

УДК 504.054

А. А. Тихонова, И. В. Владимцева, А. А. Дементьева, М. А. Катехлиев

Волгоградский государственный технический университет

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К СНИЖЕНИЮ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ
БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МЕТОДА КАВИТАЦИИ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ**

Приведены результаты анализа факторов, нарушающих экологическое равновесие и вызывающих негативные последствия для окружающей среды. Предлагается комплексный подход к повышению экологической безопасности при эксплуатации сооружений биологической очистки с использованием в технологическом процессе метода кавитации низкой интенсивности. Разработанные инженерные и технологические решения позволяют усовершенствовать технологии биоочистки. В результате уменьшается негативное воздействие атмосферных выбросов, жидких стоков и твердых отходов на окружающую среду при эксплуатации аэротенков колонного типа на основе использования метода кавитации низкой интенсивности,

Ключевые слова: экологическая безопасность, негативное воздействие на окружающую среду, сооружения биологической очистки сточных вод, аэротенки колонного типа, кавитация низкой интенсивности.

Введение

Важнейшей экологической проблемой современного общества является сохранение безопасной для жизнедеятельности человека среды обитания. В связи с этим одним из основных направлений «Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года» является улучшение состояния окружающей среды, включая развитие и стимулирование инновационных и экологически чистых технологий, направленных на снижение негативного воздействия на окружающую среду, развитие индустрии обработки и утилизации отходов¹. Система экологической безопасности объектов городского хозяйства (ОГХ) сталкивается с рядом проблем, негативно влияющих на состояние окружающей среды. Образование дурно пахнущих веществ (ДПВ) на станциях перекачки стоков влечет за собой снижение качества атмосферного воздуха, и, как следствие, дискомфорт, недомогания, появление заболеваний, потерю трудоспособности у населения. Очистные сооружения, построенные в непосредственной близости к городу или в черте города, занимают огромные площади, являются источником неприятных запахов, вредных газовых испарений и, зачастую используя устаревшие технологии, имеют довольно низкий уровень очистки стоков. Сливая недостаточно очищенную воду, такие очистные сооружения загрязняют водоемы. Кроме того, в процессе биологической очистки стоков образуются значительные объемы твердых отходов — илового осадка, который содержит

¹ Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года // Министерство экономического развития Российской Федерации. URL: https://www.economy.gov.ru/material/directions/regionalnoe_razvitie/strategicheskoe_planirovanie_prostranstvennogo_razvitiya/strategiya_prostranstvennogo_razvitiya_rossiyskoy_federacii_na_period_do_2025_goda.

канцерогенные и токсичные вещества (соли тяжелых металлов, синтетические ПАВ), микроорганизмы (патогенные бактерии, плесневые грибы, простейшие) и паразитов (личинки и яйца гельминтов).

Ключевым моментом в решении проблем, связанных с загрязнением окружающей среды при эксплуатации сооружений биологической очистки сточных вод, является комплексный подход, исключающий все вышеперечисленные причины негативного воздействия.

Целью данного исследования является анализ негативных факторов, воздействующих на городские территории при эксплуатации сооружений биологической очистки, и разработка инженерного решения, связанного с использованием в технологической схеме метода кавитации низкой интенсивности, позволяющего осуществить комплексный подход к снижению негативного воздействия загрязнений на окружающую среду.

Материалы и методы

При проведении исследований авторами использованы общенаучные методы: теоретико-методологический анализ литературных источников; эмпирические методы исследования, описания и сравнительно-сопоставительного анализа; эколого-экономический анализ; исследование процессов, протекающих в технологических установках, установление закономерностей их протекания, нахождение зависимостей, необходимых для их анализа.

Результаты исследования

Изучению вопросов обеспечения экологической безопасности городских территорий посвящены труды отечественных и зарубежных ученых [1—9]. Результаты многочисленных исследований показывают, что функционирование ОГХ оказывает негативное влияние на атмосферный воздух, почвенный покров, поверхностные и подземные воды. Образуются прочные зависимости между ОГХ и природными компонентами. Самым простым примером такой зависимости можно представить городскую улицу, где антропогенным элементом является насосная станция, перекачивающая сточные воды на дальнейшую очистку, а природным компонентом выступает атмосферный воздух [4, 10, 11]. Спектр негативного воздействия ОГХ оказывается настолько широким, что вызывает последствия, характерные практически для любого современного города [12]. С. Т. Nguyen (с соавт.), обобщив и систематизировав результаты аналитических исследований, представил всю совокупность экологических проблем от воздействия ОГХ во взаимосвязи: загрязнение воздушной среды выбросами; загрязнение водных объектов сбросами сточных вод, имеющих низкий уровень очистки; загрязнение почвенного покрова при размещении твердых отходов — илового осадка сточных вод.

