



## Минимизация рисков при разработке перспективных схем водоснабжения и водоотведения

Р.Н. Ярыгин<sup>1</sup>, Р.В. Чупин<sup>2✉</sup>, Е.С. Мелехов<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

**Аннотация.** Системы водоснабжения и водоотведения являются капиталоемкими, энергозатратными и сложными объектами, которые обладают значительной инерционностью и поэтому трудно адаптируются к постоянно меняющимся условиям эксплуатации. За последние 20 лет удельное водопотребление уменьшилось практически в два раза. Точечная застройка, несбалансированное с инженерными коммуникациями новое строительство привели к тому, что многие участки систем водоснабжения и водоотведения оказались перегруженными, другие практически не работают. Все эти факторы привели к увеличению аварийности, значительным эксплуатационным затратам, к нерациональным гидравлическим режимам, к ухудшению качества питьевой воды, к засорам и закупорке канализационных коллекторов. В качестве примера можно привести групповые водопроводы, строительство которых было очень популярным в эпоху «развитого социализма» и постперестроечный период. В настоящее время многие из них продолжают работать, эксплуатироваться, а воду подавать некому, поскольку многие населенные пункты по причине миграционных процессов просто перестали существовать. Причинами сложившейся ситуации является ошибки планирования и проектирования, а точнее, упущение тех факторов, которые происходят сейчас и возможно произойдут в будущем. Известно, что проектирование – это процесс, позволяющий создать еще несуществующий объект. Объект надо запроектировать так, чтобы он функционировал в будущих периодах его эксплуатации, а будущее не определено и не имеет детерминированных параметров и значений (основное противоречие проектирования). В работе предлагается один из возможных подходов для разрешения данного противоречия, основанный на исследовании зоны неопределенности и определения вариантов с минимальными экономическими рисками.

**Ключевые слова:** системы водоснабжения и водоотведения, неопределенность в численности населения и водопотребления, выбор предпочтительного варианта строительства и реконструкции систем водоотведения

**Для цитирования:** Ярыгин Р.Н., Чупин Р.В., Мелехов Е.С. Минимизация рисков при разработке перспективных схем водоснабжения и водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 149–160. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-149-160>. EDN: TORJZJ.

## Minimizing risks in the development of prospective water supply and wastewater discharge schemes

Roman N. Yarygin<sup>1</sup>, Roman V. Chupin<sup>2✉</sup>, Evgeny S. Melekhov<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

**Abstract.** Water supply and wastewater discharge systems constitute capital-intensive, energy-consuming, and complex facilities that are characterized by significant inertia and are, therefore, difficult to adapt to constantly changing operating conditions. The past 20 years have seen a decrease in specific water consumption by almost half. Infill development and the fact that new projects are not designed for the existing utility lines caused an overload in many parts of water supply and wastewater discharge systems, while others became virtually non-functioning. All these factors led to increased failure rates, significant maintenance costs, inadequate hydraulic conditions, and deterioration of drinking water quality, as well as clogs and blockages in sewers. An example is group water supply systems, whose construction was

very popular in the era of “developed socialism” and the post-perestroika period. Nowadays, many of them continue to operate, with no one to supply water to, as many settlements have simply ceased to exist due to migration processes. The current situation can be attributed to planning and design errors or, more precisely, the neglect of factors that exist now and will probably arise in the future. Design is known to be a process of creating an object that is yet to be realized. The object needs to be designed so that it functions in the future, and the future is not defined and has no deterministic parameters and values (the basic contradiction of design). The article proposes one of the possible approaches to resolving this contradiction; it is based on studying the zone of uncertainty and identifying minimum economic risk options.

**Keywords:** water supply and sanitation systems, uncertainty in population and water consumption, the choice of the preferred option for the construction and reconstruction of wastewater systems.

**For citation:** Yarygin R.N., Chupin R.V., Melekhov E.S. Minimizing risks in the development of prospective water supply and wastewater discharge schemes. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1):149-160. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-149-160>. EDN: TORJZJ.

## ВВЕДЕНИЕ

Населенные территории и современные города развиваются несмотря на то, что численность населения многих из них уменьшается за счет естественной убыли и миграционных процессов, которые по многим причинам невозможно остановить. Определяющим параметром при создании будущей модели и системы водоотведения городской территории является ее производительность – объемы транспортируемой сточной жидкости, которые могут по мере развития системы изменяться – увеличиваться или уменьшаться как в долгосрочном периоде, так и в течении суток. Величина водоотведения зависит от планируемых объемов жилищного, социального и промышленного строительства, численности населения, удельного водопотребления, применения ресурсосберегающих технологий, автоматизации и интеллектуализации эксплуатации. В свою очередь объемы жилищного и социального строительства зависят от многих факторов, в том числе от покупательской способности населения, наличия государственных субсидий, организационно-финансового состояния застройщиков и др. Все перечисленные условия в конечном итоге порождают неопределенности в перспективных нагрузках водоотведения.

Согласно Градостроительному кодексу Российской Федерации (ГрК РФ 2023 г.) и постановлению правительства РФ от 5 сентября 2013 г. № 782 схемы водоснабжения и водоотведения разрабатываются на период не менее 10 лет. Однако, что будет через 10 лет, какие будут цены и инфляция, какое будет удельное потребление воды и водоотведение, какая будет численность населения – невозможно точно определить и спрогнозировать. По этой причине в СП 31.13330.2021 рекомендуется

