



## Обоснование области применения автомобильного транспорта в районных системах водоотведения

© Виктор Романович Чупин

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия,  
chupinvr@ex.istu.edu

**Аннотация.** Цель – проведение исследования по определению границ использования автомобильного транспорта сточных вод, а также оценка возможности его применения в уже существующих, развивающихся и реконструируемых системах водоотведения. Автомобильный транспорт в виде ассенизаторных машин используется уже не один десяток лет для сбора и отвоза сточных вод из выгребных ям и септиков частных домостроений и отдельных предприятий. При этом всегда важно установить, в каких объемах и на какое расстояние экономически выгодно использовать автомобильный транспорт, а при каких условиях следует переходить на трубопроводный транспорт сточных вод в виде напорных и безнапорных трубопроводов. Такие вопросы часто возникают у разработчиков перспективных схем водоотведения малых населенных мест и отдаленных урбанизированных территорий. Проведенный анализ показал, что рекомендательные и законодательные основы решения этой проблемы отсутствуют, хотя автомобильные перевозки стоков с каждым годом увеличиваются, в том числе за счет роста индивидуального домостроения и потребностей в благоустройстве сельских населенных мест. В процессе исследования были получены зависимости стоимости жизненного цикла трубопроводной и автомобильной систем водоотведения от объемов сточной жидкости и дальности ее транспортирования. Наложение этих функций дает точки пересечения, указывающие на области применения автомобильного и трубопроводного транспорта сточных вод. Полученные области использования автомобильного транспорта по объемам и дальности перевозимых стоков зависят от местных условий строительства трубопроводов, сейсмической активности района, стоимости электроэнергии и экологических требований к сохранности окружающей среды. Эти области предлагается использовать при организации перевозок сточных вод, при организации и оптимизации районных систем водоотведения, а также в методах оптимизации проектных решений.

**Ключевые слова:** системы водоотведения, минимизация стоимости жизненного цикла, оптимизация районных систем водоотведения на основе автомобильного и трубопроводного транспорта

**Для цитирования:** Чупин В. Р. Обоснование области применения автомобильного транспорта в районных системах водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 2. С. 232–239. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-232-239>.

### Original article

## Application of truck transport in district wastewater discharge systems

Viktor R. Chupin

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia, chupinvr@ex.istu.edu

**Abstract.** The possibility of applying wastewater truck transport in existing, developing and reconstructed wastewater discharge systems is considered. Truck transport in the form of wastewater vacuum trucks has been used for decades to collect and remove wastewaters from cesspools and septic tanks of private housing and individual enterprises. In this regard, the volumes and distances of economically profitable application of truck transport should be determined, along with the conditions for switching to pipeline wastewater transport in the form of pressure and non-pressure pipelines. Such questions often arise when developing prospective schemes of wastewater discharge in small populated or remote urbanized areas. The amount of truck transportation of wastewaters is increasing annually, largely due to intensification of individual housebuilding and the need to improve living conditions in rural populated areas. However, the conducted analysis showed the absence of a recommendatory and legislative basis for the stated problem to be solved. In the course of the study, the dependences of the life cycle cost of pipeline and truck discharge systems

on the volume of wastewaters and the distance of their transportation were obtained. An overlapping of these functions gives intersection points indicating the possibility of applying truck and pipeline wastewater transport in certain areas. According to the volumes and distances of wastewater transportation, the application areas of truck transport depend on the local conditions of pipeline construction, regional seismic activity, electric power cost and environmental requirements. These results can be used in wastewater logistics, organization and optimization of district wastewater discharge systems, as well as when developing methods for optimizing design solutions.

**Keywords:** sewerage systems, minimization of cycle life value, optimization of district sewerage systems based on road and pipeline transport

**For citation:** Chupin V. R. Application of truck transport in district wastewater discharge systems. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(2):232-239. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-232-239>.

