

**Повышение надежности работы системы водоотведения
за счет аккумулирующей способности самотечных коллекторов****В.А. Бобер¹, Р.В. Чупин², Д.В. Скибо³, В.И. Дударев⁴**^{1,2,4}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия³МУП «Водоканал», г. Иркутск, Россия

Аннотация. Повышение надежности систем водоотведения обеспечивается мероприятиями и сооружениями, предотвращающими попадание неочищенных сточных вод в грунт и на поверхность земли. К таким мероприятиям относятся резервирование напорных и безнапорных трубопроводных участков сети, использование их аккумулирующей способности и устройство аварийно-регулирующих резервуаров. В работе исследуется аккумулирующая способность самотечной системы водоотведения. Предлагается алгоритм вычисления аккумулирующей емкости существующих систем водоотведения. Рассматриваются способы увеличения аккумулирующей емкости существующих систем за счет перекладки коллекторов на большие диаметры и за счет применения блокирующих устройств (типа «обратный клапан») в смотровых колодцах с целью предотвращения поступления сточных вод на поверхность земли и перевода движения сточных вод из самотечного режима в напорный. На примере имеющейся в г. Иркутске канализационно-насосной станции КНС-18 исследуется возможность аккумулирующей емкости существующих самотечных коллекторов района канализования обеспечения отключения насосной станции на время ликвидации аварии на 6 ч. На основе проведенных расчетов с целью повышения аккумулирующей способности самотечной сети до требуемых значений предлагается в пяти смотровых колодцах поставить блокирующие устройства. В статье предлагается методика расчета и формирования требуемой аккумулирующей способности проектируемых, существующих и реконструируемых СБВ. Результаты исследований будут полезны при актуализации схемы развития систем водоснабжения и водоотведения города.

Ключевые слова: централизованные системы водоотведения, аккумулирующая способность самотечных систем водоотведения, расчет и повышение надежности

Для цитирования: Бобер В.А., Чупин Р.В., Скибо Д.В., Дударев В.И. Повышение надежности работы систем водоотведения за счет аккумулирующей способности самотечных коллекторов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 2. С. 213–226. <https://elibrary.ru/pcwtri>. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-213-226>.

Original article**Improving reliability of a sewer system through accumulating
capacity of gravity-flow sewers****Victor A. Bober¹, Roman V. Chupin², Denis V. Skibo³, Vladimir I. Dudarev⁴**^{1,2,4}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia³MUP "Vodokanal", Irkutsk, Russia

Abstract. Improving the reliability of sewer systems involves implementing measures and facilities to prevent the discharge of untreated sewage onto the ground or surface. These measures include the redundancy of both pressurized and non-pressurized pipelines within the network, as well as the use of their accumulating capacity and emergency wastewater tanks. The accumulating capacity of a gravity-flow sewer system was examined in this work. An algorithm for calculating the accumulating capacity of existing sewer systems was proposed. Additionally, the study explored methods to enhance accumulating capacity by replacing smaller diameter manifolds with larger ones and implementing blocking devices

© Бобер В.А., Чупин Р.В., Скибо Д.В., Дударев В.И., 2023

(back-flow barriers) in control wells to prevent wastewater from reaching the surface and to transfer wastewater flow from gravity-flow to pressurized mode. In order to investigate the accumulating capacity of existing gravity-flow collectors in the sewerage handling area to maintain operations during a 6-hour pump station shutdown resulting from an accident, the sewerage pumping station-18 (SPS-18) in Irkutsk was taken as an example. On the basis of the performed calculations, it is suggested that five control wells be equipped with blocking devices in order to increase the accumulating capacity of the gravity-flow network to the required levels. The article offers a methodology for calculating and developing the required accumulating capacity of the designed, existing, and reconstructed sewer systems. The research findings can be useful for updating the development plan for the water supply and wastewater disposal systems of the city.

Keyword: centralized drainage systems, accumulating capacity of gravity drainage systems, calculation and improvement of reliability

For citation: 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. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(2):213-226. (In Russ.). <https://elibrary.ru/pcwtri>. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-213-226>.

ВВЕДЕНИЕ

Особенностями устройства систем водоотведения является наличие трубопроводов с самотечным движением сточных вод. При этом, если позволяет рельеф местности, формируются бассейны водоотведения из самотечных коллекторов, через которые сточные воды от абонентов поступают на канализационные насосные станции. Далее, сточные воды перекачиваются в другие бассейны водоотведения, или на очистные сооружения. Если водопроводные системы, как правило, устраиваются в виде кольцевых и дублирующих трубопроводов, то системы водоотведения имеют древовидную структуру, как наиболее эффективную для организации движения сточных вод в самотечном режиме. Однако такие структуры не всегда обеспечивают надежную работу системы водоотведения и при выходе из строя любого участка сети, сточные воды могут оказаться на поверхности земли и нанести значительный экологический ущерб территории.

Неполадки и аварии, которые могут привести к выходу стоков на поверхность земли, следующие:

- засоры, закупорка трубопроводов;
- разломы трубопроводов, истирание стенок и образование отверстий;
- образование свищей, разрывов в напорных трубопроводах в следствие гидравлических ударов и от механических повреждений и др.;
- остановка работы насосных станций в следствие отключения электроэнергии и по другим причинам.

К мероприятиям, предотвращающим попадание сточных вод на поверхность земли, можно отнести следующие [1–5]:

1. Использование аккумулирующих емкостей безнапорных коллекторов и канализационных колодцев.

2. Устройство блокирующих устройств в колодцах, предотвращающих выход стоков на поверхность земли.

3. Устройство резервных напорных и безнапорных трубопроводов.

4. Устройство разгрузочных коллекторов постоянного и временного действия.

5. Переход на кольцевые структуры из напорных и безнапорных трубопроводов

6. Устройство аварийно-регулирующих резервуаров.

Более подробно рассмотрим первый способ – использование аккумулирующих емкостей безнапорных коллекторов и канализационных колодцев.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

Поскольку самотечные коллектора проектируются на пропуск максимального расхода сточной жидкости при работе не полным сечением (наполнение в трубопроводе принимается в диапазоне 0,3–0,7), то всегда будет в наличии свободная емкость трубопровода. Если закупорился коллектор или был отключен на время ликвидации аварийной ситуации, то выше по течению в трубопроводах будет заполняться эта свободная емкость и емкость колодцев до момента их выхода на поверхность земли. В первую очередь стоки будут выходить на поверхность земли в колодцах, расположенных в пониженной местности. Именно эти колодцы и будут определять возможную аккумулирующую способность бассейна водоотведения. Общепринято не допускать поднятие уровня сточных вод в колодце выше 0,2 м под крышкой люка.

