



Учет неопределенности водопотребления при оптимизации перспективных схем развития систем водоснабжения и водоотведения

© В. В. Пешков, В. А. Бобер, О. К. Шлепнев

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме: Проектирование городских систем водоснабжения и водоотведения связано с преодолением различных неопределенностей экономического, технического, природного и антропогенного характера. Наиболее значимыми из неопределенностей являются расчетные нагрузки по объемам потребления воды и отведения стоков. Если будет запроектирована и построена система водоснабжения и водоотведения на нагрузки большие, чем они окажутся в реальности, то из-за скорости движения воды и стоков будет происходить образование застойных зон, заиливание трубопроводов и даже их закупорка. Если фактическая нагрузка окажется больше той, на которую рассчитаны системы, это приведет к большим гидравлическим потерям напора, завышенным эксплуатационным расходам и значительному износу оборудования. Риски, которые возникают в случае завышения или занижения расчетных нагрузок, очень велики, поскольку в том и другом случае потребуются реконструкция и огромные финансовые вложения. Для минимизации таких рисков в работе предлагается методика, основанная на принципах многоэтапной и адаптивной процедуры реализации проекта с выбором траектории развития с минимальными рисками от принимаемых решений на каждом из этапов реализации проекта. Проведенные численные эксперименты показали эффективность предлагаемой методики и соответствие ее сложившейся в стране технологии проектирования и развития систем водоснабжения и водоотведения. Данная методика позволяет выбрать оптимальную по критерию затрат жизненного цикла траекторию развития системы.

Ключевые слова: системы водоснабжения и водоотведения, минимизация рисков, оптимизация траектории развития, затраты жизненного цикла

Для цитирования: 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. С. 446–451. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-446-451>.

Addressing uncertainty in water consumption when optimising promising water supply and disposal schemes

Vitaliy V. Peshkov, Viktor A. Bober, Oleg K. Shlepnev

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract: The design of urban water supply and disposal systems is associated with overcoming various uncertainties of an economic, technical, natural and anthropogenic nature. Among them, the estimated loads for water consumption and discharge are the most significant. If water supply and disposal systems are designed and built for loads higher than the actual values, the water and runoff flow rates will cause quiescent area, pipeline silting and even plugging. If the actual load exceeds the designed load, this will lead to significant hydraulic pressure losses, overstated operating costs and considerable equipment wear. The risks involved with overestimating or underestimating the design loads are very high, as both would require reconstruction and immense financial investments. To minimise such risks, we propose a methodology based on a multi-stage and adaptive project implementation with minimum risks when making a decision at each step. A numerical study demonstrated the efficiency of the proposed methodology and its conformity with the domestic design process and development of water supply and disposal systems. This method allows the optimal way of system development to be chosen according to the life cycle costs.

Keywords: water supply and sanitation systems, risk minimization, optimization of development trajectory, life cycle costs

For citation: 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):446-451. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-446-451>.

Введение

При разработке схем водоснабжения и водоотведения и при их проектировании на отдаленную перспективу возникают неопределенности параметрического, экономического и организационного характера [1–3]. Перечислим наиболее значимые из них, которые влияют на эффективность работы будущей системы и которые необходимо учитывать при принятии решения о строительстве, реконструкции и развитии систем водоснабжения и водоотведения:

1. Неполноценность или неточность информации о параметрах новой техники и технологий в будущих периодах развития систем водоснабжения и водоотведения.

2. Некачественный прогноз и возможные ошибки в назначении расчетных значений объемов потребления воды и отведения стоков, которые обусловлены вариативностью перспективного удельного водопотребления, завышением показателей по жилищному, промышленному и социальному строительству или невыполнением плана ввода этих объектов в строй в обозначенные интервалы времени.

3. Колебания рыночных курсов, цен, рыночной конъюнктуры на строительные материалы, изделия и конструкции.

4. Неопределенность природно-климатических условий (холодные зимы, снежные покровы, дождливые или засушливые лето и осень, температурные аномалии), которые сказываются на глубине промерзания грунта, приводят к превышению расчетной интенсивности дождей, увеличению потребления воды и влияют на отведение сточных вод.

5. Возможные стихийные бедствия (наводнения и землетрясения), которые могут приводить к каскадному развитию аварий и возможному разрушению системы в целом, что требует резервирования дополнительных финансовых средств или повышения надежности работы системы до требуемых значений.

