

Nutzung der grabenlosen Technologie für die Rohrverlegung der Moskauer Wasserversorgung

Prof. Dr. techn. nauk. Evgenij Ivanovitsch Pupyrev

In den letzten Jahren hat es in der Mehrzahl der Städte Russlands (darunter auch in der Hauptstadt Moskau) eine sehr angespannte Situation zur Gewährleistung zuverlässiger städtischer Wasserversorgungsnetze, dem funktionell wichtigsten und am meisten verwundbaren Teil des Systems der städtischen Versorgung, gegeben. Das ist verbunden mit dem wachsenden Tempo des Verschleißes der Rohre und Ausrüstungen des kommunalen Systems der Wasserversorgung der Städte und Siedlungsgebiete Russlands, der Begrenztheit der Bedingungen zur Durchführung von Reformen, den finanziellen Möglichkeiten zur Wiederherstellung und Erneuerung der Netze.

In diesem Zusammenhang ist die Notwendigkeit der operativen und qualitätsgerechten Durchführung von Reparatur- und Erneuerungsarbeiten unterirdischer Wasserleitungen eine aktuelle Aufgabe einer modernen Stadt und ist nicht nur mit technischen, sondern auch ökonomischen, ökologischen und sozialen Faktoren verbunden.

Wegen des Fehlens entsprechender Ausrüstungen und Materialien für die Reparatur und den Ausbau unterirdischer Infrastrukturen in Russland sind viele Jahre vorwiegend offene Bauweisen angewendet worden, was zu einer drastischen Kostenerhöhung der Arbeiten und zum Anwachsen der Bauzeiten dieser Maßnahmen, aber auch zu Zerstörungen der Straßendecken und zu Umleitungen für den Verkehr geführt hat. In den letzten Jahren ist jedoch in Russland (besonders in solch großen Städten wie Moskau und St. Petersburg) die Anzahl der Objekte, bei denen moderne Verfahren der grabenlosen Technologie für die Reparatur und das Verlegen von unterirdischen Leitungssystem angewendet worden sind, ständig gestiegen.

Im Vortrag wird die Nutzung moderner russischer und ausländischer Erfahrung der grabenlosen Rekonstruktion der städtischen Wasserversorgungsnetze unter den Bedingungen von Moskau analysiert. Es werden die Fragen des Einflusses der Qualität der Beschaffenheit der Rohrwandungen auf die Qualität des zu transportierenden Wassers in den Wasserversorgungsnetzen betrachtet. Erörtert wird eine technisch-ökonomische Einschätzung der Vorteile der grabenlosen Technologie für die Rekonstruktion unterirdischer Leitungssysteme großer Städte.

Dargelegt wird die Strategie der Erneuerung der Rohrleitungen städtischer Wasserversorgungsnetze unter Einbeziehung moderner Informationstechnologien.

Verfasser: Prof. Dr. techn. nauk. Evgenij Ivanovitsch Pupyrev
Direktor des Institutes MOSVODOKANALNIIPROEKT
Pleteschkovskij Pereulok 4
107005 Moskau
Telefon: (007 95) 2 61 84 70

Оценка и пути обеспечения надежности городской водопроводной сети на примере Московского водопровода

Профессор, доктор технических наук Пупырев Е. И. - директор Государственного унитарного предприятия «Институт МосводоканалНИИпроект», г. Москва.
Доктор технических наук Примин О. Г. - заместитель директора по научной работе Государственного унитарного предприятия «Институт МосводоканалНИИпроект», г. Москва.

Годы реформ, проводимые в последние годы в России, коснулись всех сфер хозяйства и в том числе и инженерной инфраструктуры городов Российской Федерации.

Трубопроводные системы - неотъемлемая часть инфраструктуры современных городов. Переход к рыночной экономике, реформирование жилищно-коммунального комплекса в условиях износа и старения инженерных систем жизнеобеспечения городов и населенных пунктов России, отсутствие достаточных материальных и финансовых ресурсов на их реновацию и обновление, значительно обострили в последние годы проблему обеспечения требуемого уровня надежности городских водопроводных сетей.

Статистические данные свидетельствуют о том, что количество чрезвычайных ситуаций в РФ, связанных с авариями на трубопроводах систем жизнеобеспечения, не уменьшается и их характер практически не меняется. По оценке специалистов МЧС Российской Федерации количество аварий на трубопроводах ежегодно увеличивается в 1,7-2 раза, что приносит значительный материальный и экологический ущерб. Значительная часть техногенных аварий на трубопроводах происходит по причинам ветхости сетей и оборудования (27,3 %), а также из-за нарушений правил технической эксплуатации (24,8 %).