Очевидно, при проектировании самотечных коллекторов необходимо предусматривать их аккумулирующую емкость на время ликвидации в них засоров или проведении профилактических мероприятий. При проектировании канализационных насосных станций необходимо предусматривать аккумулирующую способность всего бассейна канализования на время возможной остановки ее работы. К сожалению, как показал проведенный анализ существующих систем водоотведения, их аккумулирующие емкости не обеспечивают хранения требуемого объема аварийных стоков.

Определение расчетной емкости

Аварийная ситуация на насосной станции может произойти в любой момент времени. Поскольку поступление сточных вод в приемный резервуар канализационно-насосной станции (КНС) контролируется, накапливаются статистические данные по часам, суткам и годам. Поэтому на основании гистограмм этих значений можно построить наиболее вероятный график поступления сточных вод в сутки максимального водопотребления.

Согласно нормативным данным время на ликвидацию аварийной ситуации принимается от 6–12 ч, например, 6 ч. Определим время возникновения аварийной ситуации, при которой потребуется наибольшая емкость аккумуляирования. Алгоритм нахождения такого

времени будет следующим. Пусть авария произошла в 0 часов, тогда потребная емкость будет равна сумме часовых расходов, поступающих в приемный резервуар от 0 до 6 часов утра. Пробегая значения начала аварии от 1, 2, ..., 24 ч, несложно вычислить для каждого случая потребную аккумулирующую емкость и в качестве расчетной принять максимальную. Далее, для этих шести часов, которые формируют максимальную емкость, необходимо провести гидравлические расчеты самотечных коллекторов рассматриваемого бассейна канализования и определить для каждого трубопровода наполнение, а затем по профилю сети, вычислить их аккумулирующую способность.

Если ее значение будет больше чем потребная емкость, то считается что самотечная система коллекторов обладает такой аккумулялирующей способностью и на время ликвидации аварии обеспечит хранения аварийных стоков без выхода их на поверхность земли. Если будет меньше, т.е. не обеспечит хранение аварийного стока, то потребуется перекладка коллекторов на большие диаметры, или установка в колодцах блокирующих устройств (типа обратных клапанов). Обратные клапана переведут в напорный режим и увеличат аккумулялирующую емкость сети [6–13].

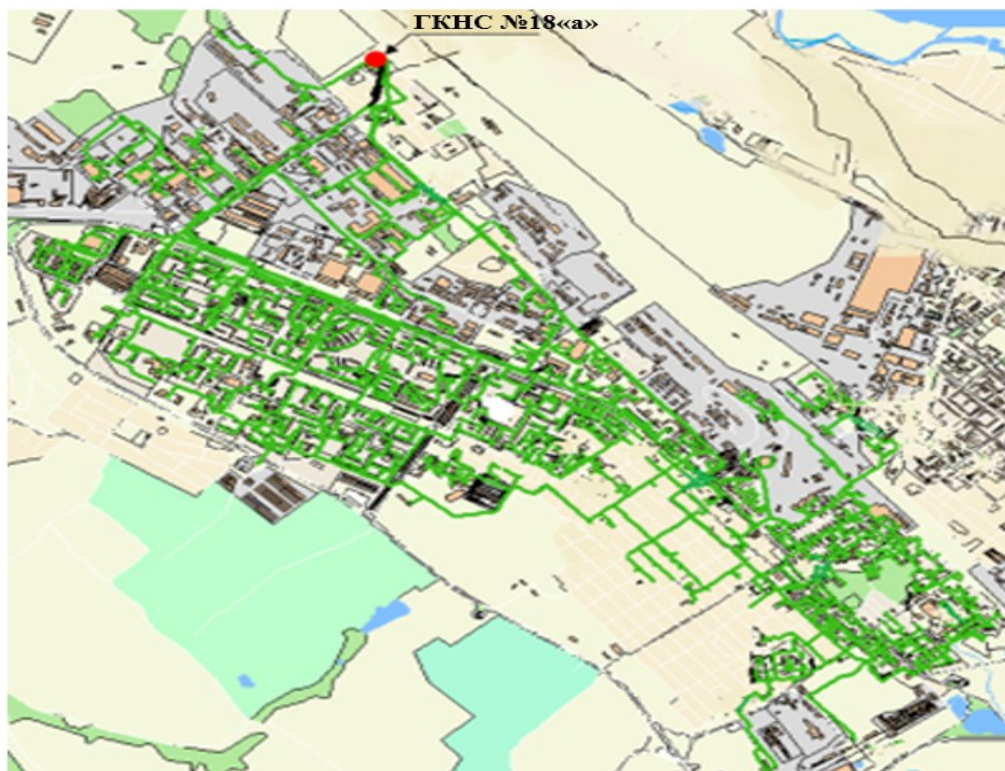


Рис. 1. Схема безнапорной системы водоотведения на канализационно-насосной станции 18-а
Fig. 1. Diagram of a non-pressurized drainage system at the sewage pumping station 18-a

ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве расчетной модели для исследования аккумулирующей способности системы водоотведения в статье рассмотрена существующая главная канализационная насосная станция (ГКНС-18а), расположенная в микрорайоне Ново-Ленино г. Иркутска. ГКНС-18а перекачивает хозяйственно-бытовые сточные воды от бассейна водоотведения на очистные сооружения Левого берега р. Ангара в количестве 17 тыс. м³/сут. Протяженность 2 напорных трубопроводов диаметром 1000 мм составляет 3,13 км каждый. Фактическая численность населения в границах бассейна водоотведения насчитывает около 100 тыс. жителей. Отведение хозяйственно-бытовых сточных вод осуществляется по полной раздельной

системе.

Поле обработке статистических данных по поступлению сточных вод в приемный резервуар КНС-18а был получен наиболее вероятный график, который представлен на рис. 2, а его числовые значения представлены в табл. 1 (столбец 3).

Определим неблагоприятное время возникновения аварийной ситуации. Для этого, начиная с 0 часа вычислим суммарный расход, поступающий на КНС за время ликвидации аварийной ситуации, т.е. за 6 ч с 0–6, затем с часу ночи, т.е. с 1–7 ч и т.д. Результаты вычислений представлены в табл. 1 (столбец 4). Как видно из таблицы максимальный аварийный расход сточных вод будет наблюдаться, начиная с 21 ч, т.е., с 21 ч–2 ч ночи.