В идеале ОГХ должны обеспечивать благоприятные условия для проживания населения и не оказывать негативного воздействия на природные экосистемы. Взаимодействие человека и высокоурбанизированной среды формирует уникальную экосистему, известную как урбанизированная. Очевидно, что урбанизированная экосистема непрерывно использует внешние ресурсы и лишена возможности саморегуляции. Такая система эволюционирует не в соответствии с естественными законами, а исходя из потребностей экономической активности человека. Следовательно, подход к разрешению дисбаланса в урбанизированной экосистеме должен быть специфическим, учитывать все параметры как естественных, так и антропогенных ее компонентов.

Понятие «негативный фактор, воздействующий на окружающую городскую среду» подразумевает, прежде всего, специфику процесса его воздействия на окружающие компоненты, в ходе которого появляются признаки негативного изменения. Каждый подобный процесс имеет свои особенности воздействия и определяется по характеру, интенсивности, источнику и др. [13]. Сравнительный анализ особенностей воздействия негативных факторов на окружающую городскую среду позволил систематизировать их по характеру влияния на природные компоненты урбанизированных территорий.

Значимым негативным фактором в городской среде является использование земель как физического пространства и основы для строительства и размещения ОГХ. В зависимости от характера использования земля подвергается истощению, переуплотнению, загрязнению, подтоплению и пр.

Итак, загрязнение природных компонентов в городских экосистемах связано, помимо прочих причин, с ОГХ [7, 14, 15]. Несомненно, степень воздействия различных источников загрязнения варьируется и определяется рядом социально-экономических факторов: законодательных, политических, демографических и инфраструктурных [2, 6].

Экологические требования, изложенные в гл. VII ФЗ «Об охране окружающей среды», относительно размещения объектов хозяйственной деятельности, их проектирования, строительства и реконструкции, а также ввода в эксплуатацию, не обеспечивают в полной мере равновесия в урбанизированной экосистеме и приводят к вышеописанным последствиям². Что относится и к сооружениям биологической очистки, которые в настоящее время занимают значительные площади.

Следует отметить весомый вклад ОГХ в загрязнение окружающей среды урбанизированных территорий химическими веществами. В процессе сбора стоков на насосных станциях происходит образование газовых выделений, в том числе ДПВ, негативно влияющих как на сотрудников насосных станций, так и на жителей близлежащих домов. Качество атмосферного воздуха в таких условиях снижается, что оказывает ощутимое влияние на благополучие окружающей среды. В настоящее время во всем мире неприятные запахи рассматриваются как фактор загрязнения окружающей среды, который следует нормировать, стремясь снизить выбросы ДПВ. Государственными органами финансируются программы по контролю и предотвращению негативного влияния запахов на окружающую среду.

В системе водоотведения городов образуются такие опасные соединения, как метан, сероводород, диоксид углерода, аммиак и многие другие. Их наличие влечет за собой угрозу для здоровья и жизни населения, обрушения сооружений в результате взрыва газа в коллекторах, а также вносит значительный вклад в образование парникового эффекта [11, 14, 16].

Ухудшение качества природных вод является одной из ключевых экологических проблем. Оно во многом обусловлено сбросом недостаточно очищенных сточных вод в водоемы. Часто используемые устаревшие технологии показывают довольно низкий уровень очистки стоков. Актуальность проблемы загрязнения поверхностных водоемов сточными водами связана не только

² Об охране окружающей среды. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102074303>.

с нарушением природоохранных и рыбохозяйственных требований, но и с трудностями, возникающими при подготовке воды для питьевого и промышленного водоснабжения из загрязненных водоемов [17].

Одним из весьма значимых негативных антропогенных воздействий является изымание территорий, уничтожение почв и загрязнение ландшафтов при организации полигонов и несанкционированных свалок отходов, в т. ч. иловых осадков. Иловые осадки характеризуются содержанием канцерогенных и токсичных веществ, солей тяжелых металлов, синтетических ПАВ и др., количество которых определяется наличием в хозяйственно-бытовых стоках примесей производственных сточных вод [18, 19].

