



Системы водоотведения на особо охраняемых территориях, проблемы и пути решения

В.Р. Чупин^{1✉}, В.Н. Кульков², Р.Н. Ярыгин³, Р.В. Чупин⁴, О.Л. Лавыгина⁵

^{1,2,3,4,5}Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Аннотация. Основой для жизнедеятельности современного города являются системы водоотведения хозяйственно-бытовых сточных вод, которые представляют собой сложную техническую систему, состоящую из множества сооружений по приему, сбору, транспортировке и очистке сточных вод, поступающих от жилых зданий, объектов социального и культурного назначения. От надежности работы каждого из перечисленных сооружений зависят санитарное состояние территории, комфортность проживания и способность города развиваться. Традиционно системы водоотведения имеют разветвленную структуру, что эффективно с позиции их эксплуатации. Однако вследствие отсутствия резервных линий и устройств, при засорении и закупорке самотечных коллекторов, выше их по течению происходит заполнение сточными водами свободного пространства в трубопроводах и колодцах. При этом в пониженной местности сточные воды, как правило, изливаются из смотровых колодцев на почву и попадают в водоемы, что негативно сказывается на экологии городской среды и сохранении уникальной флоры и фауны водных объектов, особенно таких, как в оз. Байкал. Однако на законодательном уровне в особо охраняемых территориях запрещен сброс неочищенных сточных вод на поверхность земли. В статье предлагается методика резервирования хозяйственно-бытовых сетей водоотведения и на примере г. Байкальска показывается ее эффективность. Статья может быть полезна для проектировщиков и лиц, принимающих решения о строительстве систем водоотведения на особо охраняемых территориях.

Ключевые слова: системы водоотведения хозяйственно-бытовых сточных вод, надежность и способы резервирования. Проектирование и эксплуатация систем водоотведения в центральной экологической зоне оз. Байкал

Для цитирования: Чупин В.Р., Кульков В.Н., Ярыгин Р.Н., Чупин Р.В., Лавыгина О.Л. Системы водоотведения на особо охраняемых территориях, проблемы и пути решения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 3. С. 550–559. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-3-550-559>. EDN: RNZESA.

Original article

Wastewater disposal systems in specially protected areas, problems and solutions

Viktor R. Chupin^{1✉}, Viktor N. Kulkov², Roman N. Yarygin³,
Roman V. Chupin⁴, Olga L. Lavygina⁵

^{1,2,3,4,5}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The basis for the life of a modern city are domestic wastewater disposal systems, which are a complex technical system consisting of a variety of facilities for receiving, collecting, transporting and treating wastewater coming from residential buildings, social and cultural facilities. The sanitary condition of the territory, the comfort of living and the ability of the city to develop depend on the reliability of each of the listed structures. Traditionally, wastewater disposal systems have an extensive structure, which is effective from the point of view of their operation. However, due to the lack of backup lines and devices, when gravity collectors become clogged and blocked upstream, sewage fills the free space in pipelines and wells. At the same time, in low-lying areas, wastewater is usually poured from observation wells onto the soil and enters reservoirs, which negatively affects the ecology of the urban environment and the

preservation of the unique flora and fauna of water bodies, especially those in lakes. Baikal. However, at the legislative level, the discharge of untreated wastewater to the earth's surface is prohibited in specially protected areas. The article proposes a methodology for reserving household sanitation networks and demonstrates its effectiveness using the example of the city of Baikalsk. The article may be useful for designers and decision makers on the construction of wastewater disposal systems in specially protected areas.

Keywords: domestic wastewater disposal systems, reliability and redundancy methods. Design and operation of wastewater disposal systems in the central ecological zone of Lake Baikal

For citation: Chupin V.R., Kulkov V.N., Yarygin R.N., Chupin R.V., Lavygina O.L. Wastewater disposal systems in specially protected areas, problems and solutions. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(3):550-559. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-3-550-559>. EDN: RNZESA.

ВВЕДЕНИЕ

К особо охраняемым территориям относятся заповедники, национальные парки и заказники. К таким важным для всего человечества водоемом и окружающей его территории относится оз. Байкал, которое охраняется Федеральным законом №94-ФЗ «Об охране оз. Байкал». В этом документе строго регламентируется хозяйственная деятельность в границах Байкальской природной территории и запрещается сброс неочищенных сточных вод как на поверхность земли, так и в водные объекты, в том числе не связанные с оз. Байкал.

