УДК 628.1

© Ю. А. Феофанов, д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: ufeofanov@rambler.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-6-117-122

© Yu. A. Feofanov, Dr. Sci. Tech., Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: ufeofanov@rambler.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ЗАДАЧИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ

THE MODERN TASKS OF IMPROVING THE WATER SUPPLY SYSTEMS AT INHABITED LOCALITIES

Рассмотрены некоторые проблемы, возникающие в настоящее время в системах подачи и распределения водопроводной воды населенных мест России. Освещены пути решения этих проблем для крупных городов на примере Санкт-Петербурга.

Ключевые слова: водоснабжение населенных мест, системы подачи и распределения водопроводной воды, ресурсо- и энергосбережение в системах водоснабжения.

The article discusses some problems currently arising in the systems of water supply and distribution at inhabited localities in Russia. Some solutions to these problems referring to large cities are offered on the example of the Saint Petersburg megalopolis.

Keywords: water supply at inhabited localities, municipal water supply and distribution system, resource and energy saving in water supply systems.

Введение

Главной задачей эксплуатации систем коммунального водоснабжения является обеспечение потребителей качественной водопроводной водой в требуемом объеме при минимальных затратах. В водопроводно-канализационном хозяйстве населенных мест, так же как и во всех других сферах экономики, весьма актуальны вопросы ресурсо- и энергосбережения¹. Повышенные энергозатраты и потери воды в коммунальных сетях водоснабжения являются следствием неудовлетворительного состояния сетей и режимов их работы, недостаточно полного контроля и управления рабочими параметрами систем подачи и распределения водопроводной воды, устаревания оборудования насосных станций, несовершенства внутренних водопроводных систем и др. Сокращение объемов перекачиваемой воды за счет снижения непроизводительных расходов и потерь, а также понижение излишних напоров в сетях позволяют существенно снизить объемы

энергопотребления в системах водоснабжения. Снижение объемов водопотребления приводит также к сокращению объемов образующихся сточных вод и снижению энергозатрат в системах водоотведения. Снижение водопотребления и потерь воды в зданиях позволит увеличить полезную мощность внутреннего водопровода и канализации, исключить отрицательное воздействие утечек воды на фундаменты и другие строительные конструкции зданий, снизить энергозатраты на водоподготовку и подачу воды [1–2].

Интенсивность аварий на сетях, как и объем утечек, зависит от степени изношенности сети. На участках водопроводной сети с высокой степенью физического износа трубопроводов велика вероятность многочисленных аварий, появления значительных объемов утечек воды [1, 2]. Сокращение потока аварий на сетях в результате планового восстановительного ремонта дефектных участков трубопроводов позволяет сократить затраты на аварийный ремонт сети, повысить надежность работы системы подачи и распределения воды. Единичные затраты на проведение аварийных работ на водопроводных

¹ Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ.

сетях в 2,5–3 раза выше затрат на их планово-восстановительные ремонты, поэтому при своевременных ремонтах значительно снижаются общие эксплуатационные затраты на содержание сетей [1–5].

Общий объем неучтенных расходов воды в системах водоснабжения включает как собственно потери (утечки) воды, так и полезные расходы, к которым относятся расходы воды на собственные нужды организации водопроводно-канализационного хозяйства (промывка водопроводных и канализационных сетей; чистка резервуаров), расходы воды на противопожарные нужды и другие. Собственно потери воды (утечки из водопроводной сети) складываются из видимых утечек через уплотнения сетевой арматуры, водоразборные колонки, потерь воды при авариях и ремонте трубопроводов, арматуры и сооружений, а также скрытых утечек воды из водопроводной сети и емкостных сооружений. Причем, как показывают многолетние данные о структуре потерь (утечек) воды в водопроводной сети, в объеме общих потерь воды на сети преобладает объем скрытых утечек [1–3].

При существенном снижении водопотребления в городе изменяется гидравлический режим работы существующей системы подачи и распределения водопроводной воды. В результате в периферийных районах городской застройки могут значительно уменьшиться скорости движения воды в трубопроводах и ухудшиться качество водопроводной воды, что потребует дополнительных мер по восстановлению ее качества.

