ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 113.08.01— 2022

НАИЛУЧШИЕ ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Метод гидродинамической суперкавитации для оптимизации биологической очистки сточных вод. Основные требования

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2022

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Научно-производственное объединение «КАВ-ЭКО» и Федеральным государственным автономным учреждением «Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики» (ФГАУ «НИИ «ЦЭПП»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 113 «Наилучшие доступные технологии»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 ноября 2022 г. № 1271-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2022

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАИЛУЧШИЕ ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Метод гидродинамической суперкавитации для оптимизации биологической очистки сточных вод. Основные требования

The best available techniques. Method of hydrodynamic supercavitation for biological wastewater treatment. General requirements

Дата введения — 2023—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает основные требования к применению метода гидродинамической суперкавитации при осуществлении следующих видов экономической деятельности [1]: 37.00 Сбор и обработка сточных вод.

Настоящий стандарт распространяется на сооружения биологической очистки сточных вод централизованных систем водоотведения поселений, городских округов проектной мощностью от сверхмалых до крупных согласно [2], [3] при аэрации, нитрификации, денитрификации очищенных сточных вод, а также промышленные объекты, имеющие биологический и/или биосорбционный цикл очистки сточных вод, и позволяет повысить ресурсную (в том числе энергетическую) эффективность и интенсивность очистки сточных вод.

2 Термины, определения и сокращения

2.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

2.1.1 **аэрация воды:** Обогащение воды кислородом воздуха.

2.1.2

водоотведение: Прием, транспортировка и очистка сточных вод с использованием централизованной системы водоотведения.

[[4], статья 2]

2.1.3 **кавитация:** Явление разрыва сплошности жидкой среды под действием растягивающих напряжений, возникающих в жидкости, которое сопровождается образованием в ней парогазовых полостей — каверн.

2.1.4 **гидродинамическая кавитация:** Способ возбуждения кавитации, который заключается в создании в потоке жидкости зоны пониженного критического давления, зависящего от характеристик жидкости (температура, плотность, давление насыщенных паров, газосодержание), путем локального ускорения потока при обтекании им специальных конструктивных элементов (кавитаторов).

Примечание — Степень развития кавитации характеризуется протяженностью каверны, которая по мере увеличения скорости потока проходит несколько стадий роста — от отдельных нестационарных пузырьковых областей на поверхности кавитатора до коротких пузырьковых каверн, заполненных парогазовыми пузырьками, и далее — до длинных прозрачных суперкаверн, заполненных паром и/или газом. Режимным параметром, определяющим степень развития каверны, является число кавитации.

Издание официальное

2.1.5 **диспергирование:** Смешивание, по меньшей мере, двух субстанций, которые: не растворяются друг в друге, трудно растворяются друг в друге или не вступают в реакцию друг с другом.

Примечание — В процессе диспергирования одно вещество (дисперсионная фаза) распределяется во втором веществе (сплошная фаза).

2.1.6 **суперкавитация:** Гидродинамический режим кавитационного течения, в котором образуется длинная каверна (суперкаверна), рост которой обеспечивается либо испарением жидкости и выделением из нее растворенного газа, либо подводом газа из внешнего источника.

Примечание — Различают три стадии кавитации: начальную, развитую и суперкавитацию. При начальной стадии единая каверна (кавитационная область) отсутствует. Развитая стадия отличается наличием значительных каверн на обтекаемом теле. В условиях суперкавитации весь обтекаемый элемент находится в зоне каверны.

2.1.7 **метод гидродинамической суперкавитации:** Метод аэрации сточных вод с использованием гидродинамической суперкавитации.

2.1.8 **обработка сточных вод:** Воздействие на сточные воды с целью обеспечения их необходимых свойств и состава.

2.1.9 **очистка сточных вод:** Обработка сточных вод с целью разрушения или удаления из них определенных веществ.

2.1.10

сточные воды: Дождевые, талые, инфильтрационные, поливомоечные, дренажные воды, сточные воды централизованной системы водоотведения и другие воды, отведение (сброс) которых в водные объекты осуществляется после их использования или сток которых осуществляется с водосборной площади.

[[5], статья 1]

2.1.11

централизованная система водоотведения поселения или городского округа; ЦСВП: Комплекс технологически связанных между собой инженерных сооружений, предназначенных для водоотведения с территории поселения или городского округа.

