

EDN: WJLXSS

УДК 628.31:504.062

**В. В. МАРКИН**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

## **ОСОБЕННОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ С БИОЛОГИЧЕСКИМИ ПРУДАМИ**

**Аннотация.** Большое число канализационных очистных сооружений малых населенных пунктов имеют длительный срок службы и устаревшие технологии. Для обеспечения нормативной степени очистки сточных вод требуется реконструкция таких очистных станций с применением современных технологий, что зачастую связано также со значительным увеличением эксплуатационных затрат. В частности, удаление фосфора из сточных вод малых населенных пунктов реализуется в основном с помощью затратной химической дефосфатации. Однако, на очистных сооружениях, в состав которых входят биологические пруды, при специальном культивировании в них высших водных растений на протяжении большей части года можно заменить реагентную обработку на биологическую доочистку, что, кроме того, позволит дополнительно получать ценный кормовой растительный материал. В данной работе такая возможность рассмотрена на примере канализационной очистной станции пгт. Гольмовский.

**Ключевые слова:** сточные воды, доочистка, биологические пруды, высшие водные растения, азот, фосфор.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В Российской Федерации установлены достаточно жесткие требования к качеству очистки сточных вод (СВ) населенных пунктов. В экологическом законодательстве предусмотрено два способа нормирования качества очищенных городских СВ: по технологическим показателям наилучших доступных технологий (НДТ), утвержденных в [1], либо по методике расчета нормативно-допустимого сброса (НДС) [2]. При нормировании на основе расчета НДС требования к качеству очистки устанавливаются, как правило, более жесткие, так как при этом допустимые концентрации загрязнений в очищенных стоках зачастую устанавливаются на уровне ПДК водоемов рыбохозяйственного назначения. Стабильно обеспечивать такое высокое качество очистки можно лишь при применении специальных технологий доочистки, требующих значительных капитальных и эксплуатационных затрат, не соответствующих получаемому экологическому эффекту.

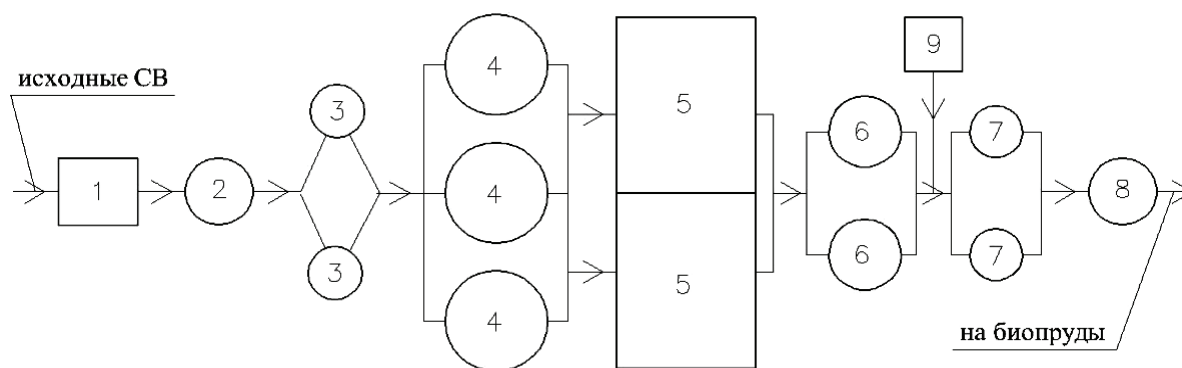
Однако, даже при применении практически более обоснованного технологического нормирования канализационные очистные сооружения (КОС) должны обеспечивать достаточно высокие требования, на которые многие из них, будучи построенными 30-60 лет назад, без реконструкции не способны. Выбор технологических решений модернизации КОС с целью минимизации затрат естественно должен опираться на существующую технологическую схему. В этом контексте особняком стоят небольшие по производительности очистные станции с двухъярусными отстойниками и биофильтрами. Рациональная схема реконструкции подобных КОС с максимальным использованием существующих сооружений была обоснована в работе [3]. Предложенная в указанной работе схема может быть использована для любых КОС с двухъярусными отстойниками, биофильтрами и вторичными вертикальными отстойниками. Однако, в некоторых случаях на подобных КОС для доочистки СВ имеются также биологические пруды, что не было учтено и рассмотрено в работе [3]. Задействование биологических прудов для доочистки СВ может упростить реконструкцию и снизить последующие затраты на эксплуатацию КОС.



