

ОЧИСТКА НИЗКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ И СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА НА БИОФИЛЬТРАХ С ЗАГРУЗОЧНЫМ МАТЕРИАЛОМ ИЗ ПЕРВИЧНОГО ПОЛИПРОПИЛЕНА

Николай Юрьевич Кондюрин¹, Елена Сергеевна Гогина^{2,3},
Елена Васильевна Спасибо², Ольга Викторовна Февральских^{2,3}

¹ ООО «ВТ Эксперт»; г. Москва, Российская Федерация;

² Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры
и строительных наук (НИИСФ РААСН); г. Москва, Российская Федерация;

³ Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе;
г. Москва, Российская Федерация

Данное исследование посвящено решению проблемы очистки низкоконцентрированных сточных вод, содержащих органические загрязнения и соединения азота, с использованием биофильтров. Разработана технологическая схема реконструкции очистных сооружений малой производительности. Ключевым элементом схемы является применение загрузочного материала из первичного полипропилена с ромбической сетчатой структурой. Выбор данного материала строго обоснован его подтвержденной высокой эффективностью в процессах теплообмена в градирнях, где он обеспечивает формирование высокоэффективного капельно-пленочного режима орошения. Данный режим гарантирует оптимальное распределение жидкости в виде тонких пленок по обширной удельной поверхности, что является критически важным для усиления прикрепления биопленки и деградации загрязняющих веществ в биофилтре. Для валидации подхода создана специализированная лабораторная установка, моделирующая процессы совмещенной нитрификации-денитрификации в биофильтрах с предложенной загрузкой. Программа исследований включает комплексный санитарно-химический анализ очищенных стоков и детальное изучение свойств и активности формирующейся биопленки. Результаты демонстрируют потенциал материала для интенсификации биологической очистки в условиях существующих пространственных ограничений.

Ключевые слова: очистка сточных вод, биофильтр, загрузочный материал, денитрификация-нитрификация, биопленка, первичный полипропилен, капельно-пленочный режим орошения

Для цитирования: Кондюрин Н.Ю., Гогина Е.С., Спасибо Е.В., Февральских О.В. Очистка низкоконцентрированных сточных вод от органических загрязнений и соединений азота на биофильтрах с загрузочным материалом из первичного полипропилена // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2026. № 2. С. 75–81. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.2.75-81

TREATMENT OF LOW-CONCENTRATION WASTEWATER FOR ORGANIC POLLUTANTS AND NITROGEN COMPOUNDS IN BIOFILTERS USING VIRGIN POLYPROPYLENE FILTER MEDIA

Nikolay Yu. Kondyurin¹, Elena S. Gogina^{2,3}, Elena V. Spasibo², Olga V. Fevralskikh^{2,3}

¹ LLC “WT Expert”; Moscow, Russian Federation;

² Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences
(NIISF RAASN); Moscow, Russian Federation;

³ Russian State Geological Exploration University named after Sergo Ordzhonikidze; Moscow, Russian Federation

This study addresses the challenge of treating low-concentration wastewater containing organic pollutants and nitrogen compounds in biofilters. A technological scheme is proposed for reconstructing small-capacity treatment plants utilizing existing biofilter infrastructure. The core innovation involves the implementation of filter media manufactured from virgin polypropylene with a rhombic mesh structure. The selection of this specific media is rigorously justified by its proven efficacy in heat exchange processes within cooling towers, where it facilitates a highly efficient droplet-film flow regime. This regime ensures optimal liquid distribution as thin films across the extensive specific surface area, a characteristic critical for both heat transfer and enhanced biofilm attachment and pollutant degradation. A dedicated laboratory setup was designed to model combined nitrification-denitrification processes within biofilters packed with the proposed media. The research program encompasses comprehensive sanitary-chemical analysis of treated effluent and detailed investigation of the developed biofilm's properties and activity. Results demonstrate the material's potential for

intensifying biological treatment within existing spatial constraints while offering the possibility of dual-function (treatment and heat exchange) applications.