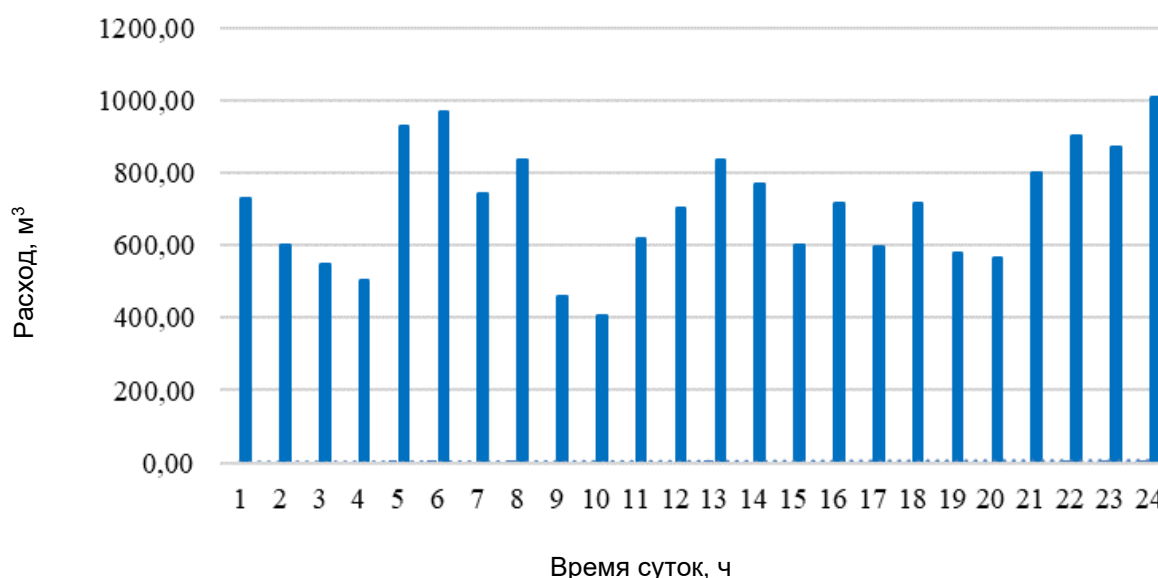


Рис. 2. График внутри суточной неравномерности притока сточных вод на канализационно-насосной станции 18-а в г. Иркутске

Fig. 2. Graph of intra-day irregularity of wastewater inflow at sewage pumping station 18-a in Irkutsk

Табл. 1. Значения неравномерности притока сточных вод на канализационно-насосной станции 18-а по часам суток

Table 1. Values of the uneven inflow of wastewater at the sewage pumping station 18-a by the hour of the day

Часы суток	Суточная неравномерность, %	Расход $Q_{\text{час}}$, м ³ /ч	Объем стоков V_6 при 6-часовой аварии, м ³
1	2	3	4
0–01	4,285	728,391	4278,662
01–02	3,536	601,050	4293,943
02–03	3,226	548,416	4526,553
03–04	2,966	504,271	4438,263
04–05	5,463	928,741	4338,762
05–06	5,693	967,793	4026,98
06–07	4,375	743,672	3763,124
07–08	4,904	833,660	3854,81

Окончание табл. 1

Часы суток	Суточная неравномерность, %	Расход $Q_{час}$, м3/ч	Объем стоков V_6 при 6-часовой аварии, м3
08–09	2,707	460,126	3790,29
09–10	2,381	404,770	3929,517
10–11	3,629	616,959	4240,913
11–12	4,141	703,937	4219,893
12–13	4,914	835,358	4233,671
13–14	4,524	769,140	3977,281
14–15	3,526	599,352	3772,772
15–16	4,213	716,166	3973,122
16–17	3,506	595,940	4156,838
17–18	4,222	717,715	4432,783
18–19	3,406	578,967	4724,544
19–20	3,321	564,632	4873,969
20–21	4,704	799,702	4910,387
21–22	5,293	899,882	4659,1
22–23	5,129	871,885	4263,49
23–24	5,938	1009,477	4320,347
Всего	100	17 000	–

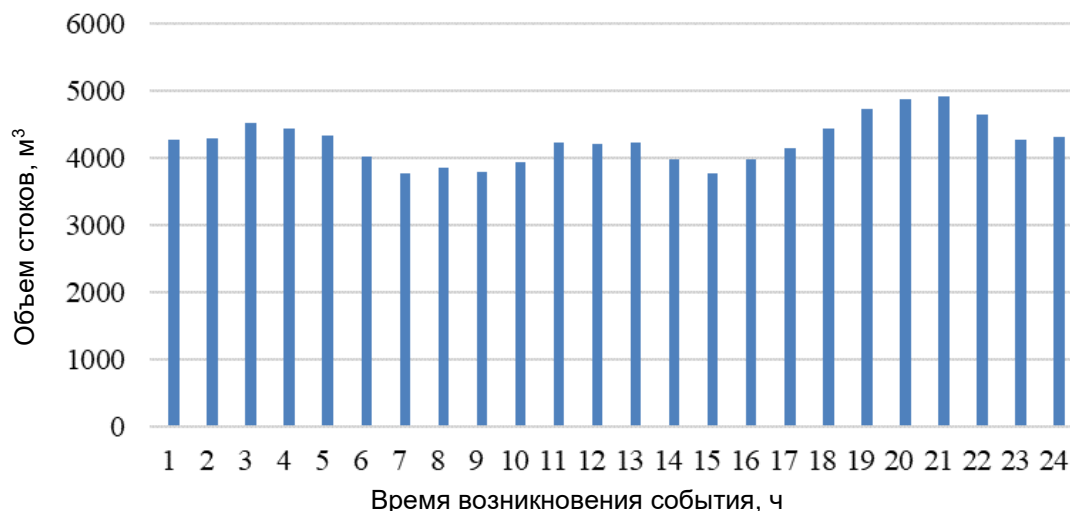


Рис. 3. График максимальных значений расходов сточных вод за 6-часовой период ликвидации аварии

Fig. 3. The graph of the maximum values of waste water consumption for the 6-hour period of liquidation of the accident

Таким образом, за время ликвидации аварийной ситуации расход сточной жидкости, поступающий от абонентов составит 4910,4 м³.

