

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ С ЦЕЛЬЮ ДОСТИЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НДТ

В. В. Маркин

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка



*Маркин
Вячеслав Владимирович*

Аннотация. Расчетным способом определена возможность проведения реконструкции 24 канализационных очистных сооружений Донецкой Народной Республики с целью достижения технологических показателей наилучших доступных технологий. В результате выполненных теоретических исследований установлено, что основной проблемой перевода ряда очистных сооружений ДНР на наилучшие доступные технологии является недостаток органики не только для биологической дефосфатации, но и денитрификации. Такая проблема по данным литературных источников характерна и для других регионов России. В связи с этим сделан вывод о необходимости интенсивного развития в стране технологий ацидофикации сырого осадка и специальных методов очистки возвратных потоков от обезвоживания анаэробно сброженных осадков. В качестве дополнительного внешнего источника органических веществ предложено использование фильтрата полигонов ТКО.

Ключевые слова: Канализационные очистные сооружения, реконструкция, технологические показатели, наилучшие доступные технологии.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Проблема загрязнения природных водоемов сточными водами (СВ) в России до сих пор остается нерешенной. Сброс СВ в природные водоемы в 2022 г. составил 36,2 млрд м³, из которых 11,3 млрд м³ (31 %) – загрязненные [1]. В результате сброса загрязненных СВ ухудшается качество природных водоисточников: 26 % проб воды, отобранных в 2022 г. из водных объектов питьевого и хозяйственно-бытового назначения, не соответствуют требованиям по санитарно-химическим показателям [1].

Огромный вклад в загрязнение гидроресурсов вносят городские СВ, которые составляют около 60 % сбрасываемых загрязненных стоков [2]. Особенно большой вред природным водоемам наносит поступление в составе городских СВ соединений азота (N) и фосфора (P), которое приводит к антропогенному эвтрофированию и цветению [3, 4].

Одной из причин неблагоприятного состояния сферы очистки городских СВ длительное время являлась неэффективная система нормирования качества очистки [2, 5]. В настоящее время законодательное решение этой проблемы завершается путем перехода на технологическое нормирование и внедрения наилучших доступных технологий (НДТ).

В 2022 г. в состав Российской Федерации вошли новые регионы со своими системами водопроводно-канализационного хозяйства и с устаревшими в том числе, и изношенными канализационными очистными сооружениями (КОС). До 2026 г. все предприятия новых регионов, включая водоканалы, должны перейти на экологические нормы Российской Федерации. Однако, рассматривая Донецкую Народную Республику, можно утверждать, что практически все муниципальные КОС не способны осуществлять очистку СВ до уровня технологических показателей (ТП) НДТ. Обозначим проблему более конкретно.

В таблице 1 представлена информация о 24 КОС ДНР, в том числе КОС наиболее крупных городов: Донецка, Мариуполя, Макеевки и Горловки. В таблице 1 указаны: год ввода в эксплуатацию, проектная ($Q_{пр}$) и фактическая ($Q_{ф}$) производительности, процент загруженности (ПЗ), средние концентрации загрязнений в исходной СВ (ВВ – взвешенные вещества, АА – азот аммонийный, АО – азот общий, ФФ – фосфор фосфатов, ФО – фосфор общий), определенные по выборкам за 3 года (2019–2021 гг.).

Все приведенные в таблице 1 КОС запроектированы на полную биологическую очистку СВ в аэротенках без нитрификации-денитрификации. Существенные реконструкции на КОС не проводи-

лись. В связи со сниженной нагрузкой большая часть из них работает в режиме нитрификации и частичной самопроизвольной денитрификации. Удаление Р происходит только за счет его включения в состав избыточного активного ила. В результате концентрации азота нитратного и фосфора фосфатов в очищенных СВ значительно превышают ТП НДТ. Некоторые превышения имеются также и по другим показателям. Ввиду невозможности публичной демонстрации, фактические концентрации загрязнений в очищенных сточных водах не приведены, однако, для оценки эффективности очистки подсчитаны и указаны в таблице 1 величины интегрального показателя качества очистки по ТП, которые будут установлены для каждого КОС в соответствии с их категорией по мощности при сбросе СВ в водоемы категории Б, – ИПКО_{НДТ}.

ИПКО_{НДТ} – это сумма отношений фактических концентраций загрязнений в очищенных СВ к ТП (нормативным концентрациям загрязнений). Если бы на каких-то КОС все фактические показатели загрязненности очищенных СВ были равны ТП, то ИПКО_{НДТ} был бы равен 7 (потому что технологических показателей всего 7).