Традиционно системы водоотведения имеют разветвленную структуру, что эффективно с позиции их эксплуатации, организации транспортировки сточных вод в безнапорном режиме за счет сил гравитации и наличия множества смотровых колодцев. Однако, по причине отсутствия резервных линий и устройств, при закупорке любого самотечного участка сети, сточные воды поднимаются в смотровых колодцах и выходят на поверхность земли и попадают в водные объекты, что негативно сказывается на экологии окружающей среды и сохранении уникальной флоры и фауны оз. Байкал.

Известными способами резервирования сетей являются устройства аварийно-регулирующих резервуаров, разгрузочных, кольцевых и дублирующих коллекторов. Самотечные трубопроводы имеют свободную емкость, которая может также использоваться как хранилище аварийных объемов сточных вод на время ликвидации аварийных ситуаций. К сожалению, перечисленные мероприятия практически не используются при проектировании и эксплуатации систем водоотведения по причине отсутствия методических рекомендаций, технологических и экономических обоснований, цифровых подходов к моделированию и анализу последствий от принимаемых

решений по тому или иному способу резервирования.

В СП 32.13330.2018 «Канализация. Наружные сети и сооружения» в подпункте 19 сказано: «Для бесперебойного действия системы водоотведения требуется предусматривать обеспечение следующих мероприятий: устройство аварийных (буферных) емкостей с последующей откачкой из них в нормальном режиме», «Для снижения величины пикового расхода сточных вод и для аккумулирования расхода сточных вод во время аварий на напорных трубопроводах допускается устройство регулирующих или аварийно-регулирующих резервуаров».

Следует отметить, что история развития нормативной базы проектирования систем водоотведения показала, что с каждой новой редакцией СП ужесточались требования к возможным выходам неочищенных сточных вод на поверхность территории населенных мест, и в настоящее время не допускается сброс неочищенных сточных вод на поверхность земли как при плановых отключениях, так и при любой аварийной ситуации.

Также предлагается производить резервирование сетей путями параллельной прокладки дополнительного трубопровода, строительства разгрузочных коллекторов, работающих по схеме кольцевых сетей, использования аккумулирующей емкости самотечных коллекторов и временного резервирования в виде аварийных емкостей. Но на данный момент в сводах правил отсутствуют рекомендации по организации того, или иного способа резервирования.

МЕТОДЫ

Были исследованы различные способы резервирования, разработаны методы моделирования перемещения сточных вод по основным и резервным трубопроводам в напорных и безнапорных режимах, с учетом возможного

выхода неочищенных стоков из колодцев на поверхность земли и затопления территории, разработаны методы схемно-структурной оптимизации новых и реконструируемых систем водоотведения, обоснованы области применения различных способов резервирования и показаны их экономическая и технологическая целесообразность применения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки способов резервирования принят количественный показатель надежности систем водоотведения:

$$\gamma = 1 - \frac{Q_{\text{сбр}}}{Q}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{сбр}}$ – расход сточных вод, в м³/год, который попадает на поверхность земли без очистки (аварийное отключение участков сети, сверхнормативное поступление сточных вод в систему и др.), Q – расход сточной жидкости, который бы транспортировался системой водоотведения на КОС за год в безаварийном режиме. Для систем водоотведения древовидной структуры профессор С.Ю. Игнатчик предложила следующую формулу [1–4]:

$$Q_{\text{сбр}} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i^{\text{сбр}} \cdot y_i}{\prod_{i=1}^n (1 + y_i)}, \quad y_i = \lambda_i / \mu_i. \quad (2)$$

где $q_i^{\text{сбр}}$ – объем сточных вод, м³/год, который будет попадать на поверхность земли в