**Целью** данной работы является обоснование технологической схемы реконструкции КОС малых населенных пунктов с биологическими прудами на примере очистной станции пгт. Гольмовский.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Очистные сооружения пгт. Гольмовский принимают на очистку сточные воды только от данного населенного пункта, крупные промпредприятия в котором отсутствуют. КОС введены в эксплуатацию в 1980 г. Проектная производительность – 2,8 тыс. м<sup>3</sup>/сут. КОС эксплуатируются филиалом «Горловское ПУВКХ» ГУП «Вода "Донбасса"». В состав КОС пгт. Гольмовский входят следующие сооружения: решетки с ручной очисткой; насосная станция (НС) перекачки СВ на песколовки; две горизонтальные песколовки с круговым движением жидкости (D = 4 м); три двухъярусных отстойника (D = 12 м); два капельных биофильтра с щебеночной загрузкой; два вторичных вертикальных отстойника (D = 9 м); два контактных резервуара (в виде вертикальных отстойников) (D = 6 м); НС перекачки СВ на биопруды; три последовательно расположенных биопруда (1-й – 65×90 м, S = 6 000 м<sup>2</sup>, 2-й – 65×100 м, S = 6 500 м<sup>2</sup>, 3-й – 60×170 м, S = 10 000 м<sup>2</sup>). Сброс СВ после биопрудов осуществляется в б. Сухой Яр и далее в р. Бахмут бассейна р. Северский Донец. Технологическая блок-схема КОС приведена на рисунке 1. На рисунке 2 представлен спутниковый фотоснимок площадки КОС с биопрудами.



**Рисунок 1** – Технологическая блок-схема КОС пгт. Гольмовский: 1 – здание решеток; 2 – НС перекачки СВ на песколовки; 3 – песколовки; 4 – двухъярусные отстойники; 5 – биофильтры; 6 – вторичные отстойники; 7 – контактные резервуары; 8 – НС перекачки СВ на биопруды; 9 – хлораторная с электролизными установками производства гипохлорита натрия.



**Рисунок 2** – Спутниковый фотоснимок площадки КОС пгт. Гольмовский с биопрудами.

Среднесуточный (за 2020 г.) расход СВ, поступающих на КОС пгт. Гольмовский – 355 м<sup>3</sup>/сут, минимальный суточный – 200 м<sup>3</sup>/сут, расход, соответствующий 85-му перцентилю (из выборки за 2020 г.) – 550 м<sup>3</sup>/сут, максимальный – 610 м<sup>3</sup>/сут.

Качество СВ, поступающих на КОС, качество СВ после контактных резервуаров и гранично-допустимые концентрации (ГДК), установленные ранее для выпуска СВ, приведены в таблице. Также в данной таблице указаны значения технологических показателей (ТП) НДТ, которые будут установлены для очищенных СВ в случае разработки комплексного экологического разрешения (категория водоема сброса – Б).

Таблица – Качество СВ на входе и выходе КОС пгт. Гольмовский за 2020 г.

Показатели	Ед. изм.	Исходная СВ			СВ после контактных резервуаров*			ГДК	ТП НДТ
		Средн.	Мин.	Макс.	Средн.	Мин.	Макс.		
ХПК	мг/л	420	370	460	72	60	80	80	80
БПК <sub>5</sub>	мг/л	205	175	238	26	18	35	15	10
Взвешенные вещества	мг/л	215	173	272	30	18	40	15	15
Азот аммонийный	мг/л	39	28	61	13	6	20	2	1,5
Азот нитритный	мг/л	–	–	–	0,8	0,6	1	1	0,25
Азот нитратный	мг/л	–	–	–	3,2	2,5	5,0	10,2	12
Фосфор фосфатов	мг/л	3,9	2,9	4,9	2,5	2,0	3,1	1,14	1,5

\* – данные о качестве стоков после биопрудов отсутствуют, так как с 2014 г., в связи с боевыми действиями, доступ к месту отбора проб после биопрудов закрыт.