Самые большие индексы ИПКО_{НДТ} имеют КОС г. Димитров – 89 и КОС г. Снежное – 65. Это связано с тем, что биологическая очистка на них не осуществляется по причине выхода из строя технологического оборудования. Также по различным причинам (в основном частичная неисправность технологического оборудования) высокие индексы ИПКО_{НДТ} (21-44) на КОС городов: Волноваха, Красный Лиман, Доброполье, Кировское. Важно отметить, что на всех 24 КОС ИПКО_{НДТ} выше 7. Даже на полностью исправных КОС ИПКО_{НДТ} находится в пределах 9-13, что связано прежде всего с повышенными концентрациями азота нитратов и фосфора фосфатов в очищенных СВ.

Таким образом, для обеспечения нормативного качества очистки СВ и улучшения экологического состояния региона необходимо применение на КОС НДТ. Наиболее рациональным способом является реконструкция, так как она значительно дешевле нового строительства. Необходимо отметить, что, несмотря на длительный срок эксплуатации рассматриваемых КОС – от 35 до 58 лет, строительные конструкции основных емкостных сооружений сохраняют целостность, «держат воду» и могут быть реконструированы.

Таблица 1.

Информация о ряде КОС ДНР

№ п/п	Наименование КОС	Год ввода	Q _{пр} , тыс. м ³ /сут	Q _ф , тыс. м ³ /сут	ПЗ, %	Средние значения показателей исходной СВ						ИПКО _{НДТ}	ПТР
						ВВ, мг/л	БПК ₅ , мг/л	АА, мг/л	АО, мг/л	ФФ, мг/л	ФО, мг/л		
1	КОС г. Амвросиевки	1976	11	0,9	8	224	228	38	47	4,1	7,4	10	MLE
2	КОС г. Волновахи	1987	4,2	1,25	30	180	174	54	62	5,9	8,7	44	MLE
3	КОС г. Горловки	1972	92,2	23	25	165	161	28	35	2,7	5,5	13	A ² /O
4	КОС г. Горняка	1966	7	0,45	6	260	262	49	58	5,5	9,5	15	MLE
5	КОС г. Дебальцево	1981	10	0,95	10	193	185	33	41	3,8	6,8	10	MLE
6	КОС г. Дзержинска	1988	20	2,6	13	174	184	25	33	4,0	6,9	12	MLE
7	КОС г. Димитров	1969	41	11	27	260	271	47	58	4,7	8,6	89	A ² /O
8	КОС г. Доброполья	1983	11,2	2,3	21	298	298	50	62	7,8	12,1	21	MLE
9	КОС г. Донецка	1975	475	120	25	233	218	38	48	3,8	7,6	19	MJNB
10	КОС г. Докучаевска	1967	9,6	0,95	10	169	174	48	55	4,8	7,5	13	MLE
11	КОС г. Дружковки	1971	29,7	4	13	195	188	35	44	4,9	8,0	12	MLE
12	КОС г. Енакиево	1973	56	7,7	14	199	208	39	48	4,3	7,3	9	A ² /O
13	КОС г. Кировское	1979	28,8	4,1	14	213	225	38	48	4,7	7,8	31	MLE
14	КОС г. Константиновки	1978	20	7,1	36	244	224	27	37	3,2	7,0	11	A ² /O
15	КОС г. Красный Лиман	1988	10	1,4	14	233	195	46	54	6,5	9,3	26	MLE
16	КОС г. Макеевки	1972	100	25	25	131	118	25	32	2,2	4,6	11	MUCT
17	КОС г. Мариуполя	1978	250	65	26	208	195	40	49	2,9	5,8	15	MUCT
18	КОС г. Новоазовска	1981	7	0,7	10	158	153	36	44	3,5	6,0	12	MLE
19	КОС г. Селидово	1989	23	3,25	14	244	268	55	67	4,1	7,9	16	MLE
20	КОС г. Снежное	1975	16,7	2,22	13	262	221	36	46	4,4	8,3	65	MLE
21	КОС г. Тореза	1975	30	2,6	9	182	180	25	32	3,8	6,6	9	MLE
22	КОС г. Угледорска	1974	10	2,05	21	192	204	33	41	4,4	7,4	13	MLE
23	КОС г. Шахтерска	1978	20	4,1	21	228	211	31	41	5,1	8,3	13	MLE
24	КОС г. Харцызска	1971	57,3	6,7	12	151	170	32	39	3,9	6,5	11	MJNB

Однако зачастую проблемой для внедрения современных технологий биологической очистки на устаревших КОС является недостаточность объемов существующих емкостных сооружений (прежде всего аэротенков) и поэтому приходится достраивать дополнительные технологические линии. Процент загрузки (отношение $Q_{\phi}/Q_{\text{пр}}$) на рассматриваемых КОС находится в пределах от 6 до 36 % (в среднем – 18 %). Однако, даже столь существенная недогрузка по количеству СВ вовсе не означает недостаточность объема аэротенков (в то же время недостаточность объемов отстойников сомнений не вызывает). Кроме того, могут возникать и другие проблемы, такие как, например, недостаток органики для денитрификации или биологической дефосфатации.