## Введение

Автомобильный транспорт в виде ассенизаторных машин используется уже не один десяток лет для сбора и отвоза сточных вод из выгребных ям и септиков частных домостроений и отдельных предприятий. При этом всегда важно определить, в каких объемах и на какое расстояние экономически выгодно использовать автомобильный транспорт, а при каких условиях следует переходить на трубопроводный транспорт сточных вод в виде напорных и безнапорных трубопроводов. Такие вопросы часто возникают у разработчиков перспективных схем водоотведения малых населенных мест и отдаленных урбанизированных территорий. Проведенный анализ показал, что рекомендательные и законодательные основы решения этой проблемы отсутствуют. При этом автомобильные перевозки стоков с каждым годом увеличиваются, в том числе за счет роста индивидуального домостроения и потребностей в благоустройстве сельских населенных мест. Назрела необходимость в проведении исследований по определению границ использования автомобильного транспорта сточных вод, а также оценке возможности его применения в уже существующих, развивающихся и реконструируемых трубопроводных системах водоотведения. Такие исследования необходимы для частных и муниципальных предприятий по перевозке сточных вод с целью их эффективной организации и разработки логистических схем размещения и покрытия обслуживаемой территории. При этом следует учитывать стремительный научно-технический прогресс в автомобилестроении и его интеллектуализации, переход на экологически чистый вид топлива: водород, электричество. В последние годы существенно вырос парк ассенизаторных машин с емкостями 30 м<sup>3</sup> и более, имеющих автоматизированные системы наполнения и опорожнения, подогрева и перемешивания сточных вод. Поэтому сточные воды могут

транспортироваться на дальние расстояния в суровых климатических условиях и не требовать специального подогрева до 10 градусов. Разрабатываются новые конструкции емкостей ассенизаторных машин, которые будут иметь элементы очистных сооружений, что не потребует при сбросе стоков в сливные станции разбавления их питьевой водой (сейчас привозные стоки разбавляются практически один к одному). Для транспортировки питьевой воды абонентам и потребителям автомобильный транспорт используется временно, на период устранения крупных аварийных ситуаций в централизованной трубопроводной системе. Иногда подвоз питьевой воды осуществляется в отдельные населенные пункты, в которых нет источников питьевого водоснабжения. Для транспортирования сточных вод организуются районные системы водоотведения (РСВ), которые предусматривают сооружения по сбору и доставке сточных вод трубопроводным и автомобильным транспортом от населенных пунктов, расположенных на урбанизированной территории, на общую станцию очистки сточных вод (КОС), с последующей их утилизацией и возможным повторным использованием для целей орошения, разбавления стоков, мытья машин и других целей.

Для большинства городов организована централизованная трубопроводная система канализации и КОС, а с близлежащих поселков и сел стоки доставляются ассенизаторными машинами непосредственно на КОС либо в сливные станции, расположенные по периметру города. Для национальных парков и особо охраняемых территорий организация РСВ возможна с устройством общих КОС за границами этих территорий. При этом с охраняемых территорий стоки будут собираться и вывозиться автомобильным транспортом. Пути решения этой проблемы многообразны и заключаются в технико-экономической и экологической оценке различных вариантов транспортировки сточных вод за

пределы охраняемых территорий и последующей их очистке перед сбросом в водоемы, не исключая применения технологии выпаривания или организации централизованных систем транспорта сточных вод на КОС. Возможны и такие случаи, когда поселок имеет централизованную трубопроводную систему канализации, а КОС нет по причине отсутствия водоемов, куда можно было бы осуществлять сброс очищенных сточных вод (в настоящее время наше законодательство запрещает сбрасывать очищенные воды на поверхность земли). Возможны случаи, когда внутри населенного пункта может быть организован сбор сточных вод автомобильным транспортом на единую сливную станцию, оборудованную специальным накопительным резервуаром и насосной станцией (КНС). На основе КНС стоки могут перекачиваться на централизованные КОС, а могут и далее перевозиться автомобильным транспортом. Выбор той или иной схемы РСВ требует технико-экономических обоснований. При организации и проектировании таких РСВ важными и сложными являются вопросы обоснования трассировки напорных и безнапорных трубопроводов, выбора маршрутов для автомобильного транспорта и емкостей для перевозки сточной жидкости, выбора мест расположения и параметров КОС, включая вопросы утилизации и вторичного использования очищенных стоков и образующихся при этом осадков [1–6].

