

УДК 628.35

**О. Н. КАЛИНИХИН**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ХОЗЯЙСТВЕННО-  
БЫТОВЫХ СТОКОВ ОБЪЕКТА ТЕПЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ**

**Аннотация.** В представленной работе приведены результаты химического анализа сбрасываемых хозяйственно-бытовых сточных вод Старобешевской тепловой электростанции государственного унитарного предприятия Донецкой Народной Республики «Энергия Донбасса» на содержание взвешенных веществ, аммонийного азота, нитратов, нитритов и фосфатов за период 2019–2020 гг. Выявлены количественные и качественные изменения состава сбросов до и после прохождения систем очистки, показана недостаточная эффективность существующих систем полной биологической очистки бытовых сточных вод, требующей внедрения новых технологических решений, направленных прежде всего на очистку от соединений азота и фосфора. Даны рекомендации относительно внедрения технологии биологической очистки сточных вод с использованием бактерий анаммокс. В качестве мероприятий по дефосфотизации рекомендовано применение реагентного метода удаления фосфора с помощью коагуляции. Показаны основные преимущества и недостатки технологий, предлагаемых к внедрению, даны рекомендации относительно аппаратного оформления предлагаемых технических решений.

**Ключевые слова:** сточные воды, биологическая очистка, нитрификация, концентрация, тепловая электростанция, анаммокс процесс.

**ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Проблема качественной очистки хозяйственно-бытовых сточных вод малых населенных пунктов Донецкой Народной Республики является одной из актуальных природоохранных задач, стоящих перед муниципальными службами и городскими администрациями [1]. Особое значение данная проблема имеет для так называемых моногородов, т. е. населённых пунктов городского типа, основанных при градообразующем предприятии с целью обеспечения производственного процесса трудовыми ресурсами. Зачастую все коммунальное обеспечение населённых пунктов такого типа находится в ведении соответствующих служб крупных предприятий.

Типовым примером такого рода моногорода является поселок городского типа Новый Свет Донецкой Народной Республики, все аспекты жизнедеятельности данного населённого пункта связаны с одним единственным типом хозяйственной деятельности, а именно генерацией электрической энергии. При этом система очистки сточных вод населенного пункта и комплекс водоочистных сооружений являются составной частью водоочистной системы первого по величине генерации предприятия на территории Донецкого региона Старобешевской тепловой электростанции, осуществляющей очистку и сброс хозяйственно-бытовых стоков в Старобешевское водохранилище, имеющее, помимо основного назначения, важное рекреационное и природоохранное значение. Таким образом, эффективность работ водоочистных систем предприятия напрямую определяет качество воды гидротехнического объекта, используемой для нужд рыбозаводства.

**АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Очистка стоков от биогенных элементов требуется в связи с тем, что соединения азота и фосфора вызывают процесс эвтрофикации водоемов [2]. При этом существующие канализационные коллекторы и очистные сооружения, спроектированные в прошлом веке, когда загрязнение воды биогенными элементами еще не было столь интенсивным, в настоящее время не могут справиться с задачей

эффективной очистки сточных вод от этих веществ [3]. Исследования по разработке методов модернизации существующих систем биологической очистки, создания новых типов биореакторов и биологических процессов по снижению концентраций биогенных элементов в городских и производственных сточных водах являются одним из передовых направлений развития природоохранных технологий [4].

Классическая технология биологической нитри-денитрификации по состоянию на сегодняшний день является наиболее распространенным методом денитрификации промышленных и бытовых стоков. При этом существующая технология обладает рядом недостатков, выражающихся в необходимости добавления дополнительных органических субстратов, активизирующих процесс денитрификации, в высокой сезонной нагрузке в виде аммонийного азота от сооружений обработки осадка и т. д. Альтернативой существующей практике стал метод очистки сточных вод от аммонийного азота, основанный на анаэробном окислении аммиака в процессе жизнедеятельности особых автотрофных бактерий *Planctomycetes* [5, 6].