Целью работы является определение возможности реконструкции основных КОС ДНР для обеспечения ТП НДТ, выявление проблемных вопросов в данном направлении и рассмотрение вариантов их решения.

Методы и методики. Для достижения поставленной цели были выполнены технологические расчеты по реконструкции 24 КОС ДНР, приведенных ранее в таблице 1, и определена достаточность объемов аэротенков для их модернизации, а также обеспеченность денитрификации и биологической дефосфатации органическими веществами. Технологические расчеты выполнены по методике, разработанной Д. А. Даниловичем и А. Н. Эповым [6]. Все технологические решения, принятые при расчетах, соответствуют требованиям СП 32.13330.2018, рекомендациям ИТС 10-2019 и [6].

Для выполнения технологических расчетов необходимо было выбрать технологию биологической очистки, по которой условно будет проведена реконструкция. Такие технологии для каждого КОС приведены в последнем столбце таблицы 1 – «ПТР» (принятая технология реконструкции): MLE – модифицированный процесс Лудзака-Эттингера; A^2/O – аэробно-аноксидно-оксидный процесс; MJNB – модифицированный Йоханнесбургский процесс; МУСТ – модифицированный Кейптаунский процесс. Для КОС с Q_{ϕ} менее 5000 м³/сут. по рекомендациям ИТС 10-2019 и [6] была выбрана технология MLE и химическое удаление Р. Для КОС с Q_{ϕ} более 5000 м³/сут. было выбрано улучшенное биологическое удаление Р и нитри-денитрификация. Конкретная технология выбиралась из наиболее апробированных в России (A^2/O , MJNB, УСТ, МУСТ) по среднему соотношению БПК₅/АО в исходных СВ в соответствии с рекомендациями ИТС 10-2019.

Расчеты проведены на достижение ТП НДТ, которые будут установлены для каждого конкретного КОС в соответствии с их категорией при сбросе СВ в водоемы категории Б.

Для КОС с биологическим удалением Р расчет проводился по двум или трем вариантам: с ацидофикацией сырого осадка (АСО), без АСО, с АСО и метантенками (МТ). В настоящее время на рассматриваемых КОС осадки СВ в основном подвергаются только обезвоживанию на иловых площадках. В неко-

торых случаях еще функционируют аэробные стабилизаторы. Метантенки либо не были предусмотрены, либо находятся в разрушенном состоянии. Учитывая экономические преимущества метода анаэробного сбраживания, для КОС с Q_{ϕ} более 5 000 м³/сут. оценивалась возможность применения метантенков (в мезофильном режиме) с точки зрения увеличения нагрузки от возвратных потоков.

Для проведения расчетов были определены концентрации загрязнений 15 %-й обеспеченности в исходных СВ ($C_{SS\ dim}$) в соответствии с указаниями СП 32.13330.2018 по данным контроля работы КОС за 2019-2021 гг. При определении $C_{SS\ dim}$ к суточным нагрузкам, вычисленным по исходным концентрациям загрязнений и расходу СВ, добавлялись нагрузки от возвратных потоков ориентировочно по данным [6] в зависимости от выбранного способа удаления Р и технологии обработки осадков. Для КОС с Q_{ϕ} менее 5 000 м³/сут. дополнительный процент нагрузки от возвратных потоков взят для химического удаления Р и обезвоживания сырых осадков и ила, для КОС с Q_{ϕ} более 5 000 м³/сут. – для биологического удаления Р и обезвоживания сырых осадков и ила (в вариантах без метантенков) или для биологического удаления Р и обезвоживания сброженных осадков и ила (в вариантах с метантенками). Возвратные потоки от обезвоживания анаэробно сброженных осадков и ила содержат в себе значительно большее количество N и P, поэтому для одних и тех же КОС в варианте с метантенками расчетные концентрации N и P 15 %-й обеспеченности были существенно выше по сравнению с вариантом без метантенков.