Средне часовой расход $Q_{рас}$, л/с, будет равен

$$Q_{рас} = \frac{V_{6\max}}{t_{ав}} = \frac{4910,387}{6} = 227,33, \text{ л/с.}$$

Для того чтобы этот расход не попал на поверхность земли, необходимо его зарегулировать в безнапорной сети, расположенной выше по течению от приемной

камеры КНС-18а.

Для определения аккумулирующей емкости сети, произведем ее расчет на расход 227.33 л/с и определим наполнение по каждому участку сети. Расчетная схема подводящей самотечной канализационной сети представлена на рис. 4, где по каждому колодцу указаны отметки поверхности земли и лотка трубопровода.

В табл. 2 представлены результаты расчета аккумулирующей емкости сети водоотведения.

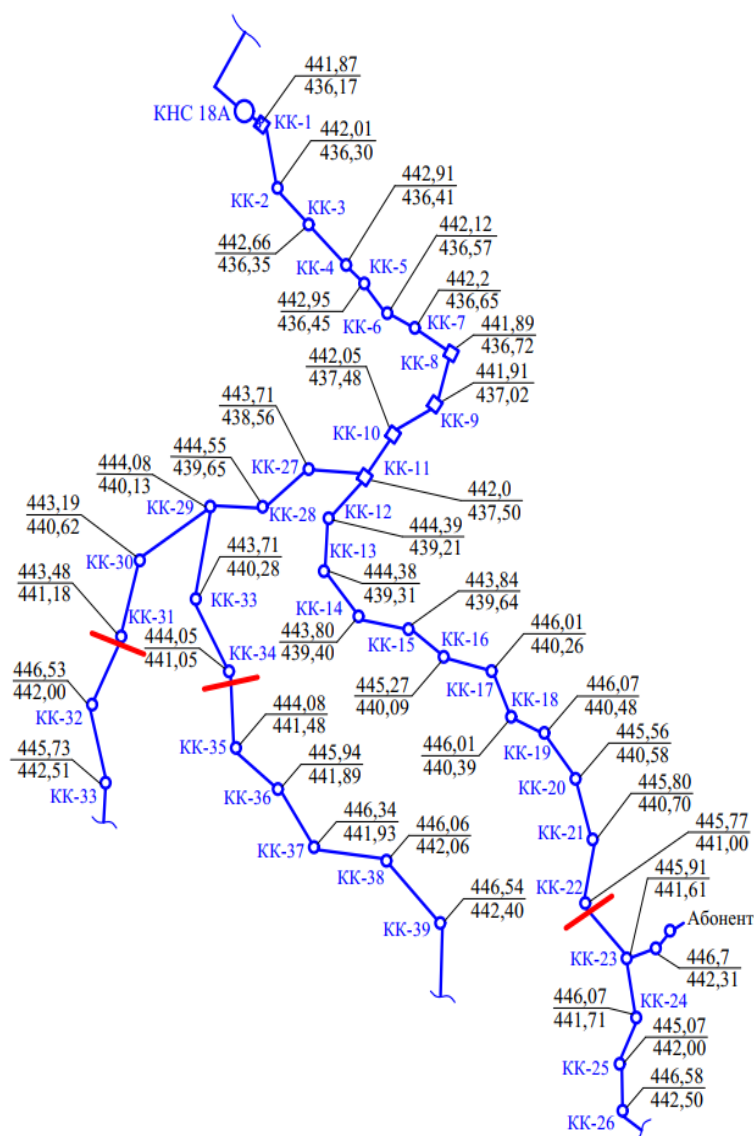


Рис. 4. Схема самотечных трубопроводов системы водоотведения
 Fig. 4. Scheme of gravity pipelines of the drainage system

Табл. 2. Расчет аккумулирующей способности сети

Table 2. Calculation of the accumulating capacity of the network

№ уч.	л/с 100%	Диаметр участка, м	Длина участка	Уклон, ‰	Глубина наполнения h, м	Площадь сечения потока, м ²	Свободная емкость участка, м ³
1–2	227,3	1,5	21,17	0,006	0,22	0,161	34,002
2–3		1,5	46,78	0,001	0,35	0,313	68,025
3–4		1,5	20,56	0,003	0,26	0,205	32,118
4-5		1,5	4,17	0,010	0,20	0,140	6,785
5-6		1,5	17,88	0,007	0,22	0,161	28,718
6-7		1,5	25,86	0,003	0,26	0,205	40,397
7-8		1,5	108,63	0,001	0,35	0,313	157,964
8-9		1,5	9	0,033	0,15	0,092	15,076
9-10		1,5	95,33	0,005	0,23	0,172	152,065
10-11		1,5	8,15	0,002	0,29	0,240	12,446

Окончание табл. 2

№ уч.	л/с 100%	Диаметр участка, м	Длина участка	Уклон, ‰	Глубина наполнения h, м	Площадь сечения потока, м ²	Свободная емкость участка, м ³
11-12	113,7 50%	1,25	104,99	0,016	0,13	0,068	121,703
12-13		1,25	6,07	0,016	0,13	0,068	7,036
13-14		1,25	69,38	0,001	0,26	0,185	72,307
14-15		1,25	49	0,005	0,18	0,109	54,791
15-16		1,25	87,42	0,005	0,18	0,109	97,752
16-17		1,25	55,62	0,003	0,20	0,127	61,192
17-18		1,25	28,23	0,004	0,18	0,106	31,651
18-19		1,25	78,5	0,001	0,26	0,185	81,811
19-20		1,25	98,5	0,001	0,26	0,185	102,655
20-21		1,25	97,4	0,001	0,25	0,175	102,483
21-22		1,25	69,6	0,0043	0,18	0,106	78,034
11-27	90,93 40%	1,00	84,56	0,013	0,13	0,060	61,340
27-28		1,00	88,57	0,012	0,13	0,060	64,249
28-29		1,00	87,13	0,006	0,16	0,081	61,374
29-30		1,00	26,95	0,018	0,12	0,053	19,738
30-31		1,00	21,33	0,026	0,11	0,047	15,750
29-34	22,73	0,80	75,56	0,002	0,11	0,042	34,807
34-35	10%	0,80	88,57	0,009	0,08	0,026	42,217
Всего по трубопроводам							1658,487
Объем колодцев и камер							137
Итого:							1795,54

Из этого следует, что определение свободной емкости самотечных коллекторов производится в диапазоне диктующих точек: точка № 1 – наименьшая горизонтальная отметка крышки люка в зоне зарегулирования; точка № 2 –

узловой канализационный колодец с присоединением от абонента. В табл. 2 представлены расчеты для аккумулирующей емкости сети при устройстве в колодцах 1–11 блокирующих устройств.