Технология удаления фосфора – дефосфотизация, как правило, реализуется реагентными методами либо их сочетанием с биологической дефосфотизацией активного ила в специальных камерах уплотнителях, несмотря на высокую стоимость процесса, требующего привлечения дорогостоящих коагулянтов и извести.

Таким образом, вопрос использования передовых технологий проведения процесса удаления биогенных элементов из сточных вод является достаточно хорошо изученным и в настоящее время на рынке природоохранных технологий удаления биогенных веществ из сточных вод присутствует целый ряд конкурентных направлений.

**Цель** работы – обоснование модернизации технологии извлечения биогенных элементов из хозяйственно-бытовых стоков Старобешевской тепловой электростанции.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи исследования:

1. Рассмотреть существующую схему очистки стоков Старобешевской тепловой электростанции на предмет извлечения биогенных элементов.
2. Исследовать качественные и количественные характеристики сбрасываемых хозяйственно-бытовых сточных вод до и после прохождения очистных сооружений.
3. Обосновать принятие технических мероприятий по снижению антропогенной нагрузки на водную среду с учётом анализа данных относительно актуальных перспективных методов технической реализации очистки стоков от биогенных элементов.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Существующая схема очистки хозяйственно-бытовых сточных вод от населённых пунктов Новый Свет и Старобешево подразумевает последовательное прохождение ряда стандартных стадий очистки стоков по следующим этапам:

1. Прохождение улавливающих решёток предназначенных для задержания крупных твердых бытовых отходов на прутьях с зазорами 16 мм и 20 мм.
2. Отделение тяжелых минеральных примесей на горизонтальных песколовках с круговым движением воды, первичное отстаивание на очистных сооружениях.
3. Аэробная стабилизация, предназначенная для обработки органической части осадков с целью улучшения влагоотдачи и предупреждения загнивания.
4. Непосредственный процесс биологической очистки сточных вод.
5. Рециркуляции активного ила.

После биореакторов, хлорирования и контактных резервуаров очищенные сточные воды сбрасываются в Старобешевское водохранилище.

Таким образом, анализ существующей схемы очистки сточных вод показывает, что в ее составе предусмотрена лишь очистка от аммонийного азота, нитритов и нитратов по стандартной схеме биологической очистки, отсутствует какая-либо дополнительная стадия, связанная с доочисткой коммунально-бытовых стоков от фосфатов.

С целью исследования качественных и количественных характеристик сбрасываемых хозяйственно-бытовых сточных вод в течение летних месяцев 2019–2020 гг. производили отбор проб воды, в которых определяли содержание взвешенных веществ, аммонийного азота, нитратов, нитритов и фосфатов. Исследования проводили в производственной лаборатории предприятия. Материалом для исследований служили пробы сточных вод, сбрасываемых в Старобешевское водохранилище до и

после прохождения очистных сооружений. Отбор проб проводили в соответствии с требованиями стандартизированных методик. Содержание взвешенных веществ определяли гравиметрическим методом, концентрация ионов аммония определялась фотометрией по реакции с реагентом Несслера, содержание нитрит ионов определяли фотометрическим методом с реактивом Грисса, массовую концентрацию нитрат-ионов определяли фотометрическим методом с салициловой кислотой, измерение массовой концентрации фосфат-ионов проводилось фотометрическим методом восстановления аскорбиновой кислотой. Результаты анализа сравнивали с перечнем ПДК [7] вредных веществ в водных объектах рыбохозяйственного назначения.

Содержание взвешенных веществ в сточных водах в 2019 и 2020 г.г. не превышало допустимую концентрацию. Это означает, что степень очистки сточных вод по взвешенным веществам после песколовков и аэротенков является удовлетворительной.

Проведенные исследования содержания соединений азота свидетельствуют о превышении величины предельной концентрации для азота аммонийного, что означает, что процессы нитрификации, приводящие к окислению иона аммония, на очистных сооружениях протекают неэффективно.