Современные проблемы эксплуатации систем подачи и распределения водопроводной воды крупных городов (на примере Санкт-Петербурга)

Вода городского водопровода Санкт-Петербурга мало минерализована, мягкая, с низким щелочным резервом и обладает высокой коррозионной активностью, индекс насыщения карбонатом кальция водопроводной воды составляет $-2,5 \dots -3,0$, что говорит о ее высокой агрессивности к металлу [1, 3].

В процессе эксплуатации водопроводных сетей Санкт-Петербурга на отдельных участках трубопроводов образуются отложения осадков, в основном продуктов коррозии металлических труб, что приводит к уменьшению их живого се-

чения, повышению гидравлических сопротивлений и потерь напора. Вследствие этого снижается пропускная способность этих участков сети, повышаются затраты электроэнергии на подачу воды и, соответственно, себестоимость транспортировки водопроводной воды.

На рис. 1 приведены эксплуатационные данные по изменению коэффициентов сопротивления трубопроводов в зависимости от продолжительности их эксплуатации для условий Санкт-Петербурга. Эти данные представлены в виде соотношения коэффициентов $K_T/K_{нов}$, где $K_{нов}$ и K_T — коэффициенты сопротивления трубопровода, соответственно, нового и после T лет эксплуатации (для внутриквартальных, магистральных сетей и водоводов). Как видно из этого графика, коэффициенты сопротивления при эксплуатации трубопроводов увеличиваются в большей степени во внутриквартальной сети, где расходы и скорости движения воды уменьшаются.

Одновременно накопление осадков в трубопроводах приводит к снижению пропускной способности труб (рис. 2). Эти два обстоятельства (снижение пропускной способности и повышение гидравлических сопротивлений и потерь напора) ведут к увеличению затрат энергии при подаче необходимого расхода водопроводной воды по трубопроводам с большим сроком эксплуатации [2, 8].

Для восстановления пропускной способности трубопроводов необходимы их периодические прочистки, а также проведение восстановительного ремонта (санации) с применением бес-

Рис. 1. Изменение соотношения коэффициентов сопротивления трубопровода $K_T/K_{нов}$ в зависимости от продолжительности его эксплуатации T :
1 — внутриквартальные сети; 2 — магистральные сети;
3 — водоводы

Рис. 2. Изменение пропускной способности трубопроводов для условий Санкт-Петербурга

траншейных технологий. Установлено, что после прочистки и санации старых трубопроводов их сопротивления становятся близки к сопротивлению нового трубопровода, что свидетельствует о восстановлении гидравлических характеристик труб [6].

При правильной эксплуатации водопроводной сети, своевременном проведении прочисток и планово-восстановительных ремонтов трубопроводов за счет снижения потерь напора и восстановления их пропускной способности можно получить значительный экономический эффект, в частности существенно снизить затраты электроэнергии. На рис. 3 приведены эксплуатационные данные по экономии электроэнергии ($\Delta \mathcal{E}$) при транспортировке воды по трубопроводам разных диаметров после их прочистки и санации (цементно-песчаная облицовка) [5, 8].

Экономия затрат электроэнергии после восстановительных ремонтов трубопроводов более значительна для больших диаметров трубопроводов, что вполне закономерно.

Основные затраты электроэнергии в системах водоснабжения идут на перекачку воды, проводимую минимум два раза: от источника водоснабжения на водоочистную станцию и при перекачке очищенной воды с очистной станции потребителю. При подаче воды на большие расстояния требуется больше насосных станций и соответственно возрастают затраты на ее транспортировку.

Для улучшения гидравлического режима работы трубопроводов проводятся следующие мероприятия:

- прочистка и ремонт водопроводных сетей;

- мониторинг гидравлического режима работы водопроводной сети;
- комплекс средств, обеспечивающий противоударную защиту сетей и насосных станций;
- модернизация насосных станций с применением энергосберегающего насосного оборудования;
- регулирование работы насосов и насосных станций;
- внедрение системы оптимального управления режимом подачи воды и др.

Максимальный эффект энергосбережения на насосных станциях систем водоснабжения достигается внедрением всего комплекса перечисленных выше мероприятий. Например, при реконструкции и модернизации оборудования на повысительной насосной станции в Урицкой зоне Санкт-Петербурга было достигнуто снижение затрат электроэнергии в 2–3 раза [5, 6].