Решение о применении первичного отстаивания (ПО) и его расчетной эффективности в каждом конкретном варианте принималось на основании необходимости обеспечения требуемого количества органических веществ для процесса денитрификации и достаточности существующих объемов аэротенков для поддержания требуемого возраста активного ила.

Расчетная доза ила a_1 в аэротенках определялась по указаниям [6] при использовании обычных нерегулируемых илососов (на КОС с радиальными вторичными отстойниками) или при самотечном удалении ила (на КОС с вертикальными отстойниками). На КОС с нитри-денитрификацией и химическим удалением Р в случае с радиальными отстойниками a_1 получилась 2,9 г/л, с вертикальными – 3,5 г/л. На КОС с нитри-денитрификацией и биологическим удалением Р с радиальными отстойниками a_1 получилась 2,5 г/л. Однако, на КОС городов: Донецка, Мариуполя и Димитрова в результате расчетов с принятой $a_1 = 2,5$ г/л требуемый объем аэротенков оказался больше фактического, поэтому расчет был повторен, но уже с применением более эффективных устройств сбора ила – эвольвентными илоскребами. За счет этого коэффициент эффективности сбора ила увеличивается с 0,6 до 0,75, а доза ила может быть повышена с 2,5 до 3,1 г/л. Такая доза ила при иловом индексе 150 см³/г увеличивает риск повышенного выноса ВВ из вторичных отстойников, но при недостатке объема аэротенков является единственным выходом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты расчетов по реконструкции КОС представлены в таблице 2. Ввиду ограниченности объема в таблице не приведены концентрации загрязнений 15 %-й обеспеченности в исходных СВ и принятые ТП очищенных СВ.

В таблице 2 использованы следующие обозначения: Эф. ПО – эффективность первичного отстаивания (0 % – ПО не предусмотрено); D_{Al} – расчетная доза алюминия для химического симультанного удаления P; a_1 – доза для; t_{ia} – расчетный аэробный возраст ила; C_{NO_3D}/C_{BODD} – полученное соотношение концентрации азота нитратов, подлежащей денитрификации, к релевалентному значению БПК₅ (если C_{NO_3D}/C_{BODD} равно 0,15 или менее, органического вещества достаточно для денитрификации до нормативной концентрации азота нитратов); V_D/V_{ND} – отношение объема зоны денитрификации к объему зоны нитри-денитрификации; t_{it} – расчетный аэробный и аноксидный возраст ила; $COD_{(доп)}$ – требуемая дополнительная величина ХПК экзогенного источника органического вещества (при C_{NO_3D}/C_{BODD} более 0,15); SP – общий прирост ила; V_{ND} – требуемый объем зоны нитри-денитрификации; $V_{at(rp)}$ – требуемый общий объем аэротенков (для КОС с химическим удалением фосфора $V_{at(rp)}=V_{ND}$); $V_{at(ф)}$ – фактический объем аэротенков.

Первый общий вывод по результатам: на всех КОС, где было предусмотрено биологическое удаление P (кроме КОС г. Мариуполя и КОС г. Макеевки), недостаточно органики для его снижения до нормативного значения даже при отказе от ПО, поэтому требуется дополнительное введение реагента (биолого-химическое удаление). В таблице 2 указана расчетная доза алюминия при симультанной преципитации.

Второй общий вывод: на большей части КОС с $Q_{ф}$ менее 5 000 м³/сут. (КОС гг.: Амвросиевки, Горняк, Дебальцево, Дзержинска, Доброполья, Дружковки, Снежного, Тореза, Угледорска и Шахтерска) объемов аэротенков достаточно для их реконструкции с применением технологии МЛЕ. Количество органики также хватает для нормативной денитрификации. Однако, необходимо отметить, что на некоторых КОС требуемый объем аэротенков достаточно близок к имеющемуся: на КОС г. Дружковки требуется 99 % существующего объема, на КОС г. Доброполья – 94 %. Так что сильная недогрузка по расходу СВ (даже менее 50 %) не гарантирует значительного запаса или даже достаточности существующего объема аэротенков для их реконструкции с внедрением НДТ.

В то же время на КОС гг.: Волновахи, Докучаевска, Красного Лимана, Новоазовска и Селидово значение БПК₅ недостаточное для проведения денитрификации даже при отказе от ПО (C_{NO_3D}/C_{BODD} более 0,15). Единственным выходом из такой ситуации при классической денитрификации является дозирование в денитрификаторы внешнего источника органических веществ.