Московский водопровод является одним из самых крупных в Европе и в то же время одним из старейших. Водоснабжение г. Москвы осуществляется из четырех водопроводных станций - Рублевской, Восточной, Западной и Северной. Для подачи воды в Центральную часть города, зоны высоких геодезических отметок земли, а также в районы, максимально удаленные от водопитателей предусмотрены 13 повысительных сооружений 3-ого подъема - насосные станции с регулирующими узлами.

К настоящему времени протяженность трубопроводов Московского водопровода составляет около 10.000 км, из них 72 % составляют стальные трубопроводы, 26 % - чугунные, 2 % - железобетонные, полиэтиленовые и поливинилхлоридные трубы. Среднесуточный объем подаваемой воды в город составляет в настоящее время около 5.500-5.300 тыс.м³/сут.

Последние годы потребовали интенсификации работы аварийно-восстановительных служб Московского водоканала - ежегодно на трубопроводах и оборудовании сети фиксируется более 10 тыс. различных аварий и повреждений, причем для устранения около 50 % требуется проведение раскопных работ.

Наибольшее количество аварий, примерно 90 %, происходит на стальных трубах водопроводной сети (в основном $D = 100-400$ мм). Наиболее часто встречающимся повреждением на стальных трубах Московского водопровода являются свищи, которые вызваны воздействием внешней и внутренней коррозии труб. На чугунных трубопроводах

отказы связаны в основном с нарушением герметичности раструбных соединений и переломами труб.

Причины сложившейся в годы перестройки напряженной ситуации с обеспечением надежности водопроводной сети столицы России связаны с тем, что вопреки требованиям Строительных Норм и Правил (СНиП) при строительстве водопроводов в прежние годы в бывшем СССР широко использовались стальные трубы, не защищенные от внутренней и внешней коррозии. Приведем одну цифру. До 1990 года страна продолжала потреблять ежегодно до 24 млн. тонн стальных труб, то есть на уровне потребления такими странами как США, Англия, Германия, Франция, Япония и Италия вместе взятыми. Примерно половина этой огромной массы стальных труб использовались для замены вышедших из строя тех же стальных труб.

Этот сизифов труд привел к тому, что изношенность трубопроводов в России, да и в других странах СНГ самая высокая в мире.

Кроме того, подавляющее большинство трубопроводов водопроводной сети многих крупных городов России, в том числе и столицы - г. Москвы (более 60 %) имеют на сегодняшний день значительный физический износ, так как были построены и введены в эксплуатацию десятки лет назад, без учета требований надежности по применяемым материалам и организационно-технических возможностей эксплуатирующих организаций. Так средний возраст стальных трубопроводов Московского водопровода составляет 33 года, чугунных - 71 год. На сегодняшний день установленный нормативный срок службы исчерпали более 4.200 км (60 %) трубопроводов и подлежат полному или частичному обновлению или восстановлению.

В последние годы проблему обеспечения требуемой надежности и эффективности функционирования городской водопроводной сети Москвы существенно осложняет процесс сокращения водопотребления в городе. Одна из основных проблем - это уменьшение скорости движения воды в сети и кратности обмена воды.

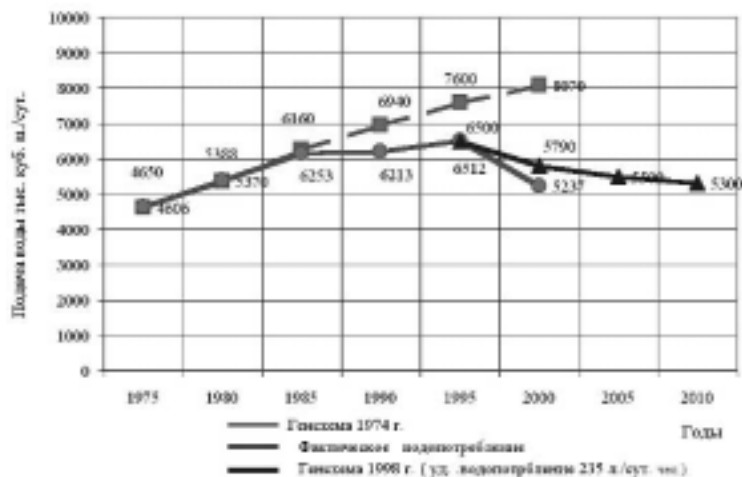


Рис. 1: График среднесуточного водопотребления фактического и прогнозируемого Генеральными схемами 1974 и 1998 г. г.