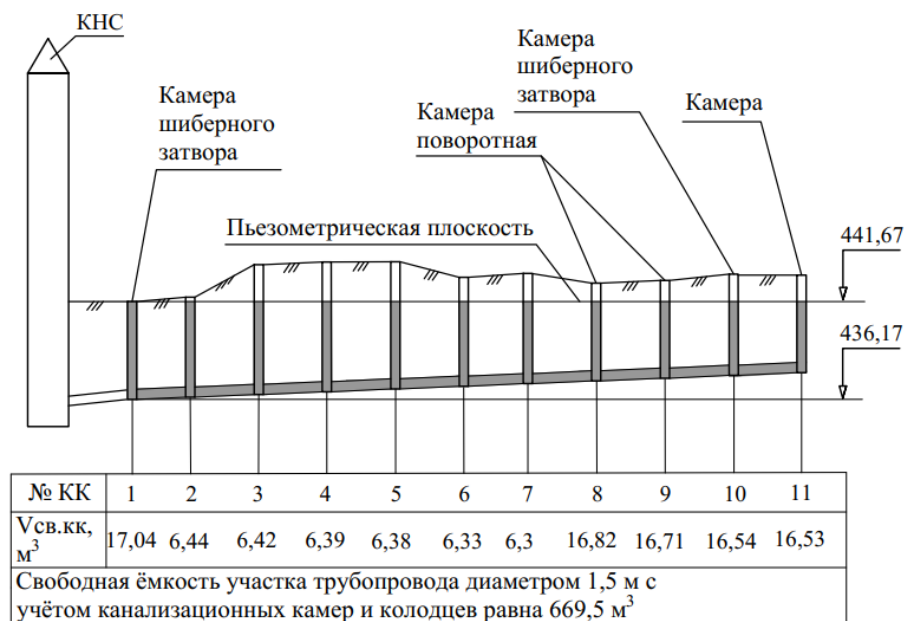


Рис. 5. Формирование аккумулирующей емкости сети (1–11 колодцы)
Fig. 5. Formation of the accumulating capacity of the network (1–11 wells)

Расчеты производились в следующей последовательности. После прикрытия шиберов в приемном резервуаре КНС сточные воды от абонентов, расположенных выше по потоку, будут заполнять свободное пространство в самотечных трубопроводах и будут заполнять пространство смотровых колодцев до момента их выхода на поверхность земли из самого низко расположенного колодца (в данном случае это колодец 1). На рис. 5–8 графически показаны аккумулярующие способности участков сети, начиная с первого колодца.

Суммарная аккумулярующая способность,

представленной на рисунке 4 безнапорной системы водоотведения, будет равна $669,5 + 461 + 217,8 + 36,6 = 1384,98 \text{ м}^3$. Как уже отмечалось, при ликвидации аварии на КНС требуется аккумулировать объем стоков $4910,4 \text{ м}^3$. Следовательно, аккумулярующей способности существующей системы водоотведения $1384,98 \text{ м}^3$ хватит на время ликвидации аварии всего на 2 ч.

В своей деятельности эксплуатационный персонал должен руководствоваться этой цифрой и проводить ремонтные работы (если это возможно) не более 2 ч.

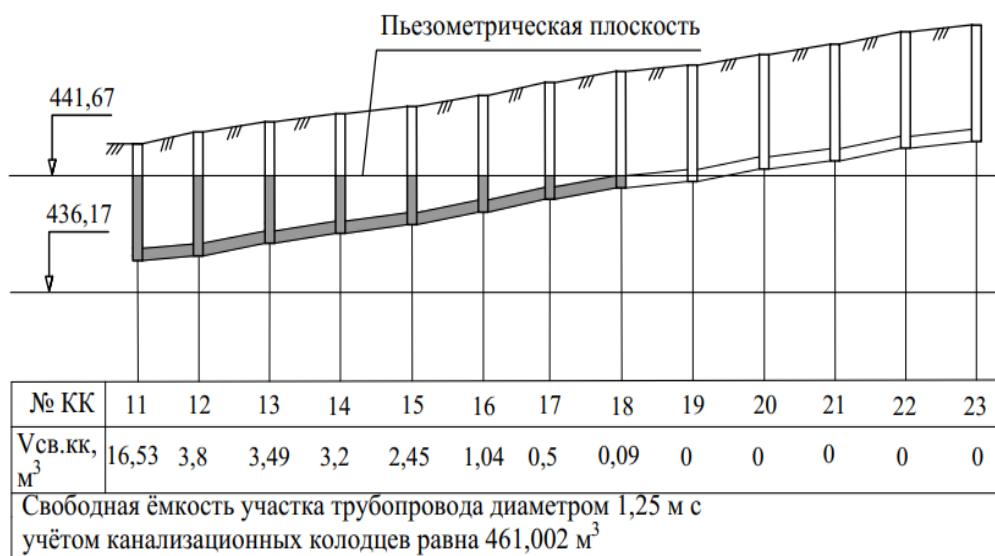


Рис. 6. Формирование аккумулярующей емкости сети (11–19 колодцы)
Fig. 6. Formation of the accumulating capacity of the network (11–19 wells)



Рис. 7. Формирование аккумулярующей емкости сети (11–31 колодцы)
Fig. 7. Formation of the accumulating capacity of the network (11–31 wells)



Рис. 8. Формирование аккумулирующей емкости сети 29–34 колодцев
Fig. 8. Formation of the accumulating capacity of the network of 29–34 wells

Однако если в этом колодце устроить блокирующее устройство [14-19] по типу, представленному на рис. 9, то при заполнении колодца сточными водами, клапан прижмется к крышке колодца и предотвратит выход сточных вод на поверхность земли. Если в последующих по высоте колодцах устраивать подобные блокирующие устройства (например, в смотровых колодцах КК 1, 2, 6, 7, 8, 9, 10, 11), то они соответственно заблокируют выходы стоков на поверхность земли и тем самым значительно увеличат аккумулирующую способность сети. В нашем случае, без таких

устройств максимальная свободная емкость сети будет равна 1384,98 м³, а при наличии блокирующих устройств в 8 колодцах она вырастет до значений 1835,74 м³ (см. расчеты в табл. 2). При этом следует принимать во внимание то, что зарегулирование сточных вод в свободной емкости самотечных коллекторов ограничивается точками подключения к ним абонентов, подтопление которых недопустимо. Применительно к исследуемой КНС 18-а, точка, ограничивающая свободную емкость сети, будет принадлежать канализационному колодцу № 22 (см. рис. 10–13).

