устройства с П-образными элементами при ее высокой пропускной способности. Поэтому использование предлагаемых устройств для разделения водонефтяных эмульсий значительно увеличит производительность установок при простом аппаратном оформлении аппаратов. Следует отметить, что проведенные экспериментальные исследования позволят подобрать модель

турбулентности для расчета в таких программах как Ansys Fluent или FlowVision, которая будет наиболее адекватно описывать процесс разделения подобных эмульсий. Эксперименты доказали возможность получения высоких значений эффективности. Следовательно, правильный подбор технологических параметров (среднерасходная скорость, концентрация) и размеров характерных элементов предлагаемого устройства позволит определиться с конструкцией прямоугольного сепаратора, например, рассчитать количество ступеней для достижения требуемой эффективности разделения или определить размер сепарационных элементов.

Список литературы

1. Лаптедутьче Н.К., Сергеева Е.С. Пути оптимизации системы очистки сточных вод ТЭС от нефтепродуктов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2007. № 11–12. С. 99–104.
2. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Шарипов И.И., Данг Суан Винь, Харьков В.В. Интен-сификация очистки сточных вод ТЭС от нефтепродуктов в отстойниках // Вестник технологического университета. 2020. Т. 23. № 6. С. 64–67.
3. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Данг Суан Винь. Моделирование процесса разделения водонефтяной эмульсии в прямоугольном сепараторе // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. № 3. С. 65–71.
4. Мелихов А.В., Тупик Ю.В. Сепарация нефти на плавающих платформах // Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых: сб. матер. III Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Омск, 7–8 февраля 2019 г.). Омск: Изд-во СибАДИ, 2019. С. 23–26.
5. Jiang Wen-ming, Chen Yi-mei, Chen Ming-can, Liu Xiao-li, Liu Yang, Wang Tianyu, et al. Removal of emulsified oil from polymer-flooding sewage by an integrated apparatus including EC and separation process // Separation and Purification Technology. 2019. Vol. 211. P. 259–268. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.069>
6. Zhang Haoran, Liang Yongtu, Yan Xiaohan, Wang Bohong, Ning Wang. Simulation on water and sand separation from crude oil in settling tanks based on the particle model // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2017. Vol. 156. P. 366–372. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.06.012>



7. Ochowiak M., Matuszak M., Włodarczak S., Ancukiewicz M., Krupińska A. The modified swirl sedimentation tanks for water purification // *Journal of Environmental Management*. 2017. Vol. 189. P. 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.023>
8. Shah M.T., Parmar H.B., Rhyne L.D., Kalli C., Utikar R.P., Pareek V.K. A novel settling tank for produced water treatment: CFD simulations and PIV experiments // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2019. Vol. 182. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106352>
9. Zinurov V., Sharipov I., Dmitrieva O., Madyshev I. The experimental study of increasing the efficiency of emulsion separation // *Key Trends in Transportation Innovation: E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 157. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015706001>
10. Дремичева Е.С., Шамсутдинов Э.В. Интенсификация седиментационной очистки сточных вод от нефтепродуктов // *Вода и экология: проблемы и решения*. 2018. № 1. С. 3–8. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2018.23.1.3-8>
11. Гамзаева Н.Х. Идентификация модели осаждения твердой частицы в гравитационном сепараторе // *Журнал Сибирского федерального университета. Химия*. 2020. Т. 13. № 1. С. 46–52. <https://doi.org/10.17516/1998-2836-0156>
12. Гасанов А.А., Гамзаева Н.Х. Моделирование процесса осаждения твердой частицы из потока жидкости в горизонтальном гравитационном сепараторе // *Химическая технология*. 2020. Т. 21. № 5. С. 230–235. <https://doi.org/10.31044/1684-5811-2020-21-5-230-235>
13. Гладий Е.А., Кемалов А.Ф., Гайнуллин В.И., Бажиров Т.С. Оценка эффективности широко применяемых реагентов-деэмульгаторов для обезвоживания нефти термохимическим способом // *Экспозиция нефть газ*. 2015. № 5. С. 16–18.
14. Лаптев А.Г., Сергеева Е.С. Водоподготовка и водоочистка в энергетике. Ч. 2. // *Вода: химия и экология*. 2011. № 4. С. 32–37.
15. Таранцев К.В., Коростелева А.В. Топливные водонефтяные эмульсии как способ утилизации нефтесодержащих вод // *Экология и промышленность России*. 2013. № 2. С. 14–17. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2013-2-14-17>
16. Кузнецова И.С., Ермакова Е.Ю., Козулина О.В., Кузнецов М.Г. Аппарат для нагрева и разделения водонефтяной эмульсии // *Вестник Казанского технологического университета*. 2013. Т. 16. № 17. С. 235–237.
17. Тимербаев А.С., Лищук А.Н., Таранова Л.В., Голубев Е.В., Митрошин О.Ю. Исследование особенностей процесса разделения водонефтяных эмульсий в центробежном сепараторе с крыльчаткой // *Нефтяное хозяйство*. 2014. № 12. С. 138–141.
18. Guo Guangdong, Deng Songsheng. Research on dispersed oil droplets breakage and emulsification in the dynamic oil and water hydrocyclone // *Advance Journal of Food Science and Technology*. 2013. Vol. 5. No. 8. P. 1110–1116. [Электронный ресурс]. URL: <https://studylib.net/doc/13311563/advance-journal-of-food-science-and-technology-5-8---1110...> (17.08.2020).
19. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Дмитриева О.С., Данг С.В., Салахова Э.И. Удаление влаги из загрязненного трансформаторного масла в прямоугольных сепараторах // *Вестник технологического университета*. 2018. Т. 21. № 11. С. 75–79.
20. Madyshev I.N., Dmitriev A.V., Vin Dang Suan. Determination of oil-water emulsions separation efficiency in the separator with a vortex flow // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 709. Issue 3. P. 033025. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/709/3/033025>