Изменение водопотребления Санкт-Петербурга

Анализ данных по подаче и потреблению водопроводной воды СПб за период 1992–2017 гг. (рис. 4) свидетельствует о четкой тенденции существенного снижения общего водопотребления и, соответственно, сокращения подачи воды в город за этот период.

Резкое снижение водопотребления в коммунальном хозяйстве отмечалось в РФ в начале 1990-х годов (с началом реформы ЖКХ²). Уровень водопотребления в этот момент в российских городах в 1,5–2,5 раза превышал уровень удельного

² Закон РФ «Об основах федеральной жилищной политики» (декабрь 1992 г.).

Рис. 3. Снижение расходов электроэнергии на транспортировку воды $\Delta \mathcal{E}$ (тыс. кВт · ч/год) после прочистки и санации для трубопроводов разных диаметров

Рис. 4. Изменение объемов водопотребления Санкт-Петербурга (в долях от водопотребления города в 1992 г.): — — — линия тренда

водопотребления в городах европейских стран. Это объяснялось нерациональным использованием и излишним расходом воды, отсутствием экономических стимулов водосбережения (как следствие прежних несовершенных форм управления, финансирования и ценообразования в сфере жилищно-коммунального хозяйства).

Действенными мероприятиями по снижению водопотребления в коммунальном хозяйстве городов являлись [4]:

- совершенствование форм и методов управления, финансирования и ценообразования в сфере ЖКХ;
- своевременный и качественный ремонт и замена водопроводных труб и арматуры на подземных сетях и в системах внутреннего водоснабжения зданий;
- применение мер по улучшению гидравлического режима работы водопроводной сети;
- применение новой водосберегающей арматуры, установка квартирных водосчетчиков и регуляторов напора, применение (расширение) систем горячего водоснабжения с рециркуляцией воды в системах внутреннего водоснабжения зданий;
- модернизация оборудования и технологических процессов на промышленных предприятиях; применение ресурсосберегающих технологий (в частности, систем оборотного водоснабжения);
- прекращение производственной деятельности или изменение вида деятельности абонента;
- перевод основного производства в пригород или в другие районы и др.

На графике динамики водопотребления Санкт-Петербурга (рис. 4) можно выделить три зоны. Первая зона (1992–1999 гг.) характеризуется резким снижением водопотребления в городе.

В этот период водопотребление города снизилось на 25,7 %, в основном, за счет ликвидации мест крупных утечек и потерь воды, аварийных участков наружных сетей, ремонта и реконструкции внутренних сетей зданий, установки счетчиков воды, повышения тарифов и др.

Второй участок (2000–2003 гг.) — период стабильного водопотребления города. И третий период, начиная с 2004 года, характеризуется постепенным дальнейшим снижением водопотребления за счет применения всех вышеперечисленных мер по водосбережению. Например, за период с 2005 по 2008 г. общее водопотребление города сократилось на 14,3 % (3,58 % в год), в том числе потребление населением холодной воды сократилось на 8,9 %, водопотребление предприятий топливно-энергетического комплекса (в том числе горячей воды) — на 12,5 %, промышленное водопотребление снизилось на 6,4 %. В то же время общая тенденция снижения водопотребления города за весь указанный период, судя по линии тренда, носит «затухающий» характер.

Существенное снижение водопотребления привело к изменениям гидравлического режима работы городской водопроводной сети. Резко снизились скорости движения воды в трубопроводах, особенно в удаленных от водопроводных станций районах городской застройки. На рис. 5 показано, как распределяются скорости движения воды в водопроводной сети (для диаметров ≥ 500 мм) в одном из периферийных районов Санкт-Петербурга (Невский район, левобережная часть города).

Как видно из графика (рис. 5), в большей части трубопроводов водопроводной сети (диаметром 500 и более мм) этого района расчетные скорости движения воды составляют 0,5 м/с и ниже (в 87 % трубопроводах от общей их протяженности), а 26,72 % трубопроводов работает при скоростях $\leq 0,1$ м/с. При столь малых скоростях протока водопроводной воды увеличивается продолжительность ее пребывания в трубопроводах, вода застаивается и качество ее может ухудшаться.

Для борьбы с этим явлением ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» осуществляют следующие мероприятия³:

³ Годовой отчет. ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». URL: http://www.vodokanal.spb.ru/presscentr/godovoj_otchet/ (дата обращения: 09.09.2018).