[[6], статья 1]

2.1.12 **эжекция:** Передача кинетической энергии от одной среды (активной), движущейся с большей скоростью, к другой (пассивной) с целью перекачивания пассивной среды и/или смешения двух сред.

2.2 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

АСУ ТП — автоматизированная система управления технологическим процессом;

ГДСК — гидродинамическая суперкавитация;

ЗВ — загрязняющее вещество;

КЭ — кислородный эквивалент;

ОС — очистное сооружение;

СВ — сточные воды.

3 Общие положения

Современные тенденции развития технологий очистки сточных вод заключаются в поиске и внедрении решений, направленных на энерго- и ресурсоэффективность.

Основное количество энергии расходуется на подачу сжатого воздуха в аэротенки для обеспечения растворения в иловой смеси необходимого количества кислорода. Для эффективного расхода электроэнергии объем подачи воздуха должен быть пропорциональным массе загрязнений, поступающих со СВ, на окисление которых расходуется кислород.

Оптимальное (с минимальными неэффективными потерями) потребление электроэнергии на подачу воздуха в зависимости от технологического процесса составляет 0,25—0,40 кВт · ч/кг КЭ, где:

- минимальный показатель 0,25 — при оптимизированной технологии удаления азота с денитрификацией;
- максимальный показатель 0,40 — для развитой нитрификации без удаления азота денитрификацией [4].

Метод ГДСК обеспечивает заданные параметры очистки СВ с максимальной энергоэффективностью. КЭ метода ГДСК составляет 0,19—0,21 кВт · ч/кг и превышает показатели оптимального потребления энергии на подачу воздуха с минимальными неэффективными потерями.

4 Основы и принципы метода гидродинамической суперкавитации

Кавитационное течение характеризуется безразмерным параметром (числом кавитации):

$$X = 2(P - Ps)/\rho V_2, \quad (1)$$

где P — гидростатическое давление набегающего потока, Па;

Ps — давление насыщенных паров жидкости при определенной температуре окружающей среды, Па;

ρ — плотность среды, кг/м^3;

V_2 — скорость набегающего потока, м/с.

Кавитация возникает, когда давление в потоке становится равным давлению насыщенных паров жидкости. Значение числа кавитации, при котором наблюдаются ее первые признаки, называется критическим числом кавитации.

В зависимости от величины можно различать четыре вида потоков: докавитационный — сплошной (однофазный) поток при $X > 1$; кавитационный — (двухфазный) поток при $X \approx 1$; пленочный — с устойчивым отделением кавитационной полости от остального сплошного потока (пленочная кавитация) при $X < 1$; суперкавитационный — при $X << 1$.

ГДСК заключается в создании в потоке жидкости зоны пониженного до критического уровня давления. Происходит образование и рост каверны вследствие испарения жидкости и выделения из нее растворенного газа либо подачи газа из внешнего источника. Понижение давления в потоке достигается его локальным ускорением при обтекании специальных конструктивных элементов — кавитаторов. Величина критического давления зависит от параметров жидкости — температуры, плотности, процентного содержания газа и др. В технологических устройствах режим газовой суперкавитации реализуется путем создания длинных суперкаверн внутри потока жидкости.

Процессы очистки СВ с использованием метода ГДСК состоит в подаче в СВ:

- воздуха для введения кислорода в процесс биологической очистки СВ;
- концентрированного кислорода вместо воздуха для обработки СВ с высокой концентрацией органических и неорганических загрязнений;
- воздуха для дегазации, очистки воды от растворенного железа и марганца с переводом последних в водонерастворимую форму и дальнейшего их удаления известными способами, а также для удаления из воды летучих органических веществ;
- пассивных или реактивных газов и суспензий для реализации химических и биохимических реакций в объеме обрабатываемой воды.

Сравнение типовых схем биологической очистки сточных вод и с применением ГДСК представлено в приложении А.

5 Требования к применению метода гидродинамической суперкавитации

Метод ГДСК применим на следующих этапах очистки СВ:

- аэрации после первичной очистки;
- аэрации очищенных стоков перед их сбросом в водоемы;
- аэрации с добавлением реагентов.

Метод ГДСК применим в различных комплектациях на сооружениях мощностью от сверхмалых до крупных согласно [2], [3]. Для каждого сооружения может быть рассчитана и подобрана индивидуальная комбинация аэрационных модулей по методу ГДСК.

