

## ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ В КОАЛЕСЦЕНТНЫХ СЕПАРАТОРАХ С ГОФРИРОВАННЫМИ ОЛЕОФИЛЬНЫМИ ПЛАСТИНАМИ

Никита Сергеевич Зайцев

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет) (СПбГТИ(ТУ));  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Поверхностные сточные воды с территорий предприятий автотранспортного комплекса загрязнены значительным количеством маслонефтепродуктов и взвешенных веществ. Применяемые для обезвреживания стоков локальные очистные сооружения несовершенны. Предлагается заменить используемые в них для удаления тонкодисперсных нефтепродуктов и взвесей флотаторы и зернистые фильтры-коалесценторы одним более эффективным аппаратом — коалесцентным сепаратором с олеофильными пластинами волнистого профиля. Разработана конструкция коалесцентора, состоящего из трех последовательно установленных блоков гофрированных полимерных пластин, позволяющего добиваться очистки поверхностного стока автотранспортных предприятий от нефтепродуктов и взвешенных веществ до норм сброса в городскую канализационную сеть. Пропускная способность коалесцентного блока при оптимальных условиях работы составляет 10–20 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·час), но может быть удвоена без существенных потерь эффективности очистки. Приведены результаты расчета трехступенчатого коалесцентного сепаратора с использованием ранее разработанной автором математической модели, учитывающей турбулентный режим течения многофазной системы в каналах между пластинами. Проведенные в опытно-промышленных условиях эксперименты подтвердили адекватность математической модели и возможность снижения концентрации нефтепродуктов в очищенном стоке до 4–7 мг/л, а концентрации взвешенных веществ — до 10–25 мг/л. На основании этого коалесцентные сепараторы с гофрированными олеофильными пластинами рекомендуется включать в технологические схемы локальных очистных сооружений отведения поверхностных (ливневых и талых) вод с территорий автотранспортных предприятий, автозаправочных станций, станций технического обслуживания легкового и грузового автомобильного транспорта, автостоянок и других объектов, сточные воды которых загрязнены эмульгированными маслонефтепродуктами и тонкодисперсными взвешенными веществами в исходных концентрациях до 1000 мг/л.*

**Ключевые слова:** автотранспортные предприятия, поверхностный сток, ливневые и талые воды, локальные очистные сооружения, очистка от нефтепродуктов, коалесцентный сепаратор

**Для цитирования:** Зайцев Н.С. Очистка поверхностных сточных вод от нефтепродуктов в коалесцентных сепараторах с гофрированными олеофильными пластинами // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 3. С. 74–81. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.3.74-81

## PURIFICATION OF SURFACE WASTEWATER FROM PETROLEUM PRODUCTS IN COALESCENT SEPARATORS WITH CORRUGATED OLEOPHILIC PLATES

Nikita S. Zaitsev

Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University) (SPSIT); Saint Petersburg, Russian Federation

*Surface wastewater from the territories of enterprises of the motor transport complex is contaminated with significant amounts of oil and oil products and suspended solids. The local wastewater treatment plants used for wastewater disposal are imperfect. It is proposed to replace the flotators and granular coalescer filters used in them for the removal of fine petroleum products and suspensions with one more efficient device — a coalescent separator with corrugated oleophilic plates of a wavy profile. The design of a coalescent separator consisting of three sequentially installed blocks of polymer plates of a wavy profile has been developed, which makes it possible to purify the surfac.runoff of motor transport enterprises from petroleum products and suspended solids to discharge standards into the storm sewer network. The throughput capacity of the coalescent unit under optimal operating conditions is 10–20 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·hour), but can be doubled without significant loss of cleaning efficiency. The results of the calculation of a three-stage coalescent separator using a mathematical model previously developed by the author that takes into account the turbulent flow regime of a multiphase system in channels between plates are presented. The experiments carried out in pilot industrial conditions confirmed the adequacy of the mathematical model and the possibility of reducing the concentration of petroleum products in the treat.runoff to 4–7 mg/l, and the concentration of suspended solids to 10–25 mg/l. Based on this, coalescent separators with corrugated oleophilic plates are recommended to be included in the technological schemes of local wastewater treatment plants for the removal of surface (stormwater and meltwater) waters from the territories of motor transport enterprises, gas stations, maintenance stations for cars and trucks, parking lots, and other facilities whose wastewater is*

*contaminated with emulsified oil and oil products and finely dispersed suspended solids in initial concentrations up to 1,000 mg/l.*

**Keywords:** motor transport enterprises, surfac.runoff, stormwater and meltwater, local wastewater treatment plants, purification from petroleum products, coalescent separator

**For citation:** Zaitsev N.S. Purification of surface wastewater from petroleum products in coalescent separators with corrugated oleophilic plates. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2024; 3: 74-81. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.3.74-81 (rus.).