Довольно сложным вредным фактором в плотно застроенной городской среде можно считать биологическое загрязнение, вызванное появлением и распространением патогенных микроорганизмов в воздухе, в воде или в почве, что может привести к потенциальным угрозам здоровью населения, возникновению эпидемий. Источниками таких микроорганизмов могут выступать системы водоотведения и водоснабжения [20].

Приведенный анализ вредных воздействий ОГХ на городскую среду позволяет выявить разнообразие факторов воздействия, одновременно подчеркивая важность установления их взаимосвязей и систематизации данных параметров для эффективного контроля.

С целью осуществления комплексного подхода к снижению негативного воздействия выбросов ДПВ, сбросов в водоемы и твердых отходов, образующихся при эксплуатации городских сооружений биологической очистки, авторы предлагают использовать на этапах технологического процесса метод кавитации низкой интенсивности.

Кавитация ассоциируется с искусственно созданным воздействием, которое разрушает живые и неживые объекты. Однако при уменьшении в тысячи раз интенсивности кавитации она превращается в эффективное избирательное средство подавления патогенной микрофлоры, а также надежно защищает твердые тела, например лопасти гидравлических машин, от разрушения [21]. При низкой интенсивности кавитации жидкость перемещается с большой скоростью поступательно-вращательно, направление движения обеспечивается при помощи направляющих потока, выполненных в форме «спиралей Архимеда», создающих заданный вектор движения и дискретный пленочный режим разделения жидкости. При этом значительно увеличиваются размеры образующихся линзообразных пузырей (центров кавитации), которые при сжатии потока коллапсируют, с высвобождением кумулированной энергии. В результате этого процесса находящиеся в центрах крупные включения, например яйца и личинки гельминтов, мгновенно разрушаются. Сапрофитные бактерии, утилизирующие загрязнения сточных вод (*Bacillus* и *Pseudomonas*), получают дополнительные источники питания, приобретают усиленную ростовую и ферментативную активность. Правосторонний вектор движения жидкости, обеспеченный спиралью Архимеда, и гидравлическое сжатие жидкости полностью предотвращают разрыв потока и придают ему вращательное движение, стимулируя интенсивный рост аэробных микроорганизмов.

Для защиты атмосферного воздуха от ДПВ разработано устройство с использованием метода кавитации низкой интенсивности [22] (рис. 1).

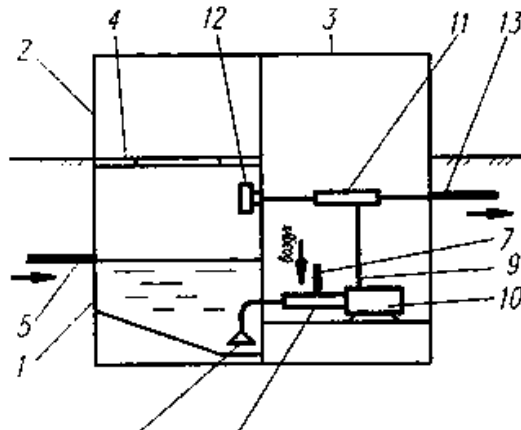


Рис. 1. Устройство для очистки сточных вод от ДПВ с использованием кавитации низкой интенсивности: 1 — приемный резервуар для стоков; 2 — приемная камера; 3 — канализационная насосная станция; 4 — крышка люка; 5 — самотечный трубопровод; 6 — устройство интенсификации окислительной способности; 7 — устройство ввода воздуха в поток; 8 — заборник жидкой фазы стоков; 9 — трубопровод; 10 — насос; 11 — активатор; 12 — заборное устройство; 13 — напорный трубопровод

Установка работает следующим образом. Стоки, состоящие из жидкой и газо-воздушной фазы, поступают в приемный резервуар 1 по самотечному трубопроводу 5. При включении насоса 10 через заборник 8 осуществляется забор жидкой фазы стоков и происходит ее подача в камеру ускорения устройства 6. В данной камере поток жидкой фазы ускоряется, приобретает винтообразное движение, кавитация в потоке уменьшается. В камере разрежения устройства 6, где создается разрежение и происходит подсос атмосферного воздуха через устройство 7, образуется двухфазная смесь. Обработанный в устройстве 6 поток подается насосом 10 через трубопровод 9 в камеру ускорения активатора 11 через один вход с потоконаправляющими устройствами. Через другой вход активатора 11, также снабженный потоконаправляющими устройствами и связанный трубопроводом с заборным устройством 12, происходит подсос газовой фазы стоков из резервуара 1.