указывать не конкретные числа, а интервал значений удельных расходов. В качестве примера можно указать 165–180 л/чел сутки, но возникает проблема, какое из предложенных значений учитывать в расчетах. Можно выбрать удельный расход в 165 л/чел в сутки, но после реализации проекта он может оказаться 180 л/чел сутки. Следовательно, потребуются увеличение мощности сооружений и дополнительные значительные финансовые затраты. Можно выбрать удельный расход в 180 л/чел в сутки, а после реализации проекта он окажется 165 л/чел сутки. В этом случае мощности сооружений окажутся завышенными, а режимы эксплуатации будут нерациональными и затратными. Можно при выборе расчетной удельной нагрузки принимать во внимание фактическое водопотребление и водоотведение, например 170 л/чел сутки, но это возможно, если есть уверенность, что она не изменится в момент окончания строительства сооружения. В настоящей публикации предлагается подход, основанный на многовариантном расчете и проектировании систем водоотведения на всевозможные значения нагрузок и оценке каждого из возможных вариантов на основе матрицы финансовых рисков. При этом риски оцениваются через стоимости жизненного цикла различных сценариев реализации проекта. Разработанный подход рекомендуется использовать при обосновании параметров перспективных схем водоснабжения и водоотведения. Неопределенность по объемам водоотведения, по количеству абонентов, пользующихся услугами будущей системы водоотведения, в работах [1–5] предлагается учитывать на основе методологии нечеткого представления данных и теории принятия решений. Анализ зарубежных подходов и

методов по управлению сложными техническими системами, в том числе системами водоснабжения и водоотведения, показал, что эффективными методами борьбы с неопределенностью параметров проектируемых систем являются методы, основанные на нечетком множестве, на алгебре интервальной математики, теории игр и принятии решения [6–17]. В настоящей работе исследуются критерии принятия решения, которые минимизируют финансовые риски, формируются общие рекомендации по выбору расчетных значений объемов водоотведения на каждом из этапов строительства, развития и реконструкции. Перед разработчиками перспективных схем водоотведения на период 10 и более лет возникает ряд неопределенностей, имеющих природный и антропогенный характер. Человечество на всем своем протяжении существования изучает климат планеты, но прогноз, которому можно доверять, осуществим всего на 3-5 дней. В человеческой деятельности неопределенности имеют политические, экономические, технические, социальные аспекты. Неопределенности, с которыми сталкиваются проектировщики и лица, принимающие решения о строительстве систем водоотведения, можно классифицировать как следующие: неточности информации о динамике, технико-экономических показателей, параметров новой техники и технологии. А также нагрузки, сроки ввода в строй объектов водоотведения, состояние заказчиков и застройщиков и др. С позиции обоснования параметров будущей системы наиболее важным показателем является удельное водопотребление и, следовательно, водоотведение. К этому показателю можно привести численность населения и другие неопределенные параметры. Поэтому в работе исследуется удельное водоотведение и предлагаются подходы к проектированию систем водоотведения с учетом вариативности этого показателя.

### **МЕТОДЫ**

Как уже отмечалось, при проектировании систем водоотведения следует рассматривать не одно фиксированное значение нагрузки, а всевозможные их варианты, причем на каждое значение следует формировать модель будущей системы и затем анализировать всевозможные исходы. Например, было выбрано одно значение нагрузки и построена система, а после строительства оказалось другая фактическая нагрузка. Если она окажется больше принятой в проекте, то система не может обеспечить транспортировку сточных вод. Следовательно, потребуется перекладка, переустройство, либо дополнительное строительство: новые насосные станции и

трубопроводы. Так, вариант системы водоотведения будет включать все мероприятия и затраты, рассчитанные на его реализацию, плюс затраты на реконструкцию. Если было выбрано одно значение нагрузки, а фактическая оказалась меньше, то также потребуются дополнительные затраты, чтобы привести к норме скоростные режимы движения сточных вод. Такие вычисления можно провести для любых допустимых к расчету нагрузок водоотведения и различных исходов. Любые дополнительные затраты на реконструкцию можно отнести к возможным рискам. Очевидно, что из всех полученных таким образом вариантов требуется выбрать тот, где меньше всего рисков при его строительстве и при последующей реконструкции. Для минимизации ошибок при проектировании и принятии решений о строительстве систем водоотведения предлагается на каждом этапе проводить исследования перечисленных выше неопределенностей и принимать те расчетные значения и параметры, которые бы обеспечивали минимальные из возможных рисков.

Например, для исследования неопределенности удельного водоотведения и обоснования его значений, обеспечивающих в будущих периодах функционирования систем водоотведения с наименьшими рисками, требуется:

- определить граничные значения нагрузок у существующих и новых абонентов, а также сформировать интервалы данной неопределенности;

- по каждому интервалу неопределенности зафиксировать среднее значение и произвести обоснование параметров системы водоотведения, определить стоимостные показатели, например, стоимость за жизненный цикл (СЖЦ) [18–20];

- построить матрицу рисков, которая представляет всевозможные исходы и отклонения от принятых в расчетах параметров системы и затраты, которые потребуются, чтобы реконструировать принятый вариант до фактических параметров системы в будущих периодах ее функционирования;

- рассчитать возможные риски, определить их количественные (средние, суммарные, взвешенные показатели) и выбрать вариант, который бы удовлетворял лиц, принимающих решение.

Интервалы неопределенности в отношении нагрузок, количества абонентов, времени ввода в эксплуатацию, стоимости оборудования и строительства следует назначать не произвольно, а на основе различных прогнозов, программ социально-экономического развития, форсайтов, стратегических планов,

экспертных оценок, ретроспективного анализа и др. С учетом изложенного методического подхода к проектированию систем водоотведения в условиях неопределенности удельного водоотведения рассмотрим в качестве примера обоснования параметров самотечного коллектора длиной 1 км с уклоном 0,002, по которому стоки будут отводиться на канализационные сооружения от вновь строящегося района на 100 тыс. чел.