## Введение

В современных условиях быстро увеличивающегося количества автотранспорта в городах и крупных населенных пунктах резко обострилась проблема загрязнения отводимых поверхностных (ливневых и талых) вод масло-нефтепродуктами. Особенно сильно загрязняются поверхностные стоки с территорий шоссежных дорог, эстакад, автотранспортных предприятий (АТП), автозаправочных станций и станций технического обслуживания автомобилей. Из-за высокого содержания нефтепродуктов сброс подобных стоков без очистки в городскую общесплавную или ливневую канализацию категорически недопустим.

Для обезвреживания стоков предприятий автотранспортного комплекса должны применяться локальные очистные сооружения, одной из эффективных ступеней которых могут являться пластинчатые коалесцентные сепараторы нефтепродуктов с гофрированными пластинами из полимерных материалов. Однако из-за отсутствия научно обоснованных методов расчета и конструирования такие устройства до сих пор не получили широкого распространения. Используемые немногочисленные коалесцентные аппараты имеют несовершенную конструкцию и работают далеко не в оптимальных режимах.

Разработка научных основ и теоретически обоснованных методов расчета и проектирования пластинчатых коалесцентных сепараторов нефтепродуктов для установок очистки поверхностных атмосферных сточных вод является актуальной задачей.

## Анализ публикаций

Научные исследования последних лет [1–4] показывают, что основными загрязняющими компонентами поверхностного стока в городах и крупных населенных пунктах являются продукты эрозии почвы, смываемые с газонов и открытых грунтовых поверхностей пыль, бытовой мусор, вымываемые компоненты дорожных покрытий и строительных материалов, хранящихся на открытых складских площадках, а также нефтепродукты, попадающие на поверхность водосбора от автотранспорта и другой техники. Особый состав имеет поверхностный сток, поступающий с автострад, автомагистралей с интенсивным движением грузового автомобильного транспорта, мостов и эстакад. Концентрация нефтепродуктов в таких стоках может достигать нескольких сотен мг/л [5–7].

Автотранспортные предприятия (автозаправочные станции, предприятия технического обслуживания автомобилей и автосервиса, автобазы и автоколонны, авторемонтные предприятия, гаражи и открытые автомобильные стоянки) формально отнесены<sup>1</sup> к первой группе предприятий, сток с территории которых по составу примесей близок к поверхностному стоку с селитебных территорий. Однако ливневые и талые воды с территорий предприятий автотранспортного комплекса содержат в несколько раз более высокие концентрации маслонефтепродуктов. Для поверхностных стоков селитебных зон характерно содержание нефтепродуктов до 20 мг/л. В то же время в работе [5] определено, что в поверхностном стоке с территории стоянки тяжелого грузового автотранспорта концентрация нефтепродуктов достигает 340 мг/л. В исследовании [7] показано, что ливневый сток с территории АЗС может содержать до 490 мг/л нефтепродуктов, талый сток — до 1020 мг/л. В ливневых сточных водах с территорий автотранспортных предприятий концентрация нефтепродуктов достигает 350 мг/л, в талых водах — 960 мг/л [7].

Помимо нерастворимых дисперсных примесей, поверхностные стоки с территории предприятий автотранспортного комплекса содержат в своем составе растворенные органические вещества (до 100–140 мг/л в пересчете на БПК<sub>20</sub>) и неорганические соединения, в частности соли, используемые для антиобледенительной обработки территории в зимний период, и соли тяжелых металлов (суммарно до 10–15 мг/л) [8, 9].

В настоящее время в качестве локальных сооружений для обезвреживания поверхностных сточных вод с территории АТП, как правило, используются установки с несколькими ступенями очистки стоков различными методами. Блок механической очистки обычно включает решетку для отделения крупного мусора, песколовку, отстойник-нефтеловушку, флотатор, фильтр с зернистой загрузкой. Для удаления растворенных веществ в случае необходимости применяют фильтры-адсорберы и ионообменные аппараты. Технологические узлы могут быть размещены в едином корпусе или в отдельных подземных емкостях. Установки работают по проточной схеме как элемент самотечной водосборной ливневой сети без аккумулирующего резервуара. Такая схема, по мнению разработчиков, существенно повышает экономич-

<sup>1</sup> СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03–85.

ность и конкурентоспособность локальных очистных сооружений в сложных условиях строительства и дефицита свободных площадей. В отдельных модификациях установок в состав основного оборудования входит тонкослойный отстойник, а также узел коалесцентной очистки от нефтепродуктов в слое гранулированной зернистой загрузки из специальных полимерных материалов. Конечная концентрация загрязнений после таких сооружений заявляется разработчиками на уровне 5–20 мг/л взвешенных веществ и 0,3–2 мг/л нефтепродуктов, что не может соответствовать действительности, поскольку растворимость нефтепродуктов в воде составляет от 2 до 4 мг/л, а механическими методами растворенные вещества удалить невозможно. Проточная схема без накопления и усреднения поверхностного стока в аккумулирующем резервуаре приводит к колебаниям скорости движения сточной воды через установку в чрезвычайно широком диапазоне (в зависимости от интенсивности выпадающих осадков). В результате сооружения большую часть времени работают в режиме, далеком от оптимального, что не позволяет добиваться требуемой эффективности очистки воды.