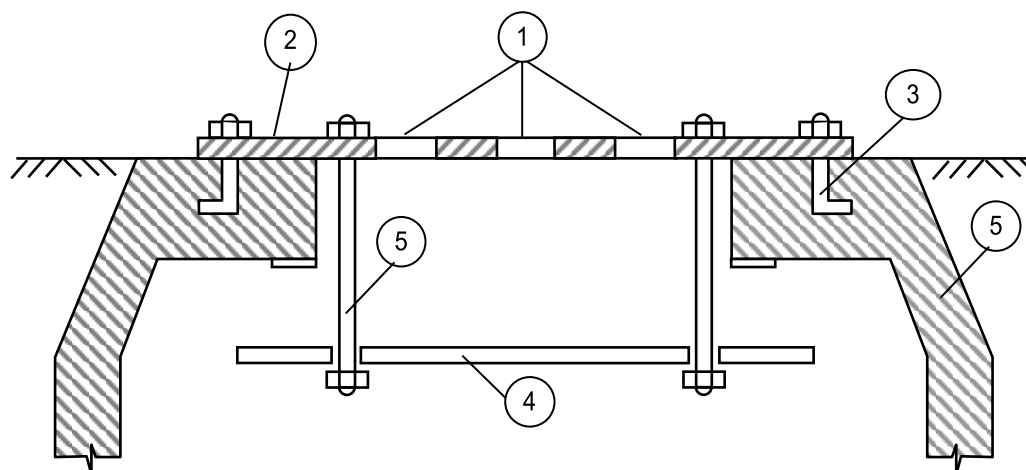


Рис. 9. Схема блокирующего устройства: 1 – отверстия для поступления воздуха, стоков; 2 – крышка колодца; 3 – анкерное крепление; 4 – подвижный клапан; 5 – направляющие подвижного клапана

Fig. 9. Diagram of the blocking device: 1 – openings for air intake, drains; 2 – well cover; 3 – anchor fastening; 4 – movable valve; 5 – guides of the movable valve

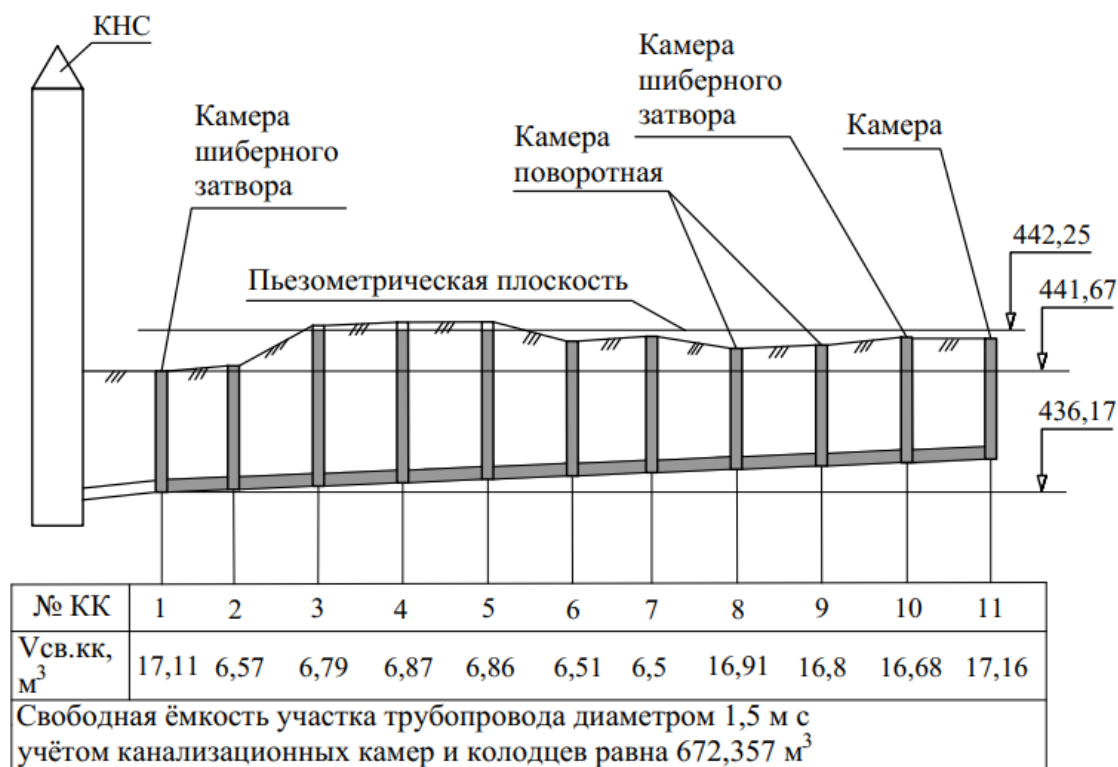


Рис. 10. Работа блокирующих устройств в 1–11 колодцах
Fig. 10. Operation of blocking devices in wells 1–11

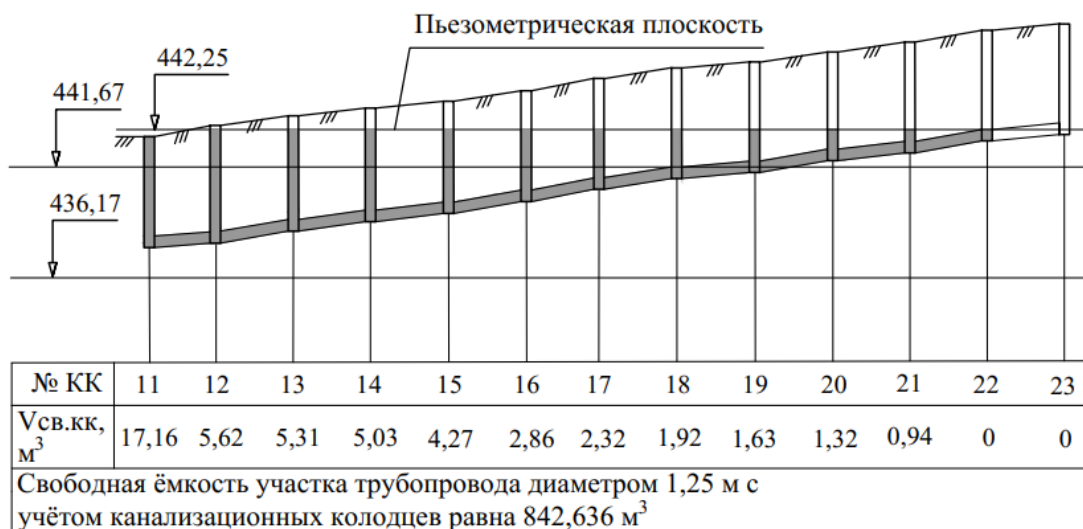


Рис. 11. Заполнение сети 11–23 колодцев
Fig. 11. Filling the network of 11–23 wells

