

УДК 504.4.062.2;628.2;628.3

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И АГРЕГАТОВ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОКОВ

Яблокова М.А., Зайцев Н.С., Хасаев Р.А.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)», Санкт-Петербург, e-mail: kip@technolog.edu.ru

Выполнен аналитический обзор существующих конструкций локальных сооружений для очистки ливневых стоков. Показано, что эффективность очистных сооружений может быть существенно (до 98–99%) повышена при использовании на второй или третьей стадии очистки коалесцентных сепараторов с блоками перфорированных полимерных пластин волнистого профиля. Исследования выявили проблему быстрого забивания зазоров между олеофильными пластинами налипающими агрегатами нефтепродуктов и твердых взвесей. Выявлено, что острота проблемы может быть значительно снижена путем установки в первом (по ходу движения сточной воды) блоке пластин из олеофобного материала или с нанесением олеофобного покрытия. Пластины в первом блоке следует располагать с наклоном под углом 45–60 градусов к горизонтали для интенсификации процесса удаления загрязнений. Зазор между пластинами в первом блоке рекомендуется выставлять максимальным, равным 18 мм. В последующем по ходу движения очищаемой сточной воды в блоке зазор между пластинами может быть уменьшен до 10–12 мм. В третьем блоке, через который проходит вода с остаточной концентрацией нефтепродуктов, пластины могут быть выполнены из олеофильного материала, а зазор между ними может быть уменьшен до 6 мм.

**Ключевые слова:** поверхностные стоки, дождевые, ливневые, талые сточные воды, локальные очистные сооружения, очистка от взвешенных веществ и нефтепродуктов, тонкослойные отстойники, олеофильные пластины из полимерных материалов, коалесцентные сепараторы с волнообразными пластинами

## IMPROVEMENT OF PROCESSES AND UNITS FOR LOCAL TREATMENT OF SURFACE WATER

Yablokova M.A., Zaytsev N.S., Khasaev R.A.

Federal State Educational Institution of Higher Education St. Petersburg State Institute of Technology  
(Technical University), St. Petersburg, e-mail: kip@technolog.edu.ru

An analytical review of existing structures of local facilities for storm water treatment is performed. Our studies have revealed the problem of rapid clogging of the gaps between the oleophilic plates by sticking units of petroleum products and solid suspensions. It was found that the severity of the problem can be significantly reduced by installing in the first (in the course of the movement of wastewater) block plates of oleophobic material or with the application of oleophobic coating. The plates in the first block must be inclined at an angle of 45-60 degrees to the horizontal to intensify the process of dirt removing. The gap between the plates in the first block, we recommend to set the maximum equal to 18 mm. In the subsequent course of movement of the treated wastewater block gap between the plates can be reduced to 10-12 mm. In the third block, through which water passes with a residual concentration of petroleum products, the plates can be made of oleophilic material, and the gap between them can be reduced to 6 mm.

**Keywords:** surface runoff, rainwater, storm water, melt water, local treatment facilities, purification from suspended solids and petroleum products, thin-layer sedimentation tanks, oleophilic plates made of polymeric materials, coalescent separators with wave-like plates

Значение пресной воды как ценного природного сырья постоянно возрастает. В то же время научные исследования последних лет показывают, что природные пресные водоёмы подвергаются всё более и более сильному загрязнению поверхностными (ливневыми и тальными) сточными водами с городских территорий. Причем состав загрязнений таких стоков определяется уже не столько природными, сколько антропогенными факторами.

Цель исследования: анализ процессов и агрегатов, используемых для очистки поверхностных стоков, а также совершенствование применяемого оборудования.

### Материалы и методы исследования

Примерный состав поверхностного стока для различных участков водосборных поверхностей сельских территорий приведен в [1, 2]. Концентра-

ции загрязняющих веществ в дождевом и талом стоке Санкт-Петербурга для районов с различной застройкой и различной степенью благоустройства (по данным ГУП «Водоканал») приведены в работах [3, 4]. В зонах жилой застройки дождевые стоки содержат от 400 до 1000 мг/л взвешенных веществ и от 7 до 15 мг/л нефтепродуктов. В талых стоках концентрации взвешенных веществ достигают 1300–1700 мг/л, нефтепродуктов 12–16 мг/л.

Вблизи автомобильных магистралей и промышленных зон загрязненность дождевых стоков взвешенными веществами составляет 800–1400 мг/л, нефтепродуктами 15–20 мг/л. Особенно сильно загрязнены талые воды, стекающие с таких территорий. Они содержат до 3000 мг/л взвесей и до 30 мг/л нефтепродуктов [3].