Коалесцентные сепараторы нефтепродуктов со слоями полимерных гранул имеют низкую пропускную способность по воде, требуют частой промывки и регенерации.

Кроме того, практически отсутствуют научно обоснованные методики расчета и проектирования узла коалесцентной сепарации, что не позволяет в полной мере использовать возможности коалесцентного метода, сдерживает его внедрение в практику очистки воды.

За рубежом появились установки для очистки сточных вод от нефтепродуктов с использованием гофрированных коалесцентных пластин [10–15], однако методики расчета подобных устройств в научнотехнической литературе также отсутствуют.

### Результаты исследований

В Санкт-Петербургском государственном технологическом институте была разработана новая конструкция [16] коалесцентного сепаратора нефтепродуктов, предназначенного для очистки поверхностных сточных вод от маслонефтепродуктов.

В предложенном коалесцентном сепараторе (рис. 1) устанавливаются компактные модульные пакеты гофрированных пластин из олеофильных полимерных материалов с отверстиями в верхних и нижних гребнях. Расстояние между пластинами составляет от 6 до 18 мм. Содержащая нефтепродукты вода протекает по каналам между пластинами; при этом капли нефти, имеющие плотность меньше, чем у воды, всплывают и касаются нижней поверхности пластин. По мере того как на пластине нака-