Анализируя данные таблицы, можно отметить, что после контактных резервуаров БПК<sub>5</sub>, содержание взвешенных веществ, фосфора фосфатов и особенно азота аммонийного значительно превышают гранично-допустимые концентрации (ГДК), установленные в экологической разрешительной документации, действующей в настоящее время в отношении КОС пгт. Гольмовский.

Неудовлетворительное качество очистки СВ в основных сооружениях связано прежде всего с физическим износом биофильтров и их неспособностью обеспечивать процесс нитрификации, а в данном случае и стабильное окисление органических веществ, до нормативных требований. Для улучшения экологической обстановки пгт. Гольмовский необходима модернизация КОС.

При составлении технологической схемы реконструкции КОС необходимо ориентироваться на нормативы качества очистки, которые будут установлены в новой разрешительной документации, которая должна быть разработана в соответствии с законодательством РФ до 2026 г. В отношении КОС пгт. Гольмовский возможно нормирование как по показателям НДТ, так и по расчету НДС. Показатели, которые будут установлены при более рациональном и обоснованном технологическом нормировании, приведены в последнем столбце таблицы. В данной работе разработка технологической схемы реконструкции КОС выполнена с целью достижения нормативов НДТ.

Итак, ранее в работе [3] предложена общая схема реконструкции очистных станций малых населенных пунктов, которая предусматривает: переоборудование двухъярусных отстойников в аэротенки-отстойники с затопленной эрлифтной системой аэрации по технологии, разработанной д. т. н. В. И. Нездойминовым [4] (первая ступень биологической очистки); реконструкцию вторичных вертикальных отстойников в аэротенки-отстойники (вторая ступень биологической очистки); устройство системы приготовления и дозирования реагента перед второй ступенью биологической очистки для удаления фосфатов до нормативных требований; обеззараживание очищенных СВ УФ-излучением. Биофильтры из данной схемы исключаются. Предложенная схема позволит получить высокое качество очищенных СВ, приближенное к ПДК водоемов рыбохозяйственного назначения.

Однако, при наличии биологических прудов и необходимости обеспечивать качество очистки СВ на уровне норм НДТ, а не рыбохозяйственных водоемов, данную схему можно упростить. Биологические пруды при их модернизации, как будет показано ниже, могут осуществлять эффективную доочистку СВ по всем основным показателям и заменить вторую ступень биологической очистки и химическое удаление фосфора.

Например, в работе [5] приведена эффективность доочистки СВ предприятия ООО «Суджанский маслодельный комбинат» в каскаде трех проточных биопрудов, при времени пребывания 50 сут. Средний эффект снижения взвешенных веществ (ВВ) составил 94 % (с 108 до 6 мг/л), БПК<sub>5</sub> – 89 % (с 46 до 5 мг/л), азота аммонийного – 72 % (с 1,82 до 0,51 мг/л), нитритов – 64 % (с 0,14 до 0,05 мг/л), нитратов – 70 % (с 5 до 1,5 мг/л), фосфора – 18 % (с 0,17 до 0,14 мг/л).

В работе [6] исследована эффективность доочистки СВ г. Доброполя после основного этапа очистки на городских КОС за 2016 и 2021 гг. Установлено, что средняя эффективность удаления ВВ в 2016 г. составила 72 % (снижение с 43 до 12 мг/л), БПК<sub>5</sub> – 85 % (с 41 до 6 мг/л), нитратов – 51 % (с 153 до 74 мг/л). По азоту аммонийному и нитритам наблюдалось даже увеличение концентраций. В 2021 гг. общие тенденции качества очистки сохранились, но значения эффективности немного снизились, что, вероятно, связано с постепенным накоплением загрязнений в биопрудах. Эффект удаления фосфатов составил в среднем 24 % (5,3 мг/л – на входе, 4 мг/л – на выходе) [6].