Развитие системы водоснабжения г. Москвы долгие годы осуществлялось за счет дополнительного привлечения водных ресурсов, увеличения мощностей водопроводных станций, строительства магистральных сетей завышенных (из-за формального обоснования возможно большего финансирования из средств госбюджета). По Генеральной схеме водоснабжения 1974 г. общее удельное хозяйственно-бытовое водопотребления планировалось в величине более 500 л.чел./сут. В настоящее время согласно утверж-

денным Правительством Москвы «Нормам и правилам проектирования планировки и застройки Москвы» удельное водопотребление принято в размере 370 л./сут. на человека. Соответственно к 2000 году разница между фактическим водопотреблением и прогнозируемым Генеральной схемой водоснабжения 1974 года составила 2839, 7 тыс.м³/сут. (рис.1). Это связано в основном со снижением производства в промышленности города, закрытием ряда крупных нерентабельных предприятий, внедрением концепции экономии и рационального использования водных ресурсов, установкой водосберегающей арматуры и водосчетчиков в жилых зданиях.

Очевидно, что снижение среднесуточной подачи воды, рост емкости трубопроводов и резервуаров питьевой воды привели к целому ряду технических проблем - в первую очередь снижению скоростей воды, образованию застойных зон, ухудшению режима обмена воды, изменению качества воды в распределительной сети. Это в значительной степени осложнило и привело к удорожанию эксплуатации распределительной сети.

В условиях уменьшения водопотребления в городе, старения сети и снижения уровня ее надежности на наш взгляд необходимо особое внимание уделить планированию эксплуатации сети, оптимизации восстановления и обновления трубопроводов Московского водопровода. Наши исследования показали, что основу решения этой проблемы составляет использование современных методов реабилитации трубопроводов с применением бестраншейных технологий, внедрение современных информационных технологий для контроля и управления эксплуатацией городской водопроводной сети, оценка и анализ фактического уровня ее надежности.

В 2002 году ГУП «МосводоканалНИИпроект совместно с Московским водоканалом (С. В. Храменков) разработана полезная модель «Устройство для анализа надежности трубопроводов городской водопроводной сети», свидетельство на которую запатентовано в Российском агентстве по патентам и товарным знакам. Разработанное на ее основе автоматизированное информационно-техническое обеспечение позволяет проводить с использованием ЭВМ обширные статистические исследования трубопроводов и оборудования городской водопроводной сети в различных условиях эксплуатации, определить факторы, формирующие изменение показателей надежности и риск отказов трубопроводов.

Программное обеспечение позволяет для трубопроводов любого района эксплуатации городской водопроводной сети получить систему показателей, характеризующих уровень надежности трубопроводов: статистическую частоту отказов трубопроводов (в среднем за год) и ее прогноз, оценку и прогноз интенсивности аварий (отказов) трубопроводов, прогноз вероятности «выживания» трубопроводов, вероятность безотказной работы трубопроводов за заданный промежуток эксплуатации, прогноз риска появления отказов трубопроводов, среднее время безотказной работы (наработка между отказами).

Кроме того, определяется функция распределения среднего времени восстановления трубопроводов, позволяющая оценить вероятность ликвидации аварии за определенный промежуток затраченного на ремонт времени.

Расчеты показали, что в целом по системе трубопроводов Московского водопровода средневзвешенное значение интенсивности отказов трубопроводов составляет $W = 0,5$ 1/г. км, что выше аналогичных показателей для трубопроводов систем водоснабжения большинства городов Европы, но значительно ниже средних по РФ (рис.2). Прослеживается связь интенсивности отказов трубопроводов с диаметрами труб, причем

многолетние статистические исследования показали, что аварийность трубопроводов из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, который в последние годы широко использует Московский водопровод значительно ниже, чем у стальных и труб из серого чугуна.

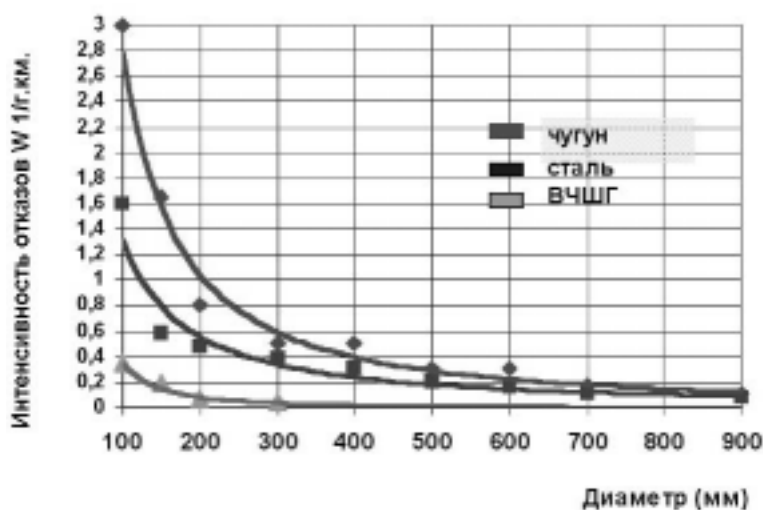


Рис. 2: Изменение интенсивности отказов трубопроводов Московского водопровода по диаметрам труб

В условиях сложившегося на сегодняшний день значительного износа коммунальных трубопроводных систем большинства городов России, ограничения финансовых ресурсов на их реновацию практически невозможно обеспечить в полной мере требуемый объем работ по восстановлению и обновлению трубопроводов. Поэтому чрезвычайно актуальной в современных условиях эксплуатации трубопроводов является задача оптимизации планирования восстановления и обновления трубопроводов.

Используя статистико-вероятностный подход к старению трубопроводов городской водопроводной сети, в ГУП «МосводоканалНИИпроект» разработана математическая модель и на ее основе - стратегия планирования восстановления трубопроводов. Стратегия основана на оценке и прогнозе показателей надежности трубопроводов и автоматизированном выборе из большого числа потенциальных для восстановления участков трубопроводов - некоторого ограниченного количества первоочередных. Выбор последних осуществляется путем оценки и ранжирования значительного количества факторов, влияющих на надежность трубопроводов. Институтом выполнен прогноз требуемой интенсивности восстановления и обновления трубопроводов Московского водопровода, обеспечивающий реальное снижение ущерба от аварий трубопроводов.

Расчеты показали, что для Московского водопровода снижение интенсивности отказов трубопроводов (в целом по системе) до $\omega = 0,15$ 1/г. км приведет к снижению величины поступления воды в окружающую среду при авариях трубопроводов и скрытых утечках до 4-5 % от среднесуточной подачи воды. Это уменьшит суммарный годовой материальный и экологический ущерб от этих событий более чем в 2,7 раза. При этом требуемый объем восстановления только стальных трубопроводов Московского водопровода, должен составить к 2015 году более 2.360 км (рис.3).

Исследования подтвердили, что потребность восстановления трубопроводов Московского водопровода в перспективе должна быть намного выше, чем осуществляется сегодня. Получившая широкое распространение в последние десятилетия в зарубежной и отечественной практике технология бестраншейного ремонта и реконструкции водопроводных сетей (санация труб), способствует успешному решению этих проблем.

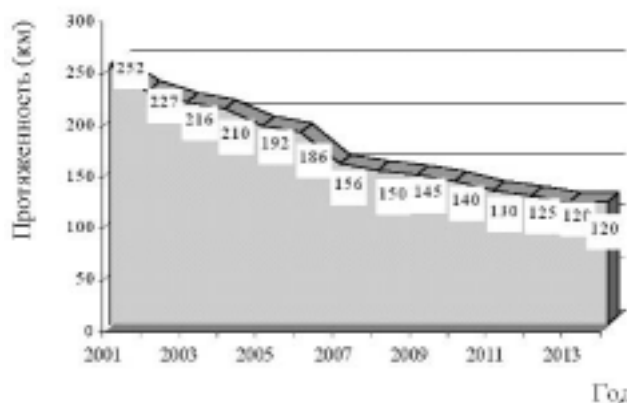


Рис. 3: Прогноз требуемой интенсивности восстановления и обновления трубопроводов Московского водопровода (в километрах труб)

Применение бестраншейного восстановления водопроводных сетей является актуальным вопросом не только для условий г. Москвы, но и других крупных городов России с высокой плотностью застройки, развитой инфраструктурой, интенсивными потоками транспорта и пешеходов, высокой плотностью трубопроводных и других коммуникаций в подземном пространстве.

На Московском водопроводе в настоящий момент эффективно используют в качестве основных методов бестраншейного ремонта трубопроводов нанесение на их внутреннюю поверхность цементно-песчаных покрытий и сплошных пластиковых оболочек. Впервые в г. Москве санация труб бестраншейным методом была проведена в 1968 году путем нанесения цементно-песчаной облицовки на одном из водоводов Московского водопровода. ГУП «МосводоканалНИИпроект» проводились в 1998 году эксперименты, цель которых состояла в оценке эффективности и долговечности покрытия этого водовода.

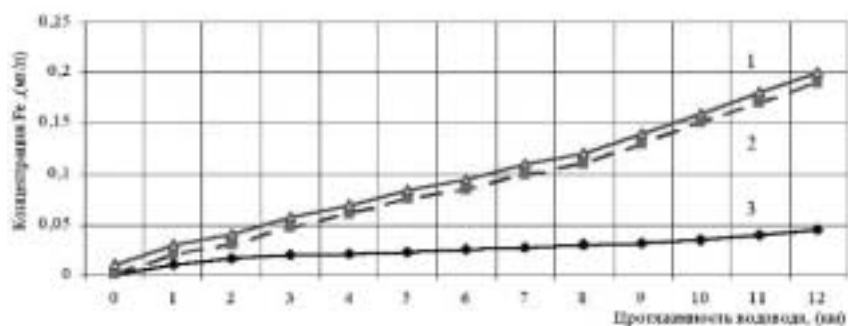


Рис. 4: Графики изменения концентрации трехвалентного железа; 1 - для несанированного трубопровода, 2 - для несанированного с приведенной начальной концентрацией, 3 - для санированного трубопровода

Результаты натурных обследований подтвердили высокую стабильность и эффективность покрытия. Графики изменения концентрации ионов железа Fe^{3+} в санированном и несанированном стальных водоводах Московского водопровода, условно приведённые к одинаковым начальным условиям (по исходной концентрации железа и в пересчёте на диаметр 1200 мм, т. е. для равной площади контакта воды с внутренними стенками трубопровода) в свою очередь показали, что на несанированном трубопроводе процессы коррозии протекают более интенсивно (рис. 4).

Расчётный прирост концентрации ионов железа Fe^{3+} в транспортируемой воде на 1 км несанированного водовода составляет 0,017 мг/л, а на санированных - 0,0042 мг/л, т. е. более чем в 4 раза.

В последние 4 года в Москве параллельно с реабилитацией трубопроводов путём нанесения цементно-песчаной облицовки ведутся работы по санации труб путем протаскивания в существующую трубу предварительно обжатой полиэтиленовой трубы. К настоящему времени на Московском водопроводе восстановлению различными методами подвергнуто свыше 500 км действующих трубопроводов диаметром 150-1400 мм, что составляет около 5 % общей протяжённости водопроводных сетей г. Москвы.

Комплексный анализ преимуществ бестраншейной реабилитации водопроводных сетей в целом показал, что годовой экономический эффект от мероприятий по реабилитации 1 км трубопровода диаметром 1400 мм может составить свыше 10 % сметной стоимости прокладки нового трубопровода, что соответствует затратам на строительство 100 м новых сетей такого же диаметра.

Эффективность санации связана также со снижением мощности, затрачиваемой на транспортирование воды по трубопроводам, и соответственно, расхода потребляемой электроэнергии. Оценочные технико-экономические расчёты показывают, что степень увеличения расхода электроэнергии в год на 1 км длины в несанированных трубопроводах (диаметром 300 -1000 мм) составляет после первого года эксплуатации 16,7 %, второго - 28,5 %, третьего - 37,5 %, четвёртого - 44,4 % и пятого - 50 %.

Выводы:

1. Повышение надежности трубопроводов водопроводных сетей городов России требует больших затрат денежных средств и материальных ресурсов. Оно может быть осуществлено лишь при максимальной экономии этих ресурсов, необходимым условием которого является оптимизация решений как при строительстве новых, так и при реконструкции существующих сооружений и устройств систем водоснабжения и совершенствование эксплуатации городской водопроводной сети.
2. К основным критериям и методам обеспечения требуемой надежности и качества функционирования Московского водопровода и предотвращения критических ситуаций следует отнести:
 - оптимизацию гидравлического режима работы системы подачи и распределения г. Москвы в условиях снижения водопотребления в городе,
 - выбор оптимальных режимов совместной работы сети и водопитателей,
 - корректировку нормативных документов по проектированию городской водопроводной сети с учетом необходимости обеспечения экономически наиболее выгоднейших скоростей в трубопроводах и требуемого качества воды в распределительной сети в условиях реального снижения удельного водопотребления в городе,
 - использование надежных и долговечных типов труб и арматуры, обеспечивающих эффективное сопротивление внешней и внутренней коррозии,
 - оптимизацию стратегии восстановления и обновления сети, увеличение объемов перекладки и санации участков трубопроводов с приоритетным использованием бестраншейных способов восстановления,
 - эффективную электрозащиту эксплуатируемых трубопроводов от внешней коррозии,
 - использование информационных технологий для контроля и управления эксплуатацией городских сетей водоснабжения.