Согласно СП 31.13330.2021 в качестве границ зоны неопределенности удельного

водоотведения примем значения 165–180 л/чел в сутки и рассчитаем возможные минимальные и максимальные объемы водоотведения нового района застройки. Эти нагрузки будут следующими: 0,19–0,21 м³/с. Разобьем исследуемый интервал на следующие значения: 0,19; 0,195; 0,2; 0,205; 0,21. Для каждого значения расходов определим теоретические диаметры коллекторов с расчетным наполнением 0,7 и по укрупненным нормам определим капиталовложения в них [18]. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Выбор предпочтительного варианта строительства коллектора

**Table 1.** Choosing the preferred option for the construction of a collector

|   | Расход, м³/с | диаметр, мм | СЖЦ млн руб. | Стандартный диаметр, мм | Наполнение h/d | Скорость, м/с |
|---|--------------|-------------|--------------|-------------------------|----------------|---------------|
| 1 | 2            | 3           | 4            | 5                       | 6              | 7             |
| 1 | 0,190        | 570         | 150          | 630                     | 0,65           | 0,99          |
| 2 | 0,195        | 580         | 150          | 630                     | 0,66           | 0,99          |
| 3 | 0,200        | 590         | 150          | 630                     | 0,67           | 0,99          |
| 4 | 0,205        | 590         | 150          | 630                     | 0,69           | 0,99          |
| 5 | 0,210        | 600         | 150          | 630                     | 0,70           | 1,00          |

Как видно из таблицы, для всех теоретических диаметров (см. колонку 3) стандартным будет диаметр коллектора 630 мм. Для диаметра 630 мм пропуск возможных расходов от 0,19 до 0,21 м³/с не приведет к нарушению гидравлических параметров по наполнению и скоростному режиму (см. колонки 6,7).

Следовательно, в расчет принимается диаметр 600 мм и при этом риск будет нулевой. Рассмотрим случай, когда требуется обосновать параметры самотечного коллектора длиной 1 км с уклоном 0,001, от нового района на 500 тыс. чел. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

**Таблица 2.** Выбор предпочтительного варианта строительства коллектора

**Table 2.** Choosing the preferred option for the construction of a collector

|   | Расход, м³/с | Диаметр, мм | СЖЦ млн руб. | Стандартный диаметр, мм | Наполнение h/d | Скорость, м/с |
|---|--------------|-------------|--------------|-------------------------|----------------|---------------|
| 1 | 0,950        | 1140        | 300,0        | 1200                    | 0,71           | 1,11          |
| 2 | 0,975        | 1150        | 300,0        | 1200                    | 0,72           | 1,11          |
| 3 | 1,000        | 1160        | 300,0        | 1200                    | 0,74           | 1,12          |
| 4 | 1,025        | 1170        | 300,0        | 1200                    | 0,76           | 1,12          |
| 5 | 1,050        | 1180        | 300,0        | 1200                    | 0,77           | 1,12          |

Как видно из таблицы, для всех теоретических диаметров (см. колонку 3) стандартным будет диаметр коллектора 1200 мм.

Для диаметра 1200 мм пропуск возможных расходов от 0,95 до 1,05 м³/с не приведет к нарушению гидравлических параметров по наполнению и скоростному режиму (см. колонки 6, 7).

Следовательно, в расчет принимается диаметр 1200 мм и при этом риск будет нулевой.

*В качестве рекомендации проектировщикам следует в расчетах принимать из диапазона удельного водопотребления 165–180 л/чел в сутки (см. СП 31.13330.2021), наибольшее значение 185 л/чел в сутки.*

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Следует отметить, что нормы в СП 31.13330.2021 рассчитаны на перспективу от одного года и до трех лет, но если рассматривать временной интервал более 10 лет, то за счет энергосберегающей политики и технологий удельное водопотребление может уменьшиться до значений 100 л/чел в сутки, а может, за счет устройства бассейнов в квартирах, посудомоечных и стиральных машин, вернуться на исходные позиции в 250 л/чел в сутки. В этом случае, для населенного района в 100 тыс. чел диапазон расходов расширится до значений от 0,1 до 0,29 л/с и решение будет другим (см. табл. 3).

**Таблица 3.** Выбор предпочтительного варианта строительства для диапазона удельных нагрузок 100–250 л/чел в сутки

**Table 3.** Selection of the preferred construction option for the specific load range of 100-250 litres per person per day

| №  | Расход, м³/с | Теоретический диаметр, мм | СЖЦ млн руб. | Стандартный диаметр, мм | Наполнение h/d | Скорость, м/с |
|----|--------------|---------------------------|--------------|-------------------------|----------------|---------------|
| 1  | 0,10         | 450                       | 125          | 500                     | 0,58           | 0,85          |
| 2  | 0,11         | 470                       | 125          | 500                     | 0,62           | 0,86          |
| 3  | 0,13         | 500                       | 125          | 500                     | 0,7            | 0,89          |
| 4  | 0,15         | 530                       | 150          | 630                     | 0,55           | 0,94          |
| 5  | 0,17         | 550                       | 150          | 630                     | 0,6            | 0,96          |
| 6  | 0,19         | 570                       | 150          | 630                     | 0,65           | 0,99          |
| 7  | 0,21         | 600                       | 150          | 630                     | 0,7            | 1,00          |
| 8  | 0,23         | 620                       | 200          | 800                     | 0,29           | 1,04          |
| 9  | 0,25         | 640                       | 200          | 800                     | 0,48           | 1,06          |
| 10 | 0,27         | 660                       | 200          | 800                     | 0,5            | 1,08          |
| 11 | 0,29         | 670                       | 200          | 800                     | 0,51           | 1,09          |

Как видно из таблицы, для расходов от 0,1 до 0,13 м³/с требуется диаметр коллектора 500 мм, для от 0,15 до 0,21 м³/с – диаметр 630 мм, а для от 0,23 до 0,29 м³/с – диаметр 800 мм. Какой из трех диаметров или расход принять в качестве расчетного – однозначно сказать затруднительно. Рассмотрим всевозможные исходы и определим при каких расходах коллектора будут работать в допустимых гидравлических режимах, а при каких они переполнятся (случай наполнения больше 0,8). Матрица включает n столбцов и n строк. Строки обозначают выбор решения и его последствия в случае совпадения и несовпадения после реализации проекта. Например, в табл. 4 вторая строка обозначает, что выбран в качестве расчетного расход 0,1 м³/с, а после реализации

проекта расход может оказаться от 0,1 м³/с (совпадение), 0,11 уже не совпадение, и так до значения 0,29 м³/с. Третья строка соответствует выбору расхода 0,11 м³/с и т. д. до расхода 0,29 м³/с. Очевидно, диагональ этой матрицы будет соответствовать совпадению (какой расход выбрали, такой он и оказался). Важными показателями проектируемой системы водоотведения являются наполнение, которое должно быть в пределах от 0,3 до 0,7, скорость потока сточной жидкости должна быть не больше заиливающей скорости. Поэтому исследуем интервал неопределенности расходов от 0,1 до 0,29 м³/с и построим матрицу рисков в части попадания наполнения в интервал от 0,3 до 0,7. Для дискретных значений диаметров эти наполнения представлены в табл. 4.