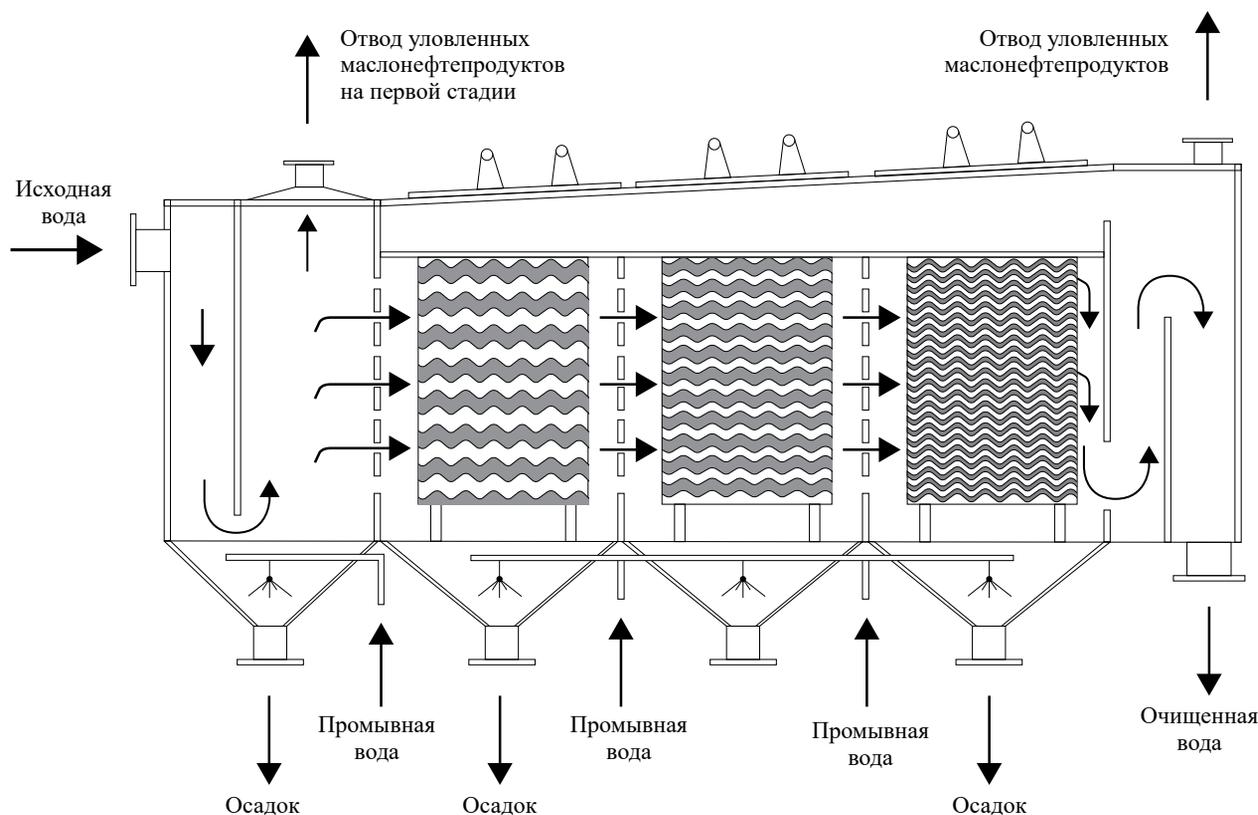


Рис. 1. Коалесцентный сепаратор с гофрированными пластинами

пливается все большее количество капелек нефти, они коалесцируют в крупные капли и постепенно образуют пленку. Под действием скоростного напора потока воды пленка продвигается по поверхности пластин до отверстий для выхода. Нефтепродукты проходят в вышележащие каналы и таким образом постепенно поднимаются к свободной поверхности воды. В углублениях пластин имеются отверстия для удаления твердых взвесей в донную часть аппарата. Степень разделения тем выше, чем больше длина пластин, т.е. зависит от количества последовательно установленных модульных пакетов в аппарате.

Опытно-промышленные испытания подобных аппаратов с каналами равной высоты во всех блоках выявили проблему быстрого забивания зазоров между олеофильными пластинами агрегатами нефтепродуктов с твердыми взвесями. Это объясняется

налипанием нефтепродуктов на олеофильные пластины. Как показали исследования автора, острота проблемы может быть значительно снижена путем установки в первых по ходу движения сточной воды секциях (одной или двух) блоков с увеличенными зазорами между пластинами. Далее, по мере очистки воды от крупных дисперсных включений, толщины зазоров могут уменьшаться от блока к блоку (рис. 1) в направлении движения очищаемой воды.

Математические модели, использовавшиеся ранее [17–19] для расчета коалесцентных сепараторов с гофрированными пластинами, основывались на предположении о ламинарном течении эмульсии в каналах аппарата, поскольку число Рейнольдса в рабочих режимах не превышает 1100. Однако выполненная нами визуализация потока в программном комплексе Flow Vision 2.0 показала наличие признаков турбу-

Таблица 1. Результаты численного моделирования трехступенчатого коалесцентного сепаратора

Параметр	Значение			
Первая ступень коалесцентного сепаратора				
Зазор между пластинами, мм	18	18	18	18
Скорость в зазоре, мм/с	3,0	6,0	12,0	24,0
Расход, приведенный к входному сечению, м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·час)	10,8	21,6	43,2	86,4
Средний диаметр капель на входе, мкм	107,4	107,4	107,4	107,4
Средний диаметр капель на выходе, мкм	28,9	39,9	54,1	70,2
Эффективность улавливания, %	92,6	89,3	83,0	70,4
Вторая ступень коалесцентного сепаратора				
Зазор между пластинами, мм	12	12	12	12
Скорость в зазоре, мм/с	3,0	6,0	12,0	24,0
Расход, приведенный к входному сечению, м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·час)	10,8	21,6	43,2	86,4
Средний диаметр капель на входе, мкм	28,9	39,9	54,1	70,2
Средний диаметр капель на выходе, мкм	20,1	28,4	39,3	53,2
Эффективность улавливания, %	71,7	69,7	67,6	62
Третья ступень коалесцентного сепаратора				
Зазор между пластинами, мм	6	6	6	6
Скорость в зазоре, мм/с	3,0	6,0	12,0	24,0
Расход, приведенный к входному сечению, м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·час)	10,8	21,6	43,2	86,4
Средний диаметр капель на входе, мкм	20,1	28,4	39,3	53,2
Средний диаметр капель на выходе, мкм	14	19,6	27,8	38,5
Эффективность улавливания, %	71,1	69	66,9	64,9
Трехступенчатая установка в целом				
Скорость в зазорах, мм/с	3,0	6,0	12,0	24,0
Расход, приведенный к входному сечению, м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·час)	10,8	21,6	43,2	86,4
Содержание нефтепродуктов на входе, мг/л	480	480	480	480
Концентрация нефтепродуктов на выходе 1-й ступени, мг/л	35,6	51,4	82	142
Концентрация нефтепродуктов на выходе 2-й ступени, мг/л	10,1	15,6	26,4	55
Концентрация нефтепродуктов на выходе 3-й ступени, мг/л	3,9	4,9	8,7	19
Общая эффективность очистки, %	99,2	99,0	98,2	96,1