В данной камере при турбулизации сформированного потока происходит активное окисление органических веществ — источников неприятных запахов. Обработка ДПВ из жидкой и газо-воздушной фаз стоков продолжается в камере устройства 11, где вращательное движение воздушно-иловой смеси интенсифицирует образование в микрообъемах биопленки. Дурнопахнущие компоненты переносятся из воздуха в жидкость, а затем окисляются микрофлорой в биопленке. Из устройства 11 очищенный от ДПВ поток жидкости напорным трубопроводом 13 канализационной насосной станции 3 подается на очистные сооружения для последующей биологической очистки.

Устройство для снижения числа кавитации в водяном потоке 6, установленное на всасывающем патрубке насоса 10 обеспечивает условия физико-химического окисления легко окисляемых органических веществ в стоке для дальнейшего предотвращения выделения из воды летучих ДПВ. Сточная вода, обработанная кавитацией низкой интенсивности, проходит через активатор 11, в котором происходит биоокисление, и концентрация в жидкости

молекул, служащих источником неприятного запаха, снижается практически до нуля. Активатор монтируется на напорном трубопроводе и обеспечивает принудительный забор загрязненного воздуха из помещения и нейтрализацию ДПВ. Схема активатора представлено на рис. 2.

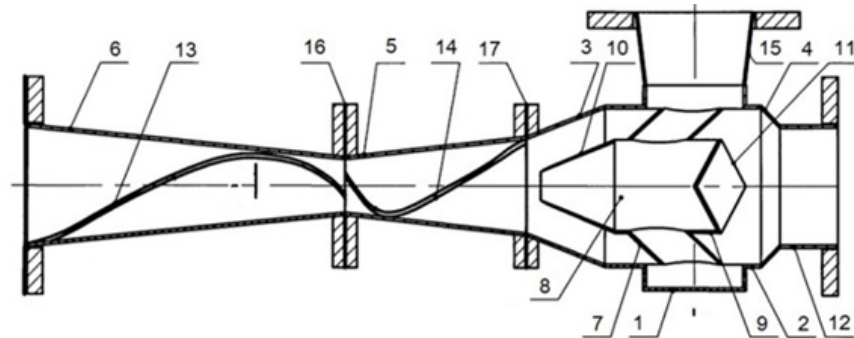


Рис. 2. Схема активатора: 1 — корпус; 2, 9 — цилиндрическая часть; 3, 4, 5, 6, 10 — конусная часть; 7 — направляющая; 8 — обечайка; 11 — конусная часть обечайки; 12 — заборник воздуха; 13 — катодная спираль; 14 — анодная спираль; 15 — фланец; 16, 17 — диэлектрическая прокладка

В результате применения описанного устройства содержание в воздухе ДВП, определенное органолептически, снижается практически до нуля.

Для снижения негативного воздействия на водные объекты от некачественно очищенных на городских очистных сооружениях сточных вод нами предложено инженерное решение на основе использования метода кавитации низкой интенсивности [23]. Данное технологическое решение позволяет интенсифицировать биохимические процессы биоценоза активного ила, уничтожить патогенную микрофлору и значительно повысить окислительную способность всей системы и процессов, протекающих при биологической очистке сточных вод.

Технологически достижение кавитации низкой интенсивности, приводящей к подавлению патогенной микрофлоры, предотвращению расслоения потока жидкости и нарушению работы насоса, достигается при установлении на трубопроводе эксцентрически суженного участка, где размещены с наклоном по часовой стрелке к потоку профилированные элементы сопротивления — спирали Архимеда. Благодаря этому скорость движения очищаемой жидкости достигает скорости вращения рабочего колеса насоса, обеспечивая неразрывность потока. Входящий для очистки поток жидкости «закручивается», оставаясь таковым и после насоса, что способствует генерации микрокаверн.

В данной технологической схеме биореактор работает по принципу колонных аэротенков-вытеснителей с применением оксиджетной аэрации с постоянной циркуляцией жидкости. Это позволяет увеличить количество аэробных микроорганизмов и ферментов, которые ведут интенсивное окисление и разложение органических веществ в очищаемой воде. Под воздействием кавитации низкой интенсивности активный ил обогащается нитчатыми и флокулообразующими микроорганизмами и переходит во вспухшую форму. Из ила выводятся балластные микроорганизмы, при этом значительно повышается общая окислительная способность активного ила за счет

нитчатой разветвленной формы и его большой площади соприкосновения с загрязнениями. В таблице приведена сравнительная оценка показателей очистки стоков при использовании классического метода и разработанной технологии с применением кавитации низкой интенсивности (для очистных сооружений производительностью 700 м³/сут).