**Таблица 4.** Матрица рисков в части возможных наполнений самотечных коллекторов стандартного диаметра

**Table 4.** Risk matrix regarding possible fillings of gravity collectors of standard diameter

| D, м | м³/с | 0,10 | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,23 | 0,25 | 0,27 | 0,29 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0,5  | 0,10 | 0,58 | 0,62 | 0,7  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  |
| 0,5  | 0,11 | 0,58 | 0,62 | 0,7  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  |
| 0,5  | 0,13 | 0,58 | 0,62 | 0,7  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  |
| 0,6  | 0,15 | 0,43 | 0,45 | 0,5  | 0,55 | 0,6  | 0,65 | 0,7  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  |
| 0,6  | 0,17 | 0,43 | 0,45 | 0,5  | 0,55 | 0,6  | 0,65 | 0,7  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  |
| 0,6  | 0,19 | 0,43 | 0,45 | 0,5  | 0,55 | 0,6  | 0,65 | 0,7  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  |
| 0,6  | 0,21 | 0,43 | 0,45 | 0,5  | 0,55 | 0,6  | 0,65 | 0,7  | 0,7  | 0,59 | 0,62 | 0,66 |
| 0,7  | 0,23 | 0,34 | 0,37 | 0,4  | 0,43 | 0,47 | 0,50 | 0,53 | 0,56 | 0,59 | 0,62 | 0,66 |
| 0,7  | 0,25 | 0,34 | 0,37 | 0,4  | 0,43 | 0,47 | 0,50 | 0,53 | 0,56 | 0,59 | 0,62 | 0,66 |
| 0,7  | 0,27 | 0,34 | 0,37 | 0,4  | 0,43 | 0,47 | 0,50 | 0,53 | 0,56 | 0,59 | 0,62 | 0,66 |
| 0,7  | 0,29 | 0,33 | 0,37 | 0,4  | 0,43 | 0,47 | 0,50 | 0,53 | 0,56 | 0,59 | 0,62 | 0,66 |

Очевидно, для участков, у которых наполнение будет 1, потребуется переложить на больший диаметр, либо проложить параллельно, дополнительный трубопровод (см. табл. 5, показано голубым цветом). На основании табл. 5 по каждому исходу определим затраты за жизненный цикл и сведем их в табл. 6.

Далее, возникает задача, какой из расходов, а, следовательно, и диаметр, принять в расчет, чтобы риски были бы минимальными.

В теории принятия решения [21] общепринятыми являются пять критериев. Исследуем матрицу рисков (табл. 6) в отношении этих критериев.

**Таблица 5.** Матрица возможных диаметров коллекторов

**Table 5.** Matrix of possible collector diameters

| D, м | м³/с | 0,10 | 0,11 | 0,13 | 0,15         | 0,17        | 0,19        | 0,21        | 0,23         | 0,25        | 0,27        | 0,29        |
|------|------|------|------|------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,5  | 0,10 | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5+<br>0,25 | 0,5+<br>0,3 | 0,5+<br>0,4 | 0,5+<br>0,5 | 0,5+<br>0,5  | 0,5+<br>0,5 | 0,5+<br>0,6 | 0,5+<br>0,6 |
| 0,5  | 0,11 | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5+<br>0,25 | 0,5+<br>0,3 | 0,5+<br>0,4 | 0,5+<br>0,5 | 0,5+<br>0,5  | 0,5+<br>0,5 | 0,5+<br>0,6 | 0,5+<br>0,6 |
| 0,5  | 0,13 | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5+<br>0,25 | 0,5+<br>0,3 | 0,5+<br>0,4 | 0,5+<br>0,5 | 0,5+<br>0,5  | 0,5+<br>0,5 | 0,5+<br>0,6 | 0,5+<br>0,6 |
| 0,6  | 0,15 | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6          | 0,6         | 0,6         | 0,6         | 0,6+<br>0,25 | 0,6+<br>0,3 | 0,6+<br>0,4 | 0,6+<br>0,5 |
| 0,6  | 0,17 | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6          | 0,6         | 0,6         | 0,6         | 0,6+<br>0,25 | 0,6+<br>0,3 | 0,6+<br>0,4 | 0,6+<br>0,5 |
| 0,6  | 0,19 | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6          | 0,6         | 0,6         | 0,6         | 0,6+<br>0,25 | 0,6+<br>0,3 | 0,6+<br>0,4 | 0,6+<br>0,5 |
| 0,6  | 0,21 | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6          | 0,6         | 0,6         | 0,6         | 0,6+<br>0,25 | 0,6+<br>0,3 | 0,6+<br>0,4 | 0,6+<br>0,5 |
| 0,8  | 0,23 | 0,8  | 0,8  | 0,8  | 0,8          | 0,8         | 0,8         | 0,8         | 0,8          | 0,8         | 0,8         | 0,8         |
| 0,8  | 0,25 | 0,8  | 0,8  | 0,8  | 0,8          | 0,8         | 0,8         | 0,8         | 0,8          | 0,8         | 0,8         | 0,8         |
| 0,8  | 0,27 | 0,8  | 0,8  | 0,8  | 0,8          | 0,8         | 0,8         | 0,8         | 0,8          | 0,8         | 0,8         | 0,8         |
| 0,8  | 0,29 | 0,8  | 0,8  | 0,8  | 0,8          | 0,8         | 0,8         | 0,8         | 0,8          | 0,8         | 0,8         | 0,8         |