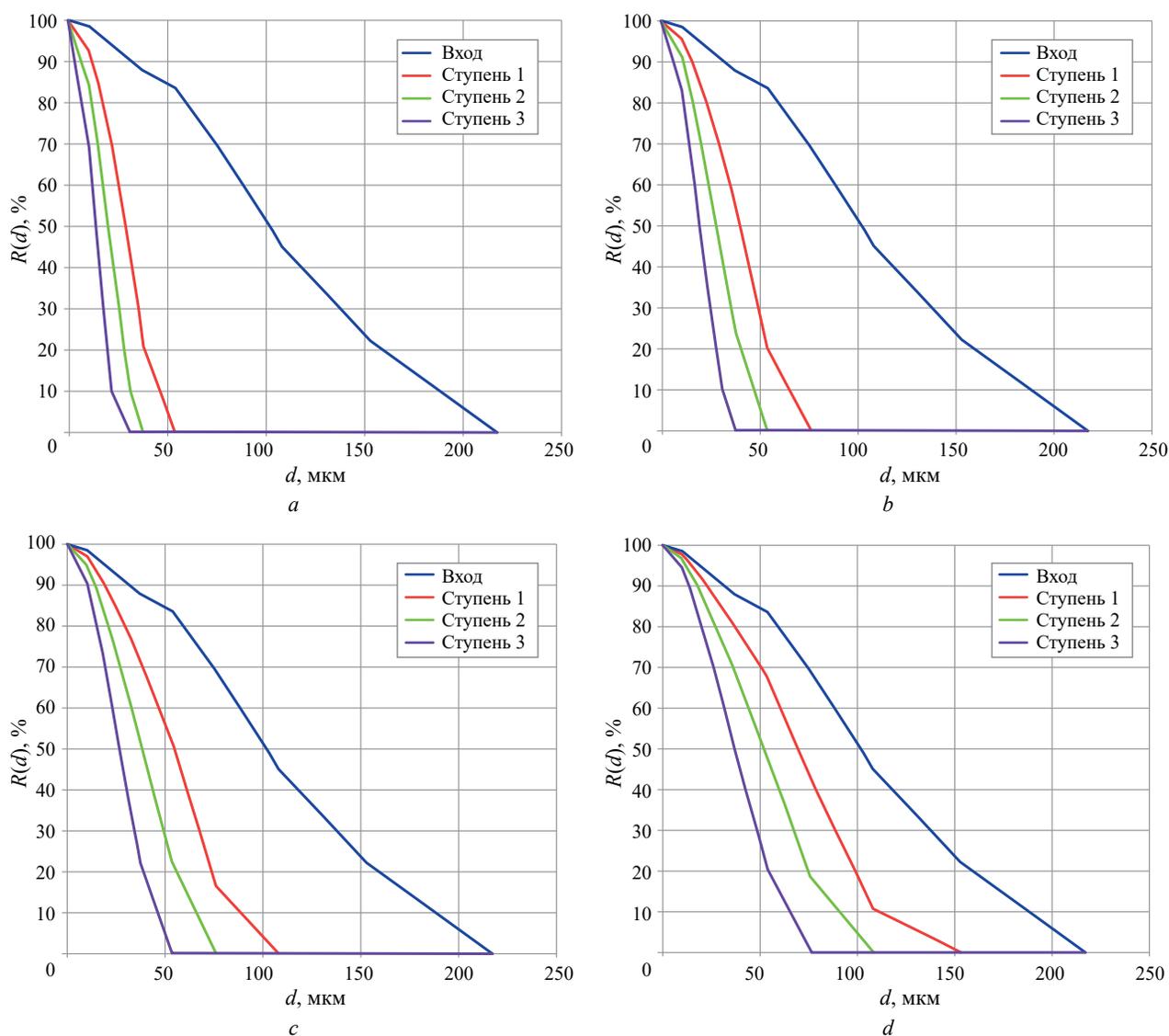


Рис. 2. Распределение капель по размерам в разных ступенях установки при различных значениях скорости сточной воды в каналах: *a* — 3 мм/с; *b* — 6 мм/с; *c* — 12 мм/с; *d* — 24 мм/с

лентного течения уже при  $Re = 72$ . Подтверждением возможности турбулентного режима в извилистых каналах волнистого профиля при низких числах Рейнольдса может служить тот факт, что в пластинчатых теплообменниках с гофрированными пластинами критическое число  $Re$  равно 50 [20].

Ранее в работе [21] авторами была предложена новая математическая модель разделения дисперсных систем в коалесцентном сепараторе с пластинами волнистого профиля, основанная на рассмотрении движения капель нефтепродуктов к пластинам под воздействием турбулентных пульсаций. Адекватность данной математической модели была подтверждена в эксперименте на одной секции коалесцентного сепаратора [21].

В продолжение начатой работы методом численного эксперимента исследован многоступенчатый коалесцентный сепаратор (рис. 1), состоящий

из трех последовательно установленных блоков гофрированных пластин. Распределение капель и частиц по размерам на выходе первой ступени принималось в качестве входных данных для второй ступени, соответственно, распределение на выходе второй ступени принималось в качестве входного условия для третьей ступени. Результаты численного эксперимента приведены в табл. 1.