*Сравнительная характеристика показателей очистки стоков
 классическим методом и по технологии
 с применением кавитации низкой интенсивности*

Наименование показателя	Классические очистные сооружения [24]		Очистные сооружения с использованием кавитации низкой интенсивности	
	до очистки	после очистки	до очистки	после очистки
Качество сточной воды (мг/дм ³), в т. ч.:				
БПК	200	12	290	3
Взвешенные вещества	600	15	250	30
Жиры	165	72	0,50	0,05
Занимаемая площадь, га	~ 5		0,05	
Санитарно-защитная зона, м	≥ 500		100	
Энергозатраты, кВт·час	~ 900		200,6	

Таким образом, в результате эксплуатации сооружений биологической очистки на основе предложенной технологии с использованием метода кавитации низкой интенсивности:

- снижается загрязнение водной среды, что обеспечивает ее экологическую безопасность;
- значительно уменьшается площадь под очистным сооружением;
- уменьшается ширина санитарно-защитной зоны;
- снижаются энергозатраты на эксплуатацию сооружения биологической очистки.

Предложен способ переработки илового осадка, образующегося при эксплуатации городских очистных сооружений в процессе биологической очистки сточных вод, с использованием метода кавитации низкой интенсивности [25]. Разработанный способ позволяет провести практически полное санитарное обезвреживание (до 90 %) осадка с вовлечением его в дальнейший хозяйственный оборот с минимизацией размещения в окружающей среде. С этой целью на выходе из биореактора установлено дополнительное устройство генерирования кавитации низкой интенсивности — кавитационный пастеризатор. Учитывая, что общее количество микрофлоры в обрабатываемой смеси значительно выше, чем в очищаемой воде, в кавитационном пастеризаторе вдвое увеличивали количество спиралей Архимеда. На рисунке 3 приведено устройство для генерирования кавитации низкой интенсивности при обработке илового осадка.

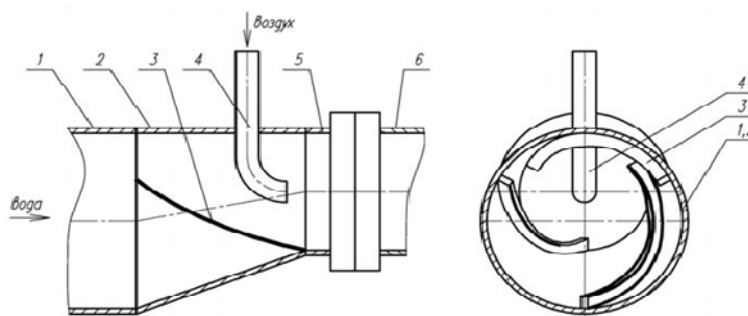


Рис. 3. Устройство для обработки илового осадка:
1 — подающий патрубок; 2 — эксцентрический участок; 3 — спираль Архимеда;
4 — трубка Пито; 5 — разгонный патрубок; 6 — насос

При этом обеспечивается эффективное уничтожение патогенной микрофлоры и обеззараживание активного ила (подтверждено сертификатом соответствия № 0053274 от 12.05.2015, выданным на основании протокола испытаний Испытательного лабораторного центра ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Московской области» № 1743 от 03.03.2015).

На основании проведенных исследований предложена технологическая схема биологической очистки сточных вод в аэротенках колонного типа с использованием метода кавитации низкой интенсивности, позволяющая реализовать комплексный подход к снижению негативного воздействия на окружающую среду при эксплуатации очистных сооружений (рис. 4).