Далее отдельно описаны результаты расчетов по наиболее крупным КОС ДНР.

На КОС г. Горловки при использовании технологии А²/О и АСО как в варианте с метантенками, так и без них, органики достаточно для денитрификации, а существующего объема аэротенков – для нормативной очистки. Однако в варианте с МТ процент использования существующего объема аэротенков увеличивается с 56 до 82 %. Это связано с тем, что при метановом сбраживании существенно увеличивается исходная концентрация N и для проведения денитрификации потребовалось снизить эффект ПО с 50 % (в варианте без МТ) до 25 %, что увеличивает прирост ила и требуемый объем аэротенков. В этом случае очень важную роль играет также АСО – если ее не проводить, то в варианте с метантенками при 25 %-м ПО количества органики будет недостаточно для денитрификации и от ПО придется отказаться, что повлечет за собой увеличение процента использования существующего объема аэротенков до 98 %.

В России имеется определенный положительный опыт применения АСО [7-10], на основании чего эта технология и была включена в НДТ. Однако отсутствуют методики расчета и проектирования систем АСО, что создает препятствия для их внедрения, так как приходится прибегать к методу «проб и ошибок». В 2023 г. появились публикации с систематизацией опыта применения АСО и намерением проведения дополнительных исследований с целью создания завершенной расчетной методики [11, 12]. Такая работа крайне необходима для совершенствования работы городских КОС в РФ в целом.

Расчеты по КОС г. Харьцызска показали ситуацию, аналогичную КОС г. Горловки: при использовании МТ эффективность ПО приходится снижать с 50 % до 35 %, что увеличивает процент использования объема с 42 до 59 %; при применении МТ без АСО от ПО вовсе необходимо отказываться и процент использования объема увеличивается до 76 %.

Расчеты по реконструкции КОС г. Енакиево и КОС г. Константиновки выявили, что существующего объема аэротенков как в варианте без МТ, так и с МТ, достаточно для нормативной очистки. При применении МТ требуемый объем аэротенков увеличивается не так значительно, потому что соотношение БПК₅/АО позволяет осуществлять ПО с эффективностью 50 %.

На КОС г. Макеевки соотношение БПК₅/АО не очень благоприятное, поэтому эффективность ПО была установлена на уровне 35 % при использовании АСО. В этом случае величина БПК₅ в отстоянной воде позволит проводить нормативную денитрификацию, а процент использования существующего объема аэротенков составит 75 %. Тут ключевую роль также играет АСО: без нее, как видно из таблицы 2, от ПО придется отказаться и процент использования объема аэротенков увеличивается до 100 %. В варианте с МТ при эффективности ПО 35 % и использовании АСО возникает существенный недостаток органики для денитрификации ($C_{NO_3D}/C_{BODD}=0,186$). Учитывая большую производительность КОС г. Макеевки, использование МТ целесообразно, но в этом случае, чтобы не возникал недостаток органики, требуется применение специальных способов очистки

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ
ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД**

Таблица 2.