Приведенные данные относятся к биопрудам без специального культивирования высшей водной растительности (ВВР). Конечно, ВВР в этих прудах произрастают, но самопроизвольно. В таких водоемах доочистка СВ происходит за счет различных механизмов: седиментации; адсорбции на растениях, плавающих твердых частицах; химического преобразования растворенных веществ в нерастворенные; биологической трансформации.

Биоценозы биопрудов состоят из фототрофных микроорганизмов и ВВР, выделяющих кислород и поглощающих углекислый газ, азот и фосфор, сапрофитных деструкторов, разлагающих мертвое органическое вещество в аэробных или анаэробных условиях, а также консументов различных трофических уровней. При самопроизвольном формировании в условиях поступления в биопруды значительного количества азота и фосфора из фототрофных организмов преимущественное развитие получают бактерии и одноклеточные микроорганизмы, которые концентрируются на поверхности воды, образуют плотный плавающий слой и препятствуют проникновению солнечных лучей в глубь водоема, из-за чего развитие бентосных водорослей прекращается, в средних и нижних горизонтах концентрация кислорода снижается и в водоеме преобладают анаэробные процессы. После отмирания фитопланктон оседает на дно, добавляя органики и усиливая анаэробные процессы.

Специальное культивирование ВВР в биопрудах по всей площади изменяет биологические процессы в лучшую сторону: кислород вырабатывается более равномерно по вертикальному профилю; период жизни ВВР гораздо более длительный, чем фитопланктона, таким образом поглощаемые вещества (в том числе N и P) накапливаются в них более продолжительное время; после отмирания и осадения на дно часть растений переходит в химически стабильные труднорастворимые соединения, из которых N и P не выделяется; ВВР можно периодически удалять из сооружений и утилизировать (например, как удобрения или корм для сельскохозяйственных животных), извлекая и используя таким образом N и P [7].

Во многих странах мира довольно широкое распространение получили так называемые фитоочистные системы (ФОС) различных разновидностей: с поверхностным потоком, подповерхностным горизонтальным или вертикальным потоком, комбинированные. Они успешно используются для очистки как муниципальных СВ небольших поселений, так и производственных, как в качестве основного этапа очистки, так и для доочистки [8]. ФОС с поверхностным потоком по сути представляют собой биопруды, заполненные по всей площади ВВР с той разницей, что на дно укладывается слой загрузки из щебня, гравия или другого заполнителя.

В России в Иркутском ГТУ более 30 лет под руководством проф. С. С. Тимофеевой успешно ведутся исследования по разработке и внедрению различных видов ФОС, в том числе и с поверхностным потоком, в условиях резко континентального климата [9]. К настоящему времени разработано большое количество ФОС для разных типов производственных СВ (подобраны эффективные макрофиты), а также для городских и поверхностных СВ.

Проанализировав имеющуюся информацию об эффективности применения биопрудов с ВВР и подобных им ФОС, можно заключить, что при правильном расчете и конструировании они могут обеспечить доочистку муниципальных СВ с доведением качества до норм НДТ. При новом строительстве, не имея достаточных площадей, такой вариант, конечно, не подойдет. Но в случае реконструкции, при уже имеющихся биопрудах, необходимо обязательно рассматривать возможность их применения и интенсификации работы за счет культивирования ВВР, так как капитальные и эксплуатационные затраты такой технологии минимальные. При этом нужно учитывать, что вегетационный период ВВР в умеренном климате длится в среднем около 8 месяцев. В холодный период вегетация ВВР останавливается, что приводит к снижению эффективности очистки.

Для обеспечения эффективной круглогодичной доочистки возможно реконструировать биопруды в ФОС с подповерхностным потоком. В холодный период года поверхность загрузки в таких сооружениях утепляется терморегулирующим слоем (торфом, опилками, легкой почвой и т. п.), что позволяет сохранить эффективность очистки на прежнем уровне [8]. Реконструкция биопрудов в ФОС с подповерхностным потоком гораздо более затратная, чем простое культивирование ВВР, поэтому целесообразность такого решения должна быть экономически обоснована.