### Методы

На основании проведенных исследований в работе в качестве критерия оптимизации структуры и параметров районных систем водоотведения принят критерий минимума стоимости их жизненного цикла (СЖЦ). Актуализирован и исследован критерий СЖЦ, определены области использования трубопроводного и автомобильного транспорта сточных вод в системах РСВ для различных регионов страны с учетом их сейсмического районирования, применения различных видов топлива, меняющихся удельных затрат электроэнергии и времени жизненного цикла.

СЖЦ объектов и сооружений районных систем водоотведения можно представить в виде [7, 8]:

$$\text{СЖЦ} = R_1^0 \cdot T_1^0 \cdot \sum_{i=1}^n K_i^y \cdot KP_i^y + R_2^0 \cdot T_2^0 \cdot \sum_{i=1}^n (C_i^{\text{экс}} + C_i^{\text{абр}}) + C_d^y \quad (1)$$

$$\text{где } R_1^0 = \sum_{t=t_1}^T \left( \frac{1}{(1+r)^t} \right), \quad R_2^0 = \sum_{t=t_2}^T \left( \frac{1}{(1+r)^t} \right), \quad (2)$$

$R_1^0, R_2^0$  – коэффициенты дисконтирования капиталовложений и эксплуатационных затрат;  $T_1^0$  – срок службы основного фонда систем водоотведения;  $n$  – количество расчетных участков

системы водоотведения ( $i = 1, \dots, n$ );  $K_i^y$  – капиталовложения в объекты водоотведения по периодам строительства, капитального ремонта и реконструкции, начиная с момента времени  $t_1$ , тыс. руб.;  $KP_i^y$  – коэффициент кратности капиталовложений, равный отношению расчетного срока службы системы к сроку службы конкретного элемента системы, чей срок службы меньше расчетного (например, при жизненном цикле 50 лет и сроке службы автомобиля 8 лет его придется менять 6,26 раз);  $T_2^0$  – интервал времени в годах, на котором определяются эксплуатационные затраты;  $C_i^{\text{экс}}$  – ежегодные эксплуатационные затраты по трубопроводам, насосным станциям и другим сооружениям, начиная с периода времени  $t_2$ , когда системы начинают функционировать, тыс. руб.;  $C_i^{\text{абр}}$  – затраты на ликвидацию аварийных ситуаций по каждому расчетному участку системы водоотведения, тыс. руб.;  $C_d^y$  – затраты на разборку и утилизацию отслужившего свой срок оборудования, тыс. руб.;  $r$  – норма дисконта – величина ставки рефинансирования ЦБ РФ.

В работе были использованы нормативные данные, представленные в НЦС-81-02-14-2020 и НЦС-81-02-19-2020. Годовые эксплуатационные затраты  $C_2^{\text{экс}}$  (тыс. руб./год) рассчитаны на основе «Рекомендаций по нормированию труда работников водопроводно-канализационного хозяйства» от 15.06.2020 №316/пр. и согласно Приказу Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 23 марта 2020 г. № 154/пр «Об утверждении Типовых отраслевых норм численности работников водопроводно-канализационного хозяйства». На основании вышеуказанных документов получены функции стоимости жизненных циклов трубопроводных и автомобильных систем водоотведения как функции от объемов транспортируемых стоков, дальности их транспортирования. В итоге путем наложения графиков функции стоимости жизненного цикла для трубопроводного и автомобильного транспорта определяются точки их пересечения. Область по значению расходов сточной жидкости до точек пересечения относится к использованию автомобильного транспорта. Для напорных трубопроводов из труб марки ПЭ 100 SDR 17 зависимость капиталовложений от расхода транспортируемых сточных вод можно представить в следующем образом:

$$K_i^y = (28126.1 \cdot \frac{x_i}{n} \cdot v_i^{-1} - 3054 \cdot \left(\frac{x_i}{n}\right)^{0.5} \cdot v_i^{-0.5} + 5147.3) \cdot L_i, \quad (3)$$

где  $x_i$  – расход транспортируемых стоков, м<sup>3</sup>/с;  $n$  – количество параллельных ниток трубопроводов;  $L$  – длина трубопровода, км;  $v$  – скорость

движения сточных вод в трубопроводе. Оптимальная скорость  $v$  вычисляется по формуле (смотри [1]):

$$v_i = \frac{4.5 \cdot x_i^{0.477}}{z^{0.287} \cdot T^{0.14}}, \text{ м/с.} \quad (4)$$