Наиболее сложными для очистки являются поверхностные сточные воды автотранспортных предприятий и автозаправочных станций. Загрязненность ливневых и сточных вод с их территорий настолько высока [5, 6], что без очистки на специальных локальных очистных сооружениях они не могут быть сброшены даже в городскую ливневую канализацию.

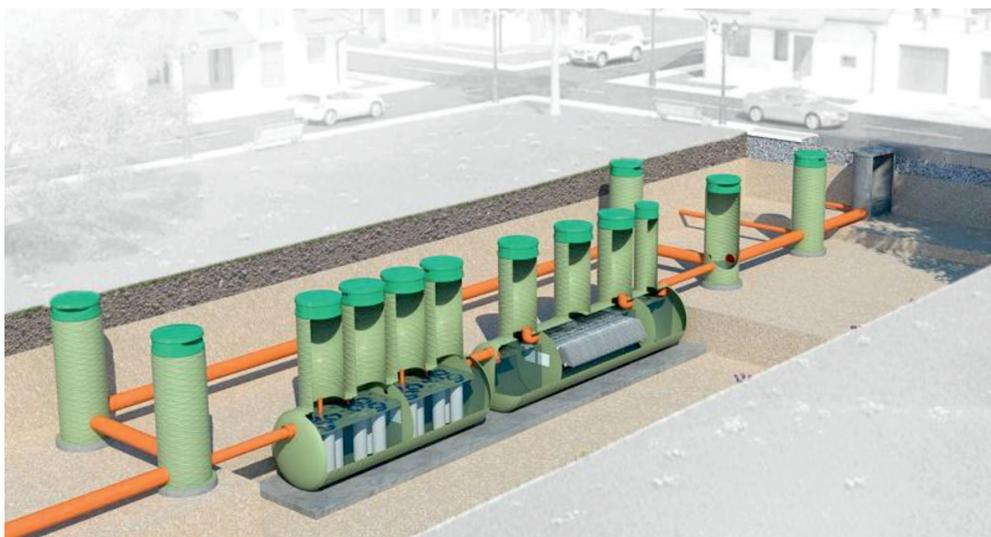


Рис. 1. Установка для обезвреживания ливневых стоков с расположением ступеней очистки в отдельных емкостях

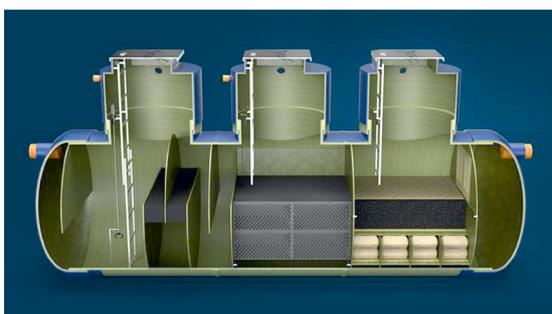


Рис. 2. Установка для обезвреживания ливневых стоков с расположением ступеней очистки в одной ёмкости, состоящей из отдельных отсеков

Большинство локальных установок для обезвреживания ливневых и близких к ним по составу производственных стоков используют многостадийный принцип очистки [7–9]. Ступени очистки могут располагаться в отдельных емкостях [7, 8, 10] (рис. 1) или компоноваться последовательно в одной большой емкости, состоящей из нескольких отсеков [9–11] (рис. 2). Емкости могут располагаться под землей [12, 13] или на поверхности в специальных отопляемых помещениях [8, 11].

Первой стадией очистки обычно является гравитационное отделение примесей в песколовках и отстойниках. Как правило, предпочтение отдается песколовкам, позволяющим отделять от воды песок без примесей органических взвешенных веществ [9, 12]. Впоследствии такой «чистый» песок легче утилизировать, поскольку в нем не идут процессы гниения и брожения примесей органических веществ, и он пригоден для использования в качестве строительного материала.

Освобожденная от песка и других тяжелых включений сточная вода поступает в тонкослойный отстойник, где удаляется основная масса диспер-

сных взвешенных веществ меньшей плотности и нефтепродуктов. На следующем этапе очистки обычно применяется механическая фильтрация. Осветленная вода поступает на фильтр с зернистой загрузкой (кварцевый песок, антрацит, керамзит, полимерная крошка и др.), где удаляются остаточные взвеси и эмульгированные нефтепродукты.