результате аварии на участке, i , λ_i , μ_i – интенсивности отказов и восстановлений данного участка, приведенные к году, n – количество участков сети. Формула (2) представляет собой сумму аварийных расходов по каждому участку сети на время нахождения этих участков в нерабочем состоянии за год. Для разветвленной сети расходы $q_i^{\text{сбр}}$ будут соответствовать значениям их в рабочем состоянии, $q_i^{\text{сбр}} = q_i$. Формула (2) справедлива и для резервированных участков сети путем их параллельной прокладки. При этом эквивалентная интенсивность отказов из различных параллельно соединенных элементов, один из которых находится в работе, второй в резерве (холодное резервирование), определяется по формуле [5, 6]:

$$\lambda_{\text{ЭКВ}} = - \frac{\ln[1 - (1 - e^{-\lambda_1 t}) \cdot (1 - e^{-\lambda_2 t})]}{t}. \quad (3)$$

На побережье оз. Байкал проживает около 100 тыс. человек, примерно в 80 населенных пунктах. Наиболее крупные из них: г. Северобайкальск (21 тыс. чел), г. Слюдянка (18 тыс. чел), г. Байкальск (10,5 тыс. чел), г. Бабушкин (5,5 тыс. чел), п. Выдрино (4,4 тыс. чел), п. Нижний Ангарск (3,7 тыс. чел), п. Листвянка (2 тыс. чел) и др. На рис. 1 представлена схема основных коллекторов системы водоотведения г. Байкальска.

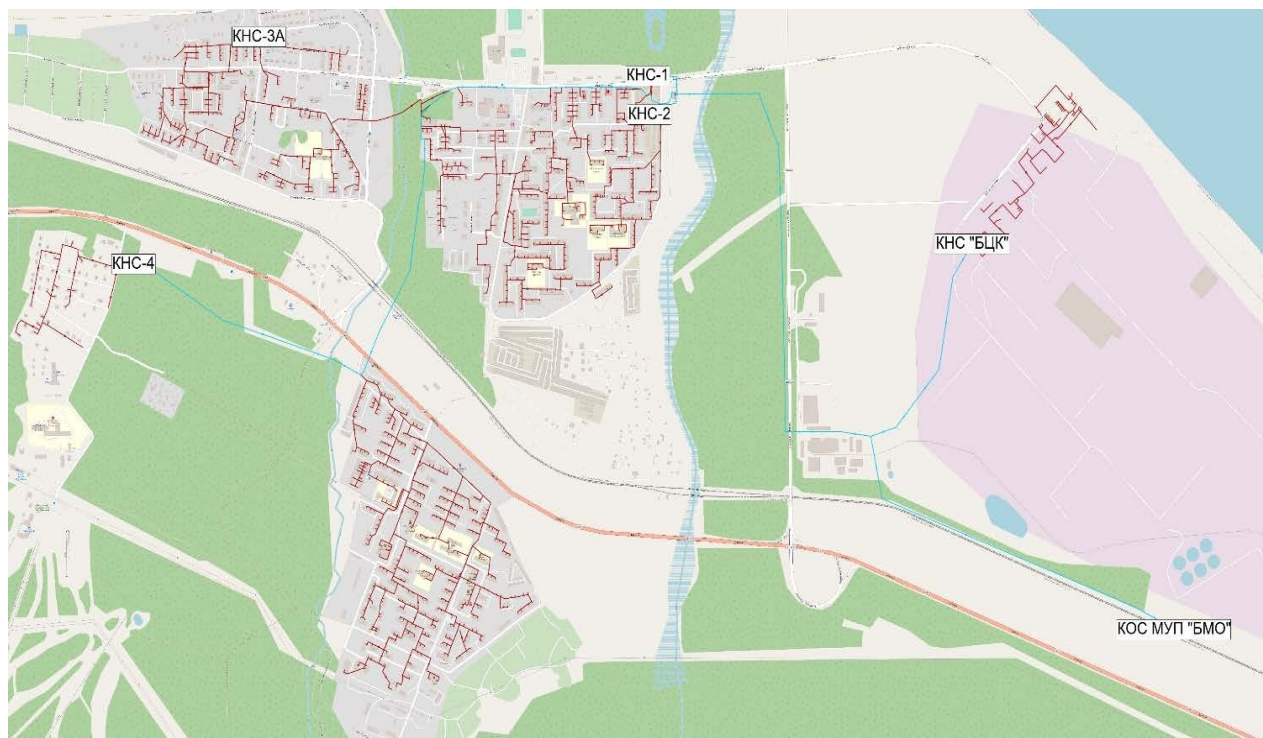


Рис. 1. Схема магистральных коллекторов хозяйственно-бытовой системы водоотведения г. Байкальска

Fig. 1. The scheme of the main collectors of the household drainage system of the city of Baikalsk

Сеть водоотведения организована для каждого района и имеет 4 КНС для сбора и транспортировки сточных вод на КОС, рельеф местности сложный и перепад отметок составляет 120 м, город находится на склоне, обращенном к берегу оз. Байкал.