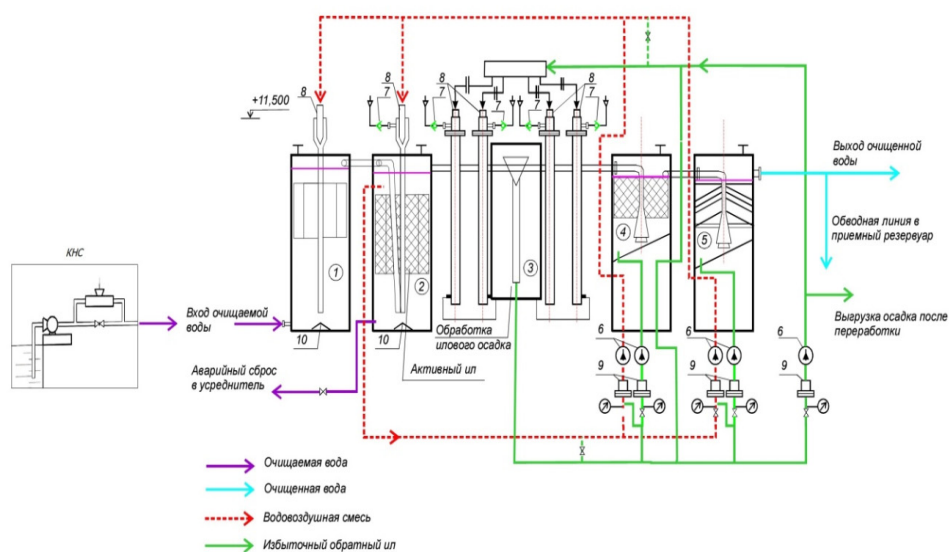


Рис. 4. Технологическая схема биологической очистки в аэротенках колонного типа с использованием метода кавитации низкой интенсивности: 1 — усреднитель; 2 — биореактор; 3 — кавитационный пастеризатор; 4 — седиментатор; 5 — блок доочистки; 6 — насосы; 7 — обратные клапаны; 8 — оксиджеты; 9 — активаторы; 10 — отражатели

Процесс осуществляется следующим образом. Сточная вода поступает на КНС, где происходит предварительная кавитационная обработка в процес-

се удаления дурнопахнущих газообразных соединений. После напорного коллектора вода поступает в усреднитель 1, где проходит усреднение по количественному и качественному составу, обеспечивается перемешивание в циркуляционном и гидродинамическом режимах. Далее по переливному трубопроводу вода поступает на биологическую очистку в аэротенк-биореактор колонного типа 2 с чередованием оксидной и аноксидной зон (для проведения нитрификации, денитрификации и дефосфотации).

Насосы 6 предназначены для циркуляции и одновременного насыщения кислородом воздуха очищаемой воды оксиджетной системой аэрации 8 в аэротенках-биореакторах колонного типа. Очищаемая вода из аэротенка-биореактора 2 самотеком поступает в седиментатор 4, а затем в блок доочистки 5, оборудованный биологически активными модулями с прикрепленной микрофлорой, где обеспечивается отделение активного ила от сточной воды. Очищенная сточная вода из блока доочистки поступает на установку обеззараживания воды ультрафиолетовым облучением УОВ-50ДМ-3 (на рис. не указана).

Очищенная и обеззараженная вода сбрасывается в открытый водоем. Задержанный активный ил подается насосами 6 на переработку в кавитационный пастеризатор 3. Иловая вода от кавитационного пастеризатора отводится в усреднитель 1 под гидростатическим давлением. Обезвоживание стабилизированного осадка осуществляется барабанным сгустителем по безреагентной схеме. После прохождения сертификации возможно использование обезвоженного осадка на полях в качестве органического удобрения.

Стабилизация избыточного активного ила с биологической пленкой осуществляют в емкости кавитационного пастеризатора 3. За счет сочетания процессов интенсивной циркуляции с помощью насосов, насыщением кислородом воздуха с использованием оксиджетов 8, обеззараживания с применением активаторов 9, генерирующих кавитацию низкой интенсивности, происходит глубокая минерализация и дегельминтизация илового осадка.

Предложенная технологическая схема отличается компактным исполнением, низким энергопотреблением, высоким качеством очищенной сточной воды, не предполагает дополнительных затрат на коагулянты, флокулянты, дезинфектанты и другие реагенты. Использование кавитационного пастеризатора для обработки осадка позволяет применять полученный осадок в качестве органического удобрения.

Заключение

Обеспечение экологической безопасности является важным условием повсеместного развития общества, поэтому необходимо осуществлять снижение негативного воздействия на окружающую среду от различных видов хозяйственно-экономической деятельности человека, включая ОГХ, такие как очистные сооружения биологической очистки сточных вод. Решение проблем экологической безопасности урбанизированных территорий базируется на глубоком анализе факторов, нарушающих экологическое равновесие и вызывающих негативные последствия в окружающей среде. В современных условиях предлагаемый авторами комплексный подход к выявлению и устранению негативных факторов, воздействующих на территории ОГХ, представляется весьма перспективным. Сформированный массив данных, содержащий информацию о негативных факторах окружающей среды от функциони-

рования ОГХ, позволит оптимизировать подбор природоохранных мероприятий. Внедрение и реализация подобных мер будут способствовать сбалансированному развитию городской среды и повышению качества жизни.