Keywords: Wastewater treatment, Biofilter, Filter media, Nitrification-denitrification, Biofilm, Virgin polypropylene, Droplet-film flow regime

For citation: Kondyurin N.Yu., Gogina E.S., Spasibo E.V., Fevral'skikh O.V. Treatment of low-concentration wastewater for organic pollutants and nitrogen compounds in biofilters using virgin polypropylene filter media. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2026; 2:75-81. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.2.75-81 (rus.).

Введение

Очистка сточных вод в биофильтрах основана на фильтрации жидкости через загрузочный материал, покрытый биопленкой, формируемой микробными сообществами [1]. В настоящее время многие очистные сооружения, использующие биофильтрацию, работают в условиях, существенно отклоняющихся от проектных. Это связано с физическим и моральным устареванием станций, построенных в 1960–1970-х гг., что требует их модернизации, включающей обновление загрузочного материала, оросительных и дренажных систем [2].

Актуальной задачей является интенсификация биологической очистки в рамках существующих конструктивных ограничений [3, 4]. Критерии выбора технологической схемы и конструкции биофильтра определяются качественным и количественным составом поступающих сточных вод [5]. В последние годы наблюдается рост концентрации загрязняющих веществ в исходных стоках, что при реконструкции малопроизводительных очистных сооружений заставляет рассматривать возможность замены биофильтров на компактные модульные установки денитрификации-нитрификации в биореакторах [6–8].

Особую сложность представляет очистка низкоконцентрированных сточных вод (НКСВ) [9] хозяйственно-бытовой канализации. В этой связи требуются решения, обеспечивающие стабильные условия для биологической очистки при нестандартном соотношении БПК, азота и фосфора, а также рассматривается возможность введения субстрата для увеличения концентрации органических веществ в сточных водах. Вопросы усовершенствования биофильтров для обработки НКСВ, с учетом создания оптимального сочетания аэробных и анаэробных зон и организации эффективного рецикла, остаются недостаточно изученными. Отсутствие достаточного количества исследований, посвященных использованию современных полимерных материалов в качестве загрузочных для биофильтров, также указывает на существующий пробел в научных знаниях. Таким образом, проблема исследования заключается в разработке и обосновании эффективной технологии модернизации биофильтров для повышения качества очистки НКСВ путем внедрения загрузочного материала из первичного

полипропилена в качестве носителя биомассы и оптимизации режимов работы.

Объектом исследования выступают городские канализационные очистные сооружения биологической очистки сточных вод.

Предметом — процессы очистки НКСВ на биофильтрах с использованием полимерного материала в качестве загрузки.

Цель исследования — разработать технологию очистки НКСВ на биофильтрах на основе использования инновационного полимерного материала из первичного полипропилена в качестве загрузки, обеспечивающей достижение требуемых показателей качества очистки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Разработать лабораторную модель биофильтра с оптимальным разделением на аэробные, анаэробные и анаэробные зоны, обеспечивающие эффективное протекание биохимических процессов.
2. Провести ряд экспериментов по очистке НКСВ на созданном биофилтре, проанализировать результаты количественных химических анализов и выполнить статистическую обработку данных о динамике эффективности очистки.
3. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы об эффективности использования предложенной технологии и загрузочного материала в качестве биоагрузки для очистки НКСВ.
4. Оптимизировать существующие математические модели с учетом результатов исследования.

Выдвигаемая гипотеза исследования заключается в том, что использование специально подобранного полимерного материала в качестве загрузки биофильтра, в сочетании с оптимизированным разделением на аэробные, анаэробные и анаэробные зоны и эффективной системой рецикла, позволит значительно повысить эффективность очистки низкоконцентрированных сточных вод по сравнению с традиционными методами.

Материалы и методы

Для лабораторного моделирования процесса очистки НКСВ от органических загрязнений и соединений азота на биофильтрах была изготовлена опытная установка (рис. 1), предусматривающая упрощенную схему биологической очистки — анаэробную и



Рис. 1. Опытная установка

аэробную зоны, вторичный отстойник, а также насос рециркуляции. В качестве загрузочного материала использовалась уменьшенная копия блока с ромбической ячейкой, изготовленного из первичного полипропилена. Ключевым критерием выбора стали экспериментально подтвержденные результаты его применения в градирнях, демонстрирующие превосходство в эффективности теплообмена. Данное преимущество напрямую обусловлено способностью материала обеспечивать формирование капельно-пленочного режима орошения. В этом режиме вода распределяется в межъячейном пространстве в виде тонких пленок и капель, что позволяет максимально задействовать высокую удельную поверхность материала для контакта с воздушным потоком. Именно этот эффект, зафиксированный при моделировании (превышение эффективности охлаждения на 2,0–4,1 °С в сравнении с асбоцементным оросителем при возрастании тепловой нагрузки), послужил основным техническим обоснованием для его адаптации в качестве загрузки биофильтра.

Лабораторные испытания выполнялись с использованием искусственно приготовленной сточной воды на пептонной основе. Модельный раствор имитировал низкоконцентрированные сточные воды, характерные для условий РФ [9]. Формирование биопленки осуществлялось путем последовательного пропуска через загрузку активного ила, взя-

того с действующих очистных объектов. На первом этапе исследований проводилось определение оптимальных параметров работы биофильтров с загрузочным материалом из первичного полипропилена при обработке хозяйственно-бытовых сточных вод. Методика предусматривала ступенчатое повышение расхода от начального значения 1,2 м³/(м³·сут) до 19,2 м³/(м³·сут) [10, 11]. Анализ полученных данных выявил максимальную эффективность очистки при гидравлической нагрузке 9,6 м³/(м³·сут) [12].

Для низкоконцентрированных сточных вод экспериментальные условия были скорректированы. Стартовый диапазон гидравлической нагрузки установлен на уровне 4,0–6,0 м³/(м³·сут), что ниже оптимального значения для бытовых стоков. Такое решение обусловлено особенностями биопленки, демонстрирующими устойчивую работу даже при существенном снижении нагрузки или значительном разбавлении поступающих сточных вод [13]. Как отмечают С.В. Яковлев и Ю.В. Воронов [14], эффективность биофильтра прямо зависит от количества биопленки, формирующейся на поверхности загрузки. В случае низкоконцентрированных стоков, где содержание органических веществ, необходимых для развития микроорганизмов, снижено, допустимы меньшие значения гидравлической нагрузки по сравнению с традиционными системами очистки бытовых сточных вод [15].

В процессе эксперимента осуществлялся систематический контроль за развитием биопленки на пластиковой загрузке. Для документирования динамики процесса применялся метод фотофиксации с обязательным указанием временных меток. В рамках мониторинга работы экспериментальной установки проводилась визуальная оценка следующих параметров:

- кинетика образования биопленки;
- пространственное распределение по поверхности загрузки;
- морфологические характеристики (толщина, структура);
- признаки дифференциации микробных сообществ (по зональному изменению окраски).

Важным индикатором успешного протекания биологических процессов служило образование устойчивой биопленочной матрицы в межъячейных пространствах загрузочного материала (рис. 2).

Результаты

При достижении визуально удовлетворяющих признаков эффективной работы биофильтра при установленной гидравлической нагрузке был осуществлен переход на подачу имитированных сточных вод. Выполнена серия лабораторных исследований, направленных на определение эффективности



Рис. 2. Формирование биопленки в межъячеистых пространствах грузочного материала

очистки низкоконцентрированных сточных вод. Программой исследований был предусмотрен регулярный контроль эффективности очистки с двухнедельным интервалом на протяжении всего периода эксплуатации установки. Пробы отбирались параллельно из входного и выходного потоков обрабатываемых сточных вод. Лабораторный анализ включал определение основных параметров загрязнения,

в частности биохимическое потребление кислорода (БПК₅) и концентрацию аммонийного азота.

В ходе эксперимента наблюдалась последовательная адаптация биологической системы, завершившаяся стабилизацией очистных процессов. Этот этап характеризовался достижением проектных показателей эффективности очистки и установлением устойчивого баланса микробного ценоза. По итогам обработки полученных результатов лабораторных исследований принято решение постепенного снижения концентрации загрязнений в имитированных сточных водах.

Количественные данные по изменению состава сточных вод до и после очистки систематизированы в таблице и представлены в виде графике на рис. 3.

В ходе проведения исследования было установлено, что эффективность очистки низкоконцентрированных сточных вод имеет выраженную тенденцию к снижению при уменьшении количества загрязняющих веществ в подаваемых сточных водах, что наглядно отражено на рис. 4.

Анализ экспериментальных данных показывает, что при сохранении достаточно высокой степени удаления органических загрязняющих веществ, характеризующейся лишь незначительными отклонениями от оптимальных значений, наблюдается выраженное ухудшение процессов биологической денитрификации. В частности, зафиксировано снижение эффективности удаления аммонийного азота ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$).

Результаты разовых лабораторных анализов свидетельствуют о практически полном отсутствии удаления фосфатов ($\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$) и низкой степени элими-

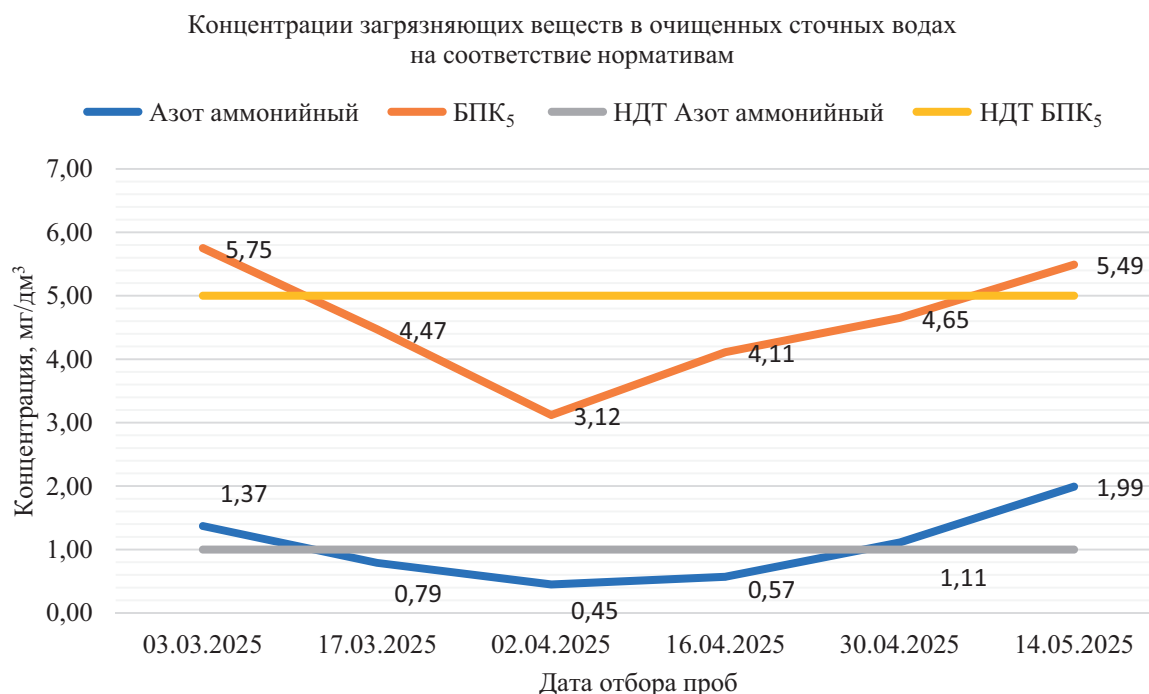


Рис. 3. График изменения концентрации загрязняющих веществ в ходе эксперимента

Результаты лабораторных исследований по определению концентраций загрязняющих веществ в сточных водах до и после очистки на биофилтре

Наименование загрязняющего вещества	Результат от 03.03.2025	Результат от 17.03.2025	Результат от 02.04.2025	Результат от 16.04.2025	Результат от 30.04.2025	Результат от 14.05.2025
Азот аммонийный (до очистки), мг/дм ³	50,58	48,72	50,12	33,95	22,79	22,98
Азот аммонийный (после очистки), мг/дм ³	1,37	0,79	0,45	0,57	1,11	1,99
БПК ₅ (до очистки), мгО ₂ /дм ³	210,37	170,60	160,23	110,21	91,56	82,11
БПК ₅ (после очистки), мгО ₂ /дм ³	5,75	4,47	3,12	4,11	4,65	5,49

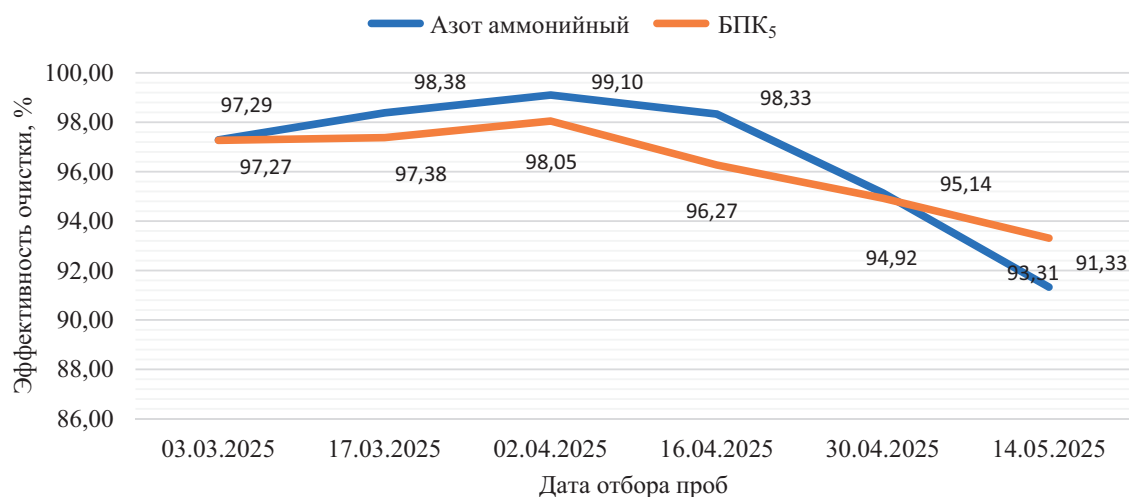


Рис. 4. График изменения эффективности очистки

нании нитритов (NO_2^- -N), являющихся промежуточными продуктами процесса нитрификации. При этом в очищенной воде стабильно обнаруживаются нитраты (NO_3^- -N) как конечные продукты нитрификации. Полученные данные позволяют сделать вывод о наличии выраженного дисбаланса в структуре микробного сообщества, ответственного за процессы азотного обмена. Вероятной причиной такого дисбаланса могут выступать лимитирующие факторы, связанные либо с недостаточной концентрацией субстратов, либо с дефицитом необходимых микроэлементов, что требует дополнительного изучения.

Заключение

Перспективные направления исследования включают идентификацию лимитирующих факторов и совершенствование технологических режимов работы биофилтра с загрузочным материалом из первичного полипропилена для повышения эффективности удаления биогенных элементов. Наблюдаемая концентрация нитратов в очищенной воде свидетельствует о необходимости модернизации зоны денитрификации и пересмотра схемы рециркуляции нитратсодержащего потока.

Экспериментальная установка работала с коэффициентом рециркуляции $n = 2$. Гидродинамиче-

ские характеристики жидкостного потока в оросительных биофилтрах формируются под влиянием комплекса факторов: конструктивных параметров сооружения, физико-химических свойств фильтрующей загрузки, характеристик биопленочного покрытия, а также режимов гидравлической нагрузки. Существенное влияние на гидродинамику и эффективность очистки оказывает рост гидравлической нагрузки, находящийся в прямой зависимости от коэффициента рециркуляции.

Увеличение гидравлической нагрузки при возрастании n вызывает:

- изменение времени гидравлического контакта τ ;
- интенсификацию турбулентного перемешивания;
- оптимизацию распределения жидкости по поверхности загрузки;
- повышение степени использования активной поверхности.

Указанные изменения существенно модифицируют параметры внешнего массопереноса как субстрата, так и растворенного кислорода. Дополнительным важным аспектом исследования должно стать изучение температурного фактора, который также может выступать лимитирующим параметром технологического процесса.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гогина Е.С. Удаление биогенных элементов из сточных вод : монография. М. : АСВ, 2010. 120 с.
2. Гогина Е.С., Янцен О.В., Ружицкая О.А., Дабровски В., Жилка Р., Борушко Д. Интенсификация процессов удаления соединений азота из сточных вод на биофильтрах // Вода и экология: проблемы и решения. 2016. № 3 (67). С. 35–45.
3. Лыкова О.В., Гогина Е.С. Биофильтры, их преимущества и недостатки // Вестник МГСУ. 2009. № S1. С. 114–117.
4. Саломеев В.П. Реконструкция инженерных систем и сооружений водоотведения : монография. М. : Изд-во АСВ, 2009. 192 с.
5. Залетова Н.А. Очистка городских сточных вод от биогенных веществ (соединений азота и фосфора) : дис. ... д-ра техн. наук. М., 1999. 50 с.
6. Янцен О.В. Глубокая очистка сточных вод от соединений азота на биофильтрах // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 9. С. 64–69.
7. Янцен О.В. Современные решения по реконструкции малых канализационных очистных сооружений: конструкция и расчет // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 9. С. 57–61.
8. Янцен О.В., Кондюрин Н.Ю. Очистка сточных вод на биофильтрах. Опыт и перспективы применения для глубокой очистки от соединений азота // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии : сб. ст. 81-й Всеросс. науч.-техн. конф., Самара, 15–19 апреля 2024 года. Самара : Самарский государственный технический университет, 2024. С. 563–571.
9. ГОСТ 25150–2024. Межгосударственный стандарт. Канализация. Термины и определения (введ. в действ. Приказом Росстандарта от 25.12.2024 № 1987-ст).
10. Кирсанов В.В. Методика определения параметров высоконагружаемого биофильтра с рециркуляцией и искусственной аэрацией для очистки сточных вод с изменяющейся нагрузкой : науч.-практ. и учеб.-метод. журнал. 2017. № 9. С. 14–16.
11. Макиша Н.А., Янцен О.В. Гидравлическое моделирование и исследование процессов очистки сточных вод на биофильтрах с использованием плоскостной загрузки // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 11 (94). С. 171–174.
12. Воронов Ю.В., Саломеев В.П., Ивчатов В.П. Примеры расчетов биологических фильтров и станций биофильтрации : учеб. пособие для вузов. М. : МИСИ, 1989. 68 с.
13. Словоцков А.А. Совершенствование процессов биологической очистки сточных вод с помощью прикрепленных биоценозов // Вестник МГСУ. 2008. № 3. С. 80–85.
14. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Биологические фильтры. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1982. 121 с.
15. Хенце М., Армос П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. Очистка сточных вод : учеб. изд. / пер. с англ. М. : Мир, 2009. 480 с.

Об авторах: **Николай Юрьевич Кондюрин** — главный инженер-технолог; ООО «ВТ Эксперт»; 127006, г. Москва, ул. Малая Дмитровка, д. 4, пом. 6; e-mail: n@knd88.ru;

Елена Сергеевна Гогина — кандидат технических наук, доцент, главный научный сотрудник; Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН); 127238, г. Москва, Локомотивный пр-д, д. 21; заведующая кафедрой строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения; Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе; 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23; e-mail: gogina-es@yandex.ru;

Елена Васильевна Спасибо — ведущий инженер; Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН); 127238, г. Москва, Локомотивный пр-д, д. 21, e-mail: spasibo.elena@mail.ru;

Ольга Викторовна Февральских — кандидат технических наук, инженер; Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН); 127238, г. Москва, Локомотивный пр-д, д. 21; старший преподаватель кафедры строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения; Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе; 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23; e-mail: yantsenov@bk.ru.

REFERENCES

1. Gogina E.S. *Removal of Biogenic Elements from Wastewater : monograph*. Moscow, ASV, 2010; 120. (rus.).
2. Gogina E.S., Yantsen O.V., Ruzhitskaya O.A., Dabrowski V., Zhilka R., Boruzhko D. Intensification of Nitrogen Compound Removal Processes from Wastewater on Biofilters. *Water and Ecology: Problems and Solutions*. 2016; 3(67):35-45. (rus.).