Система водоотведения г. Байкальска запроектована и функционирует по разветвленной схеме уже больше 50 лет (нормативный срок службы 40 лет), общая протяженность сетей 50 км, трубы в основном чугунные, износ приблизился к 80 %, интенсивность отказов составляет 0,05 ед. на км в год. КНС-1, КНС-2 и КНС-3 имеют по одному напорному трубопроводу длиной 1800, 300 и 700м. При

выходе из строя любого участка сети неочищенные сточные воды попадают на поверхность земли и сливаются в оз. Байкал. Такие аварийные ситуации наблюдаются 1–3 раза в год.

Требуется незамедлительная перекладка труб на новые (желательно из полиэтилена) и резервирование сетей с целью недопущения попадания сточных вод на поверхность земли и в оз. Байкал.

Рассмотрим существующую систему водоотведения района Южный г. Байкальска Иркутской области (рис. 2) и произведем оценку надежности ее работы. Результаты расчета представлены в табл. 1.



Рис. 2. Расчетная схема системы водоотведения района Южный г. Байкальск
Fig. 2. Calculation scheme of the drainage system of the Yuzhny district of Baikalsk

Трубы чугунные, интенсивность отказов для которых вычисляется по формуле [7,8]:

$$\lambda_i = 0,22 \cdot d_i^{-1,15} \quad (4)$$

С учетом формул (1), (2) проведена оценка надежности функционирования системы водоотведения района Юбилейный и результаты расчетов представлены в табл. 1.

$$P = 1 - \frac{\Delta Q}{Q} = 1 - \frac{4071,2}{654056,6} = 0,9938.$$

Таким образом, за один год на поверхность земли и в оз. Байкал попадает 4,1 тыс. м³ неочищенных сточных вод. Эти сточные воды наносят экологический ущерб флоре и фауне оз. Байкал, который можно вычислить, согласно Приказу № 87 Минприроды и экологии РФ от 13.04.2009 г. «Об утверждении методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства» ущерб водному объекту», по следующей формуле:

$$Y = K_{вр} \cdot K_{в} \cdot K_{ин} \cdot \sum_{i=1}^n (M_i \cdot H_i \cdot K_{из}), \quad (5)$$

где Y – размер ущерба, тыс. руб.; $K_{вр}$ – коэффициент, учитывающий природно-

климатические факторы, для оз. Байкал он равен 1,25; $K_{в}$ – коэффициент, учитывающий экологические факторы, для оз. Байкал он равен 2,8; $K_{ин}$ – коэффициент, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития по отношению к 2007 г., для 2025 г. он равен – 4,1; H_i – таксы для исчисления размера вреда от сброса i-го загрязняющего вещества, определяется по таблице 3 методики расчета, тыс. руб. за тонну; $K_{из}$ – коэффициент, учитывающий интенсивность негативного воздействия вредных загрязняющих, и согласно методики, назначается в зависимости от кратности превышения фактической концентрации над ее допустимыми значениями и имеет значения от 1 до 5; M_i – масса сброшенного i-го вредного загрязняющего вещества, в тоннах:

$$M_i = Q \cdot (C_{\phi i} - C_{di}) \cdot T \cdot 10^{-6}, \quad (6)$$

где Q – расход сточной жидкости, поступающий в водоем без очистки, м³/ч; $C_{\phi i}$, C_{di} – концентрация i-го вредного загрязняющего вещества в мг/л за время T, (в часах) и его допустимая концентрация в водном объекте, в мг/л.