Следует отметить, что на каждом возможном участке сети может произойти засорение и его закупорка.

В этом случае можно по аналогии определить аккумулирующую способность сети, расположенную выше по потоку движения сточной жидкости, и решить обратную задачу, сколько времени будет отпущено на ликвидацию аварийной ситуации на этом участке, пока из

соседнего колодца сточные воды начнут выливаться на поверхность земли.

Подобные расчеты можно провести для каждого самотечного участка сети. Исходя из этих расчетов, можно в определенных смотровых колодцах поставить блокирующие устройства, а можно построить кольцевые трубопроводы постоянного и временного содержания [20–25].



Рис. 12. Заполнение сети 29–34 колодцев
Fig. 12. Filling the network of 29–34 wells



Рис. 13. Заполнение сети 11–31 колодцев
Fig. 13. Filling the network of 11–31 wells

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для повышения надежности работы систем водоотведения эффективно использовать аккумулирующую способность самотечных коллекторов. В работе предложен алгоритм определения таких емкостей применительно к новым и существующим сетям водоотведения. Предлагается заблаговременно смоделировать отключение каждого аварийного участка

сети и вычислить по предлагаемой методике возможную аккумулирующую способность сети, определить доступное время для ликвидации аварийной ситуации и сформировать план оперативного реагирования.

Рекомендуется при проектировании новых сетей водоотведения предусматривать и рассчитывать аккумулирующую способность сети на время ликвидации аварийной ситуации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения. 3-е изд. М.: Стройиздат. 1984. 216 с.
2. Саломеев В.П. Реконструкция инженерных систем и сооружений водоотведения: монография. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2009. 192 с.
3. Игнатчик С.Ю., Кузнецов П.Н. Методы оценки и пути снижения сбросов сточных вод в окружающую среду // Вода и экология: проблемы и решения. 2017. № 1. С. 13–23.
4. Игнатчик С.Ю. Расчет надежности, безопасности и инвестиционной эффективности сети водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 12. С. 57–67.
5. Алексеев М.И., Ермолин Ю.А. Надежность систем водоотведения. СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2010. 166 с.
6. Алексеев М.И., Ермолин Ю.А. Вероятностные характеристики времени наработки между отказами восстанавливаемых объектов водопроводно-канализационного хозяйства // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. № 5. С. 26–28. EDN: KGLQXN.
7. Ермолин Ю.А., Алексеев М.И. Надежность городской системы водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2000. № 6. С. 5–12.
8. Ермолин Ю.А., Алексеев М.И. О методологии исследования надежности стареющих элементов и систем водопровода и канализации // Водоснабжение и санитарная техника. 2002. № 9. С. 20–24.
9. Гальперин Е.М. Определение надежности функционирования кольцевой водопроводной сети // Водоснабжение и санитарная техника. 1989. № 6. С. 11–13. EDN: TVVIDH.
10. Ильин Ю.А. Надежность водопроводного оборудования и сооружений. М.: Стройиздат, 1985. 180 с.
11. Ильин Ю.А. Расчет надежности подачи воды. М.: Стройиздат, 1987. 320 с.
12. Кармазинов Ф.В., Ильин Ю.А., Игнатчик В.С., Игнатчик С.Ю. Надежность тоннельных коллекторов // Водоснабжение и санитарная техника. 1999. № 12. С. 16–19.
13. Кармазинов Ф.В., Тазетдинов Г.М., Ильин Ю.А., Игнатчик В.С., Игнатчик С.Ю. Надежность транспортировки сточных вод системы водоотведения Санкт-Петербурга // Водоснабжение и санитарная техника. 1999. № 7. С. 17–21.
14. Дрозд Г.Я. Надежность канализационных сетей // Водоснабжение и санитарная техника. 1995. № 10. С. 18–22.
15. Фридман А.А. Повышение надежности трубопроводов // Водоснабжение и санитарная техника. 1986. № 7. 30–33.
16. Иванов О.М., Харитонов В.И. Надежность магистральных трубопроводов. М.: Недра, 1978. 320 с.
17. Митянин В.М. Исследование причин повреждений трубопроводов в городских системах водоснабжения // Водоснабжение и сантехника. 1979. № 2. С. 18–21.
18. Примин О.Г., Храменков С.В. Оптимизация восстановления городских водопроводных и водоотводящих сетей // ЭКВАТЭК: материалы 6-го Междунар. конгресса. М., 2004. С. 15–19.
19. Кармазинов Ф.В., Панкова Г.А., Михайлов Д.М., Игнатчик В.С., Игнатчик С.Ю., Кузнецова Н.В. Методика оценки объемов аварийных сбросов сточных вод в окружающую среду // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 6. С. 49–54. EDN: WAOZSP.
20. Мороз М.В. Методика избыточных проектных схем и метод поконтурной минимизации систем группового водоснабжения и водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 1 (36). С. 60–73. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-60-73>. EDN: GOPPGU.
21. Чупин Р.В., Мороз М.В. Применение автомобильного транспорта в системах группового водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 5. С. 57–64. <https://doi.org/10.35776/VST.2021.05.07>. EDN: RDVUAL.
22. Чупин Р. В., 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.
23. Скибо Д.В., Чупин В.Р., Огнёв И.А. Повышение экологической безопасности систем водоотведения на основе аварийно-регулирующего резервуара // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 7. С. 43–51. <https://doi.org/10.35776/VST.2022.07.06>. EDN: FBEZYS.
24. Skibo D.V., Tolstoy M.Y., Chizhik K.I. Automated damping tank of sewage pumping stations // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687. Iss. 4. P. 044030. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/687/4/044030>.
25. Чупин Р.В., Майзель И.В., Чупин Р.В., Нгуен Т.А. Оптимальная реконструкция систем водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2014. № 5 (10). С. 86–102. EDN: RJJUPL.