References

1. Lapedulche NK, Sergeeva ES. Ways of modernization of system TPS's sewage treatment from oil products. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Problemy energetiki = Power Engineering: Research, Equipment, Technology*. 2007;11-12:99–104. (In Russ.)
2. Zinurov VE, Dmitriev AV, Sharipov II, Dang Suan Vinh, Kharkov VV. Efficiency of wastewater treatment from oil in thermal power stations using wash tanks. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. 2020;23(6):64–67. (In Russ.)
3. Dmitriev AV, Zinurov VE, Dmitrieva OS, Dang Suan Vinh. Modeling of separation process of water-oil emulsion in a rectangular separator. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*. 2018;(3(39)):65–71. (In Russ.)
4. Melikhov AV, Tupik YuV. Oil separation on floating platforms. *Fundamentalnye i prikladnye issledovaniia molodykh uchennykh: sbornik materialov III Mezhdunarodnoj nauch-no-prakticheskoi konferencii studentov, aspirantov i molodykh uchonykh = Fundamental and Applied Research of Young Scientists: Collected articles of III International scientific and practical conference of students, postgraduate students and young scientists*. 7–8 February 2019, Omsk. Omsk: Siberian State Automobile and Highway University; 2019, p. 23–26. (In Russ.)
5. Jiang Wen-ming, Chen Yi-mei, Chen Ming-can, Liu Xiao-li, Liu Yang, Wang Tianyu, et al. Removal of emulsified oil from polymer-flooding sewage by an integrated apparatus including EC and separation process. *Separation and Purification Technology*. 2019;211:259–268. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.069>
6. Zhang Haoran, Liang Yongtu, Yan Xiaohan, Wang Bohong, Ning Wang. Simulation on water and sand separation from crude oil in settling tanks based on the particle model. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2017;156:366–372. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.06.012>
7. Ochowiak M, Matuszak M, Włodarczak S, Ancukiewicz M, Krupińska A. The modified swirl sedimentation tanks for water purification. *Journal of Environmental Management*. 2017;189:22–28. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.023>
8. Shah MT, Parmar HB, Rhyne LD, Kalli C, Utikar RP, Pareek VK. A novel settling tank for produced water treatment: CFD simulations and PIV experiments. *Journal*