Годовые эксплуатационные затраты в тыс. руб. в год:

$$C_i^{\text{ЭК}} = 0.116 \cdot K_i^y + C_{\text{элк}} + 144 \cdot L_i^{0.83} \cdot 3П_{\text{ср}}, \quad (5)$$

где затраты электроэнергии на перекачку сточной жидкости определяются по формуле:

$$C_{\text{элк}} = 108 \cdot z \cdot (0.05 \cdot L_i \cdot \left(\frac{x_i}{n}\right)^{-0.631} \cdot v_i^{2.387} + x_i), \quad (6)$$

здесь  $z$  – стоимость 1 кВт электроэнергии, руб.;  $3П_{\text{ср}}$  – средняя заработная плата, тыс. руб.

Для насосных станций:

$$K_i^y = 1211.4 \cdot x_i + 18789, \quad (7)$$

$$C_i^{\text{ЭК}} = 0.116 \cdot K_i^y + (0.02 \cdot x_i + 73.2) \cdot 3П_{\text{ср}}. \quad (8)$$

Капиталовложения и эксплуатационные затраты для ассенизаторного транспорта сточных вод в системах РСВ определяются согласно<sup>1</sup> [9], и их можно также представить как функцию от расхода  $x_i$  транспортируемых стоков и длины маршрута:

$$K_i^y = \frac{0,3 \cdot x_i \cdot (50 + 2 \cdot L_i) \cdot (C_i^{\text{авт}} + C_i^{\text{гараж}})}{V_i^{\text{авт}} \cdot C_i^{\text{см}}}, \quad (9)$$

где  $K_i^y$  – единовременные капиталовложения в организацию автомобильного транспорта, тыс. руб.;  $x_i$  – объемы транспортируемых сточных вод, л/с;  $L_i$  – длина маршрута, км;  $C_i^{\text{авт}}$  – стоимость одного автомобиля, тыс. руб.;  $C_i^{\text{гараж}}$  – стоимость гаражей в расчете на один автомобиль, тыс. руб.;  $V_i^{\text{авт}}$  – объем автоцистерны, м<sup>3</sup>;  $C_i^{\text{см}}$  – количество смен работы автотранспорта в сутках (1, 2, 3).

Годовые эксплуатационные затраты на автомобильный транспорт:

$$C_i^{\text{ЭК}} = 3_{\text{топливо}} + 3_{\text{авт}}^{\text{ЗП}} + A_{\text{авт}} + P_{\text{авт}} + 3_{\text{зап}} + 5,1 \cdot x_i. \quad (10)$$

Затраты на топливо, тыс. руб. в год:

$$3_{\text{топливо}} = \frac{20 \cdot x_i \cdot L_i \cdot C_{\text{литр}}}{V_i^{\text{авт}}},$$

где  $C_{\text{литр}}$  – стоимость одного литра топлива, руб.

Зарплата, тыс. руб.:

$$3_{\text{авт}}^{\text{ЗП}} = \frac{3,6 \cdot x_i \cdot (50 + 2 \cdot L_i) \cdot 3_i}{V_i^{\text{авт}}},$$

где  $3_i$  – средняя месячная заработная плата по предприятию, тыс. руб.

Амортизация, тыс. руб. в год:

$$A_{\text{авт}} = \frac{K_{\text{авт}}}{8}, \text{ где } K_{\text{авт}} = \frac{0,3 \cdot x_i \cdot (50 + 2 \cdot L_i) \cdot C_i^{\text{авт}}}{V_i^{\text{авт}} \cdot C_i^{\text{см}}}.$$

Ремонтный фонд:  $P_{\text{авт}} = 0,055 \cdot K_{\text{авт}}$ ; запча-

сти:  $3_{\text{зап}} = \frac{55 \cdot x_i \cdot L_i}{V_i^{\text{авт}}}.$

Полученные зависимости стоимости жизненного цикла (1)–(10) для трубопроводных систем и автомобильного транспорта могут быть представлены графически для различных расходов и расстояний транспортировки стоков сточных вод (рисунок). Как видно из рисунка, функции СЖЦ автомобильного транспорта сточных вод на разные расстояния имеют точки пересечения с затратами жизненного цикла трубопроводного транспорта. Следовательно, до точек пересечения и соответствующих им значениям объемов стоков всегда будет экономически выгодным использовать автомобильный транспорт, а для больших объемов стоков – трубопроводный транспорт. В табл. 1 приведены области использования автомобильного транспорта для сейсмических районов г. Иркутска, строительство трубопроводов в которых требует дополнительных финансовых затрат. Для населенных мест Иркутской области и оз. Байкал экономически выгодно транспортировать сточные воды автомобильным транспортом с объемами до величин 1290–1900 м<sup>3</sup>/сут в зависимости от дальности транспортировки стоков.