Предложенные в работе инженерные и технологические решения позволяют осуществить комплексный подход к повышению экологической безопасности при эксплуатации сооружений биологической очистки сточных вод на основе использования метода кавитации низкой интенсивности, провести совершенствование технологии биоочистки, уменьшающее негативное воздействие атмосферных выбросов, жидких стоков и твердых отходов на окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ветрова Н. М., Вереха Т. В., Меннанов Э. Э., Судьева Д. В. Экологическая безопасность урбанизированных рекреационных территорий в зоне влияния объектов транспортного строительства // Экономика строительства и природопользования. 2022. Т. 1-2. № 82-83. С. 145—151.
2. Гагарина Е. С. Зеленая инфраструктура и экосистемные услуги в устойчивом развитии городов // Архитектура и современные информационные технологии. 2023. Т. 1. № 62. С. 228—247.
3. Герасимова Е. Б., Мельникова Л. А., Лосева А. В. Экологическая безопасность строительства в моногородах // Строительные материалы и изделия. 2023. Т. 6. № 3. С. 59—78.
4. Коровина В. С. Природные источники загрязнения окружающей среды // Научно-исследовательский центр Technical Innovations. 2021. № 1. С. 22—25.
5. Махмуди А. Архитектурное построение многоэтажных жилых домов по правилу сочетаемости биосферной парадигмы: монография. СПб : Научное издание, 2022. 142 с.
6. Плуготаренко Н.К., Гусакова Н. В., Долгополова А. Г. Методы обеспечения экологической безопасности городов // Безопасность техногенных и природных систем. 2018. № 3-4. С. 94—102.
7. Meric Y. S., Halil H. Review on environmental aspects in smart city concept: Water, waste, air pollution and transportation smart applications using IoT techniques // Sustainable Cities and Society. 2023. Vol. 94. Iss. 4. 104567.
8. Sharmilaa G., Ilango T. Vehicular air pollution based on traffic density — A case study // Materials today: proceedings. 2022. Vol. 52. Iss. 3. Pp. 532—536.
9. Li S., Hu J., Zhou L., Li Q. A multiple case study on the cooperative governance model of treating environmental deterioration // Chinese Journal of Population. Resources and Environment. 2021. Vol. 19. Iss. 1. Pp. 56—64.
10. Samarskaya N., Gurova O. Investigation of the process of reducing air pollution when crushing gravel // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 281. 09021. DOI: 10.1051/e3sconf/202128109021.
11. Хецуриани Е. Д., Бондаренко В. Л. Основы методологии создания природно-технических систем по использованию водных ресурсов в многоцелевом водоснабжении городских хозяйств и населенных пунктов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 148—155.
12. How do disparate urbanization and climate change imprint on urban thermal variations? A comparison between two dynamic cities in Southeast Asia / C. T. Nguyen, A. Chidthaisong, A. Limsakul, P. Varnakovid, C. Ekkawatpanit, P. K. Diem, N. T. H. Diep // Sustainable Cities and Society. 2022. Vol. 82. 103882.
13. Holloway T. G., Williams J. B., Ouelhadj D., Yang G. Exploring the use of water resource recovery facility instrument data to visualise dynamic resilience to environmental stressors // Water Research. 2022. Vol. 221. Pp. 118711.
14. Delgado-Enales I., Del Ser J., Molina-Costa P. A framework to improve urban accessibility and environmental conditions in age-friendly cities using graph modeling and multi-objective optimization // Computers, Environment and Urban Systems. 2023. Vol. 102. 101966.
15. Чурикова В. И., Голованчиков А. Б., Чичерина Г. В. Учет экологического воздействия сероводорода на объекты городского хозяйства // Вестник Волгоградского государственного

архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 239—243.

16. *Hai N. T., Sheng-Jie Y., Ahmad H.-B., Huan-Ping C.* Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: A critical review // *Water Research*. 2017. Vol. 120. Pp. 88—116.