Результаты расчетов по реконструкции КОС ДНР

№ п/п	Наименование КОС	Эф. ПО, %	D _{АИ} , мг/л	a _г , г/л	t _{ia} , сут.	C _{NO3D} / C _{ВOD D}	V _D / V _{ND}	t _{it} , сут.	COD (доп), мг/л	SP, кг/сут	V _{ND} , М ³	V _{at(гp)} , М ³	V _{at(ф)} , М ³	V _{at(гp)/ V_{at(ф)}, %}
1	КОС г. Амвросиевки	50	4,5	2,9	13,7	0,131	0,37	21,9		146	1095	1095	4838	23
2	КОС г. Волновахи	0	7,8	3,5	11,4	0,253	0,50	22,8	96	286	1862	1862	8442	22
3	КОС г. Горловки с АСО	50	0,4	2,5	14,4	0,129	0,40	24,1		2642	25276	27546	49339	56
	КОС г. Горловки с АСО и МТ	25	1,5	2,5	14,4	0,149	0,48	27,5		3486	37993	40263	49339	82
4	КОС г. Горняка	0	9,3	3,5	12,1	0,146	0,48	23,1		141	929	929	2160	43
5	КОС г. Дебальцево	50	4,1	3,5	16,0	0,133	0,38	25,9		130	964	964	3510	27
6	КОС г. Дзержинска	50	4,1	2,9	14,5	0,060	0,20	18,2		369	2309	2309	5249	44
7	КОС г. Димитров с АСО	40	1,9	3,1	13,8	0,149	0,47	26,2		2305	19167	20282	22848	89
	КОС г. Димитров без АСО	0	3,5	3,1	13,8	0,144	0,45	25,2		3287	26274	27389	22848	120
	КОС г. Димитров с МТ	0	3,4	3,1	13,8	0,182	0,50	27,7	38	2439	21422	22538	22848	99
8	КОС г. Доброполье	50	15,1	3,5	7,4	0,135	0,41	12,4		573	2038	2038	2160	94
9	КОС г. Донецка с АСО	50	1,4	3,1	13,7	0,151	0,49	26,7	1	18309	155367	163232	170135	96
	КОС г. Донецка с АСО и МТ	50	2,5	3,1	13,7	0,181	0,50	27,5	31	19867	173207	181072	170136	106
10	КОС г. Докучаевска	0	6,7	3,5	10,2	0,233	0,50	20,4	68	207	1209	1209	4320	28
11	КОС г. Дружковки	40	6,2	2,9	13,7	0,142	0,45	25,0		615	5284	5284	5333	99
12	КОС г. Енакиево с АСО	50	1,2	2,5	11,3	0,092	0,20	14,1		1193	6700	7542	18939	40
	КОС г. Енакиево с АСО и МТ	50	2,4	2,5	11,3	0,120	0,34	17,2		1203	8224	9066	18939	48
13	КОС г. Кировское	50	5,6	2,9	13,6	0,123	0,33	20,1		703	4865	4865	9072	54
14	КОС г. Константинов-ки с АСО	50	0,5	2,5	9,7	0,077	0,20	12,1		1252	6008	6784	9687	70
	КОС г. Константинов-ки с АСО и МТ	50	1,7	2,5	9,7	0,107	0,27	13,3		1281	6738	7514	9687	78
15	КОС г. Красный Лиман	0	9,9	3,5	9,8	0,215	0,67	29,5	63	397	2228	2228	2720	82
16	КОС г. Макеевки с АСО	35	0	2,5	14,3	0,148	0,47	27,0		2654	28442	30909	41288	75
	КОС г. Макеевки без АСО	0	1,0	2,5	14,3	0,152	0,48	27,5		3566	38943	41409	41288	100
	КОС г. Макеевки с АСО и МТ	35	1,6	2,5	14,3	0,186	0,50	28,7	22	2739	31160	33627	41288	81
17	КОС г. Мариуполя с АСО	50	0	3,1	12,6	0,176	0,50	25,3	22	9730	78103	84493	93410	90
	КОС г. Мариуполя без ПО	0	0	3,1	12,6	0,167	0,50	25,3	16	15682	125886	132277	93410	142
	КОС г. Мариуполя с АСО и МТ	50	0	3,1	12,6	0,215	0,50	25,3	56	10168	81623	88014	93410	94
18	КОС г. Новоазовска	0	5,5	3,5	11,7	0,157	0,50	23,4	6	127	853	853	2495	34
19	КОС г. Селидово	0	6,6	2,9	12,1	0,160	0,50	24,1	13	914	7589	7589	8640	88
20	КОС г. Снежное	50	5,6	3,4	12,0	0,136	0,41	20,1		402	2385	2385	3276	73
21	КОС г. Тореза	50	4,3	2,9	14,4	0,086	0,20	18,0		347	2149	2149	11880	18
22	КОС г. Угледорска	50	4,9	3,5	12,8	0,103	0,22	16,4		324	1523	1523	4213	36
23	КОС г. Шахтерска	50	6,6	2,9	14,3	0,118	0,29	20,2		725	5027	5027	9504	53
24	КОС г. Харцызска с АСО	50	1,2	2,5	11,3	0,123	0,37	18,1		821	5896	6384	15314	42
	КОС г. Харцызска с АСО и МТ	35	2,4	2,5	11,3	0,150	0,50	22,4		960	8530	9019	15314	59

возвратных потоков от N-технологий, основанных на процессе АНАММОКС. О практике промышленного использования таких технологий в РФ не сообщается. Но в АО «Мосводоканал» была разработана собственная технология очистки возвратных потоков от N с процессом АНАММОКС, названная «МВК-Анаммокс», которая в настоящее время планируется к промышленному внедрению [13].

На КОС г. Димитров при эффективности ПО 40 % с АСО и при расчетной дозе ила 3,1 г/л существующего объема аэротенков достаточно для нормативной очистки. Без АСО от ПО приходится отказаться и тогда требуемый объем в 1,2 раза превышает фактический. При использовании МТ для обработки осадков возникнет нехватка органического вещества для денитрификации, поэтому применение МТ также возможно только в сочетании со специальными методами очистки возвратных потоков от N.