**Таблица 6.** Матрица рисков относительно затрат за жизненный цикл коллектора

**Table 6.** Risk matrix with respect to costs over the life cycle of the collector

| D, м | м³/с | 0,10 | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,23 | 0,25 | 0,27 | 0,29 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0,5  | 0,10 | 125  | 125  | 125  | 175  | 185  | 195  | 250  | 250  | 250  | 275  | 275  |
| 0,5  | 0,11 | 125  | 125  | 125  | 175  | 185  | 195  | 250  | 250  | 250  | 275  | 275  |
| 0,5  | 0,13 | 125  | 125  | 125  | 175  | 185  | 195  | 250  | 250  | 250  | 275  | 275  |
| 0,6  | 0,15 | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 210  | 220  | 275  |
| 0,6  | 0,17 | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 210  | 220  | 275  |
| 0,6  | 0,19 | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 210  | 220  | 275  |
| 0,6  | 0,21 | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 210  | 220  | 275  |
| 0,8  | 0,23 | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  |
| 0,8  | 0,25 | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  |
| 0,8  | 0,27 | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  |
| 0,8  | 0,29 | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  |

#### Критерий 1 (Лапласа)

Предполагает, что все риски равновероятны и поэтому по каждой строке вычисляются средневзвешенные их значения (СЖЦ суммируются и делятся на их количество, на 11). Эти значения представлены в последнем столбце

табл. 7. Из всех средневзвешенных рисков выбирается минимальный и в качестве расчетного принимается соответствующий расход или диаметр трубопровода.

Согласно таблице – это будут расходы от 0,15 до 0,21 м³/с, или диаметр 600 мм.

Таблица 7. Матрица рисков и выбор предпочтительного решения

Table 7. Risk matrix and choice of preferred solution

| Расход м³/с | 0,10 | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,23 | 0,25 | 0,27 | 0,29 | Средняя<br>СЖЦ, млн<br>руб. |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------------|
| 0,10        | 125  | 125  | 125  | 175  | 185  | 195  | 250  | 250  | 250  | 275  | 275  | 184,5                       |
| 0,11        | 125  | 125  | 125  | 175  | 185  | 195  | 250  | 250  | 250  | 275  | 275  | 184,5                       |
| 0,13        | 125  | 125  | 125  | 175  | 185  | 195  | 250  | 250  | 250  | 275  | 275  | 184,5                       |
| 0,15        | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 210  | 220  | 275  | 177,7                       |
| 0,17        | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 210  | 220  | 275  | 177,7                       |
| 0,19        | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 210  | 220  | 275  | 177,7                       |
| 0,21        | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 210  | 220  | 275  | 177,7                       |
| 0,23        | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200,0                       |
| 0,25        | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200,0                       |
| 0,27        | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200,0                       |
| 0,29        | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200,0                       |
|             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                             |

**Критерий 2 (Вальда)**

Основывается на предположении, что скорее всего произойдет наиболее худший вариант, т. е. были выбраны минимальные значения расходов, а после строительства они оказались максимальными. Поэтому среди наихудших исходов требуется выбрать наилучший, с минимальным риском. Для применения

этого критерия в матрице рисков в каждой строке выбирается максимальное значение по СЖЦ. Из всех максимальных значений в расчет принимается минимальное – наилучшее решение из всех наихудших. В этом случае, согласно табл. 8, следует принять расходы от 0,23 до 0,29 м³/с. и в качестве расчетного диаметра 800 мм.

Таблица 8. Матрица рисков и выбор предпочтительного решения

Table 8. Risk matrix and choice of preferred solution

| Расход м³/с | 0,10 | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,23 | 0,25 | 0,27 | 0,29 | Макс.<br>СЖЦ,<br>млн руб. |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------------|
| 0,10        | 125  | 125  | 125  | 175  | 185  | 195  | 250  | 250  | 250  | 275  | 275  | 275                       |
| 0,11        | 125  | 125  | 125  | 175  | 185  | 195  | 250  | 250  | 250  | 275  | 275  | 275                       |
| 0,13        | 125  | 125  | 125  | 175  | 185  | 195  | 250  | 250  | 250  | 275  | 275  | 275                       |
| 0,15        | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 210  | 220  | 275  | 275                       |
| 0,17        | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 210  | 220  | 275  | 275                       |
| 0,19        | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 210  | 220  | 275  | 275                       |
| 0,21        | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 210  | 220  | 275  | 275                       |
| 0,23        | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200,0                     |
| 0,25        | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200,0                     |
| 0,27        | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200,0                     |
| 0,29        | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200,0                     |
|             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                           |

**Критерий 3 (максимального оптимизма)**

Если лицо, принимающее решение, уверено, что развитие пойдет по наилучшему сценарию, например, за счет ресурсосберегающих мероприятий, то удельное водопотребление

будет уменьшаться. В этом случае по каждой строке матрицы рисков выбираются минимальные значения СЖЦ и из всех минимальных выбирается наименьшее по значению. В соответствии с данным критерием в табл. 9 в

последнем столбце представлены минимальные значения по каждой строке и в качестве расчетного расхода принят промежуток от 0,1 до 0,13 м³/с, а диаметр трубопровода 500 мм.