Изменение производительности аэрации по методу ГДСК достигается путем:

- подбора и расчета типоразмера аэрационного модуля;
- расчета количества аэрационных модулей.

5.1 Условия применения метода ГДСК для различных очистных сооружений

5.1.1 В металлических или бетонных очистных сооружениях промышленных сточных вод:

- глубина аэрационных реакторов — от 2 до 8 м;

- концентрация органических загрязнений — до 6000 мг/л;
- производительность очистки — от 100 м^3/сут и выше;
- температура сточной воды — до 35 °С (ограничения диктуются только выживаемостью бактерий активного ила);
- температуру воздуха метод не ограничивает.

5.1.2 В бетонных очистных сооружениях бытовых сточных вод или в открытых бассейнах с искусственным покрытием дна:

- глубина аэрационных реакторов — от 2 до 8 м;
- концентрация органических загрязнений — от 2000 до 3500 мг/л;
- производительность очистки — от 300 м^3/сут и выше;
- температура для воды — до 35 °С (ограничения диктуются только выживаемостью бактерий активного ила);
- температуру воздуха метод не ограничивает.

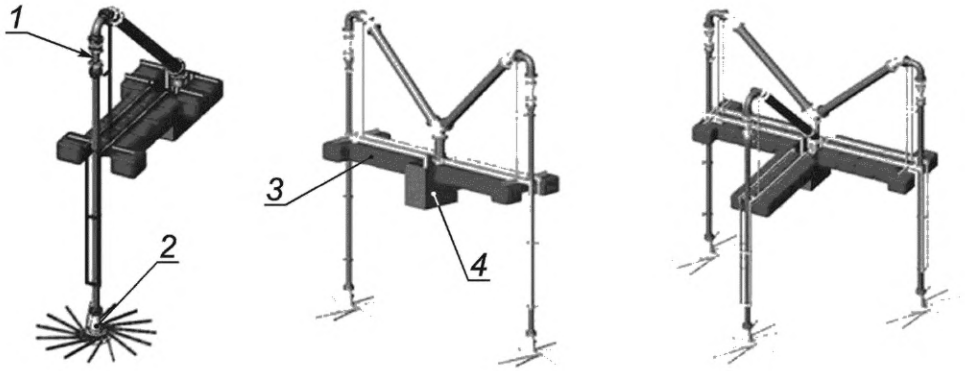
5.1.3 В металлических или бетонных очистных сооружениях промышленных и бытовых сточных вод с применением метода мембранного биореактора:

- глубина аэрационных реакторов — от 2 до 6 м;
- концентрация органических загрязнений — до 12000 мг/л;
- производительность очистки — от 100 м^3/сут и выше;
- температура для воды — до 35 °С (ограничения диктуются только выживаемостью бактерий активного ила);
- температуру воздуха метод не ограничивает.

5.2 Технические требования к проектируемому оборудованию

5.2.1 Аэрационный модуль с применением метода ГДСК включает в себя (рисунок 1):

- один или несколько аэрационных аппаратов, устанавливаемых над поверхностью воды;
- гидронасос, устанавливаемый в герметичном ящике, полупогруженном в воду (ось всасывающего трубопровода находится на глубине 0,4—0,7 м под поверхностью воды);
- одну или несколько статических турбин, устанавливаемых в донной области аэротенка;
- систему трубопроводов, связывающих вышеуказанное оборудование;
- контрольно-измерительную аппаратуру;
- терминал АСУ ТП, обеспечивающий контроль, управление и двустороннюю информационную связь между терминалом АСУ ТП очистного сооружения и сервисной службой производителя оборудования.



1 — суперкавитационный аэрационный аппарат; *2* — статическая турбина; *3* — плавающая платформа; *4* — герметичный бокс с гидронасосом

Рисунок 1 — Примеры аэрационных модулей, выполненных с применением метода ГДСК

5.2.2 Аэрационный аппарат является технологическим ядром аэрационного модуля, в котором создается суперкавитационное течение. Аэрационный аппарат обеспечивает режим эжекции воздуха и первичное диспергирование воздуха в потоке воды.

5.2.3 Проектирование конструкций аэрационного аппарата обеспечивает зоны пониженного давления внутри потока жидкости при обтекании кавитаторов (режим суперкавитации). Высота его установки над поверхностью воды в аэротенке определяется в зависимости от рабочего диапазона расходов потоков воды и воздуха.