Вернемся теперь к КОС пгт. Гольмовский и определим расчетным путем, возможно ли задействовать имеющиеся биопруды в технологической схеме реконструкции для доочистки стоков до требований НДТ. Итак, основной этап очистки – биологическая очистка – будет осуществляться в двухъярусных отстойниках, реконструированных в аэротенки-отстойники с затопленной эрлифтной системой аэрации [4]. Перед этим стоки пройдут грубую механическую обработку на решетках с ручной очисткой и песколовках. Исходные концентрации загрязнений перед аэротенками-отстойниками, соответствующие 85-му перцентилю, составляют: БПК<sub>5</sub> – 219 мг/л, ВВ – 235 мг/л, азот аммонийный – 47 мг/л, фосфор фосфатов – 4,5 мг/л, азот общий – 57 мг/л, фосфор общий – 7,8 мг/л. Технологический расчет потребного объема биореакторов выполнен через возраст ила по методике [10]. Расчетное значение аэробного возраста ила для нитрификации первой ступени до конечной концентрации азота аммонийного 1,5 мг/л с учетом коэффициента запаса 1,6 и при средней температуре СВ в холодное время 8 °С равно  $t_{ia} = 12$  сут, а для нитрификаторов второй ступени до содержания азота нитритного 0,25 мг/л –  $t_{ia} = 8,1$  сут.  $t_{ia}$  принято 12 сут. Концентрация азота, подлежащего денитрификации, по массовому балансу  $C_{NO3D} = 33$  мг/л. Отношение денитрифицируемого азота к исходному БПК<sub>5</sub> равно  $C_{NO3D}/BPK_5 = 33/219 = 0,15$  (т. е. органики достаточно для денитрификации). Соотношение объема зоны денитрификации к общему объему зоны биологической очистки –  $V_D/V_{ND} = 0,49$ . Общий возраст ила равен  $t_{it} = 24$  суток. Коэффициент прироста ила  $sp_{BOD} = 0,973$  кг/кгБПК<sub>5</sub>, прирост ила  $SP_{org} = 75,6$  кг/сут. Доза ила с учетом того, что илоотделение по технологии реконструкции двухъярусных отстойников осуществляется в осадочных желобах во взвешенном слое [4], принимается 3 г/л. Потребный общий объем зоны биологической очистки  $V_{ND} = 24 \times 75,6 / 3 = 605$  м<sup>3</sup>. Объем зоны биологической очистки одного аэротенка-отстойника  $D = 12$  м (гидравлический объем без осадочных желобов) равен 650 м<sup>3</sup>. Таким образом для осуществления биологической очистки до нормативных требований по аммонии, нитритам и нитратам достаточно объема одного двухъярусного отстойника. Двух отстойных желобов отстойника хватает для обеспечения илоразделения при остаточном количестве взвеси 15 мг/л. Гидравлическая глубина осадочных желобов – 2,4 м, расчетная гидравлическая нагрузка при этой глубине – 1,03 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч). Площадь одного желоба – 26 м<sup>2</sup>, двух – 52 м<sup>2</sup>. Расход СВ при максимальном часовом притоке – 45 м<sup>3</sup>/ч. Фактическая гидравлическая нагрузка составляет 0,86 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч) и не превышает расчетную. По итогам расчетов предусматривается реконструкция двух двухъярусных отстойников в аэротенки-отстойники: один рабочий и один резервный.

После аэротенков-отстойников из соображений только технологических уже можно было бы направить СВ в биологические пруды на доочистку, а после них – на обеззараживание. Но устраивать обеззараживание после биопрудов за территорией площадки КОС на значительном удалении проблематично. Поэтому в данном случае после аэротенков-отстойников СВ пройдут дополнительное третичное отстаивание в существующих вертикальных отстойниках, что позволит осаждать избыточно выносимые из аэротенков-отстойников взвешенные вещества в периоды увеличения илового индекса и повысит стабильность очистки. От третичных отстойников СВ будут поступать в насосную станцию очищенных СВ и далее перекачиваться в биопруды. Обеззараживание целесообразно предусмотреть с помощью установок УФ-излучения закрытого типа напорной линии.