**Таблица 9.** Матрица рисков и выбор предпочтительного решения

**Table 9.** Risk matrix and choice of preferred solution

| Расход<br>м³/с | 0,10 | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,23 | 0,25 | 0,27 | 0,29 | Миним.<br>СЖЦ, млн руб. |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------------|
| 0,10           | 125  | 125  | 125  | 175  | 185  | 195  | 250  | 250  | 250  | 275  | 275  | 125                     |
| 0,11           | 125  | 125  | 125  | 175  | 185  | 195  | 250  | 250  | 250  | 275  | 275  | 125                     |
| 0,13           | 125  | 125  | 125  | 175  | 185  | 195  | 250  | 250  | 250  | 275  | 275  | 125                     |
| 0,15           | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 210  | 220  | 275  | 150                     |
| 0,17           | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 210  | 220  | 275  | 150                     |
| 0,19           | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 210  | 220  | 275  | 150                     |
| 0,21           | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 210  | 220  | 275  | 150                     |
| 0,23           | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200,0                   |
| 0,25           | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200,0                   |
| 0,27           | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200,0                   |
| 0,29           | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200,0                   |
|                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                         |

#### Критерий 4 (Сэвиджа)

Основан на принципе минимизации потерь, связанных с тем, что принято не оптимальное решение.

Матрица потерь строится на основании матрицы рисков (см. табл. 9), в которой в каждом столбце выбирается элемент с минимальным риском и по каждому другому элементу

столбца определяется разница между ними. В последнем столбце матрицы потерь (см. табл. 10) заносятся максимальные разницы по каждой строке. Из всех максимальных разниц выбирается минимальная, она и принимается в расчет. Согласно данному критерию решением будут расходы от 0,15 до 0,29 м³/с и диаметры коллекторов 630 и 800 мм.

**Таблица 10.** Матрица потерь и выбор предпочтительного решения

**Table 10.** Loss matrix and choice of preferred solution

| Расход<br>м³/с | 0,10 | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,23 | 0,25 | 0,27 | 0,29 | Макс.<br>стои-<br>мость,<br>млн<br>руб. |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------------------------|
| 0,10           | 0    | 0    | 0    | 25   | 35   | 45   | 100  | 50   | 50   | 75   | 75   | 100                                     |
| 0,11           | 0    | 0    | 0    | 25   | 35   | 45   | 100  | 50   | 50   | 75   | 75   | 100                                     |
| 0,13           | 0    | 0    | 0    | 25   | 35   | 45   | 100  | 50   | 50   | 75   | 75   | 100                                     |
| 0,15           | 25   | 25   | 25   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 10   | 20   | 75   | 75                                      |
| 0,17           | 25   | 25   | 25   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 10   | 20   | 75   | 75                                      |
| 0,19           | 25   | 25   | 25   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 10   | 20   | 75   | 75                                      |
| 0,21           | 25   | 25   | 25   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 10   | 20   | 75   | 75                                      |
| 0,23           | 75   | 75   | 75   | 50   | 50   | 50   | 50   | 0    | 0    | 0    | 0    | 75                                      |
| 0,25           | 75   | 75   | 75   | 50   | 50   | 50   | 50   | 0    | 0    | 0    | 0    | 75                                      |
| 0,27           | 75   | 75   | 75   | 50   | 50   | 50   | 50   | 0    | 0    | 0    | 0    | 75                                      |
| 0,29           | 75   | 75   | 75   | 50   | 50   | 50   | 50   | 0    | 0    | 0    | 0    | 75                                      |
|                | 125  | 125  | 125  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 200  | 200  | 200  |                                         |



**Критерий 5 (Гурвица)**

Вводится некоторый коэффициент оптимизма  $\alpha$ , который выражает доверие к наилучшему исходу и доверие  $(1 - \alpha)$  к наихудшему исходу. Если вероятности благоприятной и неблагоприятной ситуации равны, то следует принять  $\alpha = 0,5$ . Выбирается та альтернатива, для которой функция полезности максимальна. Пусть  $\alpha = 0,5$ , то согласно вышеизложенному, по каждой строке выбирается

элемент с наименьшими и наибольшими значениями стоимости за жизненный цикл системы и в последнем столбце записывается среднее значение. В итоге принимается вариант расхода с минимальными средними значениями.

Согласно таблице 11, принимаем значения расходов от 0,1 до 0,13 м³/с, либо от 0,23 до 0,29 м³/с, соответственно диаметры либо 500 мм, либо 800 мм.

**Таблица 11.** Матрица рисков и выбор предпочтительного решения

**Table 11.** Risk matrix and choice of preferred solution

| Расход м³/с | 0,10 | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,23 | 0,25 | 0,27 | 0,29 | Миним. стоимость, млн руб. |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------------------|
| 0,10        | 125  | 125  | 125  | 175  | 185  | 195  | 250  | 250  | 250  | 275  | 275  | 200                        |
| 0,11        | 125  | 125  | 125  | 175  | 185  | 195  | 250  | 250  | 250  | 275  | 275  | 200                        |
| 0,13        | 125  | 125  | 125  | 175  | 185  | 195  | 250  | 250  | 250  | 275  | 275  | 200                        |
| 0,15        | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 210  | 220  | 275  | 212,5                      |
| 0,17        | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 210  | 220  | 275  | 212,5                      |
| 0,19        | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 210  | 220  | 275  | 212,5                      |
| 0,21        | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 150  | 200  | 210  | 220  | 275  | 212,5                      |
| 0,23        | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200,0                      |
| 0,25        | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200,0                      |
| 0,27        | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200,0                      |
| 0,29        | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200,0                      |
|             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                            |

Из пяти основных критериев теории принятия решения по трем критериям предпочтительными расходами являются от 0,23 до 0,29 м³/с. Следовательно, для проектирования можно принять коллектор с диаметром 800 мм. При этом риски будут минимальными, хотя этот вариант будет на начальном этапе строительства самым дорогим. С другой стороны, коллектор диаметром 800 мм будет практически всегда недогруженным, поскольку для расхода 0,29 м³/с теоретический диаметр составляет 670 мм.