REFERENCES

1. Abramov N.N. Reliability of water supply systems. 3rd ed. Moscow: Stroyizdat; 1984. 216 p. (In Russ.).
2. Salomeev V.P. Reconstruction of engineering systems and wastewater disposal facilities. Moscow:

- Associations of construction universities; 2009. 192 p. (In Russ.).
3. Ignatchik S.Yu., Kuznetsov P.N. Assessment methods and ways to reduce wastewater discharges into the environment. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya = Water and Ecology: Problems and Solutions*. 2017;1:13-23. (In Russ.). <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2017.19.1.13-23>. EDN: ZRKPVV.
4. Ignatchik S.Yu. Estimation of reliability, safety and investment efficiency of a wastewater disposal system. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 2011;12:57-67. (In Russ.). EDN: ONKXVX.
5. Alekseev M.I., Ermolin Yu.A. Reliability of drainage systems. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2010. 166 p. (In Russ.).
6. Alekseev M.I., Ermolin Yu.A. Probabilistic characteristics of operating time between failures of restored water supply and sewerage facilities. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 2009;5:26-28. (In Russ.). EDN: KGLQXN.
7. Ermolin Yu.A., Alekseev M.I. Reliability of the urban drainage system. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 2000;6:5-12. (In Russ.).
8. Ermolin Yu.A., Alekseev M.I. About methodology of research of reliability of aging elements and systems of water supply and sewerage. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 2002;9:20-24. (In Russ.).
9. Gal'perin E.M. Opredelenie nadezhnosti funktsionirovaniya kol'tsevoi vodoprovodnoi seti. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 1989;6:11-13. (In Russ.). EDN: TVVIDH.
10. Ilyin Yu.A. Reliability of water supply equipment and structures. Moscow: Stroyizdat; 1985. 180 p. (In Russ.).
11. Il'in Yu.A. Calculation of water supply reliability. Moscow: Stroyizdat; 1987. 320 p. (In Russ.).
12. Karmazinov F.V., Il'in Yu. A., Ignatchik V.S., Ignatchik S.Yu. Reliability of tunnel collectors. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 1999;12:16-19. (In Russ.).
13. Karmazinov F.V., Tazetdinov G.M., Il'in Yu.A., Ignatchik V.S., Ignatchik S.Yu. Reliability of wastewater transportation of the Saint-Petersburg wastewater disposal system. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 1999;7:17-21. (In Russ.).
14. Drozd G.Ya. Reliability of sewer networks. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 1995;10:18-22. (In Russ.).
15. Fridman A.A. Improving the reliability of pipelines. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 1986;7:30-33. (In Russ.).
16. Ivanov O.M., Kharitonov V.I. Reliability of main pipelines. Moscow: Nedra; 1978. 320 p.
17. Mityanin V.M. Investigation of the causes of pipeline damage in urban water supply systems. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 1979;2:18-21. (In Russ.).
18. Primin O.G., Khramenkov S.V. Optimization of urban water supply and drainage networks restoration // EKWATEK: materials of the 6th International Congress. Moscow; 2004. p. 15-19.
19. Karmazinov F.V., Pankova G.A., Mikhailov D.M., Ignatchik V.S., Ignatchik S.Iu., Kuznetsova N.V. Method of evaluating the amount of emergency wastewater discharges into the environment. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 2016;6:49-54. (In Russ.). EDN: WAOZSP.
20. Moroz M.V. The method of redundant design schemes and the method of contour minimization of group water supply and sewerage systems. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(1):60-73. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-60-73>. EDN: GOPPGU.
21. Chupin R.V., Moroz M.V. The use of road transport in the systems of group water supply and wastewater disposal. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 2021;5:57-64. (In Russ.). <https://doi.org/10.35776/VST.2021.05.07>. EDN: RDVUAL.
22. 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. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 2022;4:52-58. (In Russ.). <https://doi.org/10.35776/VST.2022.04.07>. EDN: CIOYJH.
23. Skibo D.V., Chupin V. R., Ognev I. A. Povyshenie ekologicheskoi bezopasnosti sistem vodootvedeniya na osnove avariino-reguliruyushchego rezervuara. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 2022;7:43-51. (In Russ.). <https://doi.org/10.35776/VST.2022.07.06>. EDN: FBEZYC.
24. Skibo D.V., Tolstoy M.Y., Chizhik K.I. Automated damping tank of sewage pumping stations. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;687(4):044030. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/687/4/044030>.
25. Chupin R.V., Maizel' I.V., Chupin R.V., Nguen T.A. Effective reconstruction of water disposal systems. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2014;5(10):86-102. (In Russ.). EDN: RJJUPL.

Информация об авторах

Бобер Виктор Антонович,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: viktorbober200400@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0001-8340-6222>

Чупин Роман Викторович,
д.т.н., профессор,
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/0000-0002-6163-9091>

Скибо Денис Владимирович,
мастер участка канализации,
МУП «Водоканал»
664081, г. Иркутск, ул. Станиславского, 2,
Россия,
e-mail: d.skibo2013@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0002-3280-4324>

Дударев Владимир Иванович,
д.т.н, профессор,
профессор кафедры химии и биотехнологии
им. В.В. Тутуриной
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: vdudarev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2378-7574>

Information about the authors

Victor A. Bober,
Graduate Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: viktorbober200400@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0001-8340-6222>

Roman V. Chupin,
Dr. Sci. (Eng.), Professor,
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/0000-0002-6163-9091>

Denis V. Skibo,
Master of the Sewer Section,
MUE "Vodokanal"
2 Stanislavsky St., Irkutsk 664081,
Russia,
e-mail: d.skibo2013@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0002-3280-4324>

Vladimir I. Dudarev,
Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Professor of the Department of Chemistry
and Biotechnology named after V.V. Tuturina,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: vdudarev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2378-7574>

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 14.03.2023.
Одобрена после рецензирования 04.04.2023.
Принята к публикации 07.04.2023.

Information about the article

The article was submitted 14.03.2023.
Approved after reviewing 04.04.2023.
Accepted for publication 07.04.2023.