5.2.4 Ниже по потоку от аэрационного аппарата устанавливается статическая турбина, обеспечивающая вторичное диспергирование воздушных пузырьков и их распределение в объеме аэротенка. Конструкция статической турбины определяется, исходя из размера (объем, глубина) аэротенка и расхода потоков воды и воздуха, поступающих в турбину в составе газожидкостной смеси.

Аэрационный модуль устанавливается в аэротенке на плавающей платформе или стационарно на ограждающих конструкциях. Вариант установки аэрационного модуля выбирается в зависимости от конструкции и размеров аэротенка.

5.3 Требования к процессу создания режима гидродинамической суперкавитации

5.3.1 Аэрационный аппарат расположен над водой на рассчитанной высоте. Количество аэрационных аппаратов в модуле определяется расчетами на основе анализа характеристик технологического процесса очистки СВ (состав и концентрация ЗВ, производительность, размеры и конструкция аэротенка).

5.3.2 Статическую турбину устанавливают:

- на дне аэротенка в случае твердого дна, допускающего соответствующую нагрузку;
- на плаву системой поплавков.

Сопла турбины должны быть расположены не выше 0,2 м от дна.

5.3.3 На первой стадии диспергирования воздуха насос всасывает воду из аэротенка и подает ее на вход аэрационного аппарата. Поток воды проходит через рабочую камеру аэрационного аппарата, переходит в режим суперкавитационного течения, происходит всасывание воздуха из внешней атмосферы в суперкаверну. При разрушении суперкаверны на выходе из рабочей камеры происходит диспергирование воздуха и образование газожидкостного потока с содержанием воздуха в смеси 0,3—0,4 объемных долей.

5.3.4 Вторая стадия диспергирования воздуха происходит на выходе из статической турбины. Пузырьки воздуха распределяются в донной горизонтальной плоскости аэротенка и обеспечивают дальнейшее растворение кислорода в воде. Истекающий из турбины водовоздушный поток, состоящий из воды с большей плотностью по отношению к воздуху (содержание воды более 60 %), обеспечивает необходимую интенсивность перемешивания обрабатываемой среды в объеме аэротенка.

5.4 Технологические ограничения метода ГДСК

5.4.1 Минимальная высота столба жидкости для реализации технологического процесса в объеме обрабатываемой жидкости — 0,7 м.

5.4.2 Для наиболее эффективной реализации метода ГДСК рекомендовано три варианта типоразмера аэрационных аппаратов и статических турбин по производительности растворяемого кислорода:

А — 10,0 кг/ч;

Б — 5,0 кг/ч;

В — 2,5 кг/ч.

Система управления аэрационным модулем или группой аэрационных модулей осуществляем в полуавтоматическом или автоматическом режимах.

5.5 Критерии выбора типоразмера и количества аэрационных модулей

Выбор аэрационного модуля зависит от количества растворенных органических загрязнений в исходной воде, размеров, геометрии и объема аэротенка.

Параметры производительности аэрационных модулей при стандартных условиях представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Параметры производительности аэрационных модулей при стандартных условиях

Тип аэрационного модуля	Количество аэрационных аппаратов, шт.	Производительность растворения кислорода, кг O_2/час	Производительность растворения кислорода, кг O_2/сут	Диаметр области перемешивания, м
А1-40	1	4	96	2,2
А1-60	1	6	144	2,7
А1-80	1	8	192	3,2

Окончание таблицы 1

Тип аэрационного модуля	Количество аэрационных аппаратов, шт.	Производительность растворения кислорода, кг O_2/час	Производительность растворения кислорода, кг O_2/сут	Диаметр области перемешивания, м
А2-80	2	16	384	3,2*2
А1-100	1	10	240	3,7
А2-100	2	20	480	3,7*2
А3-100	3	30	720	3,7*3

6 Энергетическая и экономическая эффективность

6.1 Энергопотребление на стадии аэрации биологической очистки СВ является основным показателем эффективности применения метода ГДСК.

Качество фильтрации СВ на входе в первичные отстойники и результаты очистки на стадии осветления обеспечивают установленную эффективность.