- of *Petroleum Science and Engineering*. 2019. Vol. 182. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106352>
9. Zinurov V, Sharipov I, Dmitrieva O, Madyshev I. The experimental study of increasing the efficiency of emulsion separation. In: *Key Trends in Transportation Innovation: E3S Web of Conferences*. 2020;157. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015706001>
10. Dremicheva ES, Shamsutdinov EV. Intensification of sedimentation treatment of wastewater from oil products. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya = Water and Ecology*. 2018;1:3–8. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2018.23.1.3-8>
11. Gamzaeva NK. Identification of the model of solid particle deposition in the gravity separator. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Himiya = Journal of Siberian Federal University. Chemistry*. 2020;13(1):46–52. (In Russ.) <https://doi.org/10.17516/1998-2836-0156>
12. Gasanov AA, Gamzaeva NH. Simulation of solid particle deposition from a liquid flow in a horizontal gravity separator. *Khimicheskaya Tekhnologiya*. 2020;21(5):230–235. (In Russ.) <https://doi.org/10.31044/1684-5811-2020-21-5-230-235>
13. Glady EA, Kemalov AF, Gainullin VI, Bazhirov TS. Assessment of the effectiveness of a widely used reagent demulsifier in the thermochemical dehydration of oil. *Ekspozitsiya neft' gaz = Exposition Oil & Gas*. 2015;5:16–18. (In Russ.)
14. Laptev AG, Sergeeva ES. Water treatment and wastewater purification in power systems. Part 2. *Voda: himiya i ekologiya*. 2011;(4):32–37. (In Russ.)
15. Tarantsev KV, Korostelev AV. Fuel oil emulsions as

- method of oil containing waters recovery. *Ekologia i promyshlennost Rossii = Ecology and Industry of Russia*. 2013;2:14–17. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2013-2-14-17>
16. Kuznecova IS, Ermakova EYu, Kozulina OV, Kuznecov MG. Apparatus for water-oil emulsion heating and separation. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2013;16(17):235–237. (In Russ.)
17. Timerbaev AS, Lishchuk AN, Taranova LV, Golubev EV, Mitroshin OYu. Research in specifics of separation of oil-in-water emulsions inside of a centrifugal separator with impeller. *Neftyanoe Khozyaistvo = Oil Industry*. 2014;12:138–141. (In Russ.)
18. Guo Guangdong, Deng Songsheng. Research on dispersed oil droplets breakage and emulsification in the dynamic oil and water hydrocyclone. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 2013;5(8):1110–1116. Available from: <https://studylib.net/doc/13311563/advance-journal-of-food-science-and-technology-5-8---1110> [Accessed 17th August 2020].
19. Zinurov VE, Dmitriev AV, Dmitrieva OS, Dang SV, Salakhova EI. Moisture removal from the polluted transformer oil in rectangular separators. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. 2018;21(11):75–79. (In Russ.)
20. Madyshev IN, Dmitriev AV, Vin Dang Suan. Determination of oil-water emulsions separation efficiency in the separator with a vortex flow. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;709(3): 033025. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/709/3/033025>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Мадышев Ильнур Наилович,

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
кафедра оборудования пищевых производств,
Казанский национальный исследовательский
технологический университет,
420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68, Россия;
e-mail: ilnur_91@mail.ru

Зинуров Вадим Эдуардович,

аспирант,
Казанский государственный энергетический
университет,
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, Россия;
e-mail: vadd_93@mail.ru

Дмитриев Андрей Владимирович,

доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Теоретические основы
теплотехники»,
Казанский государственный энергетический
университет,
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, Россия;
✉ e-mail: ieremiada@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ilnur N. Madyshev,

Cand. Sci. (Eng.),
Senior Researcher of the Department
of Food Production Equipment,
Kazan National Research Technological University,
68 Karl Marx St., Kazan 420015, Russia;
e-mail: ilnur_91@mail.ru

Vadim E. Zinurov,

Postgraduate Student,
Kazan State Power Engineering University,
51, Krasnoselskaya St., Kazan 420066, Russia;
e-mail: vadd_93@mail.com

Andrey V. Dmitriev,

Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Head of the Department of Theoretical Foundations
of Heat Engineering,
Kazan State Power Engineering University,
51, Krasnoselskaya St., Kazan 420066, Russia;
✉ e-mail: ieremiada@gmail.com



Данг Суан Винь,
аспирант,
Казанский государственный энергетический
университет,
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, Россия;
e-mail: ssonvinh@gmail.com

Dang Xuan Vinh,
Postgraduate Student,
Kazan State Power Engineering University,
51, Krasnoselskaya St., Kazan 420066, Russia;
e-mail: ssonvinh@gmail.com

Бадретдинова Гузель Рамилевна,
магистрант,
Казанский государственный энергетический
университет,
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, Россия;
e-mail: nice.badretdinova@mail.ru

Guzel R. Badretdinova,
Master Degree Student,
Kazan State Power Engineering University,
51, Krasnoselskaya St., Kazan 420066, Russia;
e-mail: nice.badretdinova@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interests.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 12.10.2020; одобрена после рецензирования 26.11.2020; принята к публикации 20.12.2020.

Information about the article

The article was submitted 12.10.2020; approved after reviewing 26.11.2020; accepted for publication 20.12.2020.