На КОС г. Мариуполя при эффективности ПО 50 % с АСО и при дозе ила 3,1 г/л объем существующих аэротенков достаточен для реконструкции, но наблюдается недостаток органики для денитрификации ($C_{NO_3D}/C_{BODD}=0,176$). Отказ от ПО не решает проблему ($C_{NO_3D}/C_{BODD}=0,167$), а требуемый объем аэротенков в 1,4 раза превышает фактический. Применение метанового сбраживания без очистки возвратных потоков усугубляет дефицит органики. Таким образом, для нормативной очистки СВ по нитратам на КОС г. Мариуполя необходимо дозирование внешнего источника органики, в качестве которого рекомендуются уксусная кислота, технический этиловый спирт либо нетоксичные биологически разлагаемые органические отходы 5-го класса опасности, например, молочная и сырная сыворотка, патока, дрожжевой концентрат и другие [6].

Добавление «привозных» органических веществ значительно повышает эксплуатационные затраты на очистку СВ. Для России, городские СВ которой характеризуются обедненностью органикой, актуальным является поиск дешевых органических отходов либо других видов СВ, богатых органикой, с целью эффективной денитрификации при низком соотношении БПК₅/АО. Как вариант, можно рассмотреть подачу фильтрата полигонов ТКО на городские КОС. Фильтрат полигонов ТКО характеризуется большим разбросом показателей загрязненности на разных объектах и на разных этапах эксплуатации полигонов [14, 15]. Но, например, по данным [14] во время ацетогенной фазы разложения отходов ХПК фильтрата составляет в среднем 22 000 мг/л, БПК₅ – 13 000 мг/л, концентрация АО – 1250 мг/л, то есть соотношение АО/БПК₅ равно 0,096, а избыток органики по отношению к азоту – 4 500 мг/л. На КОС г. Мариуполя для обеспечения денитрификации по первому варианту необходимо добавление 22 мг/л ХПК (или 18 мг/л БПК₅), что при $Q_{\phi}=65$ тыс. м³/сут. по массе равно 1170 кг БПК₅ в сутки. Тогда необходимо ежедневно подавать на КОС $1170/4,5=260$ м³ фильтрата, что составляет 0,4 % от суточной производительности КОС. К аргументам в пользу применения фильтрата полигонов ТКО относится также образование в нем на этапе ацидогенеза летучих жирных кислот, что способствует

более глубокому биологическому удалению Р. Содержание тяжелых металлов в фильтрате в данном примере не приведет к негативному воздействию на активный ил или ухудшению качества осадков. Однако при необходимости можно предусматривать предварительную локальную очистку фильтрата от тяжелых металлов перед его сбросом в городскую канализацию.

Последние очистные сооружения, которые остались для рассмотрения, – КОС г. Донецка. При 50 %-й эффективности ПО, с АСО и при дозе ила 3,1 г/л расчетный объем аэротенков не превышает фактический ($V_{at(треб)}/V_{at(факт)}=96$ %). Однако соотношение C_{NO_3D}/C_{BODD} находится на критической границе. Снизить эффективность ПО в данном случае нельзя, так как тогда требуемый объем аэротенков будет превышать фактический. В варианте с МТ добавление загрязненности от возвратных потоков приводит к существенной нехватке органики для денитрификации, а расчетный объем аэротенков немного превышает фактический ($V_{at(треб)}/V_{at(факт)}=106$ %). Поэтому на КОС г. Донецка анаэробное сбраживание осадка в МТ также возможно только в связке с применением специальных методов очистки возвратных потоков от N.

ВЫВОДЫ

Таким образом, по результатам выполненных теоретических исследований установлено, что на всех рассмотренных КОС ДНР существует возможность проведения реконструкции с достижением ТП НДТ в пределах существующих объемов аэротенков. Однако, на некоторых КОС, несмотря на загруженность по расходу СВ менее 50 %, необходимо применение высокоэффективного оборудования для сбора активного ила во вторичных отстойниках и повышения дозы ила.

Установлено, что самой большой проблемой достижения ТП НДТ является недостаток органики на ряде КОС не только для биологической дефосфатации, но и денитрификации. Такая проблема характерна и для многих других регионов России, в связи с чем необходим поиск дешевых биоразлагаемых органических отходов в качестве внешнего источника органики либо прием в городскую канализацию специфических СВ с высоким содержанием органических веществ. В качестве решения проблемы предложено использование фильтрата полигонов ТКО.