Для расходов 0,1 м³/с наполнение будет близким к 0,3, а в ночные расходы будет меньше чем 0,3 и возможна работа при скоростях, меньше заиливающих, но вариант с диаметром 800 мм при любом исходе в отношении расходов не потребует перекадок и параллельных прокладок самотечных коллекторов. Подобные вычисления можно провести и в условиях неопределенности перспективных численности населения, стоимостных показателей, экологических факторов, возможных землетрясений и др.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. При рассмотрении перспективных схем водоотведения возникают неопределенности, связанные с объемами сточных вод, численностью населения, стоимостью оборудования и др. параметрами. Возникают риски от ошибочных решений и эти риски могут приводить к значительным финансовым затратам.

2. Предлагается нагрузки по водоотведению рассматривать как нечеткие множества и переходить к многовариантному проектированию на разные значения в интервале их неопределенности. На основе полученных таким образом вариантов перспективных схем водоотведения строится матрица всевозможных исходов и определяется вариант, обеспечивающий минимальные риски по стоимости их жизненного цикла.

3. На основании численных экспериментов наименее рискованным вариантом при разработке перспективных схем водоотведения является вариант, рассчитанный на максимальные удельные нагрузки, рекомендуемые в СП 31.13330.2021, т. е. 180 л/чел в сутки.

4. Реализацию перспективных схем водоотведения рекомендуется осуществлять поэтапно в виде очередей строительства, с оценкой планируемых и достигнутых значений удельного водопотребления и численности населения. После каждого этапа строительства необходимо оценивать фактические нагрузки, делать прогноз, оценивать финансовые риски и корректировать решение.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. 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. 36–43. EDN: ZRKPZR.
2. Чупин Р.В., Мороз М.В., Чупин Р.В. Проектирование систем водоснабжения и водоотведения в условиях нечетких значений перспективного водопотребления и численности населения // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 11. С. 16–25. <https://doi.org/10.35776/VST.2022.11.02>. EDN: XXZIEA.
3. Чупин Р.В. Индикативное и адаптивное управление развитием систем водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 8. С. 31–37. EDN: XWQJJR.
4. Пешков В.В., Бобер В.А., Шлепнев О.К. Учет неопределенности водопотребления при оптимизации перспективных схем развития систем водоснабжения и водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3 (38). С. 446–451. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-446-451>. EDN: EIKRUB.
5. Чупин Р.В. Современное состояние, перспективы и пути развития систем водоснабжения и водоотведения, методы их расчета, построения и организации эксплуатации // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13 № 2 (45). С. 359–368. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-359-368>. EDN: BYRIND.
6. Honghua Shi, Xiaosheng Wang, Haiying Guo, Huifeng Hao Risk Assessment Models to Investigate the Impact of Emergency on a Water Supply System // Water Supply. 2020. Vol. 20. Iss. 8. P. 3542–3556. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.224>.
7. Odjegba E., Oluwasanya G., Sadiq A., Brion G. Sustainability and Risk Assessment Matrix (SRAM): Pathway to Water Security // Water Supply. 2020. Vol. 20. Iss. 7. P. 2928–2940. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.196>.
8. Nesticò A., De Mare G., Maselli G. An Economic Model of Risk Assessment for Water Projects // Water Supply. 2020. Vol. 20. Iss. 6. P. 2054–2068. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.093>.
9. Marques J., Cunha M. Upgrading Water Distribution Networks to Work Under Uncertain Conditions // Water Supply. 2020. Vol. 20. Iss. 3. P. 878–888. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.011>.
10. Pandey P., Dongre S., Gupta R. Probabilistic and Fuzzy Approaches for Uncertainty Consideration in Water Distribution Networks – A Review // Water Supply. 2020. Vol. 20. Iss. 1. P. 13–27. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.141>.
11. Zhaocai Wang, Xian Wu, Huifang Wang, Tunhua Wu Prediction and Analysis of Domestic Water Consumption Based on Optimized Grey and Markov Model // Water Supply. 2020. Vol. 21. Iss. 7. P. 3887–3899. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.146>.
12. Noori M., Emadi A., Fazloulou R. An Agent-Based Model for Water Allocation Optimization and Comparison with The Game Theory Approach // Water Supply. 2020. Vol. 21. Iss. 7. P. 3584–3601. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.124>.
13. Fitzgerald S.K., Owens C., Angles M., Hockaday D., Blackmore M., Ferguson M. Reframing Risk: A Risk Pathway Method for Identifying Improvement Through Control and Threat Analysis // Water Supply. 2018. Vol. 18. Iss. 1. P. 175–182. <https://doi.org/10.2166/ws.2017.098>.
14. Kalbusch A., Ghisi E. Energy Consumption in The Life Cycle of Plumbing Fixtures // Water Supply. 2019. Vol. 19. Iss. 1. P. 70–78. <https://doi.org/10.2166/ws.2018.053>.
15. Mangalekar R.D., Gumaste K.S. Residential Water Demand Modelling and Hydraulic Reliability in Design of Building Water Supply Systems: A Review // Water Supply. 2021. Vol. 21. Iss. 4. P. 1385–1397. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.021>.
16. Palod N., Prasad V., Khare R. Non-Parametric Optimization Technique for Water Distribution in Pipe Networks // Water Supply. 2020. Vol. 20. Iss. 8. P. 3068–3082. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.200>.
17. Shabani M., Gharneh N.S., Niaki S.T.A. Planning for Urban Water Supply–Demand Portfolio Using A Hybrid Robust Stochastic Optimization Approach // Water Supply. 2020. Vol. 20. Iss. 8. P. 3433–3448. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.257>.
18. 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.

19. Чупин Р.В., Фам Н.М. Оптимизация структуры и параметров развивающихся систем группового водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 1. С. 30–37. EDN: VRGOFJ.
20. 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.
21. Пахомов П.И., Немтинов В.А. Технология поддержки принятия решений по управлению инженерными коммуникациями. М.: Машиностроение, 2009. 124 с.