Распределение капель по размерам на каждой ступени очистки при различных скоростях жидкости в каналах представлено на рис. 2.

Численный эксперимент по исследованию трехступенчатой установки показал, что степень очистки от нефтепродуктов в подобной конструкции достигает 96,1–99,4 %, а от твердых взвесей — 94,8–99,6 %. Увеличение пропускной способности установки в 8 раз снижает эффективность очистки воды всего лишь на 4–6 %.

**Таблица 2.** Сравнение результатов численного и натурного эксперимента на трехступенчатой опытно-промышленной установке

Параметр	Значение			
	3,0	6,0	12,0	24,0
Скорость в зазорах, мм/с	3,0	6,0	12,0	24,0
Расход ливневой сточной воды, приведенный к входному сечению, м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·час)	10,8	21,6	43,2	86,4
Содержание нефтепродуктов на входе ( $\pm 2\%$ в эксперименте), мг/л	670	670	670	670
Концентрация нефтепродуктов на выходе из установки по данным расчета, мг/л	4,02	6,76	12,2	26,5
Концентрация нефтепродуктов на выходе из установки по данным эксперимента, мг/л	4,70	6,90	11,4	24,1
Общая эффективность очистки от нефтепродуктов по данным расчета, %	99,4	99,0	98,2	96,1
Общая эффективность очистки от нефтепродуктов по данным натурного эксперимента, %	99,3	99,1	98,3	96,4
Содержание твердых частиц на входе ( $\pm 2\%$ в эксперименте), мг/л	465	465	465	465
Концентрация твердых частиц на выходе из установки по данным расчета, мг/л	1,86	3,26	9,3	27,9
Концентрация твердых частиц на выходе из установки по данным эксперимента, мг/л	3,72	4,19	8,4	24,1
Общая эффективность очистки от твердых частиц по данным расчета, %	99,6	99,3	98,0	94,0
Общая эффективность очистки от твердых частиц по данным натурного эксперимента, %	99,2	99,1	98,2	94,8

В табл. 2 приведены результаты верификации разработанной математической модели на пилотной опытно-промышленной трехступенчатой установке для очистки ливневых сточных вод, выполненной по схеме, приведенной выше на рис. 1. Эксперименты проводились на реальной ливневой сточной воде, собранной с территории АО «Автопарк № 1 «Спецтранс» (Санкт-Петербург).

Представленные в табл. 2 результаты доказывают высокую эффективность предложенного аппарата для очистки ливневых сточных вод. Предложенная математическая модель расчета процесса сепарации эмульгированных нефтепродуктов и взвешенных твердых частиц в коалесцентном сепараторе с гофрированными пластинами описывает экспериментальные данные, полученные на реальной среде, с точностью  $\pm(5-8)\%$ .

## Выводы

Коалесцентный сепаратор разработанной нами конструкции может быть успешно использован в установках очистки поверхностных сточных вод с территорий предприятий автотранспортного комплекса от эмульгированных нефтепродуктов и взвешенных частиц. Он может заменить собой сразу две ступени очистки в существующих установках: флотатор и фильтр с зернистой загрузкой. Коалесцентный сепаратор с гофрированными олеофильными пластинами способен удалить из поверхностного стока нерастворимые примеси до норм сброса в городские канализационные коллекторы. Для последующего удаления растворенных загрязнений могут быть использованы ступени адсорбционной и ионообменной очистки, если это требуется.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Palagin E.D., Gridneva M.A., Bykova P.G.* Urban land surface wastewater: Dependence of formation and changes in its composition // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 451. P. 012093. DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012093
2. *Palagin E.D., Strelkov A.K., Pavluhin A.A.* Rain precipitation parameters for the design of surface effluent treatment facilities from the territory of industrial enterprises // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference «Earth Science» 2021. Vol. 720. Issue 1. P. 012021. DOI: 10.1088/1755-1315/720/1/012021
3. *Духопельникова Н.Р.* Поверхностные сточные воды, система отведения и их очистка в крупных городах // Alfabuild. 2018. № 1 (3). С. 7–14.
4. *Желтобрюхов В.Ф., Фельдштейн Е.Г.* Проблемы очистки поверхностного стока // Вестник Волгоградского ГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 30 (49). С. 206–211.
5. *Юрченко В.А., Мельников О.Г., Бахарева А.Ю., Ячник М.В.* Исследование механической очистки ливневых стоков, образованных на объектах автомобильно-дорожного комплекса // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2015. Т. 6. № 6 (78). С. 71–77. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.55427
6. *Желтобрюхов В.Ф., Фельдштейн Е.Г.* О методах очистки поверхностных стоков автотранспортных предприятий // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4 (27). Ст. 127. URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/> (дата обращения: 22.02.2024).