Таблица 1. Расчет показателей надежности системы водоотведения района Юбилейный

Table 1. Calculation of indicators of reliability of the drainage system of the Yubileyny district

№ участка	Расход, л/с	D, мм	L, м	λ_i , 1/км в год	μ_i , 1 в год	$1 + \lambda_i / \mu_i$	$1 / \prod_{i=1}^n (1 + y_i)$	$Q_{сбр}$, T=1 год
10-9	5.67	200	238	0,333	175,8	1,0019	0,984	345,3
9-6	5.67	200	167	0,234	175,8	1,0013	0,984	236,2
6-2	8.09	250	189	0,205	139	1,0015	0,984	388,9
11-8	4.93	200	266	0,372	175,8	1,0021	0,984	331,8
8-3	6.52	300	307	0,270	115,6	1,0023	0,984	480,6
3-2	8.42	300	188	0,165	115,6	1,0014	0,984	377,8
2-1	16.57	300	130	0,114	115,6	1,0010	0,984	531
1-КОС	20.74	300	240	0,211	115,6	1,0018	0,984	1196,4
7-3	1.9	250	164	0,178	139	1,0013	0,984	79,2
5-1	2.95	200	140	0,196	175,8	1,0011	0,984	104
Σ						$\prod_{i=1}^n (1 + y_i) = 1.01581$		4071,2

Допустимая концентрация вредных загрязняющих веществ установлена Приказом Минприроды России от 21.02.2020 № 83 (ред. от 04.07.2022) «Об утверждении нормативов предельно допустимых воздействий на уникальную экологическую систему озера Байкал и перечня вредных веществ, в том числе веществ,

относящихся к категориям особо опасных, высоко опасных, опасных и умеренно опасных для уникальной экологической системы озера Байкал» (Зарегистрировано в Минюсте России 23.04.2020 № 58181).

В табл. 2 представлены расчеты экологического ущерба.

Таблица 2. Расчет ущерба от сброса 4,1 тыс. м³/год хозяйственно-бытовых сточных вод в оз. Байкал

Table 2. Calculation of damage caused by the discharge of 4.1 thousand cubic meters per year of domestic wastewater into the lake. Baikal

№ п/п	Наименование вещества	Концентрация, мг/л	ПДК мг/л	Кратность превышения	Такса, Тys. руб.	Масса вредных загрязнений (M_i), тонны	$K_{из}$	$K_{вр} \cdot K_{в} \cdot K_{ин}$	Размер вреда, тыс. руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Взвешенные вещества	110	0,3	367	30	0,497	5	71,505	1067,08
2	БПК полн.	180	3	60	170	0,726	5	71,505	8831,2
3	ХПК	250	5,52	45,3	10	1,002	2	28,602	286,5
4	Жиры	40	1	40	280	0,074	2	28,602	1279,9
5	Азот аммонийный	18	0,01	1800	4350	0,074	5	71,505	22861,7
6	Нефтепродукты	1,0	0,01	100	4350	0,004	5	71,505	1276
7	СПАВ (анионные)	2,5	0,005	500	4800	0,01	5	71,505	3520
8	Фосфаты	2,0	0,01	200	4350	0,008	5	71,505	2552
9	хлориды	45	0,47	96	280	0,184	5	71,505	3696
10	сульфаты	40	5,53	7,2	10	0,141	1	14,301	20,2
11	Сухой остаток	300	8,3	36,2	10	1,19	2	28,602	340,3
12	железо	2.2	0,00053	4151	240100	0,009	5	71,505	161398,9
	ИТОГО								198582,9

Таким образом, согласно табл. 2, ущерб от попадания неочищенных сточных вод в оз. Байкал в размере 4,1 тыс. м³ в год составляет 198,6 млн руб. в год.

На основе методики и методов схемно-структурной оптимизации и резервирования хозяйственно-бытовых сетей водоотведения, изложенных в работах [9, 10], были определены оптимальные способы резервирования сети водоотведения. Сущность методики и методов оптимизации и резервирования заключается в следующем. Строится избыточная схема (рис. 2). На избыточной схеме для каждого участка формируются возможные варианты резервирования (параллельная прокладка дополнительного напорного и безнапорного трубопровода, устройство аварийно-регулирующего резервуара, использование аккумулирующей способности самотечных коллекторов, кольцевание напорными и безнапорными трубопроводами). Далее, избыточная сеть достраивается до транспортной сети (абоненты замыкаются на узел входа потоков, возможные существующие или новые

узлы сброса потоков сточной жидкости или КОС, замыкаются на узел входа потоков). Решается задача поиска максимального потока минимальной стоимости и определяются наилучшие способы резервирования каждого из участков сети водоотведения.