Ввиду дефицита органических веществ, важную роль при оптимизации технологической схемы реконструкции КОС во многих случаях играет применение АСО. Однако для широкого использования АСО требуется разработка методических указаний по проектированию и технологическим расчетам.

На КОС с большой производительностью, где экономически целесообразно метановое сбраживание осадков, из-за дефицита органики возникают ситуации, когда применение МТ возможно только при отдельной специальной очистке возвратных потоков от N. Такие технологии при достаточно широком применении в ряде других стран в России еще не имеют промышленного использования, что является

препятствием к дальнейшему развитию отрасли и, соответственно, работа в этом направлении крайне необходима.

Список литературы

1. Основные показатели охраны окружающей среды : статистический бюллетень / Росстат. – Москва, 2023. – 105 с. – Текст : непосредственный.
2. Будницкий, Д. М. С 2019 года порядок нормирования сбросов водоканалов кардинально изменится / Д. М. Будницкий, Д. А. Данилович. – Текст : непосредственный // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2017. – № 4. – С. 2-7.
3. Environmental aspects of water supply sources / N. G. Nasonkina, E. A. Feskova, L. N. Bogak [et al.]. – Text: direct // The Donbas Constructor. – 2021. – No. 4(17). – P. 24-29.
4. Скрябин, А. Ю. Изучение факторов, влияющих на интенсивное развитие микроводорослей в реке Дон / А. Ю. Скрябин, Г. В. Поповьян, И. А. Тронь. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2017. – № 4. – С. 5-8.
5. Данилович, Д. А. Информационно-технический справочник НДТ - основа проведения промышленной и экологической политики в сфере модернизации очистных сооружений поселений / Д. А. Данилович, Д. О. Скобелев. – Текст : непосредственный // Региональная экология. – 2015. – № 7(42). – С. 9-15.
6. 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, 2020. – 225 с. – Текст : непосредственный.
7. Данилович, Д. А. Биологическое удаление фосфора практически до нуля: отечественный опыт / Д. А. Данилович. – Текст : непосредственный // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2017. – № 2. – С. 22-27.
8. Опыт внедрения метода ацидофикации на московских очистных сооружениях / М. В. Кевбрина, Д. В. Гаврилов, Н. А. Белов, А. М. Агарев. – Текст : непосредственный // НДТ водоснабжения и водоотведения. – 2023. – № 2. – С. 42-56.
9. Промышленные испытания с переводом одного первичного отстойника в режим ацидофикации на Курьяновских очистных сооружениях / М. В. Кевбрина, Д. В. Гаврилов, Н. А. Белов [и др.]. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2023. – № 2. – С. 46-52.
10. Келль, Л. С. Усовершенствованная технология биологического безреагентного глубокого удаления фосфора / Л. С. Келль, М. В. Середа, А. В. Казаков. – Текст : непосредственный // НДТ водоснабжения и водоотведения. – 2016. – № 4. – С. 10-14.
11. Кевбрина, М. В. Методологические подходы к проектированию ацидофикаторов осадка первичных отстойников в целях интенсификации процессов удаления азота и фосфора из городских сточных вод / М. В. Кевбрина, Д. В. Гаврилов, А. М. Агарев. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2023. – № 8. – С. 46-60.
12. Гульшин, И. А. Ацидофикация осадка для эффективной очистки низкоконцентрированных сточных вод от биогенных элементов / И. А. Гульшин, В. А. Замотай, Д. М. Юн. – Текст : электронный // Инженерный Вестник Дона. – 2023. – № 3 (99). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/atsidifikatsiya-osadka-dlya-effektivnoy-ochistki-nizkokontsentririrovannyh-stochnyh-vod-ot-biogennyh-elementov> (дата обращения: 04.01.2024).
13. Анаммокс – перспективная технология удаления азота из сточных вод / М. В. Кевбрина, А. Г. Дорофеев, А. М. Агарев [и др.]. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2019. – № 5. – С. 28-35.
14. Управление отходами. Сточные воды и биогаз полигонов захоронения твердых бытовых отходов / Я. И. Вайсман, В. Н. Коротаев, В. С. Глушакова [и др.]. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 259 с. – Текст : непосредственный.
15. Милютина, Н. О. Управление ресурсным потенциалом твердых коммунальных отходов для снижения геоэкологического воздействия полигонов: специальность 25.00.36 «Геоэкология (строительство и ЖКХ)» : дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук / СПбГУ. – Санкт-Петербург, 2021. – 143 с. – Текст : непосредственный.