7. *Фельдштейн Е.Г.* Совершенствование систем очистки поверхностного стока предприятий первой группы на примере автотранспортных предприятий : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2014. 24 с.
8. *Феофанов Ю.А., Мишуков Б.Г.* Особенности формирования состава поверхностных сточных вод и выбор сооружений по их очистке // *Вода и экология*. 2017. № 3 (71). С. 49–66. DOI: 10.23968/2305-3488.2017.21.3.49-66
9. *Чечевичкин В.Н., Ватин Н.И.* Особенности состава и очистки поверхностного стока крупных городов // *Инженерно-строительный журнал*. 2014. № 6. С. 67–74.
10. *Yayla S., Ibrahim S.S., Olcay A.B.* Numerical investigation of coalescing plate system to understand the separation of water and oil in water treatment plant of petroleum industry // *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*. 2017. Vol. 11. No. 1. Pp. 184–192.
11. *Huang W., He X., Deng C., Xu B.* Study on the intensification mechanism of oil-water separation process by using inclined plate pack // *Advanced Engineering Sciences*. 2017. Vol. 49. No. 3. Pp. 191–196.
12. *Boraey M.A.* A hydro-kinematic approach for the design of compact corrugated plate interceptors for the de-oiling of produced water // *Chemical Engineering and Processing*. 2018. Vol. 130. Pp. 127–133.
13. *Liang L., Bai Z.S., Yang X.Y., Luo H.Q., Zhang B., Zhang W.N.* Experimental and simulation study on separation performance of coalescing structural parts within oil-water gravity separator // *Xiandai Huagong*. 2018. Vol. 38. No. 11. Pp. 211–215.
14. *Oruç M., Yayla S.* Experimental investigation of oil-in water separation using corrugated plates and optimization of separation system // *Separation Science and Technology*. 2021. Vol. 56. Issue 5. Pp. 788–800. DOI: 10.37934/arfmts.92.1.162176
15. *Velautham K.D., Chelliapan S., Kamaruddin S.A., Meyers J.L.* Design of oil water separator for the removal of hydrocarbon from stormwater contaminated with jet-fuel // *Journal of advanced research in fluid mechanics and thermal sciences*. 2022. Vol. 92. No. 1. Pp. 162–176.
16. *Яблокова М.А., Зайцев Н.С., Хасаев Р.А.* Совершенствование процессов и агрегатов для локальной очистки поверхностных стоков // *Современные наукоемкие технологии*. 2019. № 7. С. 110–113.
17. *Иваненко А.Ю., Яблокова М.А., Петров С.И.* Моделирование процесса выделения эмульгированных нефтепродуктов из воды в аппарате с олеофильными пластинами синусоидального профиля // *Теоретические основы химической технологии*. 2010. Т. 44. № 5. С. 588–600.
18. *Яблокова М.А., Иваненко А.Ю., Турыгин В.Ю.* Очистка подтоварных вод нефтеприсковок с целью повторной закачки в нефтеносные пласты для поддержания внутрислоевого давления // *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. 2012. № 14 (40). С. 78–84.
19. *Иваненко А.Ю., Яблокова М.А., Хасаев Р.А.* Математическое моделирование разделения эмульсий в коалесценторах с пластинами волнистого профиля // *XXIX Международная научная конференция «Математические Методы в Технике и Технологиях ММТТ-29» : тезисы докладов*. СПб. : СПбГТИ(ТУ), 2016. Т. 5. С. 19–25.
20. *Машины и аппараты химических производств / под общ. ред. В.Н. Соколова*. СПб. : Политехника, 1992. 327 с.
21. *Яблокова М.А., Иваненко А.Ю., Зайцев Н.С.* Математическое моделирование коалесцентного сепаратора сооружений локальной очистки ливневых сточных вод // *Вестник гражданских инженеров*. 2022. № 5. С. 91–98. DOI: 10.23968/1999-5571-2022-19-5-91-98

Об авторе: **Никита Сергеевич Зайцев** — кандидат экономических наук, доцент; **Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет) (СПбГТИ(ТУ))**; Российская Федерация, 190013, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, д. 26; РИНЦ ID: 838605, ResearcherID: M-9642-2018, ORCID: 0000-0001-5752-1833; e-mail: Zaitcevnikita@gmail.com.

## REFERENCES

1. *Palagin E.D., Gridneva M.A., Bykova P.G.* Urban land surface wastewater: Dependence of formation and changes in its composition. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 451:012093. DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012093
2. *Palagin E.D., Strelkov A.K., Pavluhin A.A.* Rain Precipitation Parameters for the Design of Surface Effluent Treatment Facilities from the Territory of Industrial Enterprises. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 720(1):012021. DOI: 10.1088/1755-1315/720/1/012021
3. *Dukhopelnikova N.R.* Surface wastewater, drainage system and their purification in large cities. *Alfabuild*. 2018; 1(3):7-14.