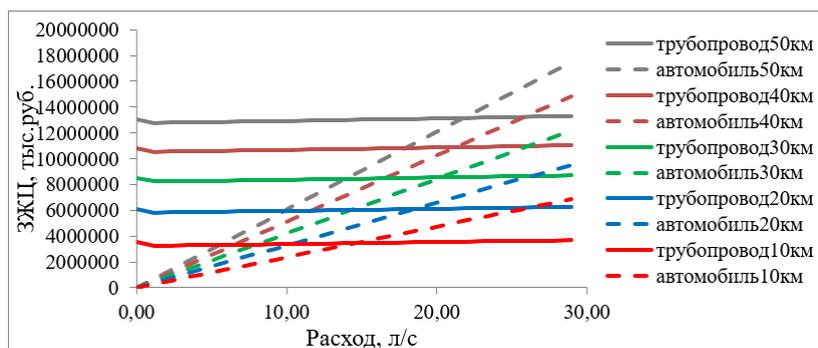
### Результаты и их обсуждение

Такие диапазоны использования автомобильного транспорта не сложно получить для различных климатических и экономических условий, рельефа местности и других особенностей регионов нашей страны. Например, для Якутии, где стоимость электроэнергии – 6 руб./кВт, диапазоны применения автомобильного транспорта увеличиваются по сравнению с Иркутской областью до величин 2000–3500 м<sup>3</sup>/сут. Для сейсмических районов границы применения автомобильного транспорта расширяются на 25–30 % за счет удорожания мероприятий по повышению надежности трубопроводной системы. Автомобильный транспорт с точки зрения экологии наносит наибольший ущерб природе и среде обитания человека. Представленные в литературе исследования и разработанные методические указания позволили на основе экспертных оценок рассчитать экологический ущерб в виде денежных затрат, и этот ущерб учтен при формировании табл. 1.

Переход на использование газа в автомобилях уменьшает эти затраты всего на 1 %. Переход на электромобили делает автотранспорт экологически чистым. Переход на автопилотный автотранспорт увеличивает область использования автотранспорта сточных вод на 80 %.

<sup>1</sup>Лавриков И. Н., Пеньшин Н. В. Экономика автомобильного транспорта: учеб. пособ. Тамбов: ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. 116 с.;

Туревский И. С. Экономика отрасли (автомобильный транспорт): учеб. пособ. М.: ИД «ФОРУМ», 2011. 287 с.



Совместные функции стоимости жизненного цикла транспортировки сточных вод автомобильным и трубопроводным транспортом  
 Joint cost functions of the life cycle of wastewater transportation by road and pipeline transport

Полученные формулы и диапазоны использования автомобильного транспорта при транспортировании сточных вод в РСВ имеют самостоятельное значение и могут использоваться при оценке и организации перевозок сточных вод, при проектировании, реконструкции и развитии РСВ. На основе полученных диапазонов использования автомобильного транспорта

разработана новая методика оптимизации и консервации объектов водоотведения РСВ [10, 11], которая реализована в программном комплексе<sup>2</sup>, который позволил решить задачу оптимизации сбора, транспортировки, очистки и утилизации сточных вод в центральной экологической зоне оз. Байкал Иркутской области.

**Таблица 1.** Области применения автомобильного транспорта (для г. Иркутска)  
**Table 1.** Areas of application of road transport (for the city of Irkutsk)

Протяженность, L, км	Максимальные значения расходов, перевозимых автомобильным транспортом, м <sup>3</sup> /сут			
	Напорная канализация		Безнапорная канализация	
	Для сейсмически опасных районов	Для сейсмически безопасных районов	Для сейсмически безопасных районов	Для сейсмически опасных районов
10	1253	1339	847	735
20	1379	1594	993	798
30	1561	1642	1068	887
40	1710	1748	1156	992
50	1875	1987	1236	1046

При обосновании схемы и параметров сооружений районных систем водоотведения возникает проблема выбора удельных значений водоотведения, которые принимаются на основе удельных значений водопотребления.