В итоге СВ, подаваемые в биологические пруды, уже будут соответствовать требованиям НДТ по всем показателям, кроме БПК<sub>5</sub>, расчетное значение которого составит 12...15 мг/л, и концентрации Р фосфатов, равной примерно 5,4 мг/л при норме 1,5 мг/л. Таким образом, перед биопрудами стоит задача обеспечить доочистку СВ от органических веществ до значения БПК<sub>5</sub> не более 10 мг/л и, самое главное, снизить концентрацию Р на 3,9 мг/л. В справочнике НДТ очистки СВ централизованных систем водоотведения городских округов для удаления Р рекомендуется применение химического либо биологического способа (для КОС с производительностью менее 5 000 м<sup>3</sup>/сут рекомендуется химический способ). Биопруды в данном справочнике к НДТ по доочистке стоков от Р не отнесены. Тем не менее, как будет показано далее, использование существующих биопрудов при культивировании в них ВВР в умеренном климате позволит на протяжении примерно 8 месяцев (вегетационный период растений) заменить реагентную очистку и значительно снизить эксплуатационные затраты.

Объем первого биопруда составляет около 6 тыс. м<sup>3</sup>, второго – 6,5 тыс. м<sup>3</sup>, третьего – 10 тыс. м<sup>3</sup>; время пребывания СВ в каждом из них равно 17, 18 и 28 суток соответственно. Расчет эффективности снижения БПК в биопрудах по проверенной «советской» методике СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения» показал, что общего времени пребывания СВ – 63 суток – более чем достаточно для снижения БПК<sub>5</sub> до нормативных требований. Расчетное конечное БПК<sub>5</sub> составит около 6 мг/л.

Для интенсификации процесса доочистки СВ по Р предлагается высадить в прибрежной полосе биопрудкамыш озерный – в первом биопруду, рогоз узколистный – во втором и тростник обычный – в третьем, а всю остальную площадь биопрудов заполнить эйхорнией отличной. Этот макрофит, плавающий на поверхности воды, обладает высокой способностью ассимилировать из СВ различные растворенные вещества, в том числе фосфаты, аммоний, нитраты, тяжелые металлы, фенолы и др. [11; 12]. Кроме того, эйхорния отличная имеет высокую скорость прироста массы в теплое время года [13].

При среднем суточном расходе СВ 355 м<sup>3</sup>/сут и необходимости снижения концентрации Р на 3,9 г/м<sup>3</sup>, масса Р, которую необходимо удалить за вегетационный период (8 месяцев), равна 332 кг. Прирост сырой массы эйхорнии отличной при выращивании на хозяйственно-бытовых СВ по данным [13] при начальной плотности маточной культуры 1 кг/м<sup>2</sup> составляет 263 г/м<sup>2</sup> в сутки. При общей площади биопрудов, занятой эйхорнией отличной, около 20 300 м<sup>2</sup> за вегетационный период прирост сырой биомассы составит 1 281 т или 66,6 т сухой массы (влажность – 5,2 % [14]). Концентрация Р в сухом веществе эйхорнии отличной находится на уровне 0,75 % [14], тогда в 66,6 т сухой биомассы растения будет содержаться около 500 кг Р. Таким образом за счет выращивания эйхорнии отличной в течение вегетационного периода можно снизить концентрацию Р фосфатов ниже нормативного значения. Кроме этого, снизится также и концентрация минеральных форм N. В сухом веществе эйхорнии отличной содержится 1,42 % N [14], тогда в 66,6 т сухой биомассы будет 0,95 т N. Если предположить, что потребляется только N нитратов, то его концентрация могла бы уменьшиться с 12 до 1 мг/л.

Для эффективной доочистки в биопрудах необходимо регулярно извлекать избыточную биомассу растений, не допуская их отмирания, разложения и возвращения ассимилированных веществ в воду. Изъятую биомассу эйхорнии отличной можно использовать в качестве корма для сельскохозяйственных животных, так как она обладает высокими питательными свойствами, содержит много каротина, протеина, клетчатки, сахара, крахмала и т. п. [12; 14].