4. Zheltobryukhov V.F., Feldstein E.G. Problems of surfac.runoff purification. *Bulletin of the Volgograd GASU. Ser.: Construction and architecture*. 2013. Issue 30 (49). Pp. 206–211.
5. Yurchenko V.A., Melnikov O.G., Bakhareva A.Y., Yachnik M.V. Investigation of mechanical cleaning of storm drains formed at the facilities of the automobile and road complex. *Eastern European Journal of Advanced Technologies*. 2015; 6(6):71-77. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.55427
6. Zheltobryukhov V.F., Feldstein E.G. On methods of cleaning surface effluents of motor transport enterprises. *Engineering Bulletin of the Don*. 2013; 4(27):127. URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/> (accessed: 02.22.2024).
7. Feldstein E.G. *Improvement of surfac.runoff treatment systems of enterprises of the first group on the example of motor transport enterprises : abstract. dis. ... candidate of technical sciences*. Volgograd, 2014; 24.
8. Feofanov Yu.A., Mishukov B.G. Features of the formation of the composition of surface wastewater and the choice of facilities for their treatment. *Water and Ecology*. 2017; 3(71):49-66. DOI: 10.23968/2305-3488.2017.21.3.49-66
9. Chechevichkin V.N., Vatin N.I. Features of the composition and purification of surfac.runoff of large cities. *Civil Engineering Magazine*. 2014; 6:67-74.
10. Yayla S., Ibrahim S.S., Olcay A.B. Numerical investigation of coalescing plate system to understand the separation of water and oil in water treatment plant of petroleum industry. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*. 2017; 11(1):184-192.
11. Huang W., He X., Deng C., Xu B. Study on the intensification mechanism of oil-water separation process by using inclined plate pack. *Advanced Engineering Sciences*. 2017; 49(3):191-196.
12. Boraey M.A. A hydro-kinematic approach for the design of compact corrugated plate interceptors for the de-oiling of produced water. *Chemical Engineering and Processing*. 2018; 130:127-133.
13. Liang L., Bai Z.S., Yang X.Y., Luo H.Q., Zhang B., Zhang W.N. Experimental and simulation study on separation performance of coalescing structural parts within oil-water gravity separator. *Xiandai Huagong*. 2018; 38(11):211-215.
14. Oruç M., Yayla S. Experimental investigation of oil-in water separation using corrugated plates and optimization of separation system. *Separation Science and Technology*. 2021; 56(5):788-800. DOI: 10.37934/arfmts.92.1.162176
15. Velautham K.D., Chelliapan S., Kamaruddin S.A., Meyers J.L. Design of oil water separator for the removal of hydrocarbon from stormwater contaminated with jet-fuel. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*. 2022; 92(1):162-176.
16. Yablokova M.A., Zaitsev N.S., Khasaev R.A. Improvement of processes and aggregates for local treatment of surface effluents. *Modern High-Tech Technologies*. 2019; 7:110-113.
17. Ivanenko A.Yu., Yablokova M.A., Petrov S.I. Modeling of the process of separation of emulsified petroleum products from water in an apparatus with oleophilic plates of a sinusoidal profile. *Theoretical Foundations of Chemical Technology*. 2010; 44(5):588-600.
18. Yablokova M.A., Ivanenko A.Yu., Turygin V.Yu. Purification of secondary waters of oil fields for the purpose of re-injection into oil-bearing formations to maintain intra-reservoir pressure. *Proceedings of the St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University)*. 2012; 14(40):78-84.
19. Ivanenko A.Yu., Yablokova M.A., Khasaev R.A. Mathematical modeling of emulsion separation in coalescers with wavy profile plates. *XXIX International Scientific Conference "Mathematical Methods in Engineering and Technologies MMTT-29". May 31–June 3, 2016. Vol. 5*. St. Petersburg, SPbGTI(TU), 2016; 19–25.
20. *Machines and apparatus of chemical production / under the general editorship of V.N. Sokolov*. St. Petersburg, Politehnika Publ., 1992; 327.
21. Yablokova M.A., Ivanenko A.Yu., Zaitsev N.S. Mathematical modeling of a coalescent separator for local storm-water treatment facilities. *Bulletin of Civil Engineers*. 2022; 5:91-98. DOI: 10.23968/1999-5571-2022-19-5-91-98

About the author: **Nikita S. Zaitsev** — Candidate of Economic Sciences, Docent; **Saint-Petersburg State Institute of Technology (SPSIT)**; 26 Moskovsky Prospekt, St. Petersburg, 190013, Russian Federation; ID RSCI: 838605, ResearcherID M-9642-2018, ORCID: 0000-0001-5752-1833; e-mail: [Zaitcevnikita@gmail.com](mailto:Zaitcevnikita@gmail.com).