На рис. 3 показана такая резервированная схема водоотведения микрорайона Южный, в которой участки 3-2, 2-1, 1-КОС имеют параллельные самотечные коллекторы, работающие в холодном резерве (только в случае возникновения аварийной ситуации) и кольцевые участки 1-4, 5-4, 6-5, 9-4, 7-6, 8-7, 11-10, работающие в холодном резерве. Для полученной таким образом резервированной схемы водоотведения согласно формулам (1)–(3) производится оценка надежности ее функционирования.

Для определения аварийных расходов сточной жидкости используется методика расчета распределения потоков сточной жидкости в циклическом графе, в котором каждый смотровой колодец замыкается на узел с атмосферным давлением [11–14].



Рис. 3. Резервированная схема системы водоотведения района Южный г. Байкальск
Fig. 3. Redundant scheme of the drainage system of the Yuzhny district of Baikal'sk

Результаты расчетов представлены в табл. 3, из которой видно, что надежность увеличилась до пяти девяток после запятой, а расход сточной жидкости, попадающей на поверхность земли, сократился до величины 131,6 м³ в год.

$$P = 1 - \frac{\Delta Q}{Q} = 1 - \frac{131,6}{654056,6} = 0,999985.$$

В итоге, потребовалось устройство полиэтиленовых труб, диаметром 200 мм, протяженностью 19 530,3 м, диаметром 315 мм, протяженностью 865 м. Единовременные капиталовложения составили 28,2 млн руб.

При этом величина годового ущерба сократилась с 198,6 до 6,4 млн руб., т.е. на 192,1 млн руб.

Таким образом, вкладывая 28,2 млн рублей на резервирования сетей, сокращаем годовой ущерб в 192 млн руб. В г. Байкальск три таких района: Южный, Гагарина, Строителей. Эти районы, по величине нагрузки и протяженности сетей одинаковые. В целом по городу, как показали проведенные расчеты при актуализации схемы водоснабжения и водоотведения, на резервирование сетей требуется примерно 100 млн руб. Годовой ущерб сокращается на 600 млн руб.

Таблица 3. Расчет показателей надежности системы водоотведения с холодным резервированием участков сети параллельной прокладкой и кольцеванием
Table 3. Calculation of indicators of reliability of the drainage system with cold redundancy of network sections parallel routing and banding

№ участка	Расход, л/с	D, мм	L, м	λ_i , 1/км в год	μ_i , 1 в год	$1 + \lambda_i / \mu_i$	$1/\prod_{i=1}^n (1 + y_i)$	$Q_{сбр}(T = 1 \text{ год}), \text{ м}^3/\text{год}$
1-КОС	11,5	300	240	0,004	115,6	1,000034	0,9994	123,3
2-1	7	300	130	0,002	115,6	1,000017	0,9994	3,8
3-2	5,5	300	188	0,003	115,6	1,000026	0,9994	4,5
4-КОС	0	200	270	0,0071	175,8	1,00004	0,9994	0
5-1	0	200	140	0,0036	175,8	1,000021	0,9994	0
5-4	0	200	141	0,0036	175,8	1,000021	0,9994	0
6-2	0	250	189	0,004	139,0	1,000029	0,9994	0
6-5	0	200	198	0,0052	175,8	1,00003	0,9994	0
7-3	0	250	164	0,0039	139,0	1,00003	0,9994	0
7-6	0	200	191	0,005	175,8	1,00003	0,9994	0
8-3	0	300	307	0,004	115,6	1,000028	0,9994	0
8-7	0	200	152	0,0048	175,8	1,000028	0,9994	0
9-9	0	200	484	0,013	175,8	1,000073	0,9994	0
9-6	0	200	167	0,005	175,8	1,00003	0,9994	0
10-9	0	200	238	0,0053	175,8	1,000031	0,9994	0
11-8	0	200	266	0,0054	175,8	1,000031	0,9994	0
11-10	0	200	226	0,0053	175,8	1,000031	0,9994	0
						$\prod_{i=1}^n (1 + y_i) = 1.00051$		$\sum 131,6$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Системы водоотведения, устраиваемые на особо охраняемой территории должны проектироваться и эксплуатироваться с учетом резервирования участков сени и сооружений.