В исследовании [14] выявлено, что зеленая биомасса эйхорнии отличной, выращенная на СВКОС, обсеменена бактериальной микрофлорой, в том числе патогенной, что предопределяет необходимость ее обеззараживания. Однако, в технологической схеме КОС пгт. Гольмовский СВ перед биопрудами пройдут обеззараживание УФ-излучением, поэтому патогенные микробы и вирусы в биомассу не должны попадать.

В зимний период с целью удаления фосфора из СВ до нормативного значения все же потребуются применение химического способа. Для этого предусматривается реагентное хозяйство приготовления и дозирования раствора сульфата алюминия в СВ перед аэротенками-отстойниками. Ориентировочная доза алюминия – 5 мг/л.

## ВЫВОДЫ

Биологические пруды, входящие в состав канализационных очистных станций, обладают значительным потенциалом для доочистки сточных вод, который необходимо реализовывать при реконструкции КОС путем культивирования в биопрудах ВВР. Это позволит на протяжении большей части года обеспечивать эффективную доочистку СВ по всем основным показателям, и самое главное – по фосфору, и, соответственно, не применять в это время реагентную дефосфатацию, а также позволит получить ценную кормовую биомассу. Такой способ доочистки с определенной степенью эффективности можно применять не только на КОС малых населенных пунктов, но и крупных городов с биопрудами (например, на очистных сооружениях гг.: Докучаевск, Горловка, Доброполье и др.).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российская Федерация. Правительство. Об утверждении технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов : Постановление Правительства Российской Федерации от 15.09.2020 № 1430. – Текст : электронный // Правительства Российской Федерации : [сайт]. – 2020. – URL: <http://government.ru/docs/all/129907/> (дата обращения: 20.09.2023).
2. Российская Федерация. Министерство природы. Об утверждении Методики разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей : Приказ Министерства природы Российской Федерации от 29.12.2020 № 1118 (редакция от 18.05.2022). – Текст : электронный // Консультант-Плюс : [сайт]. – 2020. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_373522/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_373522/) (дата обращения: 20.09.2023). – Текст : электронный.

3. Маркин, В. В. Выбор рациональной схемы модернизации канализационных очистных сооружений малых населенных пунктов / В. В. Маркин. – Текст : непосредственный // Научно-практический журнал «Строитель Донбасса». – 2022. – № 1(18). – С. 37–43.
4. Нездойминов, В. И. Одноиловая нитрификация-денитрификация в биологических реакторах с затопленной эрлифтной системой аэрации : специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Нездойминов Виктор Иванович ; ДонНАСА. – Макеевка, 2012. – 37 с. – Текст : непосредственный.
5. Лукьянчиков, Д. И. Защита поверхностных вод Курской области от антропогенного загрязнения путем применения биологических прудов с высшей водной растительностью : специальность 25.00.27 «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук / Лукьянчиков Дмитрий Игоревич. – Курск, 2012. – 24 с. – Текст : непосредственный.
6. Маркин, В. В. Исследование эффективности доочистки городских сточных вод в биопрудах / В. В. Маркин, В. А. Маркин. – Текст : непосредственный // Научно-практический журнал «Строитель Донбасса». – 2023. – № 1 (22). – С. 16–23.
7. Возможности использования макрофитов для доочистки сточных вод / А. С. Сардина, А. М. Капизова, А. Э. Усынина [и др.]. – Текст : непосредственный // Естественные науки: актуальные вопросы и социальные вызовы : материалы III Международной научно-практической конференции, Астрахань, 27–28 ноября 2020 года. – Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет», 2020. – С. 250–255.
8. Рыбка, К. С. Фито-очистная система открытого типа как природно-техногенный барьер для загрязняющих веществ : специальность 25.00.36 «Геоэкология (по отраслям)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук / Рыбка Ксения Юрьевна. – Москва, 2021. – 230 с. – Текст : непосредственный.
9. Тимофеева, С. С. Фитотехнологии и возможности их применения в условиях Восточной Сибири / С. С. Тимофеева, С. С. Тимофеев. – Текст : непосредственный // Вестник ИГСХА. – 2012. – № 48. – С. 136–145.
10. Данилович, Д. А. Расчет и технологическое проектирование сооружений биологической очистки городских сточных вод в аэротенках с удалением азота и фосфора / Д. А. Данилович, А. Н. Эпов. – Москва : [б. и.], 2020. – 225 с. – ISBN 978-5-4465-2829-5. – Текст : непосредственный.
11. Сардина, А. С. Модернизация биопрудов для очистки хозяйственно-бытовых стоков / А. С. Сардина, С. А. Попов, Е. С. Харитоновна. – Текст : непосредственный // Эффективные технологии в области водоподготовки и очистки в системах водоснабжения и водоотведения : материалы I Всероссийской студенческой научно-практической конференции, Волгоград, 17–19 марта 2021 года. – Волгоград : ВолгГТУ, 2021. – С. 74–77.
12. Флюрик, Е. А. Использование *Eichhorniacrassipes* для очистки сточных вод и получения кормовой добавки / Е. А. Флюрик, О. В. Абрамович, А. А. Змитрович. – Текст : непосредственный // Труды БГТУ. № 4. Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2014. – № 4(168). – С. 155–160.
13. Раимбеков, К. Т. Продуктивность эйхорнии отличной (*Eichhornia crassipes Solms*) при культивировании на сточных водах различных производств / К. Т. Раимбеков. – Текст : непосредственный // Вестник ОшГУ. – 2008. – № 2. – С. 55–59.
14. Раимбеков, К. Т. Изучение химического состава биомассы эйхорнии отличной до и после термической обработки / К. Т. Раимбеков. – Текст : непосредственный // Известия вузов. – 2010. – № 7. – С. 14–16.