## REFERENCES

1. Chupin R.V., Primin O.G. 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;11:36-43. (In Russ.). EDN: ZRKPZR.
2. Chupin V.R., Moroz M.V., Chupin R.V. Designing Water Supply and Wastewater Disposal Systems in Conditions of Fuzzy Values of Prospective Water Consumption and Population Base. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary Technique*. 2022;11:16-25. (In Russ.). <https://doi.org/10.35776/VST.2022.11.02>. EDN: XXZIEA.
3. Chupin R.V. Indicative and Adaptive Management of the Water Supply and Wastewater Disposal System Development. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary Technique*. 2018;8:31-37. (In Russ.). EDN: XWQJJR.
4. Peshkov V.V., Bober V.A., Shlepnev O.K. Addressing Uncertainty in Water Consumption When Optimising Promising Water Supply and Disposal Schemes. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11;3(38):446-451. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-446-451>. EDN: EIKRUB.
5. Chupin V.R. Current State and Prospects of Water Supply and Sanitation Systems, Methods for Their Calculation, Design, and Operation. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13;2(45):359-368. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-359-368>. EDN: BYRIND.
6. Honghua Shi, Xiaosheng Wang, Haiying Guo, Huifeng Hao Risk Assessment Models to Investigate the Impact of Emergency on a Water Supply System. *Water Supply*. 2020;20;8:3542-3556. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.224>.
7. Odjegba E., Oluwasanya G., Sadiq A., Brion G. Sustainability and Risk Assessment Matrix (SRAM): Pathway to Water Security. *Water Supply*. 2020;20;7:2928-2940. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.196>.
8. Nesticò A., De Mare G., Maselli G. An Economic Model of Risk Assessment for Water Projects. *Water Supply*. 2020;20;6:2054-2068. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.093>.
9. Marques J., Cunha M. Upgrading Water Distribution Networks to Work Under Uncertain Conditions. *Water Supply*. 2020;20;3:878-888. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.011>.
10. Pandey P., Dongre S., Gupta R. Probabilistic and Fuzzy Approaches for Uncertainty Consideration in Water Distribution Networks – A Review. *Water Supply*. 2020;20;1:13-27. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.141>.
11. Zhaocai Wang, Xian Wu, Huifang Wang, Tunhua Wu Prediction and Analysis of Domestic Water Consumption Based on Optimized Grey and Markov Model. *Water Supply*. 2020;21;7:3887-3899. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.146>.
12. Noori M., Emadi A., Fazloulou R. An Agent-Based Model for Water Allocation Optimization and Comparison with The Game Theory Approach. *Water Supply*. 2020;21;7:3584-3601. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.124>.
13. Fitzgerald S.K., Owens C., Angles M., Hockaday D., Blackmore M., Ferguson M. Reframing Risk: a Risk Pathway Method for Identifying Improvement Through Control and Threat Analysis. *Water Supply*. 2018;18;1:175-182. <https://doi.org/10.2166/ws.2017.098>.
14. Kalbusch A., Ghisi E. Energy Consumption in The Life Cycle of Plumbing Fixtures. *Water Supply*. 2019;19;1:70-78. <https://doi.org/10.2166/ws.2018.053>.
15. Mangalekar R.D., Gumaste K.S. Residential Water Demand Modelling and Hydraulic Reliability in Design of Building Water Supply Systems: A Review. *Water Supply*. 2021;21;4:1385-1397. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.021>.
16. Palod N., Prasad V., Khare R. Non-Parametric Optimization Technique for Water Distribution in Pipe Networks. *Water Supply*. 2020;20;8:3068-3082. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.200>.
17. Shabani M., Gharneh N.S., Niaki S.T.A. Planning for Urban Water Supply–Demand Portfolio Using A Hybrid Robust Stochastic Optimization Approach. *Water Supply*. 2020;20;8:3433-3448. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.257>.
18. 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.

19. Chupin R.V., Fam N.M. Optimization of the Structure and Parameters of the Developing Group Water Supply Systems. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* = *Water Supply and Sanitary Technique*. 2019;1:30-37. (In Russ.). EDN: VRGOFJ.

20. 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.

21. Pakhomov P.I., Nemtinov V.A. *Decision Support Technology for Managing Engineering Communications*. Moscow: Mechanical Engineering, 2009. 124 p. (In Russ.).

#### Информация об авторах

**Ярыгин Роман Николаевич**,  
аспирант,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,  
e-mail: [hydrig@hydrigs.ru](mailto:hydrig@hydrigs.ru)  
<https://orcid.org/0009-0009-8077-9926>  
Author ID: 384518

**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](mailto:ch-r-v@mail.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-6163-909X>  
Author ID: 504512

**Мелехов Евгений Сергеевич**,  
к.т.н., доцент, доцент кафедры  
городского строительства и хозяйства,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,  
e-mail: [melekhov@ex.istu.edu](mailto:melekhov@ex.istu.edu)  
<https://orcid.org/0009-0006-5307-7388>  
Author ID: 381662

#### Information about the authors

**Roman N. Yarygin**,  
Postgraduate Student,  
Irkutsk National Research  
Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,  
e-mail: [hydrig@hydrigs.ru](mailto:hydrig@hydrigs.ru)  
<https://orcid.org/0009-0009-8077-9926>  
Author ID: 384518

**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](mailto:ch-r-v@mail.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-6163-909X>  
Author ID: 504512

**Evgeny S. Melekhov**,  
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,  
Associate Professor of the Department  
of Urban Construction and Management,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov str., Irkutsk 664074, Russia,  
e-mail: [melekhov@ex.istu.edu](mailto:melekhov@ex.istu.edu)  
<https://orcid.org/0009-0006-5307-7388>  
Author ID: 381662

#### 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 05.12.2023.  
Одобрена после рецензирования 27.12.2023.  
Принята к публикации 29.12.2023.

#### Information about the article

The article was submitted 05.12.2023.  
Approved after reviewing 27.12.2023.  
Accepted for publication 29.12.2023.