Рис. 5. Распределение скоростей движения воды в водопроводной сети Невского района Санкт-Петербурга (для диаметров ≥ 500 мм)

- Усиливаются и расширяются уровни контроля качества воды во всех элементах системы водоснабжения города. Осуществляется оперативный технологический контроль с использованием автоматических онлайн-анализаторов и систем автоматического непрерывного мониторинга. Все уровни контроля качества воды интегрированы между собой, что гарантирует достоверность сведений о качестве воды на всех этапах. Производственный контроль качества водопроводной воды ведется в 377 точках распределительной сети, расположенных, главным образом, по ее периферии.

- На удаленных участках сети на повысительных водопроводных насосных станциях и на домовых водопроводных вводах для повышения качества питьевой воды устанавливаются системы доочистки с применением фильтрующих загрузки, обеспечивающие удаление железа.

- Для решения задач эксплуатации и планирования развития системы водоснабжения городов применяется моделирование гидравлических режимов работы водопроводной сети, что позволяет определять гидравлические параметры работы водопроводной сети (напоры, расходы и скорости воды) и прогнозировать их изменение при выполнении плановых и аварийных работ на сети, строительстве и реконструкции ее участков, изменении объемов потребления воды.

В ближайшее время объемы водопотребления холодной воды из городского водопровода могут коренным образом измениться в связи с Федеральным законом от 27 июля 2010 года № 190-ФЗ «О теплоснабжении» и последующими

поправками к нему. Так, в соответствии с дополнением статьи 29 частью 8 и 9 установлено, что с 1 января 2013 года все объекты капитального строительства потребителей должны быть оборудованы закрытыми системами горячего водоснабжения, а к 2022 году все открытые системы горячего водоснабжения должны быть заменены на закрытые.

В Санкт-Петербурге в силу разных причин, в частности из-за высокой агрессивности водопроводной воды к металлическим трубам, в жилой застройке преобладают открытые системы горячего водоснабжения (свыше 90 %). Реализация положений этого закона потребует перераспределения подачи холодной воды к квартальным и индивидуальным тепловым пунктам по приготовлению горячей воды (вместо подачи к ТЭЦ и ЦТП), что существенно изменит режимы работы городских водопроводов.

Выводы

1. В системах коммунального водоснабжения, наряду с основной задачей эксплуатации — обеспечением потребителей качественной водопроводной водой в требуемом объеме, весьма актуальны вопросы ресурсо- и энергосбережения. При правильной эксплуатации водопроводной сети, своевременном проведении прочисток и планово-восстановительных ремонтов трубопроводов, за счет ликвидации потерь и скрытых утечек воды, восстановления пропускной способности труб можно получить значительный экономический эффект, в частности существенно снизить затраты электроэнергии.

2. Значительный эффект энергосбережения достигается также путем модернизации насосных станций, применения современного оборудования, внедрения комплекса средств улучшения гидравлического режима и оптимального управления режимом подачи воды.

3. Резкое снижение объемов водопотребления в коммунальном хозяйстве отмечалось с началом реформы ЖКХ. В результате совершенствования форм и методов управления, финансирования и ценообразования в сфере ЖКХ, а также внедрения комплекса организационно-технических мероприятий объем водопотребления Санкт-Петербурга за последние 25 лет снизился в два раза.

Существенное снижение водопотребления в городе привело к изменениям гидравлического

режима работы системы подачи и распределения водопроводной воды. Резко снизились скорости движения воды в трубопроводах, особенно в удаленных от водопроводных станций районах городской застройки. Для борьбы с этим явлением усиливается контроль качества воды во всех элементах системы, на удаленных участках сети для повышения качества питьевой воды устанавливаются системы ее доочистки.

4. В связи с положениями Федерального закона от 27 июля 2010 года № 190-ФЗ «О теплоснабжении» о переходе на закрытые системы горячего водоснабжения потребуется перераспределение подачи холодной воды к квартальным и индивидуальным тепловым пунктам по приготовлению горячей воды (вместо подачи к ТЭЦ и ЦТП), что существенно изменит режимы работы городских водопроводов.

Библиографический список

1. Кармазинов Ф. В., Махнев П. П., Феофанов Ю. А., Юдин М. Ю. Методика определения неучтенных расходов и потерь воды в системах коммунального водоснабжения. М.: Минпромэнерго, 2005. 56 с.
2. Феофанов Ю. А., Жуховицкий А. В. Современные трубы и изделия для ремонта и строительства инженерных сетей. СПб.: СПбГАСУ, 2006. 152 с.
3. Феофанов Ю. А. Потребление и потери водопроводной воды в жилом фонде Санкт-Петербурга // Инженерные системы. АВОК Северо-Запад. 2005. № 3.
4. Водоснабжение и водоотведение в Санкт-Петербурге / под общ. ред. Ф. В. Кармазинова. СПб.: Новый журнал, 2008. 464 с.
5. Феофанов Ю. А., Адельшин А. Б., Нуруллин Ж. С. Пути экономии энергоресурсов в системах водоснабжения // Известия Казанского гос. архит.-строит. ун-та. 2012. № 2 (20). С. 153–159.
6. Храменков С. В., Примин О. Г., Орлов В. А. Бестраншейные методы восстановления трубопроводов. М.: Прима-Пресс-М, 2002. 283 с.
7. Феофанов Ю. А. Техничко-экономическая оценка состояния водопроводных трубопроводов // Сб. докл. 7-й Междунар. конгресса и выставки «Вода: экология и технология» ЭКВАТЭК-2006. М., 30 мая – 2 июня 2006 г.
8. Феофанов Ю. А. Об эффективности планово-восстановительных ремонтов водопроводной сети

Санкт-Петербурга // Инженерные системы. Реконструкция и эксплуатация. АВОК Северо-Запад. 2007. № 2. С. 34–37.

References

1. Karmazinov F. V., Makhnev P. P., Feofanov Yu. A., Yudin M. Yu. *Metodika opredeleniya neuchtennykh raskhodov i poter' vody v sistemakh kommunal'nogo vodosnabzheniya* [Technique of determining the unaccounted costs and water losses in the municipal water supply]. Moscow, Minpromenergo Publ., 2005, 56 p.
2. Feofanov Yu. A., Zhukhovitskiy A. V. *Sovremennye truby i izdeliya dlya remonta i stroitel'stva inzhenernykh setey* [Modern pipe and products for repair and construction of engineering networks]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2006, 152 p.
3. Feofanov Yu. A. *Potrebleniye i poteri vodoprovodnoy vody v zhilom fonde Sankt-Peterburga* [Consumption and loss of tap water in the housing stock of St. Petersburg]. *Inzhenernyye sistemy* [Engineering systems]. AVOK Severo-Zapad Publ., 2005, no. 3.
4. *Vodosnabzheniye i vodootvedeniye v Sankt-Peterburge* [Water supply and water disposal in Saint-Petersburg]. Ed. by Karmazinov F. V. St. Petersburg, *Novyy zhurnal – New journal*, 2008, 464 p.
5. Feofanov Yu. A., Adel'shin A. B., Nurullin Zh. S. *Puti ehkonomii ehnergoresurov v sistemakh vodosnabzheniya* [Ways of energy saving in water supply systems]. *Izvestiya Kazanskogo gos. arkhit.-stroit. un-ta – Proc. of the Kazan State university of Architecture and Construction*, 2012, no. 2 (20), pp. 153–159.
6. Khramenkov S. V., Primin O. G., Orlov V. A. *Bestransheyne metody vosstanovleniya truboprovodov* [Trenchless methods for pipeline rehabilitation]. Moscow, Prima-Press-M Publ., 2002, 283 p.
7. Feofanov Yu. A. *Tekhniko-ehkonomicheskaya otsenka sostoyaniya vodoprovodnykh truboprovodov* [Technical-economical assessment of water pipelines' condition]. *Trudy 7-y Mezhdunar. kongressa i vystavki «Voda: ehkologiya i tekhnologiya»* [Proc. of the 7-th Int. Congress and exhibition "Water: ecology and technology"]. Moscow, EhKVATEhK-2006 Publ., 2006.
8. Feofanov Yu. A. *Ob ehffektivnosti planovovo-vosstanovitel'nykh remontov vodoprovodnoy seti Sankt-Peterburga* [About effectiveness of planned repair works at the water supply network of Saint-Petersburg]. *Inzhenernyye sistemy. Rekonstruktsiya i ehkspluatatsiya* [Engineering system. Reconstruction and operation]. AVOK Severo-Zapad Publ., 2007, no. 2, pp. 34–37.