В таблице 2 приведены данные по энергопотреблению оборудования при использовании традиционных методов подачи воздуха в аэротенки и с использованием метода ГДСК в составе ОС разной мощности.

Таблица 2 — Удельное энергопотребление на аэрацию

Показатель	Удельное энергопотребление, кВт · ч/кг КЭ, для ОС с проектной производительностью		
	более 300 тыс. $м^3$/сут	100—300 тыс. $м^3$/сут	менее 100 тыс. $м^3$/сут
Диапазон	0,23—0,9	0,44—2,1	0,38—14
Среднее значение	0,52	0,6	1,37
Средний диапазон (±20 % от среднего значения)	0,42—0,62	0,40—0,85	0,95—2,2
Теоретическая потребность	0,25—0,40		
Подача воздуха методом ГДСК	0,19	0,2	0,22

В диапазоне пограничных температур ГДСК не снижает эффективности биологической очистки. Использование ГДСК возможно в любых климатических условиях.

6.2 Энергопотребление аэротенков снижается относительно средних значений [4]:

- на 20—25 % — за счет использования эффективных систем аэрации;
- на 15—20 % — за счет регулируемой подачи воздуха в соответствии с потребностью сооружений в кислороде;
- на 10—15 % — за счет использования энергосберегающих технологических процессов биологической очистки;
- на 67—83 % — за счет внедрения метода ГДСК.

В сумме использование данных подходов способно снизить энергопотребление на аэротенки на 40—50 %.

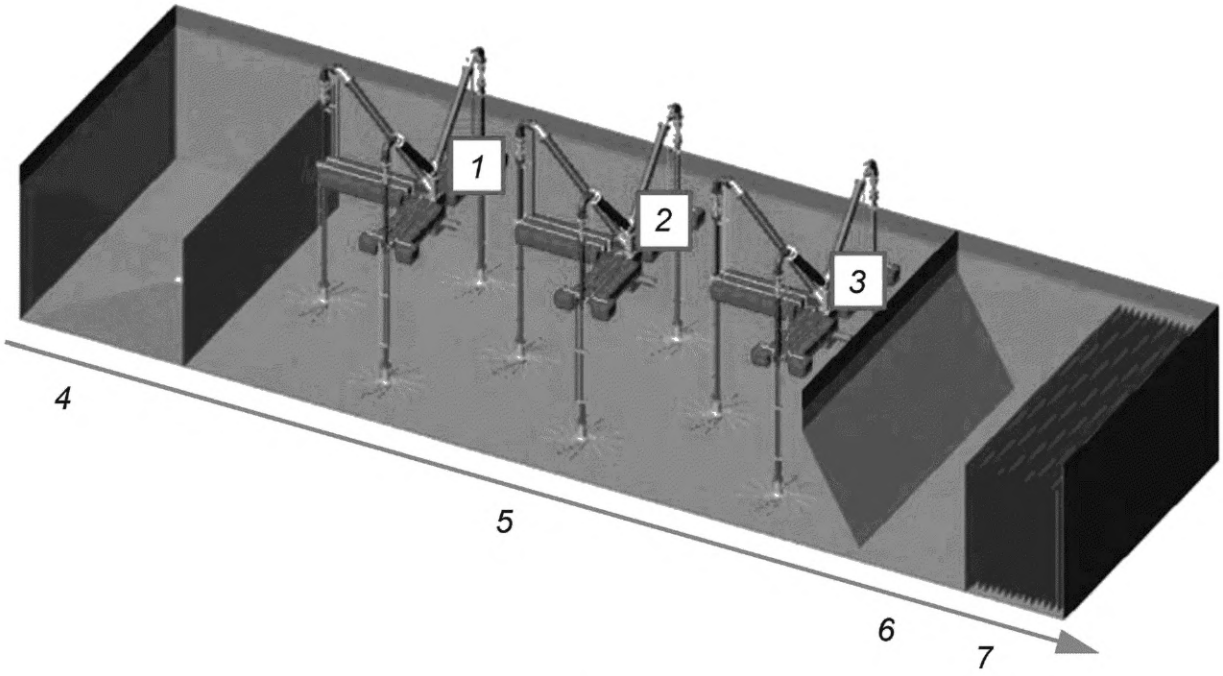
6.3 Метод ГДСК улучшает биологическое поглощение кислорода активным илом, снижает потребность в реагентах.