Получена 02.10.2023

Принята 27.10.2023

В. В. МАРКІН

#### ОСОБЛИВОСТІ РЕКОНСТРУКЦІЇ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД МАЛИХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ ІЗ БІОЛОГІЧНИМИ СТАВКАМИ

ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка

**Анотація.** Велика кількість каналізаційних очисних споруд малих населених пунктів мають тривалий термін служби та застарілі технології. Для забезпечення нормативного ступеня очищення стічних вод потрібна реконструкція таких очисних станцій із застосуванням сучасних технологій, що часто пов'язано також із значним збільшенням експлуатаційних витрат. Зокрема, видалення фосфору зі стічних вод малих населених пунктів реалізується переважно за допомогою витратної хімічної дефосфатації. Однак, на очисних спорудах, до складу яких входять біологічні ставки, при спеціальному культивуванні в них вищих водних рослин протягом більшої частини року можна замінити реагентну обробку на біологічне доочищення, що, крім того, дозволить додатково отримувати цінний кормовий рослинний матеріал. У даній роботі така можливість розглянута на прикладі каналізаційної очисної станції смт. Гольмівський.

**Ключові слова:** стічні води, доочищення, біологічні ставки, вищі водні рослини, азот, фосфор.

VYACHESLAV MARKIN  
FEATURES OF THE RECONSTRUCTION OF SEWAGE TREATMENT PLANTS  
OF SMALL SETTLEMENTS WITH BIOLOGICAL PONDS  
FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Makeevka

**Abstract.** A large number of sewage treatment plants in small settlements have a long service life and outdated technologies. To ensure the standard degree of wastewater treatment, reconstruction of such treatment plants using modern technologies is required, which is often also associated with a significant increase in operating costs. In particular, the removal of phosphorus from wastewater of small settlements is carried out mainly through expensive chemical dephosphatization. However, at wastewater treatment plants that include biological ponds, with the special cultivation of higher aquatic plants in them for most of the year, it is possible to replace reagent treatment with biological post-treatment, which, in addition, will allow production of valuable feed plant material. In this paper, this possibility is considered, using the example of a sewage treatment plant in an urban-type settlement Golmovsky.

**Keywords:** wastewater, post-treatment, biological ponds, higher aquatic plants, nitrogen, phosphorus.

**Маркин Вячеслав Владимирович** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: очистка городских сточных вод.

**Маркін В'ячеслав Володимирович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри техносферної безпеки ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: очищення міських стічних вод.

**Markin Vyacheslav** – Ph. D. (Eng.), Senior Lecturer, Technosphere Safety Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: municipal wastewater treatment.