В редакциях СП 31.13330.2012, СП 32.1330.2012 удельная норма водопотребления была обозначена на уровне 195–220 л/чел. в сутки. В последнем действующем СП 31.13330.2021 она уже составляет 165–185 л/чел. в сутки. Для выбора из указанных в СП значений удельного водопотребления в расчетах РСВ предлагается следующий подход. Исследуется весь интервал удельных

значений и, с учетом фактического значения удельного водопотребления для населенного пункта, определяется функция принадлежности<sup>3</sup>, которая выступает как мера предпочтения того или иного расхода. Далее строится «матрица рисков» и выбирается предпочтительный вариант (расход) [12]. Проведем обоснование параметров самотечного коллектора длиной 1 км с уклоном 0,019, по которому стоки будут отводиться от вновь строящегося района на 100 тыс. чел. В 2022 г в г. Иркутске удельное водопотребление составило 170 л/чел. в сутки. Согласно СП 31.13330.2021, для данного примера интервал расчетных расходов будет

<sup>2</sup>Свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ №2021616739 от 26 апреля 2021 г. / Чупин Р. В., Мороз М. В., Мелехов Е. С.

<sup>3</sup>Ухоботов В. И. Избранные главы теории нечетных множеств: учеб. пособ. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2011. 245 с.;

Добронец Б. С. Интервальная математика: учеб. пособ. Красноярск: СФУ, 2007. 287 с.

следующим: 0,19–0,21 м<sup>3</sup>/с. Учитывая значение удельного фактического водопотребления 0,17 м<sup>3</sup>/сут, потребность в воде проектируемого района составит 0,2 м<sup>3</sup>/с. Функцию принадлежности представим в треугольной форме и запишем ее в следующем виде:

$$Q = (0,19|0,01; 0,195|0,5; 0,2|1,0; 0,205|0,5; 0,21|0,01). \quad (11)$$

Для каждого значения расходов определим диаметры коллекторов, а на основании (1)–(2) вычислим стоимость жизненного цикла. С учетом значений функции принадлежности (11) составим табл. 2, в которой предпочтительным является расход 0,2 м<sup>3</sup>/с.

**Таблица 2.** Выбор предпочтительного варианта строительства на основании функции принадлежности

**Table 2.** Selection of the preferred construction option based on the membership function

Расход, м <sup>3</sup> /с	Диаметр, мм	СЖЦ, млн руб.	Функция принадлежности $M_a(x)$	СЖЦ, млн руб., с учетом $M_a(x)$	Вариант предпочтения
0,19	386	102,19	0,01	1.02	4
0,195	390	102,61	0,5	51.3	2
0,200	394	103,04	1,0	103,04	1
0,205	398	103,48	0,5	51.9	3
0,210	401	103,81	0,01	1.03	5

Однако прежде, чем принять решение, требуется оценить последствия от появления всех других расходов сточных вод. Для этого предлагается использовать матрицу рисков, которую в первую очередь построим относительно возможных наполнений сточной воды в коллекторе. Для рассматриваемого примера эта матрица представлена в табл. 3. В этой матрице в первой строке и первом столбце приведены значения исследуемых расчетных расходов. На диагонали расположены расчетные значения наполнения (равные 0,7), что означает совпадения принятого значения расходов с теми, которые будут после реализации проекта (вариант 100 % совпадения). Величины справа от диагонали обозначают значения рисков от того, что фактическое значение расходов после реализации проекта будет больше их значений, выбранных перед реализацией проекта.