Затем вода проходит фильтр-адсорбер, где происходит финишная сорбционная очистка от растворенных органических веществ и нефтепродуктов на таких материалах, как активированный уголь, алюмосиликаты, мегасорб, сипрон, синтентит и др.

Полученный фильтрат поступает на установку обеззараживания. Обеззараживание может проводиться озонированием, хлорированием, УФ-облучением.

Очищенная и обеззараженная до норм сброса в водоёмы вода отводится под остаточным давлением в сборные колодцы, из которых откачивается в водоем погружными дренажными насосами.

На наш взгляд, если очищенные ливневые стоки сбрасываются в полноводные водоёмы или водотоки, обеспечивающие разбавление вредных примесей стоков до допустимых концентраций, или поступают на доочистку на городские очистные сооружения, то необязательно использовать в установках локальной очистки дорогостоящие методы адсорбции и ионного обмена. При очистке поверхностных вод основное внимание следует уделять удалению взвешенных веществ и эмульгированных нефтепродуктов.

В последние годы для безреагентного укрупнения эмульгированных нефтепродуктов с целью их последующей эффективной сепарации применяют коалесценцию мельчайших капелек нефтепродуктов на олеофильной загрузке из полимерных материалов, в частности полипропилена. Загрузка может быть зернистой [14] или блочной – в виде блока полимерных пластин: плоских или волнистых [15–17]. При наличии в технологической цепочке коалесцентного сепаратора нефтепродуктов увеличивается длительность фильтроцикла устанавливаемых за ним зернистых фильтров и/или адсорберов.

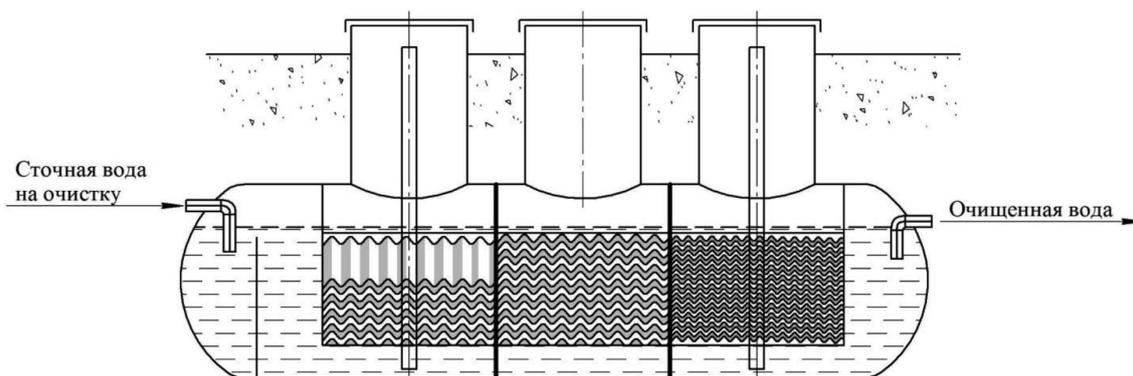


Рис. 3. Установка для очистки ливневых стоков с коалесцентным сепаратором, состоящим из нескольких блоков пластин волнистого профиля

Тонкослойные отстойники с плоскими пластинами из специальных олеофильных полимерных материалов удаляют эмульгированные нефтепродукты из воды гораздо эффективнее, чем отстойники с плоскими пластинами из других материалов (сказывается влияние коалесценции и адгезии). Однако производительность любого тонкослойного отстойника лимитирована необходимостью поддерживать ламинарный режим в каналах между плоскими пластинами, поэтому пропускная способность их невелика. Кроме того, в поверхностных сточных водах капли нефтепродуктов, имеющие плотность менее плотности воды, часто образуют агломераты с взвешенными частицами более высокой плотности. Подобные агломераты имеют плавучесть, близкую к нулевой, и отделить их от воды обычным отстаиванием практически невозможно.

Проведенные нами исследования показали возможность эффективного отделения эмульгированных нефтепродуктов от воды в коалесцентном сепараторе с олеофильными полимерными пластинами волнистого профиля. В таких аппаратах применяются компактные модульные пакеты (рис. 3) гофрированных пластин из полипропилена специального запатентованного состава [18]. Расстояние между пластинами обычно составляет от 6 до 18 мм.