Колебания в величинах содержания в очищенной воде нитратов и нитритов связано, с одной стороны, с неудовлетворительным протеканием процессов нитрификации, а с другой стороны – с протеканием процессов денитрификации. Если процессы нитрификации протекают в аэробных условиях в присутствии нитрифицирующих бактерий, то для денитрификации, т. е. восстановления нитрат-ионов до свободного азота, необходимы анаэробные условия и особая группа денитрифицирующих бактерий. Добиться высокой степени денитрификации возможно лишь при внедрении на очистных сооружениях блока анаэробного биологического восстановления нитратов, который в настоящее время отсутствует.

Данные таблиц 1 и 2 свидетельствуют, что содержание фосфатов, поступающих со сточными водами на очистку, превышает предельную концентрацию, поскольку на очистных сооружениях на текущий момент не предусмотрена очистка сточных вод от данных веществ.

**Таблица 1** – Содержание взвешенных веществ, азота и фосфатов в хозяйственно-бытовых сточных водах в 2019 г., мг/дм<sup>3</sup>

Показатель	ПДК	Июнь		Июль		Август	
		до очистки	после очистки	до очистки	после очистки	до очистки	после очистки
Взвешенные вещества	15	132,00	8,70	141,40	13,21	122,00	9,91
Азот аммонийный	2	65,7	4,88	65,42	5,86	58,73	3,65
Нитриты	0,6	0,38	0,88	0,08	0,16	0,07	0,29
Нитраты	40	17,73	39,06	15,51	52,90	18,82	46,73
Фосфаты	2,9	9,43	5,72	8,24	4,95	9,58	5,43

**Таблица 2** – Содержание взвешенных веществ, азота и фосфатов в хозяйственно-бытовых сточных водах в 2020 г., мг/дм<sup>3</sup>

Показатель	ПДК	Июнь		Июль		Август	
		до очистки	после очистки	до очистки	после очистки	до очистки	после очистки
Взвешенные вещества	15	128,10	9,30	134,20	5,40	121,80	6,40
Азот аммонийный	2	65,71	4,66	51,42	5,92	60,70	6,94
Нитриты	0,6	0,13	0,84	0,12	0,72	0,11	0,91
Нитраты	40	13,42	47,10	15,45	58,7	16,93	34,72
Фосфаты	2,9	9,14	5,12	6,3	5,49	5,10	4,01

Полученные результаты показывают, что в условиях Старобешевской тепловой электростанции с целью достижения природоохранных нормативов представляется целесообразным применить

сочетание процесса удаления фосфора и его соединений в сточной воде, с использованием специальных физико-химических методов его удаления с применением реагентов. Дефосфатизации по данной методике заключается в добавлении в сточную воду коагулянтов, которые коагулируют фосфат-ионы, с последующим удалением хлопьев с коагулирующей взвеси отстаиванием. Применение этого метода, наряду с удалением фосфатов (более чем на 90 %), увеличивает эффективность первичного отстаивания по взвешенным веществам (55...60 %) и по органическим загрязнениям (БПК<sub>5</sub>) с 25...30 до 40...60 %. Ввод коагулянта целесообразно осуществлять перед первичным отстаиванием [9].

В качестве мероприятий по денитрификации целесообразным является внедрение технологии SHARON-ANAMMOX. Суть данной технологии заключается в биохимическом окислении веществ органического происхождения штаммами микроорганизмов в специализированных биохимических реакторах, при этом бактериальные формы получают энергию за счет анаэробного окисления аммония в биохимическом процессе окисления иона аммония нитрит-анионом с образованием гидразина в качестве промежуточного продукта, процесс нитрификации можно реализовать, поскольку микроорганизмы нитрификаторы относятся к классу автотрофов и для своего питания используют кислород и неорганический углерод (в основном углекислый газ) и нет недостатка органических компонентов.

Поскольку существующее оборудование на площадке очистных сооружений позволяет внедрить такую схему ANAMMOX-процесса при минимальных капитальных затратах, потребуется строительство только двух (один резервный) специализированных биореакторов для ANAMMOX-процесса, а SHARON-процесс будет осуществляться уже в имеющихся в технологической схеме в биореакторах.