Например, выбрали расход 0,19 м<sup>3</sup>/с (см. строка 1 табл. 3) и построили коллектор с  $d = 360$  мм, а на момент завершения строительства расход оказался 0,195 м<sup>3</sup>/с, т.е. на 0,005 м<sup>3</sup>/с больше. Для диаметра  $d = 360$  мм при

расходе 0,195 м<sup>3</sup>/с наполнение уже будет 0,71, для расхода 0,2 м<sup>3</sup>/с – 0,72, а для расхода 0,21 м<sup>3</sup>/с – 0,74. По аналогии для расхода 0,195 м<sup>3</sup>/с составлена вторая строка матрицы в табл. 3 и др. Слева от диагонали в матрице будут располагаться значения рисков, связанные с завышением расходов и соответствующих значений диаметров трубопроводов. Например, выбрали расход 0,195 м<sup>3</sup>/с и построили трубопровод диаметром 390 мм, а расход оказался равным 0,19 м<sup>3</sup>/с, следовательно, наполнение будет 0,67. Если выбрали расход 0,21 м<sup>3</sup>/с и построили трубопровод диаметром 401 мм, а оказался расход 0,19 м<sup>3</sup>/с, то наполнение будет 0,62, и т.д. В итоге, как видно из матрицы (табл. 3), для всех исходов, какой бы расход мы не выбрали, наполнение в трубопроводе будет в пределах допустимых значений от 0,6 до 0,8. Следовательно, дорогостоящих реконструкций не потребуются, а предпочтительным будет расход и диаметр с наименьшей стоимостью жизненного цикла (см. последний столбец матрицы в табл. 3), т.е. 0,19 м<sup>3</sup>/с.

**Таблица 3.** Матрица рисков в отношении наполнения трубопроводов

**Table 3.** Risk matrix for filling pipelines

Расход, м <sup>3</sup> /с	0,19	0,195	0,2	0,205	0,21	СЖЦ, тыс. руб.
0,19	0,7	0,71	0,72	0,73	0,74	102,19
0,195	0,67	0,7	0,7	0,72	0,73	102,61
0,2	0,65	0,67	0,7	0,71	0,72	103,04
0,205	0,63	0,65	0,67	0,7	0,71	103,48
0,21	0,62	0,64	0,65	0,67	0,7	103,81

Следует отметить, что проведенные численные эксперименты и исследования диапазона удельных нагрузок, предлагаемых СП 31.13330.2021 от 165–180 л/чел. в сутки, на различных примерах безнапорной канализации, рассчитанной на теоретические значения диаметров, показали, что наполнение трубопроводов при любых исходах будет в пределах допустимых норм.

Следовательно, предпочтительной удельной нагрузкой будет 165 л/чел. в сутки.

#### **Заключение**

Таким образом, можно заключить, что:

1. Обоснование параметров районных систем водоотведения следует проводить на основании стоимости их жизненного цикла.

2. Применение автомобильного транспорта сточных вод зависит от дальности и объемов перевозимых стоков.

3. Показано, что с увеличением стоимости электроэнергии и с учетом сейсмического районирования территории область использования автомобильного транспорта расширяется.

4. На основании численных экспериментов показано, что для расчета самотечных коллекторов транспорта сточных вод следует принимать минимальные из возможных удельные значения водопотребления.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Xu C., Goulter C. Reliability-based optimal design of water distribution networks // *Journal of Water Resources Planning and Management*. 1999. Vol. 125 (6). p. 352-362.
2. Savic D. A., Walters G. A. Genetic Algorithms for the Least-cost Design of Water Distribution Networks // *ASCE Journal of Water Resources Planning and Management*. 1997. Vol. 123, № 2. p. 67-77.
3. Alperovits E., Shamir U. Design of optimal water distribution systems // *Water Resour. Res.* 1977. Vol. 13 (6). p. 885-900. <https://doi.org/10.1029/WR013i006p00885>.
4. Babayan A., Kapelan Z., Savic D., Walters G. Least-Cost Design of Water Distribution Networks under Demand Uncertainty // *J. Water Resour. Plann. Management*. 2005. Vol. 131 (5). p. 375-382.
5. Costa A. L. H., de Medeiros J. L., Pessoa F. L. P. Global optimization of water distribution networks through a reduced space branch-and-bound search // *Water Resour. Res.* 2001. Vol. 37 (4). p. 1083-1090. <https://doi.org/10.1029/2000WR900267>.
6. Dandy G. K., Simpson A. R., Murphy L. J. A review of pipe network optimisation techniques // *Watercomp: 2<sup>nd</sup> Australasian Conference on Computing for the Water Industry Today and Tomorrow* (Melbourne, Australia, 30 Mar – 1 Apr 1993). Melbourne, 1993. pp. 373-383.
7. Чупин Р. В., Мороз М. В., Бобер В. А. Обоснование диаметров трубопроводов систем водо-