Вода, содержащая нефтепродукты, протекает по каналу между пластинами, следуя форме синусоидального зазора. Капли нефтепродуктов всплывают, касаются нижней поверхности пластин и удерживаются ими за счет действия сил адгезии. По мере того, как захватывается все большее и большее количество капелек нефти, они коалесцируют и постепенно образуют пленку. Под действием скоростного напора потока жидкости пленка мигрирует по поверхности пластин до отверстий для выхода нефти, проходит в вышележащий канал и впоследствии собирается на поверхности воды. Отверстия для выхода нефтепродуктов располагаются равномерно по ширине и длине пластин вертикальными рядами, что обеспечивает скоалесцировавшим каплям доступ к поверхности жидкости в сепараторе. Такая конструкция создает условия для эффективного захвата нефтепродуктов и быстрой их транспортировки к поверхности.

Верхняя сторона пластин предназначена для удаления мелких твердых частиц. Кроме отверстий для прохода нефти, размещенных в верхних точках пластин, в углублениях пластин имеются отверстия для удаления твердых взвесей. Взвешенные вещества,

не уловленные в песколовке и тонкослойном отстойнике, попадают в пакет пластин вместе с частично очищенной сточной водой, осаждаются на верхних сторонах пластин, смещаются потоком к отверстиям для удаления твердых взвесей и уходят в нижнюю шламосборную часть аппарата.

### Результаты исследования и их обсуждение

Опытно-промышленные испытания сепараторов-коалесценторов выявили проблему быстрого забивания зазоров между олеофильными пластинами агрегатами нефтепродуктов с твердыми взвесьями. Это объясняется налипанием нефтепродуктов на олеофильные пластины. Как показали наши исследования, острота проблемы может быть значительно снижена путем установки в первом по ходу движения сточной воды блоке (при высокой концентрации загрязнений) пластин из олеофобного материала, либо путем нанесения на пластины олеофобного покрытия.

Пластины в первом блоке должны быть расположены с наклоном под углом 45–60 градусов к горизонтали для интенсификации процесса удаления загрязнений. Зазор между пластинами в первом блоке мы рекомендуем выставлять максимальным, равным 18–20 мм. В последующем по ходу движения очищаемой сточной воды блоке зазор между пластинами может быть уменьшен до 10–12 мм. В третьем блоке, через который проходит вода с остаточной концентрацией нефтепродуктов, пластины могут быть выполнены из олеофильного материала, а зазор между ними может быть уменьшен до 6 мм.

Расчеты и эксперименты показывают, что описанная система блоков сепарационных пластин позволяет очистить воду до остаточных концентраций взвесей и нефтепродуктов 5–10 мг/л, что вполне достаточно для обеспечения длительной штатной рабо-

ты зернистого фильтра или фильтра-адсорбера, используемого на последнем, заключительном этапе очистки поверхностных вод.

### Выводы

1. Большинство локальных установок для обезвреживания ливневых и близких к ним по составу производственных стоков используют многостадийный принцип очистки. Первой стадией очистки обычно является гравитационное отделение грубодисперсных примесей в песколовках. Освобожденная от песка и других тяжелых включений (стекла, окалины, шлаков и т.п.) сточная вода поступает в тонкослойный отстойник, где удаляется основная масса дисперсных взвешенных веществ меньшей плотности и часть нефтепродуктов. На следующем этапе очистки обычно применяется фильтр с зернистой загрузкой либо фильтр-адсорбер, где происходит финишная сорбционная очистка от растворенных загрязнений. Недостатком описанных установок является низкая пропускная способность и недостаточная эффективность блока тонкослойного осаждения.

2. Проведенные нами исследования показали возможность повышения эффективности очистки поверхностных стоков путем замены блока тонкослойного отстаивания тремя последовательно установленными блоками профилированных листов волнистого профиля с отверстиями в выступах и впадинах. Во избежание быстрого забивания каналов в первом по ходу движения сточной воды блоке (при высокой концентрации загрязнений) в нем рекомендуется устанавливать листы из олеофобного материала, либо с нанесением олеофобного покрытия. Пластины в первом блоке должны быть расположены с наклоном под углом 45–60 градусов к горизонтали для интенсификации процесса удаления загрязнений.

3. Зазор между пластинами в первом блоке рекомендуется выставлять максимальным, равным 18–20 мм. В последующем по ходу движения очищаемой сточной воды блоке зазор между пластинами может быть уменьшен до 10–12 мм. В третьем блоке, через который проходит вода с остаточной концентрацией нефтепродуктов, пластины могут быть выполнены из олеофильного материала, а зазор между ними может быть уменьшен до 6 мм.