6. Неточность информации о финансовом положении и возможностях инвесторов и предприятий-застройщиков.

Учет перечисленных неопределенностей осуществляется путем проверки устойчивости проекта, и, при необходимости, корректировки его параметров, а также за счет применения нечеткого представления поведения системы, минимизации рисков на основе методов принятия

решения¹ [4, 5].

В последние годы благодаря проводимым в стране энерго-, ресурсосберегающим мероприятиям и устройству водосберегающей арматуры практически в два раза уменьшилась непроизводительная составляющая водопотребления населения, однако эффективная составляющая (приготовление пищи, стирка белья, уборка помещения и др.) осталась в прежних значениях и по отдельным городам даже увеличилась. Возможно, в ближайшее десятилетие эффективная составляющая водопотребления будет расти за счет появления новой бытовой техники, и люди будут чаще пользоваться душем, бассейнами и другими сантехническими приборами. Хотя насколько увеличится или уменьшится удельное водопотребление населения в целом, спрогнозировать затруднительно. При проектировании систем водоснабжения и водоотведения в качестве исходных данных принимаются перспективные нагрузки потребления воды, которые, согласно сложившейся градостроительной технологии, можно получить из утвержденных перспективных схем водоснабжения и водоотведения или из актуализированных генпланов поселений. Генеральные планы всегда нацелены на развитие и строительство новых объектов жилья, школ, больниц, развлекательных учреждений, промышленных и других объектов. Однако реальная ситуация часто оказывается иной, далекой от планируемых показателей. Численность населения уменьшается, инвесторы не находятся, и, как следствие, планируемые объекты не строятся. Возможны и обратные случаи, когда неожиданно находятся и выделяются огромные денежные средства и строятся объекты, не предусмотренные в генплане. В том или ином случае, предвидеть заранее эти обстоятельства невозможно. Невозможно также корректировать по каждому поводу всю градостроительную документацию. Энерго- и ресурсосберегающая политика привела к существенному уменьшению удельных показателей потребления воды во всех сферах деятельности человека. Но нормативная база не изменилась или не успевает корректироваться вслед за уменьшающимися значениями удельного водопотребления. В итоге, проектировщики пользуются устаревшими нормативами и уже заранее завышают параметры проектируемых систем.

Миграционные процессы, происходящие в

¹Бродецкий Г.Л. Системный анализ в логистике. Выбор в условиях неопределенности: учебник. М.: Академия, 2010. 336 с.

настоящее время, вносят дополнительную неопределенность в назначение параметров будущей системы водоснабжения и водоотведения. Ярким примером являются групповые водопроводы, построенные в 60-е годы прошлого столетия, которые в настоящее время загружены всего на 40–50 %. Причиной этого является то, что люди уезжают из небольших поселков в крупные города. В настоящее время наблюдаются случаи, когда вода подведена в населенные пункты, в которых никто не живет. Групповые водопроводы – это капиталоемкие сооружения, насчитывающие десятки тысяч километров трубопроводов и сотни насосных станций подкачки, эксплуатационные затраты измеряются в миллиардах рублей. При этом нарушается технология транспортирования воды и теряется ее качество. Централизованные системы водоснабжения и водоотведения являются энергозатратными сооружениями. Проектировщики при обосновании параметров таких сооружений стремятся уменьшить гидравлические потери в трубопроводах за счет увеличения диаметров и использования труб с гладкой внутренней поверхностью. Однако в нашей стране стоимость электроэнергии в различных регионах отличается в разы (минимальная в Иркутской области и почти в 10 раз больше в Магаданской области). Такая ситуация обусловлена корпоративными интересами энергетических компаний. Нет уверенности в том, что эта ситуация сохранится на долгие годы: либо цены сравняются, либо, наоборот, увеличится разница между ними. Однако неизвестно, когда это произойдет и на какие значения должны ориентироваться проектировщики.

Результаты и их обсуждение

Для минимизации рисков предлагается подход, основанный на принципе «Принимай решение с минимальной заблаговременностью». Что означает: «Не делай того сегодня, что можно сделать завтра». Наступит «завтра», информация изменится и уточнится, и можно будет принять более обоснованное решение. Также предлагается применять принцип «Не приступай к реализации проекта, если есть время для его доработки». Время снимает неопределенность. Неопределенная информация переходит в разряд вероятностной, а вероятностная информация становится детерминированной [6–9]. Реализация проекта должна выполняться по этапам. Этапы должны быть минимальными по времени. С учетом указанных принципов, реализацию проекта реконструкции и развития систе-

мы водоснабжения и водоотведения предлагается разбивать на этапы (очереди строительства). Например, если Схема водоснабжения и водоотведения принята на 15 лет, то количество очередей (этапов) реализации проекта можно принять равными 3 или 5 годам. Продолжительность очередей строительства зависит от времени действия инвестиционной программы предприятий коммунального комплекса (водоканала), которая, согласно закону «О водоснабжении и водоотведении», разрабатывается на период не менее трех лет. В инвестиционных программах определяются финансовые потребности на срок реализации проекта. Следовательно, финансирование проекта возможно в рамках времени действия инвестиционной программы. При этом так же, как и при назначении объемов потребления воды, возникают риски недофинансирования проекта. В том и другом случае эти риски должны быть просчитаны. Относительно перспективного водопотребления возникают следующие риски:

- от неопределенности удельного водопотребления (которое, как уже отмечалось, может уменьшаться или увеличиваться за время действия инвестиционной программы);

- от невыполнения программы строительства (объектов жилищного, социального, и промышленного назначения). Объекты могут быть не введены в строй ко времени реализации проекта по водоснабжению и водоотведению.

Очевидно, что за три года удельное водопотребление изменится незначительно, и его можно представить вероятностной величиной [10–12]. Невыполнение же программ строительства жилья, социальной и промышленной сферы, на основе которых формируются инвестиции на подключение новых абонентов, может привести к большим проблемам. Вода будет подведена к объектам, а объектов может и не быть или они появятся через неопределенное время. Поэтому интервал неопределенности для таких абонентов можно моделировать от нуля до расчетных значений потребления воды.

Следовательно, для каждого перспективного потребителя можно назначить возможные интервалы проектных нагрузок по воде и сточной жидкости. Для финансовой оценки рисков эти интервалы разбиваются на ряд фиксированных нагрузок (n), которым приписываются соответствующие вероятности их появления (если эти вероятности можно определить), либо для них формируются функции принадлежности к нечетким множествам² [13–15]. С учетом фиксиро-

²Ухоботов 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.

ванных значений нагрузок водопотребления выполняются расчеты стоимости реализации проектов, которых будет (n). Затем на основании полученных проектов и их стоимости строится «матрица рисков». В этой матрице первый столбец и первая строка представляют расчетные нагрузки водопотребления каждого интервала разбиения. В ячейках диагонали этой матрицы указываются соответствующие инвестиции в проекты. Следовательно, диагональ матрицы будет указывать на стопроцентное совпадение принятых в проекте нагрузок потребления воды с их фактическими значениями после реализации проекта. Например, запроектировали систему на определенные расходы, которые через три года оказались равными фактическим значениям водопотребления. Варианты, которые будут располагаться в ячейках матрицы по ее диагонали, будут соответствовать случаям несовпадения нагрузок. Например, запроектировали систему на определенный расход воды, а через три года фактические расходы оказались меньше или значительно меньше проектных. Следовательно, будут затрачены излишние финансовые средства, что является рискованным. Для приведения системы водоснабжения и водоотведения к требуемым фактическим нагрузкам ее потребуется реконструировать на меньшие расчетные значения. Для данных мероприятий потребуются дополнительные финансовые вложения. В матрице рисков эти затраты записываются в соответствующие ячейки с учетом затрат, расположенных на диагонали матрицы. Варианты, располагающиеся после диагональных элементов, будут соответствовать случаям, когда запроектировали систему водоснабжения и водоотведения на определенные нагрузки, а после реализации проекта фактические значения оказались больше или значительно больше, чем заложенные в проекте. В этом случае также потребуется реконструировать систему водоснабжения и водоотведения с целью доведения ее параметров до достаточных для транспортировки фактических нагрузок. На это потребуются дополнительные к основному проекту инвестиции. Суммарные значения инвестиций записываются в соответствующие ячейки матрицы.

Таким образом, матрица рисков представляет всевозможные случаи совпадения и несовпадения проектных нагрузок с их фактическими значениями, которые могут наблюдаться после реализации проекта. Значения инвестиций в каждой ячейке матрицы будут представ-

лять все возможные финансовые риски. С учетом построенной таким образом «матрицы рисков» необходимо выбрать предпочтительный вариант для строительства, который бы имел минимальное суммарное значение финансовых рисков. Для этого используются критерии теории принятия решения (вычисляются значения критериев Грувица, Лапласа, Севиджа и др.). После выбора предпочтительного варианта строительства, реконструкции или развития системы водоснабжения и водоотведения осуществляется его реализация (строительство). В ходе реализации проекта исходная информация по нагрузкам водопотребления и водоотведения, а также по удельным показателям строительства уточняется. И если в процессе реализации проекта возможны какие-либо корректировки, то их обязательно надо выполнять.

После реализации первого этапа и первой инвестиционной программы окончательно уточняются фактические нагрузки водопотребления и их удельные значения, а также и удельная стоимость по отдельным видам строительно-монтажных работ. С учетом последних, выполняется обоснование параметров второй очереди строительства. При этом формируется новая инвестиционная программа, и все вышеперечисленные процедуры повторяются. Выбирается предпочтительный вариант второй очереди, реализуется и т.д. Следует отметить, что в такой процедуре «инвестиционная программа» как инструмент финансирования проекта должна сама по себе учитывать финансовые риски ее возможного неисполнения и также должна корректироваться в ходе ее реализации.

Заключение

Предложенная методика оценки рисков при проектировании и строительстве систем водоснабжения и водоотведения требует разработки специальных подходов и методов оптимизации проектных решений с учетом существующих сетей и сооружений, их развития и консервации, когда расчетные нагрузки либо увеличиваются, либо уменьшаются. Частично такие методы предлагаются в работах³ [16], однако они требуют развития и совершенствования, а также реализации предложенной выше методологии проектирования систем водоснабжения в условиях вариативности их основных параметров и неопределенности водопотребления и водоотведения. Представленная новая методика обоснования параметров развивающихся систем водоснабжения и водоотведения

³Чупин Р.В. Модели и методы развития и реконструкции систем водоотведения в условиях вариативности перспективного отведения сточных вод: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Пенза, 2020. 43 с.

учитывает возможные риски из-за вариативности водопотребления и невыполнения обяза-

тельств по введению в строй объектов капитального строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федосова Р.Н., Крюкова О.Г. Управление рисками промышленного предприятия: опыт и рекомендации. М.: Экономика, 2008. 125 с.
2. Старостенко С.В. Факторы риска в сфере жилищно-коммунального хозяйства // Стратегии бизнеса. 2017. № 5 (37). С. 3–11.
3. Спицина Л.В. Классификация рисков в сфере жилищно-коммунальных услуг в современных условиях // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. № 6. С. 62–66.
4. Хохлов Н.В. Управление риском. М.: Флинта, 2003. 239 с.
5. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений. М.: Мир, 1990. 208 с.
6. Неведова Е.Д., Хямяляйнен М.М., Ковжаровская И.Б. Опыт оценки эффективности мероприятий инвестиционной программы предприятия водопроводно-канализационного хозяйства // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 3. С. 68–70.
7. Чупин Р.В., Примин О.Г. Обоснование параметров новых и реконструируемых систем водоотведения в условиях неопределенности перспективного потребления воды и сброса стоков // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 11. С. 36–45.
8. Пахомов П.И., Немчинов В.А. Технология поддержки принятия решений по управлению инженерными коммуникациями. М.: Машиностроение, 2009. 124 с.
9. Таха Х. Введение в исследование операций: в 2-х кн. М.: Мир 1985. I – 476 с., II – 496 с.

10. Евдокимов А.Г., Тевяшев А.Д. Потокораспределение в инженерных сетях. М.: Стройиздат, 1979. 200 с.
11. Евдокимов А.Г., Тевяшов А.Д., Дубровский В.В. Моделирование и оптимизация потокораспределения в инженерных сетях. М.: Стройиздат. 1990. 368 с.
12. Вербицкий А.С. Расчетный режим водопотребления и его использование при проектировании // Научные труды АКХ им. К.Д. Памфилова. 1978. № 155. С. 40–45.
13. Карамбиров С.Н., Трикозюк С.А. Многорежимная стохастическая оптимизация систем подачи и распределения воды // Природообустройство. 2008. № 5. С. 63–69.
14. Карамбиров С.Н. Математическое моделирование системы подачи и распределения воды в условиях многорежимности и неопределенности: монография. М.: Стройиздат, 2004. 197 с.
15. Карамбиров С.Н., Бекишева Л.Б. О некоторых статистических закономерностях водопотребления в системах водоснабжения // Природообустройство. 2012. № 4. С. 45–48.
16. Чупин Р.В., Пукемо М.М., Мелихов Е.С., Чупин В.Р. Совершенствование методики оптимизации и разработка предложения по созданию единой схемы водоотведения центральной экологической зоны Байкальской природной территории на примере Слюдянского района Иркутской области // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 1. С. 144–157. <http://dx.doi.org/10.21285/2227-2917-2019-1-144-157>.

REFERENCES

1. Fedosova RN, Kryukova OG. Industrial enterprise risk management: experience and recommendations. Moscow: Ekonomika; 2008. 125 p. (In Russ.).
2. Starostenko SV. Risk factors in communal sector. *Strategii biznesa*. 2017;5(37):3-11. (In Russ.).
3. Spitsina LV. Classification of risks in the field of housing and communal services in modern conditions. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. 2012;321(6):62-66. (In Russ.).
4. Khokhlov NV. Risk management. Moscow: Flinta; 2003. 239 p. (In Russ.).
5. Mushik E, Myuller P. Techniques for making technical decisions. Moscow: Mir; 1990. 208 p. (In Russ.).
6. Nefedova ED, Khyamyalyainen MM, Kovzharovskaya IB. The experience of evaluating the effi-

- ciency of the actions of the investment program of a water supply and wastewater disposal enterprise. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary Technique*. 2017;3:68-70. (In Russ.).
7. Chupin RV, Primin OG. Justification of the parameters of new and reconstructed wastewater disposal systems in the face of uncertainty in the future water consumption and wastewater discharge. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2017;11:36-45. (In Russ.).
8. Pakhomov PI, Nemchinov VA. Decision support technology for management of engineering communications. Moscow: Mashinostroenie; 2009. 124 p. (In Russ.).

9. Takha Kh. Introduction to Operations Research: in 2 vol. Moscow: Mir; 1985. I – 476 p., II – 496 p. (In Russ.).
10. Evdokimov AG, Tevyashev AD. Flow distribution in engineering networks. Moscow: Stroiizdat; 1979. 200 p. (In Russ.).
11. Evdokimov AG, Tevyashov AD, Dubrovskii VV. Modeling and optimization of flow distribution in engineering networks. Moscow: Stroiizdat; 1990. 368 p. (In Russ.).
12. Verbitskii AS. Estimated mode of water consumption and its use in design. 1978;155:40-45. (In Russ.).
13. Karambirov SN, Trikozyuk SA. Multimode stochastic optimization of water supply and distribution systems. *Prirodoobustroistvo*. 2008;5:63-69. (In Russ.).

14. Karambirov SN. Mathematical modeling of the water supply and distribution system under conditions of multimode and uncertainty: monograph. Moscow: Stroiizdat; 2004. 197 p. (In Russ.).
15. Karambirov SN, Bekisheva LB. About some statistical regularities of water consumption in water supply systems. *Prirodoobustroistvo*. 2012;4: 45-48. (In Russ.).
16. Chupin RV, Pukemo MM, Melikhov ES, Chupin VR. Unified wastewater disposal scheme for the central Baikal ecological zone on the example of the Slyudyansky district of the Irkutsk region: methodological optimisation and design proposal. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2019;9(1):144-157. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.21285/2227-2917-2019-1-144-157>.

Сведения об авторах

Пешков Виталий Владимирович,
доктор экономических наук,
профессор, заведующий кафедрой
экспертизы и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: pvv@istu.edu
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7999-0999>

Бобер Виктор Анатольевич,
аспирант кафедры
городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия

Шлепнев Олег Константинович,
аспирант кафедры
городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8969-611X>

Заявленный вклад авторов

Пешков В. В., Бобер В. А., Шлепнев О. К. имеют равные авторские права.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 25.06.2021.
Одобрена после рецензирования 22.07.2021.
Принята к публикации 26.07.2021.

Information about the authors

Vitaliy V. Peshkov,
Dr. Sci. (Econ.), Professor,
Head of the Department of Expertise
and Real Estate Management,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: pvv@istu.edu
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7999-0999>

Viktor A. Bober,
Postgraduate student of the Department
of Urban Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia

Oleg K. Shlepnev,
Postgraduate student of the Department
of Urban Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8969-611X>

Contribution of the authors

Peshkov V. V., Bober V. A., Shlepnev O. K. have equal author's rights.

Conflict of interests

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

The article was submitted 25.06.2021.
Approved after reviewing 22.07.2021.
Accepted for publication 26.07.2021.