Для обоснования параметров резервирования систем водоотведения предлагается метод комплексной оптимизации структуры, параметров и способов резервирования систем

водоотведения. При разработке перспективной схемы системы водоотведения г. Байкальск были использованы предлагаемые в работе методики и программный комплекс Трасе-ВК, что позволило оперативно обосновать за счет методов структурного и временного резервирования надежную схему отведения сточных вод на КОС за 100 млн рублей и предотвратить годовой ущерб на 600 млн руб.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеев М.И., Ермолин Ю.А. Использование оценки надежности стареющих канализационных сетей при их реконструкции // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 6. С. 21–24. EDN: HSDIZD.
2. Алексеев М.И., Ермолин Ю.А. Надежность систем водоотведения. СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2010. 165 с. EDN: QNOXUD.
3. Игнатчик С.Ю. Обеспечение надежности и энергосбережения при расчете сооружений для транспортирования сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 8. С. 56–63. EDN: MTXLUT.
4. Игнатчик С.Ю. Расчет надежности, безопасности и инвестиционной эффективности сети водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 12. С. 57–67. EDN: ONKXVX.
5. Чупин В.Р., Бобер В.А. Структурное резервирование централизованных систем водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2025. № 6. С. 26–35. <https://doi.org/10.35776/VST.2025.06.04>. EDN: BTENDR.
6. Чупин В.Р., Мелехов Е.С., Бобер В.А. Развитие методов оценки и повышения надежности централизованных систем водоотведения // Известия вузов. Строительство. 2025. № 6. С. 86–105. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2025-798-6-86-105>. EDN: CWRVYKX.
7. Примин О.Г. Обеспечение надежности и экологической безопасности напорных канализационных трубопроводов // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 11. С. 59–64. EDN: RESFXR.

8. Примин О.Г. Надежность систем водоснабжения и водоотведения. М.: Изд-во МИСИ–МГСУ, 2021. 68 с.
9. Чупин В.Р., Мороз М.В., Бобер В.А. Обоснование диаметров трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения на основе минимизации затрат их жизненного цикла // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 4. С. 52–58. <https://doi.org/10.35776/VST.2022.04.07>. EDN: CIOYJH.
10. Бобер В.А., Чупин В.Р., Скибо Д.В., Дударев В.И. Повышение надежности работы системы водоотведения за счет аккумулирующей способности самотечных коллекторов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 2. С. 213–226. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-213-226>. EDN: PCWTRI.
11. Чупин В.Р., Ярыгин Р.Н., Бобер В.А. Повышение надежности систем водоотведения за счет использования аккумулирующей способности самотечных коллекторов // Известия вузов. Строительство. 2024. № 4. С. 137–152. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2024-784-4-137-152>. EDN: FWKFKFA.
12. Чупин В.Р., Бобер В.А. Оптимизация структуры и параметров напорно-безнапорных трубопроводных систем // Автоматизация и информатизация ТЭК. 2023. № 12. С. 65–69. [https://doi.org/10.33285/2782-604X-2023-12\(605\)-65-69](https://doi.org/10.33285/2782-604X-2023-12(605)-65-69). EDN: KELZRE.