4. Описанная система блоков сепарационных пластин позволяет очистить воду до остаточных концентраций взвесей и нефтепродуктов 5–10 мг/л, что вполне достаточно для обеспечения длительной штатной работы зернистого фильтра или фильтра-адсорбера, используемого на последнем, заключительном этапе очистки поверхностных вод.

### Список литературы

1. Рекомендации по организации систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока селитебных территорий, площадок предприятий и определению выпуска его в водные объекты. М.: ФАУ Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве, 2015. 146 с.
2. Свод правил СП 32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200094155> (дата обращения: 21.05.2019).
3. Духопельникова Н.Р. Поверхностные сточные воды, система отведения и их очистка в крупных городах // *Alfabuild*. 2018. № 1 (3). С. 7–14.
4. Основные положения схемы водоснабжения и водоотведения Санкт-Петербурга на период до 2025 г. с учетом перспективы до 2030 г. по разделу «Водоснабжение». Приложение № 1 к постановлению правительства Санкт-Петербурга № 989 от 11 декабря 2013 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gov.spb.ru/law/?d&nd=822402702&nh=1> (дата обращения: 21.05.2019).
5. Фельдштейн Е.Г. Совершенствование систем очистки поверхностного стока предприятий первой группы на примере автотранспортных предприятий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2014. 24 с.
6. Овдиенко Е.Н. и др. Проблемы усовершенствования очистки ливневых сточных вод, образующихся на территории промышленных предприятий // *Современные наукоемкие технологии*. 2007. № 8. С. 95–96.
7. Типовые схемы комплектации локальных очистных сооружений (ЛОС). Официальный сайт ООО «Эко-Экспресс-Сервис». [Электронный ресурс]. URL: <http://ecoexp.ru/page/40> (дата обращения: 21.05.2019).
8. Очистные сооружения поверхностного стока КОС. Официальный сайт ООО группы компаний «Полихим» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.polihim.info/products/livnevye-ochistnye-sooruzheniya/livnevye-ochistnye-sooruzheniya-kos/> (дата обращения: 21.05.2019).
9. Очистные сооружения поверхностных сточных вод. Официальный сайт ООО «Витэко». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.veksa.ru/articles/podbor/typical-sol> (дата обращения: 21.05.2019).
10. Ширококова Ю.Н. Принципиальная схема очистки ливневых сточных вод в условиях водоотведения микрорайона Северный города Майкопа // *Современные научные исследования и разработки*. 2016. № 7 (7). С. 254–256.
11. Установка для очистки дождевых сточных вод «Свирь». [Электронный ресурс]. URL: [http://gpkit.ru/newsite/catalog\\_stoki\\_svir.html](http://gpkit.ru/newsite/catalog_stoki_svir.html) (дата обращения: 21.05.2019).
12. Валдай-Дождь. Установка для очистки поверхностных сточных вод в утепленном модуле. Официальный сайт ООО «Эко-системы». [Электронный ресурс]. URL: [http://eco-systema.com/productions/system/valday-dojd/utm\\_source=yandex&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=valday\\_dojd&type=search&source=none&block=premium&position=3&utm\\_term](http://eco-systema.com/productions/system/valday-dojd/utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign=valday_dojd&type=search&source=none&block=premium&position=3&utm_term) (дата обращения: 21.05.2019).
13. Векса. Очистные сооружения ливневых стоков. Модели и характеристики. Официальный сайт ГК Аргель. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.vo-da.ru/liven/veksa?yclid=7600020459018790048> (дата обращения: 21.05.2019).
14. Седлухо Ю.П. Очистка нефтесодержащих технологических стоков коалесцирующими фильтрами. Минск: Технопринт, 2012. 183 с.
15. 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 (ТОХТ)*. 2010. Т. 44. № 5. С. 588–600.
16. Яблокова М.А., Иваненко А.Ю., Турыгин В.Ю. Очистка подтоварных вод нефтеприисков с целью повторной закачки в нефтеносные пласты для поддержания внутрипластового давления // *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. 2012. № 14 (40). С. 78–84.
17. Яблокова М.А., Бутров В.В., Хасаев Р.А. Современные технологии и оборудование для обезвреживания отработанных смазочно-охлаждающих жидкостей // *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. 2014. № 25 (51). С. 62–67.
18. Патент 2252232 РФ, МПК C08L23/12, B01D17/02. Полипропиленовый композиционный материал для разделителя эмульсий / Бурлов В.В., Крыжановский В.К., Абрамова Н.К. // Заявл. 20.10.2003, № 2003131377 / 04; опубл. 20.05.2005. Бюл. № 14.