6.4 Применение метода ГДСК:

- сокращает эксплуатационные расходы на обслуживание аэрационного оборудования;
- исключает возможность биообрастания внутренних поверхностей проточных каналов;
- обеспечивает долговременный стабильный гидродинамический режим работы;
- исключает затраты на восстановление производительности аэрационного оборудования и его остановки для обслуживания и поддержания проектных показателей эффективности массопереноса кислорода в обрабатываемую жидкость.

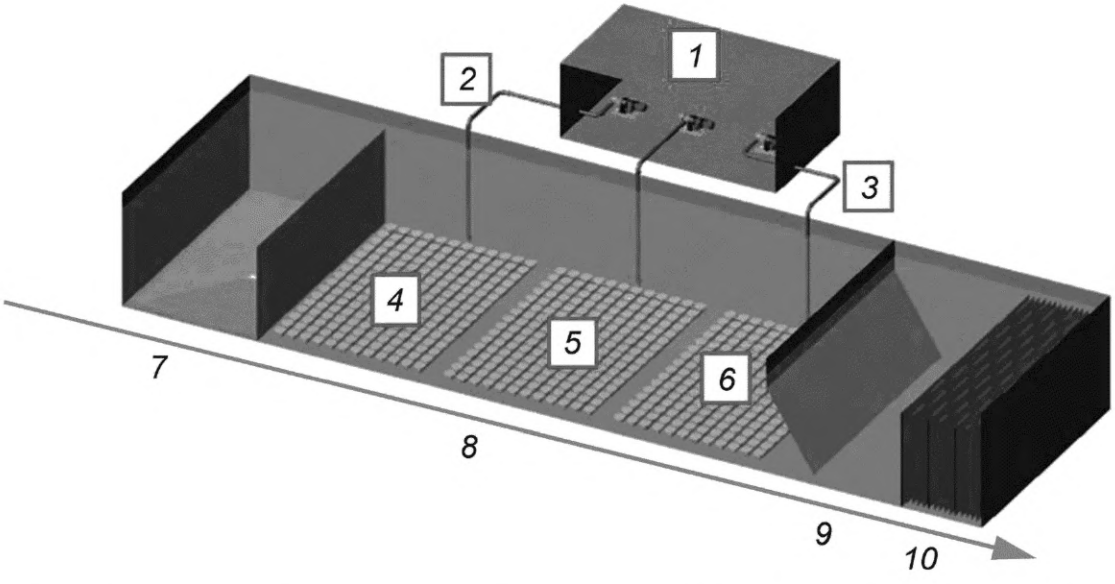
Приложение А
(справочное)

Сравнение схем биологической очистки сточных вод



1, 2, 3 — аэрационные модули; *4* — первичный отстойник; *5* — аэротенк; *6* — вторичный отстойник; *7* — фильтр доочистки

Рисунок А.1 — Схема биологической очистки сточных вод с использованием аэрационного модуля по методу ГДСК



1 — компрессорная; *2, 3* — воздуховоды; *4, 5, 6* — мембранные диффузоры; *7* — первичный отстойник; *8* — аэротенк; *9* — вторичный отстойник; *10* — фильтр доочистки

Рисунок А.2 — Традиционная схема подачи сжатого воздуха

Библиография

[1] Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 января 2014 г. № 14-ст «О принятии и введении в действие Общероссийского классификатора видов экономической деятельности (ОКВЭД2) ОК 029-2014 (КДЕС Ред. 2) и Общероссийского классификатора продукции по видам экономической деятельности (ОКПД2) ОК 034-2014 (КПЕС 2008)»

[2] Постановление Правительства Российской Федерации от 15 сентября 2020 г. № 1430 «Об утверждении технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов»

[3] ИТС 10-2019 Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов

[4] Федеральный закон от 7 декабря 2011 г. № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении»

[5] Федеральный закон от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ «Водный кодекс Российской Федерации»

[6] Федеральный закон от 29 июля 2017 г. № 225-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О водоснабжении и водоотведении» и отдельные законодательные акты Российской Федерации»

УДК 32.019.5 ОКС 13.020.01

Ключевые слова: аэрация, воздуходувка, гидродинамическая суперкавитация, метод, сточные воды, энергетическая эффективность

Редактор *В.Н. Шмельков*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 14.11.2022. Подписано в печать 21.11.2022. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 1,26.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru