

Д. А. БУТКО
С. А. МОРОЗОВ

ОШИБКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МАЛЫХ И СВЕРХМАЛЫХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ СЕВЕРНОГО ИСПОЛНЕНИЯ, ИХ РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

ERRORS IN THE DESIGN OF SMALL AND ULTRA-SMALL WASTE
WATER TREATMENT PLANTS OF NORTHERN DESIGN, THEIR
CALCULATION AND ANALYSIS OF THE RESULTS OBTAINED

Произведен расчет действующей станции канализационных очистных сооружений (КОС) северного исполнения на основании экспериментальных данных, включающих в себя результаты лабораторных исследований, проектные характеристики и измерения гидравлических параметров. Расчет выполнен по математическим моделям НИИ ВОДГЕО/СамГТУ и СНиП 2.04.03-85. Выявлены заниженные объемы емкостного оборудования станции на этапе проектирования, что в дальнейшем повлекло ненормативное качество очистки сточных вод. Проанализирован расчет станции и эксплуатационных параметров. По итогу проведенного исследования возникли основания для проведения реконструкции КОС по дооснащению станции денитрификатором и увеличением зоны аэрации.

Ключевые слова: канализационные очистные сооружения, биологическая очистка, математическая модель НИИ ВОДГЕО/СамГТУ, ферментативная кинетика, материальный баланс

В настоящее время наблюдается увеличение спроса на разработку и реализацию проектов малых и сверхмалых канализационных очистных сооружений (КОС) северного исполнения наряду с освоением месторождений полезных ископаемых в северных широтах нашей страны [1, 2]. По причине малого количества поступающих сточных вод на очистные сооружения не предусматривается требуемое ко-

The calculation of the current station of sewage treatment plants of the Northern was carried out on the basis of experimental data, including the results of laboratory studies of design characteristics and measurements of hydraulic parameters. The calculation was performed using mathematical models of the SRI VODGEO/SamSTU and SNiP 2.04.03-85. The calculation of the station and operational parameters is analyzed. Underestimated volumes of the station capacitive equipment were revealed at the design stage, which later led to an abnormal quality of waste water treatment. As a result of the conducted research, there were grounds for the reconstruction of the WWTP to equip the station with a denitrifier and increase the aeration zone.

Keywords: Waste water treatment plants, biological treatment, mathematical model SRI VODGEO/SamSTU, enzymatic kinetics, material balance

личество инженеров-технологов и персонала лаборатории, не учитывается необходимость равномерного распределения гидравлической нагрузки на сооружения, а также если учитывать неправильный расчет канализационных сооружений на этапе реализации проекта, – всё это приводит к ненормативному качеству очистки сточных вод и загрязнению окружающей среды [3–5].

Экспериментальные исследования проводились на станции биологической очистки КСкомплекс-100 вахтового жилого комплекса, расположенного в северных широтах Красноярского края. Расчет сооружений биологической очистки выполнен по методикам НИИ ВОДГЕО/СамГТУ [6] и СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения» (далее – СНиП, утратил силу), используемым при проектировании станции. Разница данных методик заключается в том, что в первой используются уравнения ферментативной кинетики, описывающие скорость биохимических процессов с окислением органических соединений и удалением азота и фосфора, а во второй предусмотрен расчет аэротенков с помощью уравнений ферментативной кинетики только на аэробное окисление органических соединений. Актуальность методики НИИ ВОДГЕО/СамГТУ объясняется также тем, что она учитывает в своем расчете аэробный возраст активного ила и скорость процесса нитрификации [7].

Данная станция классифицируется как сверхмалая в соответствии с приложением 1 постановления Правительства РФ от 15 сентября 2020 г. № 1430 «Об утверждении технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водотведения поселений или городских округов», так как при объеме аэротенка в $17,6 \text{ м}^3$ фактическая производительность составляет $26,5 \text{ м}^3/\text{сут}$, а не $110 \text{ м}^3/\text{сут}$, предусмотренных проектом.

Исследования являются актуальными для малых и сверхмалых КОС по причине отсутствия расчетов для сооружений такого типа и специфики неравномерного расхода и концентраций.

Целью исследовательской работы является подтверждение эксплуатационных характеристик математическим расчетом для сооружений с аналогичными эксплуатационными параметрами, получение исходных данных для реконструкции.

Проектные решения для канализационных сооружений разработаны в 2008 году. В соответствии с паспортом сооружений качество очистки должно удовлетворять требованиям к поверхностным водам рыбохозяйственного значения. Конструкция станции КОС является блочно-модульного исполнения и имеет следующие рабочие узлы: узел механической и биологической очистки, узел накопления и обработки осадка, установка обеззараживания и удаления фосфатов при помощи коагулянта (рис. 1) [8]. Конструктивными недоработками применяемой схемы очистки является отсутствие денитрификатора и установки дозирования раствора кальцинированной соды.

Показатели качества неочищенных и очищенных сточных вод, принятые для проектного расчета по СНиПу, представлены в табл. 1 при гидравлических характеристиках: среднесуточный расход 95 м^3 , максимальная нагрузка 110 м^3 , среднечасовой расход $3,95\text{--}4,6 \text{ м}^3$.

На канализационных сооружениях исследования выполнялись в течение двух месяцев с июля по сентябрь 2023 года, при этом производилась настройка подачи воздуха от воздуходувки, корректировка дозирования кальцинированной соды, регулирование расхода сточных вод из усреднительной емкости в течение суток для обеспечения максимально глубокой очистки сточных вод, в результате чего была обеспечена равномерная подача сточных вод на очистку $4,13 \text{ м}^3/\text{ч}$ в период с 5.00 до 2.00 следующих суток, с 2.00 до 5.00 подача не осуществлялась по причине отсутствия поступления сточных вод от потребителей снижения уровня в усреднителе до минимального.

Коагулянт Аква-Аурат 30, который в соответствии с проектным решением должен был применяться для удаления фосфатов, не использовался ввиду его отсутствия на объекте. В связи с этим минимальная расчетная концентрация при биологическом удалении фосфора общего в очищенной воде принята в количестве $1 \text{ мг}/\text{дм}^3$.

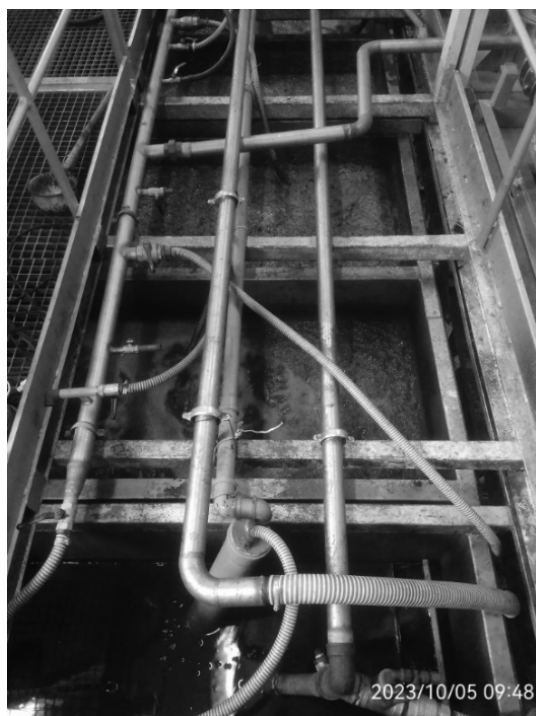


Рис. 1. Состояние поверхности «зеркала» аэротенка в период исследований

Fig. 1. Condition of aerotank "mirror" surface during the research period

В соответствии с проектным решением показатели качества очистки сточных вод должны снижаться следующим образом:

- БПК_{полн} с 260 до 3 мгО₂/дм³;
- взвешенные вещества с 260 до 3 мг/дм³;
- фосфор фосфатов с 4,3 до 0,065 мг/дм³;
- азот аммонийный с 32 до 0,4 мг/дм³;
- азот нитратный в процессе денитрификации не более 9,1 мг/дм³.

Контроль химических показателей осуществлялся в производственной лаборатории: аммоний-ион, нитриты, нитраты, фосфаты, взвешенные вещества, масса ила, за исключением показателей ХПК, БПК_{полн}, АСПАВ, измерения которых выполнялись в аккредитованной лаборатории г. Красноярск. По окончании исследований и произведенных корректировок технологического режима достигнуто максимально возможное качество очистки сточных вод, результаты представлены в табл. 1 [9].

Данные, используемые в расчетах, приняты по факту эксплуатации станции КОС и результатов исследований в производственной лаборатории:

- максимальный расход – 110 м³/сут;
- среднесуточный расход – 95 м³;
- расход активного ила от Н 2.1 вторичного отстойника – 2,6 м³/ч;
- расход активного ила из вторичного отстойника при помощи эрлифта – 0,64 м³/ч;
- суммарный рециркуляционный расход – 3,24 м³/ч;
- объем усреднителя – 40 м³;
- объем первичного отстойника – 9,1 м³;
- объем биореактора аэротенка – 17,6 м³;
- высота биореактора аэротенка – 2,385 м;
- доза активного ила в аэротенке – 2,46 г/л;
- иловый индекс – 106 мл/г;
- минимальная температура иловой смеси в зимний и летний периоды – +20/+25 °С;
- концентрация растворенного кислорода в аэробной зоне – не менее 2 мг/л.

Широкий перечень констант и коэффициентов, применяемых при расчете по методикам, был принят в соответствии с типом сточных вод, условиями протекающих процессов, требованиями к качеству очистки сточных вод [5]. Приведем некоторые из них:

- коэффициент прироста ила K_g – 0,3 г сухого вещества на 1 г окисленного БПК_{полн};
- содержание азота в активном иле – 80 мг/г;
- коэффициент K_v , учитывающий тип аэратора и принимаемый для мелкопузырчатой аэрации в зависимости от соотношения площадей, – 2,3;
- коэффициент K_2 при глубине погружения аэраторов h_a – 2,2 м – 1,6;

- коэффициент K_3 качества воды, принимаемый для городских сточных вод, – 0,85;

при J_{amin} при $h_a = 2,2$ м – 7 м³/м²·ч;

- доза активного ила – 3 г/л;

- зольность – 0,25;

- иловый индекс – 120 мг/л.

Кинетические константы и коэффициенты приводятся в табл. 2.

Для расчета по методике СНиПа приняты константы и коэффициенты, равные используемым в методике НИИ ВОДГЕО/СамГТУ.

По той причине, что технологическая схема станции представлена следующим порядком узлов оборудования: усреднитель – первичный отстойник – аэротенк (вытеснитель) – вторичный отстойник и с учетом п. 6.141 СНиПа: при БПК_{полн} поступающей в аэротенки сточной воды более 150 мгО₂/дм³, необходимо предусматривать регенератор активного ила и расчет приводить по двум методикам «Аэротенк-вытеснитель без регенератора» и «Аэротенк-вытеснитель с регенератором».

В табл. 3 представлено сравнение результатов расчетов и эксплуатационных параметров.

Принимая во внимание максимальную гидравлическую нагрузку до 110 м³/сут, можно утверждать, что в период исследований станция эксплуатировалась под нагрузкой, предусмотренной проектом, но при расчете по методике НИИ ВОДГЕО/СамГТУ получено значение, свидетельствующее о том, что расход не должен составлять более 26,5 м³/сут.

При расчете по исходной методике СНиПа, приведенной в документе, получена величина объема аэротенка 21,7 м³, близкая к проектной 20 м³ (4,1×1,8×2,7 (h) м), фактический же объем аэротенка 17,6 м³ по рабочему уровню жидкости в аэротенке 2,385 м. Следовательно, утверждение, представленное в проекте на станцию КСкомплект-100 о том, что расчет выполнен по СНиПу, соответствует действительности. В свою очередь объемы аэротенков, полученные по методикам НИИ ВОДГЕО/СамГТУ и СНиПа (для аэротенка без регенератора) при актуальных на сегодняшний день константах и коэффициентах 72 и 121 м³ соответственно, подтверждают факт о значительно приуменьшенном объеме аэротенка, заложенном в проекте [10]. Точность расчета аэротенка по методике НИИ ВОДГЕО/СамГТУ определяется установлением лимитирующего процесса окисления органических веществ или нитрификации; для КСкомплект-100 $T_{БПКполн}$ составило 15,91 ч и было принято к расчету, так как это больше значения $T_{нитрификации}$ 12,69 ч.

По результатам лабораторных исследований показателей качества очищенных сточных

вод наблюдались превышения норматива допустимого сброса (см. табл. 1):

- БПК_{полн.} в 36 раз;
- ХПК в 14 раз;
- взвешенные вещества в 8,76 раза;
- азот аммонийный в 34,6 раза;
- азот нитритов в 170 раз;
- азот нитратов в 4,89 раза;
- фосфор фосфатов в 4,05 раза.

Высокое содержание нитратов, в свою очередь, объясняется отсутствием в схеме очистки денитрификатора (см. табл. 1).

Проведение реконструкции за счет увеличения биомассы и повышения окислительной способности сооружений без увеличения объема аэротенка и применения в качестве способа илоразделения мембранной технологии не представляется возможным из-за санкционной

политики и сложности приобретения мембранных биореакторов.

Проектной схемой не заложена установка дозирования раствора кальцинированной соды, в результате чего его подача в систему осуществлялась ручным способом.

В соответствии с п. 9.2.5.7 СП 32.13330.2018 «Канализация. Наружные сети и сооружения» расчетное количество алюминия 1,3 кг на 1 кг осажденного фосфора для снижения концентрации последнего в очищенной воде составляет менее 1 мг/дм³, соответственно для снижения концентрации фосфора с 1 до 0,05 мг/дм³ потребуется 4,65 мг/дм³ по Al₂O₃ и на каждый превышающий 1 мг фосфора 4,89 мг Al₂O₃ или 16,3 мг товарного продукта Аква-Аурат 30.

Таблица 1. Показатели качества поступающих и очищенных сточных вод на 23.09.2023

Table 1. Quality indicators of incoming and treated wastewater at the 23.09.2023

Показатель	Ед. изм.	Неочищенная сточная вода	Сточная вода после очистки	Требования к биологически очищенной воде
БПК _{полн.}	мгО ₂ /дм ³	370	108	3
ХПК	мгО/дм ³	720	210	15
Взвешенные вещества	мг/дм ³	335	46	5,25
Азот аммонийный	мг/дм ³	51,4	13,5	0,39
Азот нитритов	мг/дм ³	0	3,4	0,02
Азот нитратов	мг/дм ³	2,3	44,5	9,1
Фосфор фосфатов	мг/дм ³	5,18	4,05	1
Водородный показатель pH	ед.	7,6	6,8	6,5-8,5

Таблица 2. Значения кинетических констант и коэффициентов (при t = 20 °С, C₀ = 2 мг/л)

Table 2. Kinetic constants and coefficients (t = 20 °С, C₀ = 2 mg/l)

Показатель	Ед. изм.	Окисление органических веществ	Нитрификация
Максимальная скорость окисления $\rho_{\max}$	мг/(г·ч)	20,6	3,39
Константа Михаэлиса K_m	мг/л	7	0,35
Константа торможения α	-	-	55
Коэффициент ингибирования продуктами метаболизма φ	л/г	0,07	0,07
Температурная константа χ	град ⁻¹	0,09	0,096
Кислородная константа K_0	мг/л	0,625	0,625
Удельный расход БПК на удаление фосфора $K_{\text{БПК/Р}}$	мг/мг	15	-

Таблица 3. Расчетные и эксплуатационные параметры КСкомплект-100СФ
Table 3. Design and operating parameters of KSkomplekt-100SF

Параметры очистных сооружений	Ед. изм.	Факт. рабочие хар-ки	Расчетные значения по действующим расходам			Расчет по проектным загрязнениям, табл. 1
			НИИ ВОДГЕО/СамГТУ	СНиП «АТ-Р»*	СНиП «АТ+Р»**	СНиП «АТ-Р», коэф-ты и конст-ты, 1985 г.
Максимальный суточный расход	м³	110	110	110	110	110
Среднесуточный расход	м³	95	95	95	95	95
Анаэробный рецикл	ед.	Не предусмотрен	1	-	-	-
Рецикл активного ила из вторичного отстойника	ед.	4,1	0,56	0,56	0,56	0,56
Нитратный рецикл	ед.	Не предусмотрен	3,1	-	-	-
Объем анаэробной зоны	м³	Отс.	9	-	-	-
Объем аноксидной зоны	м³	Отс.	18	-	-	-
Объем аэробной зоны	м³	17,6	72	121,5	19,6 + 323 м³ регенератор	21,7
Аэробный возраст активного ила	сут	4,24	17,82	-	-	-
Общий возраст активного ила	сут	-	24,46	-	-	-
Расход воздуха	м³/ч	235	51,66	88	88	88
Доза коагулянта Аква-Аурат 30 по Al ₂ O ₃ для удаления фосфора	мг/дм³	-	4,89	-	-	-
Масса избыточного активного ила по сухому веществу	кг/сут	Отс.	13,49	40,9	40,9	8,75

«АТ-Р»** – аэротенк-вытеснитель без регенератора;
«АТ+Р»* – аэротенк-вытеснитель с регенератором.

Выводы

1. На этапе проектирования станции КОС по фактическим показателям качества очистки при аналогичной производительности установлены следующие причины неудовлетворительной работы канализационных сооружений (см. табл. 1): некорректный расчет биологической очистки, не соответствующий гидравлическим параметрам как на момент строительства станции, так и на момент проведения исследований; неверно используемые показатели загрязняющих веществ при проектном расчете.

2. Объективность расчетов по методике НИИ ВОДГЕО/СамГТУ подтверждена степе-

нью очистки сточных вод, соответствующей требованиям нормативов при реальных значениях расхода 27 м³/сут в периоды низкой заселенности вахтового городка.

3. Установлены многократные превышения показателей качества очищенных сточных вод, свидетельствующие о недостаточном окислении органических веществ, незначительной глубине протекания процессов нитрификации, в частности второй стадии, так как зафиксированы существенные превышения нитритов – в 170 раз и, как следствие, вынос взвешенных веществ, а также высокое содержание фосфора фосфатов.

4. По результатам анализов и режиму работы установлено, что канализационная стан-

ция не может обеспечить требуемое качество очистки сточных вод по показателю нитраты. Для удовлетворения требований по глубине очистки касаясь показателя нитраты потребуется переоснащение станции с заменой функции первичного отстойника на денитрификатор, с соответствующим доукомплектованием перемешивающими устройствами и продлением линии рецикла активного ила из вторичного отстойника.

5. По результатам исследования и произведенных расчетов эксплуатирующей организацией было принято решение о проведении реконструкции (рис. 2). На первом этапе запланировано увеличение зоны аэрации за счет до-

полнения технологической схемы резервуаром объемом 50 м³ и установкой в него аэраторов с подачей воздуха от действующих мощностей воздухоподогревателей.

6. Для обеспечения необходимого pH [11], понижающегося в процессе нитрификации, дооснастить станцию КОС установкой дозирования подщелачивающего раствора.

7. Табличные константы и коэффициенты, принятые из [5] в соответствии с эксплуатационными параметрами очистных сооружений, показали объективные результаты и могут быть использованы для предварительного расчета малых и сверхмалых КОС, эксплуатируемых в аналогичных условиях.



Рис. 2. Станция КСкомплект-100 до и после начала модернизации
Fig. 2. KSkomplekt-100 station before and after the start of modernization

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Морозов С.А., Серпокрьлов Н.С. Особенности эксплуатации сверхмалых канализационных очистных сооружений северного исполнения с мембранной технологией // Градостроительство и архитектура. 2022. Т. 12, № 2. С. 14–22. DOI: 10.17673/Vestnik.2022.02.3.
2. Вялкова Е.И. Извлечение нефтепродуктов из сточных вод природными сорбентами Арктики // Градостроительство и архитектура. 2022. Т. 12, № 4. С. 25–33. DOI: 10.17673/Vestnik.2022.04.4.
3. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы. М.: Мир, 2004. 480 с.
4. Андреев С.Ю., Степанов С.В., Князев А.А. Новая технология интенсификации работы локальных канализационных очистных сооружений, предусматривающая электроактивационную обработку щелочных технологических растворов // Градостроительство и архитектура. 2021. Т. 11, № 4. С. 4–10. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.04.1.
5. Бутко Д.А. Теоретические аспекты схем обработки осадка // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 4. С. 4–10. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.04.01.
6. Степанов С.В. Технологический расчет аэротенков и мембранных биореакторов. М.: Издательство АСВ, 2023. 224 с.
7. Серпокрьлов Н.С., Вильсон Е.В., Долженко Л.А., Саид М.А. Особенности пуска сооружений биологической очистки сточных вод в режимах нитрификации и денитрификации // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8, № 3. С. 55–61. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.12.
8. Павлинова И.И., Крупский А.С. Совершенствование очистки сточных вод от избыточных соединений фосфора с использованием биотехнологических приемов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2013. Вып. 31(50). Ч. 2. Строительные науки. С. 519–523.
9. Харькина О.В. Сравнение результатов расчетов аэротенков по моделям НИИ ВОДГЕО / СамГТУ и ASM2d // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 5. С. 18–29.
10. Серпокрьлов Н.С., Борисова В.Ю., Скибина Е.В. Повышение среднесуточной окислительной способности биоценоза аэротенка // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 306–310.
11. Borowa A., Brdys M. A., Mazur K. Modelling of Wastewater Treatment Plant for Monitoring and

Control Purposes by State – Space Wavelet Networks. International Journal of Computers, Communications & Control. 2007. V. II. N. 2. P. 121–131.

REFERENCES

1. Morozov S.A., Serpokrylov N.S. Features of Operation of Ultra-Small Sewage Water Treatment Plants of Northern Design with Membrane Technology. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2022, vol. 12, no. 2, pp. 14–22. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2022.02.3
2. Vialkova E.I. Extraction of Petroleum Products from Wastewater by Natural Sorbents of the Arctic. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2022, vol. 12, no. 4, pp. 25–33. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2022.04.4
3. Henze M, Armoes P, La-Cour-Jansen Y, Arwan E. *Ochistka stochnykh vod. Biologicheskie i himicheskie process* [Wastewater treatment. Biological and chemical processes]. Moscow, MIR, 2004. 480 p.
4. Andreev S.Yu., Stepanov S.V., Knyazev A.A. New Technology of Increasing the Operation of Local Sewage Treatment Facilities, Providing Electric Activation Treatment of Alkaline Process Solutions. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 4, pp. 4–10. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.04.1
5. Butko D.A. Theoretical aspects of sludge treatment schemes. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol. 13, no. 4, pp. 4–10. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.04.01
6. Stepanov S.V. *Tehnologicheskij raschet ajerotenkov i membrannyh bioreaktorov* [Technological calculation of

aeration tanks and membrane bioreactors]. Moscow, DIA Publishing House, 2023. 224 p.

7. Serpokrylov N.S., Vilson E.V., Dolzhenko L.A., Saiyd M.A. Features of the Start of Biological Wastewater Treatment Facilities in the Modes of Nitrification and Denitrification. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2018, vol. 8, no. 3, pp. 55–61. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.12

8. Pavlinova I. I., Krupsky A. S. Improvement of wastewater treatment from excess phosphorus compounds using biotechnological techniques. *Vestnik Volgogr. gos. arhit.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arhit.* [Herald Volgogr. state. architectural-construction University. Ser.: Page and Archit.], 2013, iss. 31(50), pp. 519–523. (in Russian)

9. Kharkina O.V. Comparison of aeration tank calculation results according to the models of NII VODGEO/SamSTU and ASM2d. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika* [Water Supply and Sanitary Equipment], 2021, no. 5, pp. 18–29. (in Russian)

10. Serpokrylov N.S., Borisova V.Yu., Skibina E.V. Increase of daily average oxidative capacity of aerotank biocenosis. *Vestnik Volgogr. gos. arhit.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arhit.* [Herald Volgogr. state. architectural-construction University. Ser.: Page and Archit.], 2011, iss. 25(44), pp. 306–310. (in Russian)

11. Borowa A., Brdys M. A., Mazur K. Modelling of Wastewater Treatment Plant for Monitoring and Control Purposes by State – Space Wavelet Networks. International Journal of Computers, Communications & Control. 2007. V. II. N. 2. P. 121–131.

Об авторах:

БУТКО Денис Александрович

доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой водоснабжения
и водоотведения
Донской государственной технической университет
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
E-mail: Den_111@mail.ru

МОРОЗОВ Степан Александрович

аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения
Донской государственной технической университет
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
E-mail: Stepan.Morozov@inbox.ru

BUTKO Denis Al.

Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor,
Head of the Water Supply and Sanitation Chair
Don State Technical University
344000, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1
E-mail: Den_111@mail.ru

MOROZOV Stepan Al.

Post-graduate student of the Water Supply
and Sanitation Chair
Don State Technical University
344000, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1
E-mail: Stepan.Morozov@inbox.ru

Для цитирования: Бутко Д.А., Морозов С.А. Ошибки при проектировании малых и сверхмалых канализационных очистных сооружений северного исполнения, их расчет и анализ полученных результатов // Градостроительство и архитектура. 2025. Т. 15, № 3. С. 36–42. DOI: 10.17673/Vestnik.2025.03.05.
For citation: Butko D.A., Morozov S.A. Errors in the design of small and ultra-small waste water treatment plants of northern design, their calculation and analysis of the results obtained. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2025, vol. 15, no. 3, pp. 36–42. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2025.03.05.

Принята: 04.03.2025 г.