В процессе ANAMMOX потребность в органическом веществе отсутствует, потребность в кислороде уменьшается на 60 %, что приводит к значительному увеличению энергопотребления: потребление электроэнергии на удаление единицы массы азота уменьшается в 2–3 раза. Рост отстоя уменьшается на 90 %, и, как следствие, снижаются затраты на обработку и утилизацию осадка сточных вод. Реакторы для удаления азота занимают меньше места, чем те, которые используются в традиционном процессе нитри-денитрификации. Биохимическое окисление с использованием ANAMMOX-процесса целесообразно реализовывать в анаэробном биореакторе [8, 10].

Как правило, «биопленочные» реакторы данного типа имеют сокращенный начальный период ввода в эксплуатацию и к 50-му дню после запуска они способны очищать стоки, содержащие до 200 мг N/дм<sup>3</sup>. Биопленки гораздо удобнее хранить и транспортировать, что облегчает запуск новых реакторов. В «биопленочных» биореакторах условия существования микроорганизмов наиболее близки к естественным, поэтому микроорганизмы не испытывают стресса. В биопленках микроорганизмы более устойчивы к различным неблагоприятным факторам, токсическим веществам, антибиотикам, что является существенным преимуществом данной технологии.

## ВЫВОДЫ

Анализ существующей схемы очистки сточных вод показывает, что в ее составе предусмотрена лишь очистка от аммонийного азота, нитритов и нитратов по стандартной схеме биологической очистки, отсутствует какая-либо дополнительная стадия, связанная с доочисткой коммунально-бытовых стоков от фосфатов.

Экспериментальным путем на основе системных наблюдений установлено несоответствие существующей схемы очистки хозяйственно-бытовых сточных вод санитарно-гигиеническому нормативу, определяющему предельные значения концентраций по таким веществам, как: азот аммонийный, нитриты, нитраты и фосфаты.

Исходя из анализа сложившейся на предприятии практики очистки хозяйственно – бытовых сточных вод произведена оценка возможного внедрения новой усовершенствованной схемы очистки сточных вод, основанной на использовании процесса удаления фосфора и его соединений в сточной воде с использованием специальных физико-химических методов его удаления. Установлено, что наибольшую эффективность очистки хозяйственно-бытовых стоков от соединений азота в существующих условиях способно дать внедрение ANAMMOX-процесса реализуемого в анаэробном биореакторе. Даны рекомендации относительно аппаратного оформления процесса биологической очистки сточных вод на очистных сооружениях предприятия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Половян, А. В. Экономика Донецкой Народной Республики, состояние, проблемы, пути решения / А. В. Половян, Р. Н. Лепа. – Донецк : ДИЭИ, 2017. – 159 с. – Текст : непосредственный.
2. Martin, C. Th. Scholten. Eutrophication and the Ecosystem / C. Th. Scholten Martin, M. Foekema Edwin. – Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. – 113 p. – DOI 10.1007/3-540-26671-2\_1. – Текст : электронный.
3. Анаэробное окисление аммония для удаления азота из высококонцентрированных сточных вод / Д. А. Данилович, М. Н. Козлов, О. В. Мойжес [и др.]. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – № 4. – С. 49-54.
4. Despo, F. Advanced Treatment Technologies for Urban Wastewater Reuse / F. Despo, D. Dionysios, K. Klaus. – Cham: Springer International Publishing, 2016. – 305 p. – DOI 10.1007/978-3-319-23886-9. – Текст : электронный.
5. Dezotti, M. Advanced Biological Processes for Wastewater Treatment / M. Dezotti, G. Lippel, J. P. Bassin. – Cham : Springer International Publishing, 2018. – 205 p. – DOI 10.1007/978-3-319-58835-3. – Текст : электронный.
6. Ni, Bing-Jie. Formation, characterization and mathematical modeling of the aerobic granular sludge / Bing-Jie, Ni. – Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. – 340 p. – DOI 10.1007/978-3-642-31281-6. – Текст : электронный.
7. Перечень рыбохозяйственных нормативов, предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение : [составители: Н. А. Шиленко, С. А. Соколова, С. Н. Анисова и др.] : [утвержден приказом Госкомрыболовства России от 28.04.99 N 96]. – Москва : Изд-во ВНИРО, 1999. – 304 с. – Текст : непосредственный.
8. Новая бактерия, осуществляющая анаэробное окисление аммония в реакторе биологической очистки фильтра сброженного осадка сточных вод / С. В. Храменков, М. Н. Козлов, М. В. Кеврина [и др.]. – Текст : непосредственный // Микробиология. – 2013. – Т. 82, № 5. – С. 625–634.
9. Ghosh, S. K. Waste Water Recycling and Management / S. K. Ghosh. – Singapore : Springer Nature Singapore Pte, 2019. – 318 p. – DOI 10.1007/978-981-13-2619-6. – Текст : электронный.
10. Рязанцев, А. А. Удаление нитратов из сточных вод денитрификацией в биоэлектрохимическом реакторе / А. А. Рязанцев, В. Г. Дамбит, Д. А. Коновалова. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2019. – № 7. – С. 69–78.