3. Lykova O.V., Gogina E.S. Biofilters, Their Advantages and Disadvantages. *Vestnik MGSU (Monthly Journal on Construction and Architecture)*. 2009; S1:114-117. (rus.).
4. Salomeev V.P. *Reconstruction of Drainage Engineering Systems and Structures : monograph*. Moscow, ASV Publishing House, 2009; 192. (rus.).
5. Zaletova N.A. *Purification of Municipal Wastewater from Biogenic Substances (Nitrogen and Phosphorus Compounds) : dissertation of Doctor of Technical Sciences*. Moscow, 1999; 50. (rus.).
6. Yantsen O.V. Advanced Removal of Nitrogen Compounds from Wastewater on Biofilters. *Water Supply and Sanitary Engineering*. 2016; 9:64-69. (rus.).
7. Yantsen O.V. Modern Solutions for Reconstruction of Small Sewage Treatment Plants: Design and Calculation. *Water Supply and Sanitary Engineering*. 2019; 9:57-61. (rus.).
8. Yantsen O.V., Kondyurin N.Yu. Wastewater Treatment on Biofilters. Experience and Prospects for Application in Advanced Nitrogen Compound Removal. *Traditions and Innovations in Construction and Architecture. Construction and Construction Technologies : collection of Articles of the 81st All-Russian Scientific and Technical Conference, Samara, April 15–19, 2024*. Samara, Samara State Technical University, 2024; 563-571. (rus.).
9. GOST 25150–2024. Interstate Standard. Sewerage. Terms and Definitions (Enacted by Order of Rosstandart No. 1987-st dated 25.12.2024). (rus.).
10. Kirsanov V.V. Methodology for Determining Parameters of a High-Rate Biofilter with Recirculation and Artificial Aeration for Treating Wastewater with Variable Load. *Scientific-Practical and Educational-Methodological Journal*. 2017; 9:14-16. (rus.).
11. Makisha N.A., Yantsen O.V. Hydraulic Modeling and Study of Wastewater Treatment Processes on Biofilters Using Planar Media. *Vestnik of Irkutsk State Technical University*. 2014; 11(94):171-174. (rus.).
12. Voronov Yu.V., Salomeev V.P., Ivchatov V.P. *Examples of Calculations for Biological Filters and Biofiltration Plants : textbook for Higher Education Institutions*. Moscow, MISI, 1989; 68. (rus.).
13. Slovtsov A.A. Improvement of Biological Wastewater Treatment Processes Using Attached Biocenoses. *Vestnik MGSU (Monthly Journal on Construction and Architecture)*. 2008; 3:80-85. (rus.).
14. Yakovlev S.V., Voronov Yu.V. *Biological Filters. 2nd ed., rev. and enl.* Moscow, Stroyizdat, 1982; 121. (rus.).
15. Henze M., Harremoës P., Jansen J. la Cour, Arvin E. *Wastewater Treatment : textbook*. Transl. from English. Moscow, Mir, 2009; 480.

About the authors: **Nikolay Yu. Kondyurin** — Chief Process Engineer; LLC “WT Expert”; 4 6 Malaya Dmitrovka St., Moscow, 127006, Russian Federation; e-mail: n@knd88.ru;

Elena S. Gogina — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Research Fellow; **Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN)**; 21 Lokomotivny Proezd, Moscow, 127238, Russian Federation; Head of the Department of Construction of Water Supply and Wastewater Disposal Systems and Structures; **Russian State Geological Exploration University named after Sergo Ordzhonikidze**; 23 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117997, Russian Federation; e-mail: gogina-es@yandex.ru;

Elena V. Spasibo — Lead Engineer; **Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN)**; 21 Lokomotivny Proezd, Moscow, 127238, Russian Federation; e-mail: spasibo.elena@mail.ru;

Olga V. Fevral'skikh — Candidate of Technical Sciences, Engineer; **Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN)**; 21 Lokomotivny Proezd, Moscow, 127238, Russian Federation; Senior Lecturer, Department of Construction of Water Supply and Wastewater Disposal Systems and Structures; **Russian State Geological Exploration University named after Sergo Ordzhonikidze**; 23 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117997, Russian Federation; e-mail: yantsenov@bk.ru.