- снабжения 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>.
8. Чупин В. Р. Современное состояние и проблемы питьевого водоснабжения г. Иркутска и Иркутской области // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2017. № 11. С. 18–25.
9. 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>.
10. Чупин В. Р., Мороз М. В. Метод поиска максимального потока минимальной стоимости в задачах обоснования структуры и параметров систем группового водоснабжения и водоотведения // *Известия вузов: Строительство*. 2020. № 11 (743). С. 63–74. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2020-743-11-63-74>.
11. 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. С. 60–73. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-60-73>.
12. Чупин Р. В., Примин О. Г. Обоснование параметров систем водоотведения в условиях неопределенности перспективного потребления воды и сброса стоков // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2017. № 11. С. 36–45.

#### **REFERENCES**

1. Xu C, Goulter C. Reliability-based optimal design of water distribution networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 1999;125(6):352-362.

2. Savic DA, Walters GA. Genetic Algorithms for the Least-cost Design of Water Distribution Networks. *ASCE Journal of Water Resources Planning and Management*. 1997;123(2):67-77.

3. Alperovits E, Shamir U. Design of optimal water distribution systems. *Water Resour. Res.* 1977;13(6):885-900. <https://doi.org/10.1029/WR013i006p00885>.
4. Babayan A, Kapelan Z, Savic D, Walters G. Least-Cost Design of Water Distribution Networks under Demand Uncertainty. *J. Water Resour. Plann. Management.* 2005;131(5):375-382.
5. Costa ALH, de Medeiros JL, Pessoa FLP. Global optimization of water distribution networks through a reduced space branch-and-bound search. *Water Resour. Res.* 2001;37(4):1083-1090. <https://doi.org/10.1029/2000WR900267>.
6. Dandy GK, Simpson AR, Murphy LJ. A review of pipe network optimisation techniques. *Watercomp: 2nd Australasian Conference on Computing for the Water Industry Today and Tomorrow* (Melbourne, Australia, 30 Mar – 1 Apr 1993). Melbourne, 1993. pp. 373-383.
7. Chupin RV, Moroz MV, Bober VA. 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.).
8. Chupin VR. The current state and problems of the public water supply system of the city of Irkutsk and Irkutsk area. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya*

- tekhnika = Water supply and sanitary technique.* 2017;11:18-25. (In Russ.).
9. Chupin RV, Moroz MV. 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>.
10. Chupin VR, Moroz MV. Method for finding the maximum flow of the minimum cost in the problems of substantiating the structure and parameters of group water supply and sanitation systems. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo.* 2020;11(743):63-74. (In Russ.). <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2020-743-11-63-74>.
11. Moroz MV. 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'.* 2021;11(1):60-73. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-60-73>.
12. Chupin RV, Primin OG. Substantiation of the wastewater disposal system parameters in the context of projected water consumption and wastewater discharge uncertainty. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique.* 2017;11:36-45. (In Russ.).

#### Информация об авторе

**В. Р. Чупин,**  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой городского  
строительства и хозяйства,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,  
e-mail: [chupinvr@ex.istu.edu](mailto:chupinvr@ex.istu.edu)  
<https://orcid.org/0000-0001-5460-4780>

#### Information about the author

**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](mailto:chupinvr@istu.edu)  
<https://orcid.org/0000-0001-5460-4780>

#### Вклад автора

Чупин В. Р. провел исследование, подготовил  
рукопись к печати и несет ответственность за  
плагиат.

#### Contribution of the author

Chupin V. R. has conducted the study, prepared the  
manuscript for publication and bears the  
responsibility for plagiarism.

#### Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта  
интересов.

#### Conflict of interests

The author declares no conflict of interests  
regarding the publication of this article.

Автор прочитал и одобрил окончательный  
вариант рукописи.

The final manuscript has been read and  
approved by the author.

Статья поступила в редакцию 25.03.2022.  
Одобрена после рецензирования 19.04.2022.  
Принята к публикации 22.04.2022.

The article was submitted 25.03.2022.  
Approved after reviewing 19.04.2022.  
Accepted for publication 22.04.2022.