Получена 08.10.2021

О. М. КАЛІНІХІН  
УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОЧИСТКИ ГОСПОДАРСЬКО-ПОБУТОВИХ  
СТОКІВ ОБ'ЄКТА ТЕПЛОВОЇ ГЕНЕРАЦІЇ  
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** У наданій роботі наведені результати хімічного аналізу господарсько-побутових стічних вод, що скидаються Старобешівською тепловою електростанцією державного унітарного підприємства Донецької Народної Республіки «Енергія Донбасу», на вміст завислих речовин, амонійного азоту, нітратів, нітритів і фосфатів за період 2019–2020 рр. Виявлено кількісні і якісні зміни складу скидів до і після проходження систем очищення, показана недостатня ефективність існуючих систем повної біологічної очистки побутових стічних вод, що вимагає впровадження нових технологічних рішень, спрямованих перш за все на очистку від сполук азоту та фосфору. Надано рекомендації щодо впровадження технології біологічного очищення стічних вод з використанням бактерій анамокс. Як захід з дефосфотизації рекомендовано застосування реагентного методу видалення фосфору за допомогою коагуляції. Показані основні переваги та недоліки технологій пропонує до впровадження, надано рекомендації щодо апаратного забезпечення пропонує технічних рішень.

**Ключові слова:** стічні води, біологічне очищення, нітрифікація, концентрація, тепла електростанція, анамокс процес.

OLEG KALINIHN  
IMPROVEMENT OF THE SYSTEM OF CLEANING OF HOUSEHOLD WASTE  
WATER OF THE THERMAL GENERATION FACILITY  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The presented work presents the results of a chemical analysis of the discharged domestic wastewater of the Starobeshevskaya thermal power plant and the state unitary enterprise of the Donetsk People's Republic «Energy of Donbass» for the content of suspended solids, ammonium nitrogen, nitrates, nitrites and phosphates for the period 2019–2020. The quantitative and qualitative changes in the composition of discharges before and after the passage of treatment systems are revealed, the insufficient efficiency of existing systems for complete biological treatment of domestic wastewater is shown, which

requires the introduction of new technological solutions aimed primarily at cleaning from nitrogen and phosphorus compounds. Recommendations are given regarding the introduction of the technology of biological wastewater treatment using anammox bacteria. As measures for dephosphorization, the use of a reagent method for removing phosphorus by coagulation is recommended. The main advantages and disadvantages of the technologies proposed for implementation, recommendations are given regarding the hardware of the proposed technical solutions.

**Key words:** waste water, biological treatment, nitrification, concentration, thermal power plant, anammox process.

**Калинин Олександр Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри техносферної безпеки ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: процеси переробки твердих побутових відходів, підвищення ефективності конверсії твердого палива, впровадження природоохоронних технологій.

**Калініхін Олег Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри техносферної безпеки ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: процеси переробка твердих побутових відходів, підвищення ефективності конверсії твердого палива, впровадження природоохоронних технологій.

**Kalinihin Oleg** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the processes of processing solid household waste, increasing the efficiency of solid fuel conversion, the introduction of environmental technologies.