REFERENCES

1. Alekseev M.I., Ermolin Yu.A. The Use of Reliability Evaluation of the Aging Sewerage Networks for Their Reconstruction. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2004;6:21-24. (In Russ.). EDN: HSDIZD.
2. Alekseev M.I., Ermolin Yu.A. *Reliability of Water Drainage Systems*. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2010. 165 p. (In Russ.). EDN: QNOXUD.
3. Ignatchik S.Yu. Ensuring Reliability and Energy Saving in the Calculation of Wastewater Transportation Facilities. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2010;8:56-63. (In Russ.). EDN: MTXLUT.
4. Ignatchik S.Yu. Estimation of Reliability, Safety and Investment Efficiency of a Wastewater Disposal System. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2011;12:57-67. (In Russ.). EDN: ONKXVX.
5. Chupin R.V., Bober V.A. Structural Redundancy of Public Wastewater Disposal Systems. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2025;6:26-35. (In Russ.). <https://doi.org/10.35776/VST.2025.06.04>. EDN: BTENDR.
6. Chupin R.V., Melekhov E.S., Bober V.A. Development of Methods for Assessing and Improving the Reliability of Centralized Wastewater Disposal Systems. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2025;6:86-105. (In Russ.). <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2025-798-6-86-105>. EDN: CWRKYX.
7. Primin O.G. Ensuring Reliable and Environmentally Safe Operation of Pressure Sewers. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2013;11:59-64. (In Russ.). EDN: RESFXR.
8. Primin O.G. *Reliability of Water Supply and Sanitation Systems*. Moscow: Publishing House of MISI-MGSU, 2021. 68 p. (In Russ.).
9. Chupin R.V., Moroz M.V., Bober V.A. Substantiation of the Diameters of Pipelines of Water Supply and Wastewater Disposal Systems Based On Minimizing the Costs of Their Life Cycle. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2022;4:52-58. (In Russ.). <https://doi.org/10.35776/VST.2022.04.07>. EDN: CIOYJH.
10. Bober V.A., Chupin R.V., Skibo D.V., Dudarev V.I. Improving Reliability of a Sewer System Through Accumulating Capacity of Gravity-Flow Sewers. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(2):213-226. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-213-226>. EDN: PCWTRI.
11. Chupin R.V., Yarygin R.N., Bober V.A. Increasing the Reliability of Drainage Systems Through the Use of the Accumulating Capacity of Gravity Collectors. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2024;4:137-152. (In Russ.). <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2024-784-4-137-152>. EDN: FWKFKFA.
12. Chupin V.R., Bober V.A. Optimization of Structure and Parameters of Pressure-Free Flow Pipeline Systems. *Automation and Informatization of the Fuel and Energy Complex*. 2023;12:65-69. (In Russ.). [https://doi.org/10.33285/2782-604X-2023-12\(605\)-65-69](https://doi.org/10.33285/2782-604X-2023-12(605)-65-69). EDN: KELZRE.

Информация об авторах

Чупин Виктор Романович

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой городского строительства и хозяйства, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, ✉e-mail: chupinvr@istu.edu <https://orcid.org/0000-0001-5460-4780>
Author ID: 475565

Information about the authors

Victor R. Chupin,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of Urban Construction and Economy, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia, ✉e-mail: chupinvr@istu.edu <https://orcid.org/0000-0001-5460-4780>
Author ID: 475565

Кульков Виктор Николаевич,

д.т.н., профессор,
профессор кафедры инженерных коммуникаций
и систем жизнеобеспечения,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: kulkof.viktor@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3838-0777>
Author ID: 730720

Victor N. Kulkov,

Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Professor of the Department of Engineering
Communications and Life Support Systems,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: kulkof.viktor@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3838-0777>
Author ID: 730720

Ярыгин Роман Николаевич

аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: yarygin.r@hydrig.ru

Roman N. Yarygin,

Postgraduate Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: yarygin.r@hydrig.ru

Чупин Роман Викторович,

д.т.н., профессор кафедры городского
строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: ch-r-v@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6163-909x>
Author ID: 504512

Roman V. Chupin,

Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department
of Urban Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: ch-r-v@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6163-909x>
Author ID: 504512

Лавыгина Ольга Леонидовна,

к.т.н., доцент, доцент кафедры
городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
*e-mail: olgakot81@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9558-5018>
Author ID: 689382

Olga L. Lavygina,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Urban Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
*e-mail: olgakot81@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9558-5018>
Author ID: 689382

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and
approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 05.05.2025.
Одобрена после рецензирования 26.05.2025.
Принята к публикации 27.05.2025.

Information about the article

The article was submitted 05.05.2025.
Approved after reviewing 26.05.2025.
Accepted for publication 27.05.2025.