17. *Волоник Г. И., Терехов Л. Д., Сошников Е. В., Стеблевский В. И.* Техническая эксплуатация коммунальных систем водоснабжения и водоотведения. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2008. 195 с.

18. *Пындак В. И., Новиков А. Е., Штена В. Н.* Оптимизация систем очистки органосодержащих сточных вод и обработки иловых осадков // *Проблемы машиностроения и надежности машин*. 2017. № 5. С. 103—107.

19. *Yasser G. H., Marwa El-A., Mohamed F. S., Rehab K. M.* Cost estimation of synthesis and utilization of nano-adsorbents on the laboratory and industrial scales: A detailed review // *Science of The Total Environment*. 2023. Vol. 875. Pp. 1626—29.

20. *Бондаренко М. Б.* Градостроительное зонирование как правовой инструмент обеспечения устойчивого развития населенных пунктов // *Новизна. Эксперимент. Традиции*. 2022. Т. 8. № 1. С. 8—14.

21. *Пирсол И.* Кавитация. М.: Мир, 1975. 95 с.

22. *Тихонова А. А., Чернова Ю. А., Владимцева И. В., Айрапетян М. А.* Предотвращение распространения дурно пахнущих веществ в очистных сооружениях // *Инженерный вестник Дона*. 2020. № 5. 6 с.

23. *Тихонова А. А., Чернова Ю. А., Владимцева И. В.* Применение кавитации низкой интенсивности для подавления патогенной микрофлоры в башенных сооружениях биологической очистки // *Естественные и технические науки*. 2016. № 5. С. 19—22.

24. *Булаев С. С., Привалова Н. М.* Совершенствование технологии очистки сточных вод консервного производства // *Научные труды КубГТУ*. 2018. № 11. С. 1—8.

25. *Тихонова А. А., Владимцева И. В.* Использование осадков сточных вод для рекультивации земель после их обработки ферментно-кавитационным методом // *Комплексные проблемы техногенной безопасности: материалы междунар. науч.-практ. конф.* 2015. Ч. II. С. 235—240.

© *Тихонова А. А., Владимцева И. В., Дементьева А. А., Катехлиев М. А., 2024*

*Поступила в редакцию
в марте 2024 г.*

Ссылка для цитирования:

Тихонова А. А., Владимцева И. В., Дементьева А. А., Катехлиев М. А. Комплексный подход к снижению негативного воздействия на окружающую среду при эксплуатации сооружений биологической очистки сточных вод с использованием метода кавитации низкой интенсивности // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2024. Вып. 2(95). С. 153—164. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_153.

Об авторах:

Тихонова Асия Андреевна — ассистент каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28; asiatikhonova@gmail.com

Владимцева Ирина Владимировна — д-р биол. наук, проф., проф. каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28

Дементьева Ангелина Андреевна — магистрант каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28

Катехлиев Магамед Асилдарович — магистрант каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28

**Asia A. Tikhonova, Irina V. Vladimtseva, Angelina A. Dementieva,
Magamed A. Katehliev**

Volgograd State Technical University

**AN INTEGRATED APPROACH TO REDUCING THE NEGATIVE IMPACT
ON THE ENVIRONMENT DURING THE OPERATION OF BIOLOGICAL WASTEWATER
TREATMENT FACILITIES USING THE LOW-INTENSITY CAVITATION METHOD**

The results of the analysis of factors that violate the ecological balance and have negative consequences for the environment are presented. A comprehensive approach is proposed to improve environmental safety during the operation of biological treatment facilities using the low-intensity cavitation method in the technological process. Developed engineering and technological solutions make it possible to improve bio-purification technologies. As a result, the negative impact of atmospheric emissions, liquid effluents and solid waste on the environment is reduced during the operation of column-type aerotanks based on the use of the low-intensity cavitation method.

Key words: environmental safety, negative impact on the environment, biological wastewater treatment facilities, column-type aeration tanks, low-intensity cavitation.

For citation:

Tikhonova A. A., Vladimtseva I. V., Dementieva A. A., Katehliev M. A. [An integrated approach to reducing the negative impact on the environment during the operation of biological wastewater treatment facilities using the low-intensity cavitation method]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 2, pp. 153—164. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_153.

About authors:

Asia A. Tikhonova — Assistant, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; asiatikhonova@gmail.com

Irina V. Vladimtseva — Doctor of Biological Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation

Angelina A. Dementieva — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation

Magamed A. Katehliev — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation