

Данный файл представлен исключительно в ознакомительных целях.

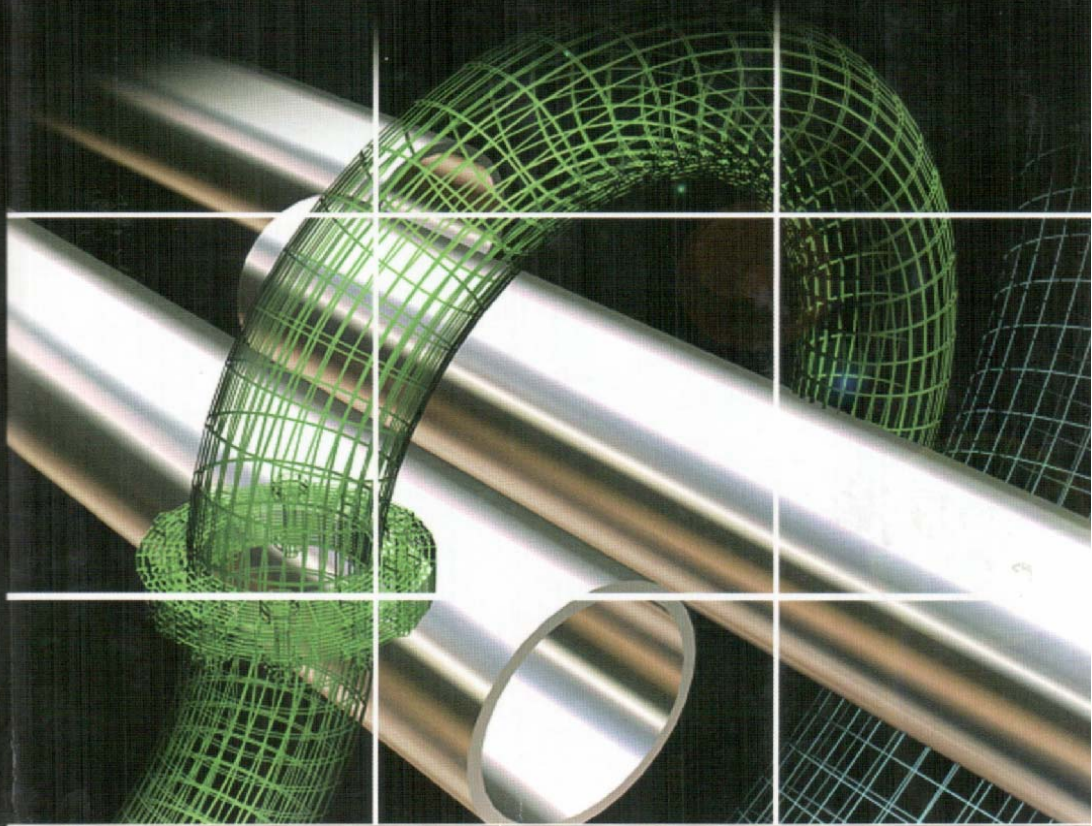
Уважаемый читатель!

Если вы скопируете данный файл,  
Вы должны незамедлительно удалить его сразу после ознакомления с содержанием.  
Копируя и сохраняя его Вы принимаете на себя всю ответственность, согласно действующему международному законодательству .  
Все авторские права на данный файл сохраняются за правообладателем.  
Любое коммерческое и иное использование кроме предварительного ознакомления запрещено.

Публикация данного документа не преследует никакой коммерческой выгоды. Но такие документы способствуют быстрейшему профессиональному и духовному росту читателей и являются рекламой бумажных изданий таких документов.

**С. В. Храменков**

# **СТРАТЕГИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ**



УДК 628  
ББК 38.776  
X 89

**Храменков С.В.** Стратегия модернизации водопроводной сети. —  
X 89 М.: ОАО «Издательство «Стройиздат», 2005. — 400 с.: ил.

ISBN 5-274-01704-5

Систематизирован прогрессивный отечественный опыт строительства, эксплуатации, ремонта и реконструкции городских водопроводных сетей. Дан комплексный анализ работы напорных трубопроводов, рассмотрены вопросы восстановления и обновления трубопроводов, мероприятия по защите труб от старения и коррозии, методы нанесения внутренних защитных покрытий, а также экономические и социальные аспекты стратегического развития и управления системами водоснабжения.

Для инженерно-технических работников коммунальных служб, специалистов в области строительства и ремонта трубопроводов, а также аспирантов и студентов вузов.

ISBN 5-274-01704-5

ББК 38.776

© С.В. Храменков, 2005  
© ОАО «Издательство  
«Стройиздат», 2005

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В последнее время в обществе активно обсуждается реформа жилищно-коммунального хозяйства России. Однако слово «реформа» уже не подходит к изменившемуся миру и новым обстоятельствам. Речь, скорее, должна идти о модернизации. Коммунальное хозяйство в России всегда развивалось по остаточному принципу, не хватало средств, надежных современных материалов и оборудования, реагентов для очистки воды, и всех это устраивало. Но сегодня мы должны по-другому взглянуть на состояние инженерных систем, качество питьевой воды, методы управления и эксплуатации.

Стратегия преобразований должна быть совершенно иной: с учетом долгосрочного планирования и ошибок, допущенных в прошлом. Мы должны хорошо понимать, что новейшие технические решения и инновационные замыслы должны реализовываться очень быстро. Не должны возникать ситуации, при которых инженерные объекты из-за недостаточного финансирования строятся десятки лет.

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

Водоснабжение Москвы осуществляется с помощью четырех водопроводных станций — Рублевской, Восточной, Западной и Северной. Для подачи воды в центральную часть города, в зоны высоких геодезических отметок земли, а также в районы, максимально удаленные от водопитателей, предусмотрены 13 повысительных насосных станций с регулирующими узлами. Среднесуточный объем подаваемой воды в город около 4800—5000 тыс. м<sup>3</sup>. Протяженность трубопроводов Московского водопровода составляет более 10 000 км.

Значительная протяженность системы в пространстве, непрерывность ее развития и постоянная модернизация, вовлечение больших материальных и людских ресурсов в ее создание и эксплуатацию, а также большая сложность и ответственность выполнения системой заданных функций — все это требует особого внимания к проблеме обеспечения и поддержания требуемой надежности водоснабжения столицы РФ.



Особое место при решении этой проблемы занимают вопросы оценки и обеспечения надежности городской водопроводной сети — наиболее дорогостоящей и уязвимой ее части. Это вызвано тем, что, как показывает практика эксплуатации, нарушения нормального уровня водоснабжения потребителей связаны в основном с авариями (отказами) на линейной части системы, т.е. на участках трубопроводов.

Очевидно, что вопросы оценки и обеспечения надежности трубопроводов водопроводной сети города требуют тщательного рассмотрения, что обуславливает в свою очередь ужесточение требований к качеству и представительности исходной информации по их эксплуатации.

Инструментом для решения практических задач оценки и обеспечения надежности инженерных систем является современная теория и практика надежности систем массового обслуживания, к которым относятся и городские системы водоснабжения.

Вопросам исследования надежности систем водоснабжения посвящены многие работы отечественных и зарубежных авторов. основоположниками отраслевой теории надежности систем водоснабжения в России являются профессора Н.Н. Абрамов и Ю.А. Ильин [1, 26, 27]. Значительный вклад в ее развитие в последние годы внесли труды профессоров М.И. Алексеева, Ю.А. Ермолина. Проблеме экологической безопасности городских сетей водоснабжения и канализации, применению информационных технологий для контроля и управления эксплуатацией этих систем посвящены работы д-ра техн. наук О.Г. Примина [61—65].

Вместе с тем анализ отражения вопросов надежности систем водоснабжения в нормативных и методических документах показал, что на сегодняшний день по-прежнему отмечается недостаточное использование при проектировании и эксплуатации систем водоснабжения современных методов теории и практики надежности инженерных систем жизнеобеспечения.

Сложившееся положение с информационным, методическим и нормативным состоянием проблемы надежности не означает, что в системе водоснабжения столицы не осуществляются эксплуатирующей организацией МГУП «Мосводоканал» мероприятия, направленные на обеспечение нормального водоснабжения потребителей. Однако почти все они не отражали и не использовали до последнего времени вероятностных (прогнозных) оценок работы сооружений и элементов системы водоснабжения города, не базировались на информации о фактических показателях их надежности и факторах, формирующих их изменение. Это затрудняло процесс контроля и управления эксплуатацией системы водоснабжения города, оптимизацию методов повышения надежности городской водопроводной сети.

Эти причины, а также дискуссионность предлагаемых методов учета фактора надежности, громоздкость математических моделей и алгоритмов расчета, отсутствие на сегодняшний день нормативной и информационной базы, необходимой для учета и оценки параметров

надежности систем водоснабжения, потребовали проведения комплексных исследований по проблеме надежности наиболее уязвимых и функционально значимых элементов систем водоснабжения — трубопроводов и оборудования городской водопроводной сети, результаты которых изложены в этой книге.

Важное значение в обеспечении надежности и экологической безопасности трубопроводов имеет объективная оценка риска их отказов, которая определяется на основе оценки и прогноза показателей надежности трубопроводов.

Анализ специфики устройства и функционирования городских сетей водоснабжения позволил сделать вывод, что никакими математическими методами, вероятностными или детерминированными, нельзя получить абсолютную характеристику надежности сети. Вместе с тем, имея статистические данные по авариям и повреждениям трубопроводов, проведя их математическую обработку с использованием ЭВМ, можно оценить и прогнозировать уровень надежности отдельных элементов водопроводной сети города, определить «слабые» элементы системы (приводящие к наибольшему риску отказов) и наметить мероприятия по обеспечению надежности сети.

В связи с этим в книге приведены результаты многолетних статистических исследований по оценке и анализу показателей надежности трубопроводов и оборудования Московского водопровода.

Для лучшей организации эксплуатации сети была разработана методика сбора и статистической обработки исходных данных по отказам и восстановлению участков трубопроводов и на ее основе — автоматизированное информационно-техническое обеспечение оценки и прогноза показателей надежности трубопроводов городской водопроводной сети.

Анализ сложившихся методов решения отдельных задач управления и организации технического обслуживания трубопроводов городских систем водоснабжения показал, что они базируются на несовершенной нормативной базе, традиционных методах управления, которые принципиально не могут обеспечить требуемый на сегодняшний день уровень их эксплуатации и надежности.

В этой связи, а также учитывая значительную протяженность трубопроводов Московского водопровода, исчерпавших на сегодняшний день установленный срок службы, характерную для настоящего времени ограниченность материальных ресурсов на обновление сети и высокие затраты на ремонтно-восстановительные работы, эксплуатирующей организации — предприятию водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) необходимо иметь научно-обоснованную программу восстановления и обновления городской водопроводной сети.

Эта задача реализуется в книге путем разработки оптимальной стратегии планирования восстановления городской водопроводной сети с оценкой критериев и приоритетов принятия решения по методам, объектам и объемам ремонтно-восстановительных работ.



Решение обозначенных проблем основано на разработке и программной реализации автоматизированной информационно-технической базы данных по эксплуатации трубопроводов и оборудования водопроводной сети Москвы.

В реальной практике эксплуатации трубопроводов водопроводной сети на сегодняшний день наиболее актуальна проблема выбора объектов и технологии их восстановления. При этом требуется оценить влияние на принятие решений по восстановлению трубопроводов как сроков их укладки, так и параметров надежности и критериев экономической целесообразности их дальнейшей эксплуатации. Эта задача реализована в виде статистической модели оценки и прогноза показателей надежности и сроков полезной службы трубопроводов.

В условиях плотной городской застройки Москвы вопросы оперативной и надежной бестраншейной реконструкции и ремонта трубопроводов на сегодняшний день являются наиболее актуальными как для городских коммунальных служб, так и для потребителей воды.

Санация трубопроводов методом бестраншейных технологий существенно повышает надежность и экологическую безопасность трубопроводов, является эффективным и надежным средством сохранения пропускной способности и долговечности трубопроводов водопроводной сети в г. Москве и в настоящий момент не имеет альтернативы как средство обеспечения надежности водопроводных сетей в условиях плотной городской застройки, развитой инфраструктуры, интенсивных потоков транспорта и пешеходов, высокой плотности подземных трубопроводных и других коммуникаций.

В этой связи особое место в книге заняли новые технологии и методы бестраншейного восстановления трубопроводов с учетом их использования для условий г. Москвы.

Учитывая, что любое повышение надежности системы водоснабжения требует значительных затрат, особое внимание в книге обращено на вопросы технико-экономического обоснования вариантов обеспечения надежности городской водопроводной сети, экономической политики в области рационализации водопользования, совершенствования и внедрения новых экономических механизмов управления эксплуатацией.

На современном этапе реформирования жилищно-коммунального хозяйства городов и населенных пунктов РФ, ужесточения требований к надежности и долговечности трубопроводов инженерных систем жизнеобеспечения весьма актуальны проблемы формирования требований к выбору материала и типа труб применительно к конкретным условиям эксплуатации городских водопроводов. Книга обобщает опыт эксплуатации труб различных материалов на Московском водопроводе и дает рекомендации по выбору типа и материала труб для централизованных систем водоснабжения, а также методам защиты трубопроводов от коррозии и старения.

Значительная часть книги посвящена вопросам управления потерями воды в городской водопроводной сети и рационализации водопользования. Экономическая целесообразность сокращения потерь воды состоит в уменьшении объемов изъятия воды из природных источников, и, соответственно, уменьшении сбросов сточной воды в водоем после станции аэрации, что, несомненно, приведет к сокращению издержек при производстве воды.

Кроме технических решений, направленных на реализацию управления потерями воды, необходимо обеспечить: совершенствование водного законодательства по вопросам регулирования платы за изъятие воды и сброса в окружающую среду; регулирование тарифов по сокращению издержек производства в водохозяйственных организациях при производстве питьевой воды; привлечение инвестиций в коммунальное хозяйство для сокращения потерь в распределительных сетях; снижение нагрузок на окружающую среду.

Сложившаяся в настоящее время экономическая ситуация в России характеризуется растущей потребностью инвестиций в развитие коммунального хозяйства, с одной стороны, сокращением государственного финансирования и уменьшением собственных финансовых возможностей коммунальных предприятий — с другой. На этом фоне активно обсуждается, а в некоторых городах России уже наметилась тенденция по приватизации государственных предприятий водопроводно-канализационного хозяйства, которая, по мнению ее сторонников, мгновенно изменит ситуацию.

На наш взгляд, прежде чем вносить конкретные предложения, целесообразно проанализировать формы управления водопроводно-канализационным хозяйством в экономически развитых странах и опыт его приватизации в странах с переходной экономикой. В этой связи особое место в книге посвящено анализу современных организационно-экономических моделей управления городскими системами водоснабжения, рассматривается инвестиционная и инновационная политика в области модернизации централизованных систем водоснабжения.

Учитывая сложившуюся на сегодняшний день дискуссионность многих вопросов оценки надежности городских сетей водоснабжения, отсутствие нормативной базы учета фактора надежности при проектировании и эксплуатации систем водоснабжения, автор будет признателен читателям за замечания и советы по этой работе.

Главная цель книги — привлечь внимание специалистов, ученых и общественности к проблеме модернизации водопроводной сети, к пониманию необходимости проведения стратегических преобразований в водном хозяйстве, способствовать быстрому принятию решений в вопросах инноваций, пересмотра старых отживших принципов управления водоснабжением и создания новых возможностей на пути преобразований.

## Введение. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ МОСКОВСКОГО ВОДОПРОВОДА

Московский водоканал — одна из крупнейших и в то же время старейших в Европе городских систем водоснабжения.

Первые сведения о московском водопроводе относятся к 1339 г., когда при князе Иване Калите (1304—1340) был проложен трубопровод из дубовых сверленных бревен от реки Москвы за стены деревянного Кремля к глубокому тайнику-колодцу.

При Михаиле Федоровиче Романове в 1632—1634 гг. в Свибловой башне Кремля был построен первый напорный водопровод. Подъем воды осуществлялся с помощью водоподъемной машины, так называемого водяного взвода, потом и сама башня была переименована в Водовзводную.

Машина, стоившая, по свидетельству современников, несколько бочек золота, приводилась в действие ходившей по кругу лоша-



Водовзводная башня  
Московского Кремля

дью и выкачивала воду из устроенного в нижнем этаже башни каменного колодца, в который вода поступала по трубе, проведенной из реки Москвы. Введенная таким образом вода заполняла выложенный свинцовыми листами напорный бак наверху башни, откуда по свинцовым трубам направлялась в различные кремлевские постройки и царские сады. Производительность этого водопровода составляла около 4 тысяч ведер воды в сутки (50 м<sup>3</sup>).

В царствование Петра I, с переносом столицы в Санкт-Петербург, все водопроводные сооружения в Москве постепенно пришли в упадок. Свинцовые лари и трубы были демонтированы и, скорее всего, переплавлены на военные нужды.

К началу XVIII в. население Москвы насчитывало около 200 тыс. человек. Бурно развивалась промышленность, появились суконные и шелковые фабрики, пивоварни, кожевенные и кузнечные мастерские, бани и др. Большинство из них размещалось по берегам рек Москвы, Яузы, Неглинной и их притоков.

Со временем берега московских рек и прудов превратились, по существу, в места свалок, и вода в них ухудшилась. Население страдало от инфекционных заболеваний. Нет ничего удивительного, что в 1771 г. во время эпидемии чумы в Москве умирало 700—800 человек ежедневно.

В этот период некоторые мероприятия по улучшению санитарного состояния города уже начинали осуществляться, но систему в этом вопросе заложил Петр I.

Еще в апреле 1699 г. Петром I был издан указ «О соблюдении чистоты в Москве и о наказании за выбрасывание сора и всякого помета на улицы и переулки». Он гласил: «На Москве по большим улицам и переулкам, чтобы помету и мертвечины нигде, ни против чьего двора не было, а было б везде чисто. А буде в Москве всяких чинов люди, кто станет по большим улицам и переулкам всякий помет и мертвечину бросать, такие люди взяты будут в земский приказ и будет им учинено наказание, бить кнутом, да с них же взята будет пеня».

Императрица Екатерина II в 1767 г. издала указ, в котором повелела «...накрепко запретить и неослабно того наблюдать, чтобы в Москва-реку и прочие через город текущие воды никто никакого сору и хламу не бросал и на лед нечистот не вывозил».

В том же 1767 г. в Законодательную комиссию в Санкт-Петербурге поступило прошение от генерал-губернатора Москвы «найти в удобных местах хорошую воду и увеличить идущие сквозь город реки проведением воды из ближайших мест».

Народное предание приписывает самой Екатерине II выбор Мытищинских ключей для водоснабжения Москвы. Работы по исследованию окружающей источники местности и составлению проекта водоснабжения Первопрестольной она поручила опытному инженеру-гидротехнику, директору Старо-русских соляных заводов, главе Гидравлического корпуса, кавалеру орденов Александра Невского, Св. Георгия Победоносца и Св. Анны, генерал-поручику Фридриху Вильгельму Бауеру (1734—1783).

Из записки Бауера о произведенных изысканиях видно, что кроме Мытищинских источников, образованных подрусловыми водами верховьев реки Яузы, им были тщательно исследованы все известные московские родники, однако они оказались недостаточно обильными для водоснабжения Москвы.

После утверждения составленного Ф.В. Бауером проекта 28 июля 1779 г. последовал Указ Екатерины II о строительстве водопровода в



Москве. Императрица повелела Бауеру «произвести в действо водяные работы для пользы престольного нашего города Москвы», одновременно приказав своей штатс-контуре отпустить для этой цели 1 млн 100 тыс. руб. Чтобы представить себе величину выделяемой суммы, достаточно сказать, что на январь 1778 г. в Банке Российской империи числилось всего 5 млн 305 тыс. 298 руб. 10 коп.

Строительство Мытищинского водопровода началось в 1780 г. Для нужд строительства у села Ростокино был выстроен кирпичный завод, на котором с весны 1780 г. начали выжигать из местных глин 2—3 млн штук кирпичей в год.

К 1788 г. в соответствии с проектом Бауера для сбора воды из 62 родников в Мытищах было устроено 28 ключевых бассейнов (колодцев) глубиной около 2,13 м, выложенных кирпичом и покрытых деревянными крышками. Они соединялись между собой глиняными трубами, по которым вода самотеком поступала в кирпичную галерею, имеющую в сечении форму квадрата со стороной 0,9 м. Через каждые 200 м были устроены смотровые колодцы.

Для первого перехода через реку Язу у Мытищ были проложены два чугунных водовода диаметром 300 мм, а для второго — у села Ростокино построен каменный мост-акведук, выведенный на 21 арке с шириной пролета 8,5 м каждая, длиной 356 м и высотой над уровнем реки Язы 19 м. В то время Ростокинский акведук был самым большим каменным мостом в России. Это, пожалуй, единственное из сооружений Екатерининского водопровода, сохранившееся до наших дней. Ростокинский акведук является замечательным памятником промышленного строительства XVIII столетия.



Ростокинский акведук

К 1787 г. все работы вне города были закончены. Длина галереи составляла почти 24 км. Она тянулась от Мытищ через село Алексеевское, Сокольники, Каланчевское урочище, Сухаревскую площадь до пересечения Садовой улицы с Самотекой, где был сделан выпуск в Самотецкий пруд. Впоследствии на Трубной площади была поставлена ротонда с чугунной вазой, в которую ручным насосом из галереи накачивалась вода и разбиралась затем москвичами.

В 1787 г. Екатерина II осматривала выполненные работы и пила чай у водоразборного бассейна, устроенного на водопроводной галерее около села Алексеевского, где в дальнейшем было построено Алексеевское водоподъемное здание.

В 1788 г. началась война с Турцией и правительство прекратило выделять деньги на водопровод. Занятых на строительстве офицеров и солдат отправили в действующую армию, за исключением капитана Е.И. Бланкеннагеля, оставленного наблюдать за сохранностью водопроводных сооружений. Работы были приостановлены на 9 лет. Открытие Екатерининского водопровода состоялось 28 октября 1804 г. Эта дата считается официальным днем рождения московского водопровода.

Уже после открытия водопровода было устроено еще пять водоразборных колодцев-фонтанов: во дворе Спасских казарм, около Шереметьевской больницы на Сухаревской площади, на Садовой и два — в переулках на Трубе.

Однако с первых дней эксплуатации Екатерининского водопровода проявились ошибки, допущенные при проектировании и строительстве. Из 300 тыс. ведер воды, поступающих от Мытищинских ключей в галерею, до Москвы доходило только 40 тыс., да и то, как выяснилось, большую часть этого количества составляла грунтовая вода, проникающая в галерею через многочисленные трещины.

В 1823 г. произошел обвал водопроводной галереи в районе Сокольнической Роши, и приток мытищинской воды, казалось бы, должен был прекратиться, однако все те же 40 тыс. ведер воды поступали в город. Отсюда можно сделать вывод, что эта вода была не мытищинской ключевой, а московской грунтовой.

Хотя Мытищинский водопровод оказался не вполне удачным, следующие поколения инженеров-водопроводчиков взяли много полезного из его устройства.

Серьезные работы по переустройству мытищинского водопровода начались в 1828 г., когда Указом императора Николая I был утвержден проект, представленный начальником Округа путей сообщения в Москве и директором Мытищинского водопровода, инженером-генерал-майором Николаем Ивановичем Янишем (1782—1850).

Екатерининская водопроводная галерея от Мытищ до села Алексеевского была исправлена насколько возможно. Вблизи Алексеевского построили водоподъемное здание, где установили две паровые ма-



шины Уатта по 24 л.с. каждая и четыре паровых котла. Машины работали поочередно. Вода подавалась по чугунному водоводу длиной 7,5 км и диаметром 300 мм в выложенный чугунными плитами резервуар, расположенный на втором этаже Сухаревой башни. Емкость резервуара составляла 6500 ведер (80 м<sup>3</sup>).

От Сухаревой башни проложили магистральный водовод диаметром 240 мм, по которому вода подавалась в центр города к водоразборным фонтанам, бассейнам и колодцам. Фонтанов было установлено пять: на Лубянской, Театральной, Воскресенской (у Александровского сада), Варварской площадях и у Шереметьевской больницы (ныне Институт скорой помощи им. Склифосовского). Два первых фонтана работы русского скульптора И.П. Витали сохранились до наших дней, но в 1934 г. фонтан с Лубянской площади был перенесен в Нескучный сад к зданию Президиума Академии наук.

Работы по переустройству водопровода по проекту Н.И. Яниша закончились в 1835 г.

По реконструированному водопроводу в город поступало 180 тыс. ведер воды в сутки, что было явно недостаточно для 300-тысячной Москвы. Вследствие нехватки воды было запрещено устройство домашних вводов, в бани отводилась только излишняя, остающаяся вода. Основная реконструкция Мытищинского водопровода началась в 1853 г., когда на место директора московского водопровода был назначен барон А.И. Дельвиг, один из образованнейших и талантливых инженеров того времени.

Взамен кирпичной галереи был уложен чугунный водовод диаметром 500 мм. В Мытищах построили водоподъемное здание с двумя паровыми машинами Уатта по 10 л.с., с помощью которых вода по чугунному водоводу длиной 14,1 км шла к Алексеевской водокачке. Для перехода через речки устроили сифоны из чугунных труб.

На Алексеевской водокачке две старые паровые машины по 24 л.с. были заменены новыми по 48 л.с. каждая. Они подавали на Сухареву башню 500 тыс. ведер воды ежедневно. Увеличение подачи воды потребовало устройства второго резервуара на Сухаревой башне. Новый резервуар вмещал 7 тыс. ведер воды.

По городу проложили 45 км разводящих труб, оборудовали 26 водоразборов (фонтанов, бассейнов, водоразборных столбиков). Впервые было оборудовано 15 пожарных колодцев, что явилось большим подспорьем пожарным частям, появившимся в городе.

Открытие нового дельвиговского водопровода состоялось 1 ноября 1858 г. Заслуга барона А.И. Дельвига состоит в том, что он был первым, кто провел без потерь чистую питьевую воду из Мытищинских ключей в столицу.

В последующие годы были устроены четыре артезианских водопровода: в 1867—1871 — Ходынский, мощностью 130 тыс. ведер в сут-

ки; в 1882 — Преображенский, мощностью 60 тыс. ведер; в 1885 — Андреевский (у Калужской заставы) на 50 тыс. ведер и в 1888 — Покровский (с глубиной скважины 455 м) на 200 тыс. ведер. Однако московские артезианские водопроводы оказались очень ненадежны, их эксплуатация обходилась московской казне достаточно дорого, и к концу XIX в. они были совершенно заброшены.

К 70-м г. XIX в. в Москве проживало около 700 тыс. жителей. Город рос, быстрыми темпами развивалась промышленность. 500 тыс. ведер воды в сутки, подаваемые Мытищинским водопроводом, уже не удовлетворяли городские потребности. Недостаточный напор в водопроводной сети не позволял подавать воду на верхние этажи домов, создавал значительные неудобства при тушении пожаров.

Принимая во внимание эти обстоятельства, в 1870 г. в Городской Думе был поднят вопрос об устройстве нового водопровода. Однако, несмотря на возрастающий с каждым годом дефицит воды, его строительство начали только в 1890 г. Такая значительная задержка была связана с проблемами финансирования. Лишь в 1887 г., когда место Городского головы занял видный общественный деятель, предприниматель и щедрый благотворитель Николай Александрович Алексеев, Городская Дума приняла решение строить водопровод на средства, полученные от выпуска облигационного займа.

Из многочисленных проектов устройства нового Мытищинского водопровода в 1890 г. был выбран проект Н.П. Зимина, в то время заведующего московским водопроводом. Зимин вместе со своими помощниками А.П. Забаевым и К.Г. Дункером взял за основу своего проекта идею А.И. Дельвига об увеличении отбора воды из Мытищ за счет повышения интенсивности откачки и понижения уровня грунтовых вод. По проекту предусматривалось получать из Мытищ 1500 тыс. ведер воды в сутки.

В соответствии с проектом 1500 тыс. ведер воды собирались в 50 водосборных трубчатых колодцах, соединенных общей всасывающей трубой, подающей воду на Мытищинскую насосную станцию. На станции установили три водоподъемные паровые машины по 84 л.с., изготовленные фирмой братьев Бромлей. Каждая из них могла подавать ежедневно 1500 тыс. ведер воды. Водовод длиной около 14 км, диаметром 600 мм заканчивался в Алексеевском запасном резервуаре. Резервуар емкостью 300 тыс. ведер был заглублен в землю на 2,13 м, имел бетонное основание, кирпичные стены и пол. Для удобства эксплуатации резервуар состоял из двух отделений. Чтобы предотвратить застой воды, в нем были устроены каменные разделительные стенки. Контроль за уровнем воды в резервуарах осуществлялся с помощью специальных электрических указателей.

На Алексеевской насосной станции были установлены две горизонтальные паровые машины мощностью по 134 л.с. и производитель-

ностью по 18750 м<sup>3</sup>/сут, изготовленные на заводе «Добровь и Набогольц». Далее вода подавалась по водоводу диаметром 600 мм и длиной 2,2 км в две Крестовские водонапорные башни, которые были построены по проекту архитектора М.К. Геппенера недалеко от Виндавского (ныне Рижского) вокзала.

Было проложено 116 км водопроводных сетей диаметром 100—700 мм. Сеть была кольцевой, из чугунных труб с асфальтировкой изнутри и снаружи. Как и все сооружения Нового Мытищинского водопровода, городская сеть была рассчитана на перспективное развитие и могла пропускать 2 млн ведер воды в сутки (около 24 тыс. м<sup>3</sup>).

Через каждые 100 м водопроводной сети было установлено 1007 пожарных кранов. Пожарные краны так же, как и вантузы, задвижки и спускные краны, помещались в колодцах, главным образом деревянных. Всего было устроено 1194 колодца: 6 бетонных, 3 каменных и 1077 деревянных. Кроме того, установили 242 задвижки и 20 вантузов.

Работы велись 3 года. Открытие нового Мытищинского водопровода состоялось 22 августа 1893 г. при преемнике Н.А. Алексеева К.В. Рукавишникове. Городская управа установила плату за воду, отпускавшуюся водовозам из городских водоразборов в размере 5 коп. за 40-ведерную бочку, в ручную посуду вода отпускалась бесплатно. По новым правилам проведения воды в частные владения вода отпускалась только по измерению, для чего на всех домовых вводах устанавливали водомеры. Стоимость этой воды составляла 12 коп. за 100 ведер. Штрафы за перебор воды были отменены.

К 1899 г. водопровод был расширен: в Мытищах поставили еще 20 буровых скважин, на Алексеевской водокачке установили третью паровую машину, способную перекачивать ежедневно 2 млн ведер, емкость резервуара увеличили до 1 млн ведер. Общая протяженность городской водопроводной сети достигла 293 км. Всего из Мытищ в Москву к этому времени поступало около 3500 тыс. ведер воды в сутки.

К началу XX в. московский водопровод представлял собой прекрасно организованное предприятие, оснащенное самым современным оборудованием. Штаты насосных станций были укомплектованы грамотными специалистами — инженерами, электротехниками, машинистами, слесарями, кочегарами, рабочими разных специальностей.

К 1900 г. в отдельные дни подача воды из Мытищ в Москву достигала 4 млн ведер. Усиленная откачка мытищинской воды вызвала значительное понижение уровня грунтовых вод в водозаборных колодцах, что отрицательно сказалось на качестве воды. Стало наблюдаться значительное повышение ее жесткости. Исследования, проведенные специально созданной Комиссией, в состав которой входили крупнейшие ученые В.И. Вернадский, Н.Д. Зелинский, Н.Е. Жуковский, подтвердили факт прямой зависимости жесткости мытищинской воды от объема ее откачивания. Чтобы остановить дальнейшее ухудшение ка-

чества воды, городская дума приняла решение об ограничении подачи воды из Мытищинского водопровода до 2 млн ведер в сутки.

В 1898 г. была пущена первая очередь московской канализации, росло городское население, бурно развивалась промышленность. Город настойчиво требовал большей подачи воды. Московское водоснабжение в существующем виде достигло предела своего развития, и вновь остро встал вопрос о поисках нового водоисточника и постройке нового водопровода.

Исследования, начатые в 1895 г. под руководством Н.П. Зимина, показали, что единственно надежным источником для расширения московского водоснабжения может служить только река Москва выше черты города.

28 марта 1900 г. Городская дума утвердила выбор деревни Рублево, как места водозабора и как площадку для постройки водоподъемных и очистных сооружений, а также одобрила общую схему Москворецкого водопровода с включением в нее медленных английских фильтров. В соответствии с проектом, разработанным под руководством Н.П. Зимина, полная мощность Москворецкого водопровода должна была составить 14 млн ведер воды в сутки (около 170 тыс. м<sup>3</sup>), но так как сразу такого количества воды не требовалось, строительство было разделено на четыре очереди по 3,5 млн ведер каждая.

Закладка Рублевской насосной станции состоялась 15 июля 1901 г. Руководил строительством замечательный инженер Иван Михайлович Бирюков, в дальнейшем — первый директор станции.

Так как увеличение подачи воды в город требовалось безотлагательно, сначала построили временный водоприемник и временную насосную станцию 26 декабря 1901 г. в Рублеве запустили водоподъемные машины и наполнили одно отделение Воробьевского резервуара емкостью 600 тыс. ведер воды. На первоначальную проектную мощность (3,5 млн ведер воды в сутки) Рублевская станция вышла 27 июня 1903 г.

Очистка питьевой воды на станции осуществлялась по так называемому «английскому» варианту, включающему отстаивание и последующее фильтрование на медленных песчаных фильтрах со скоростью 1 м/ч. В 1906 г. было построено 16 отделений предварительных фильтров, которые значительно облегчили работу английских фильтров, так как освобождали воду от мелких взвешенных частиц и хлопьев коагулянта, не успевших осесть в отстойнике.

К 1917 г. в Москву в сутки подавалось в среднем около 11 млн ведер москворецкой воды (133 тыс. м<sup>3</sup>) и 2,5 млн ведер (30 тыс. м<sup>3</sup>) мытищинской.

В начале 1930-х гг. в связи с бурной индустриализацией городу стало требоваться воды почти вдвое больше — до 350 тыс. м<sup>3</sup>/сут, однако ресурс реки Москвы как источника водоснабжения был практически исчерпан.





Рублевский водозабор

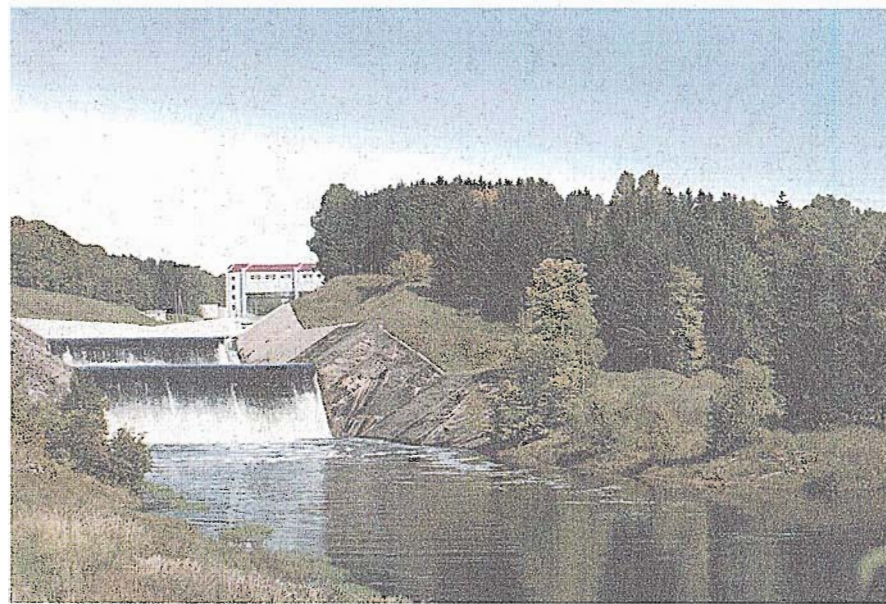
В соответствии с Генеральным планом развития Москвы в 30-е гг. XX в. началось активное возведение новых гидротехнических сооружений. Были построены Рублевская плотина, Истринское водохранилище, первая очередь Черепковских очистных сооружений, Краснопресненская насосная станция, начато строительство канала Москва-Волга, Акуловского гидроузла, водопроводного канала и Сталинской (Восточной) водопроводной станции.

Первую волжскую воду москвичи получили в 1937 г.

С началом Великой Отечественной войны водопроводно-канализационное хозяйство города было преобразовано в 3-й полк МПВО, эксплуатационный персонал переведен на казарменное положение, на всех предприятиях и подразделениях были созданы группы самозащиты. Даже когда фашисты стояли у стен Москвы, в городе не было перебоев в подаче питьевой воды.

Большая группа работников водопровода и канализации за самоотверженный труд во время войны была награждена орденами и медалями, Восточная водопроводная станция награждена Орденом Отечественной войны I степени, Рублевская — Орденом Ленина.

В октябре 1947 г. постановлением правительства было принято решение о строительстве Северной водопроводной станции. Первые сооружения этой станции — насосная станция 1-го подъема на Клязьминском водохранилище и 1-й блок очистных сооружений мощностью



Истринский гидротехнический узел

500 тыс. м<sup>3</sup>/сут — вошли в эксплуатацию в марте 1952 г. К 1956 г. СВС достигла мощности 1 млн м<sup>3</sup>/сут.

Бурный рост промышленности и жилищного строительства в 50-е гг. XX в. потребовал увеличения подачи воды в город. Было принято решение о строительстве Можайского гидроузла в составе трех водохранилищ — Можайского, Озернинского. Ввод Можайской гидросистемы позволил ввести в эксплуатацию в 1964 г. Западную водопроводную станцию.

В 1975 г. на Восточной водопроводной станции начала работать первая промышленная установка по озонированию воды.

В 1979 г. была введена в эксплуатацию Вазузская гидротехническая система, состоящая из трех гидроузлов с водохранилищами, трех насосных станций и каналов протяженностью 23 км. Эта система позволяет иметь резервный запас воды для водоснабжения города в маловодные годы.

Одно из основных направлений деятельности Мосводоканала в последние годы — совершенствование процессов водоподготовки.

В 2002 г. был построен 4-й блок Рублевской водопроводной станции, где внедрена современная озонсорбционная технология подготовки питьевой воды. Применение этой технологии исключает влияние сезонных изменений качества воды водоисточника на качество чистой воды, повышает барьерную роль очистных сооружений, обес-





Водопроводный ковш Восточной водопроводной станции

печивает надежную дезодорацию и улучшает микробиологические показатели очищенной воды.

В истории Московского водопровода всегда присутствовала очень важная компонента — водные источники не должны быть сдерживающим фактором экономического и социального развития города.

В 1982 г. был опубликован доклад Гидропроекта с прогнозом водоснабжения Москвы до 2020 г. Для Москвы и Московской области необходимо было подавать: в 1990 г. —  $200 \text{ м}^3/\text{с}$  или  $6,4 \text{ км}^3$  в год; в 2000 г. —  $300 \text{ м}^3/\text{с}$  или  $7,9 \text{ км}^3$  в год; в 2020 г. —  $300 \text{ м}^3/\text{с}$  или  $9,8 \text{ км}^3$  в год. Этот заведомо экстенсивный путь развития города по привлечению водных ресурсов требовал разведки и строительства новых и новых гидротехнических сооружений. К счастью, такому прогнозу не удалось осуществиться. Даже в условиях строгой партийной дисциплины ученые из Института водных проблем высказывали свое несогласие с подходами, заложенными при определении прогноза водопотребления. При удельном потреблении воды на 1 жителя с учетом нужд промышленности, транспорта, полива зеленых насаждений (в 1982 г. —  $650 \text{ л}/\text{сут}$ ) планировалось увеличение потребления воды до  $1000 \text{ л}/\text{сут}$ .

Ученые Академии наук СССР академик Б.Н. Ласкорин, член-корреспондент М.Г. Хубларян и др. считали, что удельные нормативы водопользования несостоятельны и внутри системы водоснабжения



Зал фильтров Северной водопроводной станции

имеются немалые резервы. Они предлагали увеличить строительство оборотных систем водоснабжения на промышленных предприятиях с переходом на замкнутые системы водоснабжения, а также навести порядок в сетях жилого сектора, сократить утечки и приступить к реализации водосберегающих технологий.

Однако, несмотря на правильное понимание задач в области рационализации водопотребления, конкретно изменить ситуацию удалось только в 2004 г. в связи с принятием постановления Правительства Москвы № 77-ПП «О мерах по улучшению системы учета водопотребления и совершенствованию расчетов за холодную, горячую воду и тепловую энергию в жилых зданиях и объектах социальной сферы города Москвы».

Московский водопровод развивался, вводились в эксплуатацию новые промышленные объекты, увеличивались объемы жилищного строительства. Темпы развития были таковы, что каждые 5 лет необходимы были новые водопроводные сети мощностью  $400\text{—}500 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$ . Для таких объемов воды требовались достаточные запасы водных источников. В соответствии с Генеральным планом развития города предусматривалось строительство Ржевского гидроузла с водотдачей  $25 \text{ м}^3/\text{с}$ . Однако в середине 1980-х гг. в стране началась перестройка, которая в определенной степени повлияла на отмену строительства гидроузла.





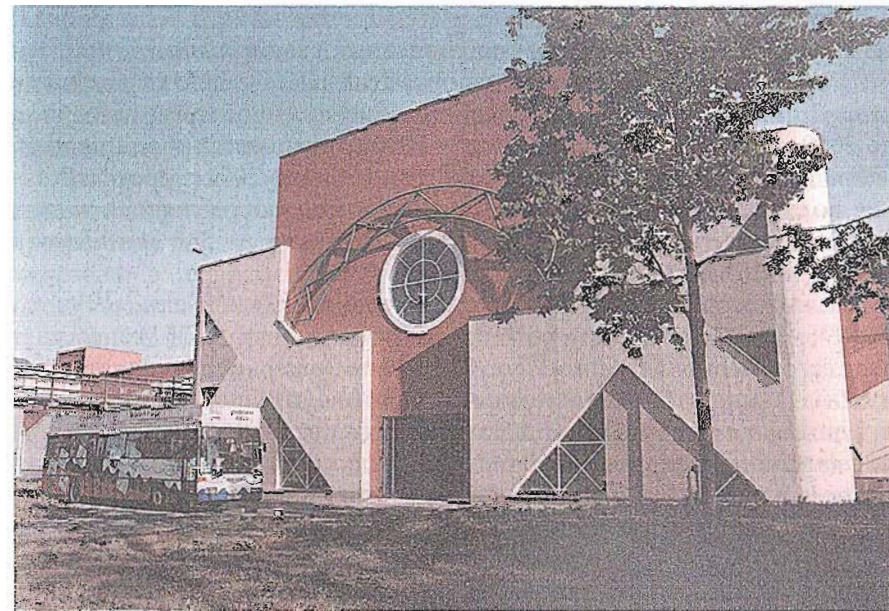
Установка озонирования воды на Восточной водопроводной станции

В соответствии с распоряжением Совета Министров СССР № 1405 от 19.06.87 в целях экономии водных ресурсов и повышения надежности водообеспечения Москвы Мосгорисполкому было поручено разработать в 1987—1988 гг. с участием 36 научно-исследовательских проектных институтов, в том числе институтов Академии наук СССР, Целевую комплексную программу по экономии и рациональному использованию водных ресурсов (ЦКП) в Москве и повышению надежности ее водообеспечения на период до 2000 г. Наряду с этим было принято решение приостановить подготовительные работы по строительству Ржевского гидроузла до утверждения программы.

По масштабности задач, которые необходимо было рассмотреть при разработке ЦКП, водное хозяйство Москвы, да и России в целом еще не имело аналогов.

Достаточно сказать, что техническое задание согласовывалось с Госкомитетом СССР по науке и технике, Госпланом СССР, Академией наук СССР, Минводхозом, Госстроем СССР, Госкомархитектурой, Госкомгидрометом, Минжилкомхозом, Минздравом, Мингео, Минпромстройматериалов и многими другими министерствами и ведомствами.

В соответствии с техническим заданием ЦКП должна была определить:



Здание четвертого блока Рублевской водопроводной станции

- наличие и рациональность использования имеющихся водных ресурсов города Москвы;

- потребность города Москвы в водных ресурсах до 2000 г. и на перспективу до 2010 г. с учетом основных концепций перспективного развития;

- величину резервов экономии водных ресурсов в промышленности, жилом фонде и коммунально-бытовом секторе за счет ликвидации потерь, внедрения новых технологий, рационализации схем водопотребления и водоотведения;

- затраты и материально-технические ресурсы, необходимые для использования резервов экономии, и сроки реализации;

- наличие и величину дефицита воды по срокам его покрытия за счет использования резервов экономии и привлечения новых источников с учетом повышения надежности водообеспечения.

Только с позиции сегодняшнего дня можно оценить концептуальные положения программы развития водного хозяйства Москвы. В то время многие специалисты считали эту программу очередной отсрочкой строительства Ржевского гидроузла. Однако сегодня многие ее направления реализованы или находятся в стадии реализации. Это, прежде всего, составление водохозяйственного баланса, которым мы пользуемся сегодня, введение платы за водные ресурсы, реализованное в соответствии с законами РФ, совместное использование подземных



и поверхностных вод, внедрение системы технического водопровода, в том числе с использованием доочищенных сточных вод.

Практически большинство мероприятий ЦКП нашло отражение в разработанной в 1998 г. Генеральной схеме водоснабжения на период до 2010 г. В ней поставлена задача к 2010 г. уменьшить объем потребления воды в целом по городу до 5,3 млн м<sup>3</sup>/сут (в 2004 г. среднесуточная подача составила 4,8 млн м<sup>3</sup>). Удельное водопотребление в жилых домах к расчетному сроку должно быть снижено до 235 л/чел./сут (в 2004 г. — 353 л/чел./сут).

Если в середине 1990-х гг. подача воды достигла 7 млн м<sup>3</sup>/сут, то за 1996—2003 гг. водопотребление снизилось почти на 25 % и составляет сегодня около 5 млн м<sup>3</sup>/сут. Снижение подачи воды водопроводными станциями дало возможность производить поэтапную реконструкцию и модернизацию действующих очистных сооружений для повышения эффективности очистки. Традиционная двухступенчатая система очистки была усилена фильтрованием воды через слой активированного угля в сочетании с озонированием.

Опыт работы 4-го технологического блока Рублевской водопроводной станции, спроектированный по новой технологической схеме, показал, что качество получаемой питьевой воды соответствует требованиям нормативов по всем показателям; эффективность очистки воды от органических загрязнений выше на 50 % по сравнению с традиционной очисткой; хлороформ как побочный продукт хлорирования практически не образуется, его концентрация не превышает 10 мкг/л; формальдегид как побочный продукт озонирования отсутствует; запахи во время половодья практически не обнаруживаются. Таким образом, можно сделать вывод, что новое технологическое решение было принято правильно.

В то же время начались работы по проектированию и строительству аналогичного блока на территории Юго-Западной водопроводной станции.

Технологическая схема ЮЗВС включает не только процессы озонирования и сорбции на активированном угле, но и стадию микрофильтрации на специальных мембранах.

Для усиления контроля за качеством воды и выполнения широкого спектра физико-химических и биологических анализов в 1993 г. был создан российско-французский аналитический центр «Роса». Он был оснащен современным лабораторным оборудованием и приборами, позволяющими выполнять практически все виды анализов с достаточно высокой степенью точности.

В связи со снижением водопотребления в городе появилась возможность планомерного повышения надежности водопроводной сети. С этой целью в середине 1990-х гг. был составлен первый план по модернизации сети, направленный на сокращение количества повреждений и

уменьшение жалоб от населения. В настоящее время в этом деле достигнут определенный успех и начата реализация второго этапа модернизации. Отвечать требованиям клиента, уметь выслушать его, предложить услуги по реконструкции водопроводной сети с применением инновационных технологий — это наши возможности сегодня.

Таким образом, можно констатировать, что старая концепция экстенсивного развития системы водоснабжения столицы России — непрерывного наращивания мощностей водопроводных сооружений — заменена в современных условиях политикой экономии и рационального использования водных ресурсов, внедрения современных технологий водоподготовки и повышения уровня надежности всей системы. В настоящее время в новой схеме развития систем водоснабжения и канализации до 2020 года, представленной на обсуждение в Правительство Москвы, предусматривается дальнейшее снижение водопотребления города до 4,13 млн м<sup>3</sup>/сут при одновременной масштабной реконструкции очистных сооружений с ориентацией на мембранные технологии и модернизацией водопроводных сетей по бесшланжевым технологиям.

## Глава 1.

# АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

### 1.1. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОБЛЕМЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Системы водоснабжения городов по специфике своего функционирования и назначения относятся к сложным техническим системам массового обслуживания. Современные инженерные методы создания и эксплуатации сложных технических систем основаны на активном привлечении количественных методов анализа и синтеза их надежности, поскольку только это может обеспечить построение рационально спроектированных экономически и высокоэффективных в эксплуатации систем.

Вопросам надежности таких инженерных систем массового обслуживания, как системы энерго-газо-теплоснабжения, в последнее время посвящено значительное число работ как экспериментального, так и теоретического характера [14, 21, 44, 45, 66, 68, 96, 119, 121, 122, 127 и др.].

В постановке задач оценки и обеспечения надежности сложных технических систем имеется много общих черт. В расчетах этих систем используются одни и те же положения теории вероятности, математической теории надежности и математической статистики. Достаточно близки принципиальные требования потребителей к качеству обслуживания. Однако, по мнению автора специфические особенности систем водоснабжения, их отличия от «смежных» инженерных систем не позволяют применять имеющиеся разработки по проблемам надежности систем массового обслуживания непосредственно для решения задач оценки и обеспечения надежности систем водоснабжения и ее элементов.

К числу общих и отличительных свойств систем водоснабжения, в частности городских водопроводных сетей, следует отнести:

- значительное пространственное распределение и большое число разнородных элементов, определяющих структуру, особенности функционирования и надежности показатели системы;
- динамичность и непрерывность развития в пространстве и во времени (при неопределенности нагрузки — спроса на воду);

- большой выбор технических средств и возможностей их использования для удовлетворения заданной надежности водоснабжения потребителей;

- наличие значительного числа потребителей с сильно различающимися требованиями по надежности их водообеспечения, режиму работы;

- отсутствие достоверной информации о надежности элементов системы.

К числу отличительных особенностей систем водоснабжения также следует отнести возможность повышения надежности путем аккумулирования воды, подаваемой потребителям (за счет создания емкостей).

Под надежностью системы водоснабжения понимается ее свойство выполнять заданные функции в заданном объеме при определенных условиях функционирования. Функцией системы водоснабжения является бесперебойное снабжение потребителей водой в требуемом количестве и требуемого качества под требуемым напором, а также недопущение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды. Надежность систем водоснабжения является комплексным свойством, которое в зависимости от обслуживания системой объекта и назначения системы может включать несколько единичных свойств: безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость, режимную управляемость, живучесть и безопасность.

Надежность системы водоснабжения может быть определена только в результате комплексного рассмотрения и оценки надежности всей «цепи» водопроводных сооружений (от источника до потребителя) и учета их роли в совместной работе.

Нарушения работы системы, препятствующие нормальному выполнению «функций», обусловлены различными случайными событиями. Единственным путем оценки возможности появления таких событий, закономерностей их возникновения и повторения являются сбор и обработка статистических сведений о работе действующих систем. Эти сведения позволяют установить численную вероятность возникновения тех случайных событий, которые могут привести к нарушению нормального функционирования отдельных элементов, а следовательно и системы в целом.

Для сложных многофункциональных систем водоснабжения (в том числе и для такого элемента системы, как городская водопроводная сеть) не характерно событие, заключающееся в полном отказе системы, поэтому имеет смысл говорить лишь о частичном отказе, так как отказы отдельных элементов системы могут приводить лишь к тому или иному снижению эффективности функционирования.

Надежность действующей системы водоснабжения обеспечивается тремя основными путями: резервированием элементов, эффективной



организацией их эксплуатации, обеспечивающей поддержание их работоспособности, и целенаправленным управлением процессами, протекающими в системе водоснабжения.

Критерием для решения задач обеспечения оптимального уровня надежности системы водоснабжения и ее элементов является выполнение нормативных требований, характеризующих обязательный минимальный уровень надежности.

В последние годы вопросам исследования надежности систем водоснабжения посвящены многие работы отечественных и зарубежных авторов. Первые фундаментальные исследования по проблеме надежности систем водоснабжения были проведены проф. Н.Н. Абрамовым. В его книге [1] впервые определены направления исследований надежности систем водоснабжения, сформулированы основные задачи и рекомендованы методы их решения. Однако следует отметить, что эта книга носила постановочный характер и, ставя проблемы надежности систем водоснабжения, не давала практических методов их решения.

Одними из первых исследований по определению количественных показателей надежности элементов городских систем водоснабжения стали работы учеников проф. Н.Н. Абрамова [35, 46, 63, 65]. На основе статистических исследований по повреждаемости трубопроводов ряда крупных систем водоснабжения они получили численные значения интенсивности отказов  $W$  и среднего времени восстановления  $t_в$  участков водоводов и водопроводных сетей, проанализировали причины и характер их отказов. Однако приведенные в этих работах параметры надежности не коррелируют друг с другом и часто противоречивы. Различны у авторов и выводы о зависимости частоты повреждений трубопроводов и времени их восстановления от диаметра, материала и других факторов, не приведены рекомендации по практическому использованию полученных показателей надежности.

В работе [78] установлены аналитические зависимости показателей надежности участков трубопроводов систем подачи и распределения воды от их диаметров, предложена методика определения экономически выгоднейших диаметров водопроводных линий с учетом показателей их надежности. Однако данная работа имеет узкую направленность, так как посвящена исследованию надежности систем водоснабжения в районах с повышенной сейсмичностью, что затрудняет ее применение для других систем водоснабжения.

Работа [22] посвящена анализу надежности насосных станций водоснабжения и АЭС. Автором получены показатели надежности отдельных видов насосных агрегатов, предложены методы расчета надежности, рассмотрены методы резервирования для повышения надежности работы насосных станций. Однако практической реализации эти исследования также не получили.

В работе [46] впервые приводятся данные о количестве поврежде-

ний на Московском водопроводе. Статистика аварий на сетях Московского водопровода выявила на тот момент следующую закономерность: на 100 км трубопроводов в год приходится в среднем 500 повреждений, из них только 12 % аварий связано с перерывом подачи воды потребителю.

Вопросам оценки и обеспечения надежности водопроводных сетей железнодорожного водоснабжения посвящена работа канд. техн. наук Е.В. Постновой [54]. Автором разработана расчетная модель оценки надежности сетей железнодорожного водоснабжения с реализацией ее на действующих водопроводах (с использованием ЭВМ), предложены мероприятия, направленные на повышение надежности водопроводных сетей железнодорожного водоснабжения на стадии проектирования и эксплуатации. Вместе с тем данная работа ограничена рассмотрением вопросов надежности специфических (железнодорожных) систем водоснабжения, имеющих отличия от коммунальных систем.

В целом анализ работ по вопросам надежности систем водоснабжения, по мнению автора, показывает, что в основном они обобщают опыт организации эксплуатации водопроводов на существующем уровне с выделением некоторых частных проблем.

Следует отметить, что приведенные в большинстве работ значения численных показателей надежности трубопроводов водопроводных сетей ряда городских систем водоснабжения являются усредненными по большим совокупностям элементов, не учитывают специфику работы элемента в системе, конкретные условия эксплуатации, различны и методы обработки исходных данных и концепции их практического использования.

В этом плане представляют интерес работы [14, 26, 27, 63], в которых предлагаются практические методы расчета надежности различных систем водоснабжения на основе показателей надежности их элементов.

В работе д-ра техн. наук О.Г. Примины [63] предложен метод расчета надежности районных систем водоснабжения с использованием ЭВМ. Методика расчета основана на оценке надежности «путей снабжения» водой конкретных потребителей системы. Результаты расчета программно формируются в виде матрицы состояний системы с оценкой показателей надежности ее элементов (участков трубопроводов) и технологических параметров функционирования системы в нормальном режиме и при отказах отдельных ее элементов.

О.Г. Приминим впервые исследованы вопросы взаимосвязи надежности и экологической безопасности трубопроводов и оборудования городских сетей водоснабжения и водоотведения [64].

Наибольший интерес для формирования подходов к вопросам экологической безопасности и надежности при функционировании систем водоотведения крупных городов представляют последние работы

санкт-петербургских ученых — профессоров Ю.А.Ильина, В.С. Игнатчик, С.Ю. Игнатчик, М.И. Алексеева, Ю.А. Ермолина, Ф.В. Кармазинова [21, 25, 27, 28, 33].

Так, в работе [33] рассматривается проблема надежности транспортирования сточных вод системой водоотведения г. Санкт-Петербурга, приводятся численные характеристики вероятности и риска появления отказов трубопроводов и агрегатов КНС. Авторы отмечают, что до настоящего времени не разработана методика, позволяющая количественно обосновать наиболее эффективные способы повышения надежности трубопроводов сетей водоснабжения и водоотведения, отсутствует компьютерный банк данных о фактических показателях их надежности, оборудования и арматуры. Авторы видят два пути повышения надежности и экологической безопасности сетей водоснабжения и водоотведения города: наращивание производственных мощностей и совершенствование бестраншейных способов реабилитации трубопроводов; оценка и прогноз показателей надежности элементов системы, планирование технологии и объемов первоочередных работ по их восстановлению, создание компьютерной системы учета и прогнозирования аварий.

Наиболее полно вопросы надежности систем водоснабжения отражены в работах проф., д-ра техн. наук Ю.А. Ильина [26, 27]. В его работах проблемы надежности систем водоснабжения решаются с помощью математической теории надежности сложных технических систем, обоснована формулировка требований к надежности подачи воды, приведена классификация и изложены способы определения показателей надежности и ремонтпригодности водопроводного оборудования по результатам его эксплуатации в системах и специальных испытаний на надежность. Предложена также аналитическая модель оценки надежности работы водопроводных сооружений с учетом продолжительности и числа перерывов в подаче требуемого расхода, которые допускает потребитель. Впервые разработана методика выполнения поверочных гидравлических расчетов систем подачи воды с учетом показателей надежности.

Поскольку процесс функционирования системы подачи и распределения воды в предложенной математической модели надежности описан Ю.А. Ильиным системами дифференциальных уравнений большой размерности, их решение требует применения ЭВМ. Однако в настоящее время апробированных на практике алгоритмов и программ для ЭВМ по расчету надежности крупных коммунальных систем водоснабжения пока нет.

Обзор иностранной технической литературы показал, что и за рубежом особое значение на сегодняшний день также приобретает проблема обеспечения надежности трубопроводов городских систем водоснабжения [113, 115—117, 119—127 и др.]. Это, в частности, под-

тверждают ежегодно проводимые в г. Ольденбурге (Германия) международные трубопроводные форумы-выставки [95, 100, 108] и последние публикации в журнале «AKWA».

В работе М. Романа [73] экспертно оцениваются требования потребителей к надежности водообеспечения, предлагается метод расчета надежности систем водоснабжения на основании анализа блок-схем.

Однако, на наш взгляд, эти работы дискуссионны и не могут быть применены на практике, так как использование такого показателя надежности, как коэффициент готовности  $K$ , неприемлемо для оценки надежности систем водоснабжения, срок безотказной работы которых несоизмерим с периодами их неработоспособного состояния (восстановления при аварии). Кроме того, оценить надежность системы водоснабжения, относящейся к сложным системам массового обслуживания, каким-либо одним показателем не представляется возможным.

В последнее время появились работы, направленные на использование методов теории и практики надежности сложных технических систем для планирования восстановления водопроводных сетей [123, 133].

Определенного внимания заслуживает работа проф. Р.К. Херца, посвященная вопросам стратегии планирования восстановления и обновления трубопроводов [89]. В ней предложен вероятностный подход к описанию процессов старения и обновления трубопроводов на основе разработанного математического распределения функции старения. Отмечается, что возраст трубопроводов не является главным фактором для принятия решения о замене участка трубопровода, приведена схема прогнозирования для определения необходимости реконструкции водопроводных распределительных сетей.

Эти исследования корреспондируются с исследованиями автора данной книги. Автором изучен подход к решению проблем надежности городских водопроводных сетей в развитых западных странах. Отмечено, что в последние 20 лет ремонт, обновление, восстановление и замена труб занимают все более важное место в странах ЕЭС. При этом ощущается потребность в регламентированной и научно-обоснованной стратегии и технологии ведения восстановительных работ на магистральных трубопроводах и сетях.

В работе [116] описываются основные проблемы восстановления различных трубопроводов системы водоснабжения Швеции. Отмечается, что принятие решения о замене или восстановлении трубопроводов должно основываться на оценке зависимости между техническим сроком службы, ставкой процента и инвестиционными затратами. Генеральная стратегия восстановления труб является, по мнению шведских исследователей, вопросом оценки технических, экономических и социальных рисков.

В работах [1, 114, 128] анализируются подходы к принятию решения по методам восстановления трубопроводов систем водоснабжения ряда



городов США. Вместе с тем указывается, что до сих пор не удалось найти научно обоснованных критериев «полезной жизни» водопроводной магистрали. В работах [119, 123] возраст магистрали использован для прогноза числа случаев разрыва магистралей из чугунных труб.

В целом анализ этих работ может свидетельствовать о том, что возраст труб не является главным фактором, определяющим частоту разрывов магистрали. Скорее, местные факторы — условия, способствующие или, наоборот, препятствующие проявлению коррозии, особенности строительства магистралей, характер внешних нагрузок — в действительности определяют частоту разрывов магистралей.

Следовательно, понятие «длительность полезной жизни» трубопроводов нельзя распространять на всю систему целиком; наоборот, для каждого укрупненного сектора водопроводной сети целесообразно определять собственную «длительность полезной жизни».

Этот вывод корреспондируется с результатами работ автора [96, 105] по оценке реальных сроков службы трубопроводов системы водоснабжения Москвы.

Очевидно, что работа по поддержанию водопроводных магистралей в рабочем состоянии и их реконструкция, а также принятие решения о замене труб в магистрали должны основываться на реалистичной и самой новой информации о физическом состоянии элементов системы водоснабжения. При этом коммунальное предприятие получает возможность принимать решения о характере эксплуатации магистралей и о необходимости ремонта, основываясь не на субъективном подходе, а на объективной оценке прошлого опыта.

Таким образом, решения о необходимости ремонта или замены магистралей должны основываться на достоверной, надежной информации об эксплуатации водопроводной сети города.

Среди отечественных исследований в области планирования ремонтно-восстановительных работ заслуживает внимания работа В.И. Зуйкова [24]. Он отмечает, что задачи управления и организации технической эксплуатации водопроводных сетей в городах СССР базировались на традиционных методах управления, которые не могут обеспечить удовлетворение требований надежности и экономичности сетей. Решение этой проблемы предлагается осуществлять на основе двух взаимосвязанных направлений — нормирования и планирования. Это позволит, по мнению автора, решить проблему привязки норм и планирования к конкретным условиям эксплуатации.

Среди работ, освещающих математические аспекты профилактического обслуживания оборудования технических систем, опубликованных в нашей стране, необходимо прежде всего отметить работы Ю.К. Беляева [9], Р. Барлоу [7] и И.Б. Герцбаха [16].

Эти авторы считают, что основными критериями, влияющими на выбор тех или иных правил технического обслуживания, служат веро-

ятностные характеристики элементов систем, виды отказов или аварий в системе, а также экономические критерии обеспечения работоспособного состояния систем.

В целом анализ имеющихся работ по проблеме надежности инженерных систем позволяет сделать вывод, что к основным задачам при исследовании надежности систем водоснабжения следует отнести следующие:

**Концептуальные задачи** включают определение места проблемы надежности систем водоснабжения в общей проблеме их проектирования, строительства и эксплуатации, разработку и принятие единой терминологии, постановку, смысловую и математическую формулировку различных задач надежности систем водоснабжения.

**Информационные задачи** — классификация и оценка возможностей и условий получения информации, необходимой для оценки показателей надежности систем водоснабжения, принципы и методы получения информации, создание автоматизированных информационных систем (баз данных), обеспечивающих сбор, обработку и использование на практике соответствующих данных. Показатель надежности — количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность элемента системы водоснабжения.

Решение **нормативных задач** надежности систем водоснабжения направлено на формирование взаимосвязанных нормативных требований по надежности как самой системы водоснабжения и ее элементов, так и надежности водообеспечения потребителей. В числе этих задач — выработка нормативных требований по надежности, разработка методических и руководящих указаний по обеспечению надежности систем водоснабжения при проектировании, эксплуатации и планировании их развития, выбор и регламентация нормативных показателей надежности водообеспечения различных потребителей.

Требования к надежности системы водоснабжения должны устанавливаться исходя из интересов потребителей. Система должна быть устроена так, чтобы случайные события не повлекли недопустимых нарушений нормального водообеспечения.

**Оптимизационные задачи** надежности систем водоснабжения наименее разработаны в настоящее время. Надежность действующей системы водоснабжения обеспечивается тремя основными путями: резервированием элементов, эффективной организацией их эксплуатации, обеспечивающей поддержание их работоспособности, и целенаправленным управлением процессами, протекающими в системе водоснабжения.

Критерием для решения задач обеспечения оптимального уровня надежности системы водоснабжения и ее элементов является выполнение нормативных требований, характеризующих обязательный минимальный уровень надежности системы и ее элементов.

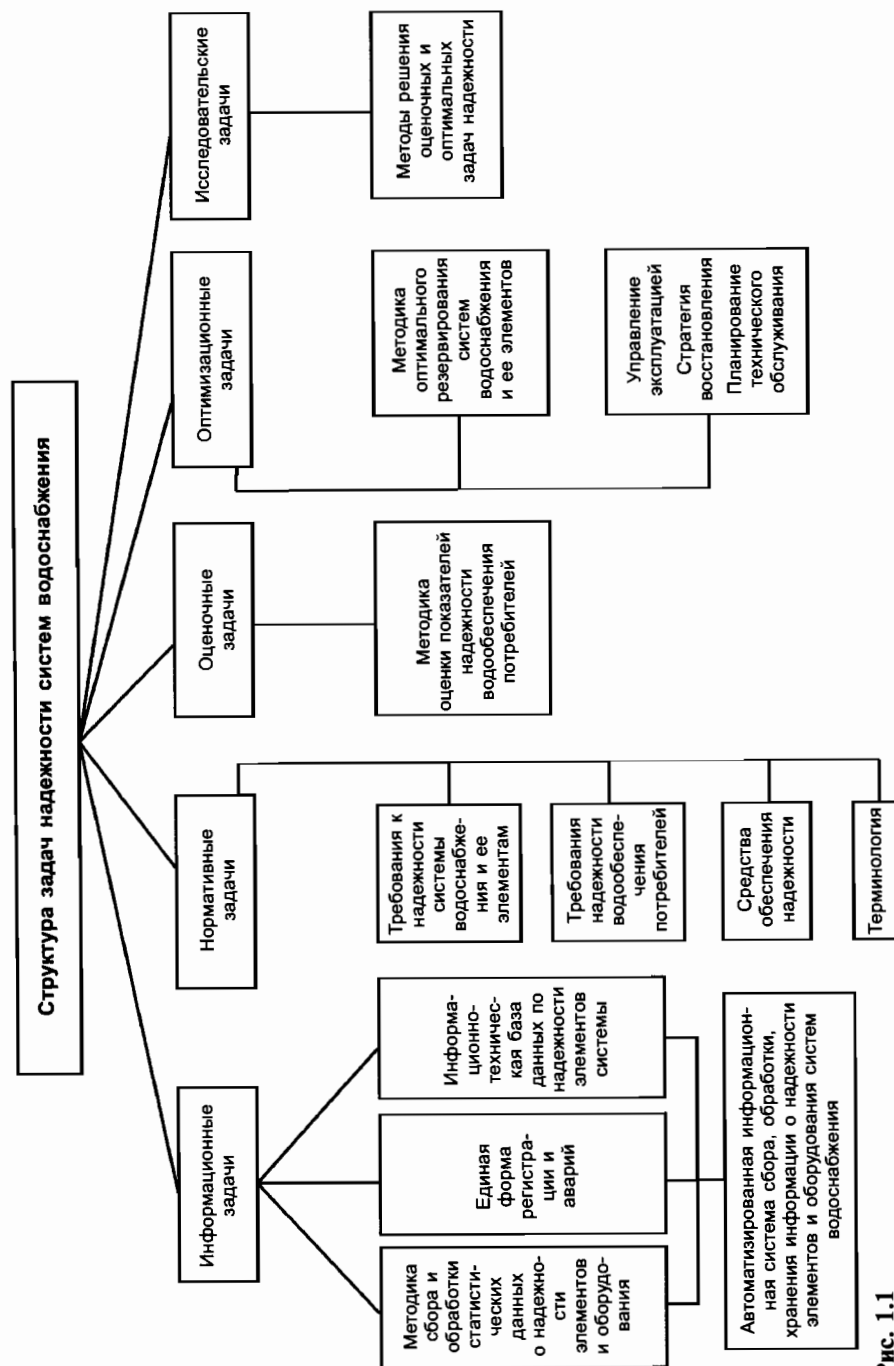


Рис. 1.1

Оптимизационные задачи надежности систем водоснабжения в основном связаны с выбором того или иного метода резервирования в системе как основного метода обеспечения надежности систем водоснабжения. Для систем водоснабжения наиболее целесообразно применение методов структурного, функционального (потенциального) и временного резервирования [72].

На рис. 1.1 приведены структура и классификация задач надежности систем водоснабжения.

Классификация задач надежности, структура их решения и реализация должны способствовать целенаправленной их разработке, учитывающей необходимость согласованных решений, определению основных направлений исследований по совершенствованию методов и средств обеспечения надежности систем водоснабжения.

## 1.2. НОРМАТИВНАЯ БАЗА УЧЕТА ФАКТОРА НАДЕЖНОСТИ

Тот факт, что до настоящего времени в практике проектирования и эксплуатации систем водоснабжения городов России, несмотря на наличие ряда работ по проблеме надежности городских систем водоснабжения, их результаты почти не используются, во многом зависит от регламентации вопросов надежности в существующих нормативных документах по водоснабжению.

В этой связи представляет интерес анализ вопросов надежности в основном документе — СНиП 2.04.02–84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».

Следует отметить, что в разделе 4 «Схемы и системы водоснабжения», п. 4.4 требования к надежности работы систем водоснабжения заменены требованиями к обеспеченности расхода и ограничены лишь допустимой величиной снижения подачи воды, ее предельностью и продолжительностью перерывов в подаче воды или снижения ее ниже нормируемого уровня. Очевидно, что подобные требования относятся не столько к надежности работы систем водоснабжения, сколько к оценке допустимого снижения качества их функционирования. Никаких собственно надежностных требований, т.е. оценки нормативных значений вероятностей безотказной работы систем или допустимой с определенной вероятностью частоты повторения отказов, ведущих к указанному снижению качества функционирования систем, в СНиП не приводится.

Приведенные в СНиП нормативные указания о допустимой обеспеченности подачи воды не учитывают в должной степени результаты имеющихся исследований случайного характера показателей надежности элементов и оборудования, входящего в состав системы. Поэтому они позволяют лишь в принципе численно характеризовать расчетные уровни их функционирования в аварийных условиях.



Кроме того, в СНиП не предусматриваются требования к надежности различных элементов системы, находящихся во взаимосвязи при выполнении функций водообеспечения потребителей. Так, понятие обеспеченности, использованное в СНиП 2.04.02—84 в отношении природных источников с ежегодно повторяющимися паводками, не может быть распространено на систему водоснабжения, так как ее работа представляет собой непрерывный процесс, не разбиваемый на какие-либо периоды.

Следует также отметить, что приведенные в СНиП нормативные сроки ликвидации аварий на трубопроводах систем водоснабжения недостаточно обоснованы, не дается определение слагаемых расчетной продолжительности ликвидации аварии, не ясно, учитывается ли время на поиск аварий. Неизвестно для каких конкретно условий, кроме диаметров труб и глубины заложения, получены эти значения.

Анализируя приведенные в СНиП 2.04.02—84 нормативные требования по степени обеспечения подачи воды насосными станциями, необходимо отметить, что полностью отсутствуют количественные требования к надежности работы станций, определяющие вероятностные характеристики сохранения по времени работоспособного состояния станций и ее оборудования.

Анализ существующих санитарных норм показал, что они не содержат указаний о допустимых пределах нарушения нормального снабжения водой населения как в количественном, так и в качественном аспекте.

Следует отметить, что до настоящего времени нет научно обоснованных решений по установлению планируемых сроков службы различных труб в зависимости от условий их эксплуатации и других факторов.

Существующая методика оценки нормативных сроков службы трубопроводов основана на нормативных документах по амортизационным отчислениям. Начисление сумм амортизационных отчислений производится в размере фиксированных процентов за год от величины балансовой стоимости труб. На наш взгляд, основанная на учетно-бухгалтерской оценке основных фондов методика определения величины амортизационных отчислений на восстановление трубопроводов систем водоснабжения не учитывает их физического состояния, показателей надежности и специфики эксплуатации.

Поэтому действующие нормы амортизации по трубопроводным системам носят, по мнению автора, усредненный характер, недостаточно дифференцированы по областям применения и условиям эксплуатации, по использованию диаметров труб и агрессивности среды, в которой они находятся.

Перечисленные недостатки нормативной базы технического обслуживания и планирования трубопроводных систем практически

привели к отсутствию учета потребительских свойств при назначении материалов и диаметров труб как на стадии их проектирования, так и при эксплуатации — при замене изношенных участков трубопроводов. Это создало в свою очередь условия для нерационального использования стальных труб.

К основным документам, регламентирующим в настоящее время порядок и содержание эксплуатации городских водопроводных сетей и сооружений, относятся «Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и водоотведения» [60]. Цель настоящих «Правил» — создание условий по обеспечению потребителей доброкачественной питьевой водой, как одного из факторов санитарно-эпидемиологического благополучия, предотвращению поступления во внешнюю среду недостаточно очищенных сточных вод, обеспечению охраны окружающей среды от загрязнения. В этом документе достаточно полно приведены основные положения и правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации.

Однако по сравнению с предыдущим документом 1976 г. остались без изменений структура изложения, большинство рекомендаций, связанных с процессом непосредственной эксплуатации сооружений, установок, агрегатов, вспомогательных механизмов и т.п. Следует отметить, что за это время изменилась как форма хозяйствования (внедрение рыночных взаимоотношений в РФ), так и законодательная база. Вышел ряд законов РФ, постановлений правительства, Государственного комитета РФ по стандартизации и метрологии и др., которые не нашли должного отражения в современных «Правилах».

На наш взгляд, важнейшим условием повышения качества эксплуатации систем и сооружений водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) является высокая организация управления эксплуатацией. На сегодняшний день, в условиях реформирования отрасли, очевидно, что не только высокие технологии, но и высокая организация управления эксплуатацией является гарантией качества предоставляемых услуг населению по водоснабжению и водоотведению.

Анализ нормативной базы технического обслуживания трубопроводов систем водоснабжения показал, что она имеет один общий существенный недостаток — эти нормы являются одинаковыми для всех предприятий водопроводно-канализационного хозяйства городов Российской Федерации, за исключением Крайнего Севера, т.е. они не учитывают специфику функционирования трубопроводов системы водоснабжения в конкретных условиях эксплуатации.

По мнению автора, именно недоучет надежности характеристик, а также экономических показателей проведения аварийно-восстановительных и планово-предупредительных работ приводит как к существенному разбросу в уровнях обслуживания трубопроводов систе-

мы водоснабжения в пределах региона, города, так и к несвоевременному проведению планово-предупредительных ремонтов (ППР).

На сегодняшний день порядок и организацию ППР на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства городов РФ определяет «Положение о проведении планово-предупредительного ремонта на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства», утвержденное Госстроем РСФСР 1.07.90 г. [58]. Анализ этого документа и существующих исследований по вопросам организации ППР на городских водопроводных сетях показал, что задача оптимизации профилактического обслуживания трубопроводных систем пока не решена.

При оптимизации ППР на водопроводной сети города необходимо решать два вопроса: конкретизировать содержание ППР с учетом условий эксплуатации и показателей надежности объектов планово-профилактических работ; оценить влияние ППР на показатели надежности элементов сети.

Известно, что принятые нормативы на объемы трудовых и материально-технических ресурсов предприятий ВКХ, занятых как планово-предупредительными ремонтами, так и аварийно-восстановительными работами, устанавливаются пропорционально длине магистральных трубопроводов, что, исходя из практики эксплуатации, принципиально неверно и не может быть использовано для такой уникальной системы водоснабжения, как Московский водопровод.

Очевидно, что такое нормирование не учитывает ряд важных факторов, существенно влияющих на содержание и объемы аварийно-восстановительных и планово-предупредительных работ: климато-географические условия, тип грунта, материал и качество труб, наличие антикоррозионных покрытий, технологию и качество заделки стыковых соединений в чугунных трубопроводах и качество сварных соединений в стальных трубах, глубину заложения, год укладки трубопроводов и т.п.

В целом анализ нормативных документов по технической эксплуатации коммунальных систем водоснабжения позволяет сделать вывод, что вопросы оценки и обеспечения надежности и экологической безопасности освещены в них крайне неполно.

Отмеченные проблемы надежности трубопроводных систем во многом определили характер данной книги, ставящей своей целью научное обоснование и разработку основных принципов оценки и обеспечения надежности трубопроводов и оборудования городской водопроводной сети на основе использования практического опыта МГУП «Мосводоканал» и современных информационных технологий для контроля и управления эксплуатацией сети.

## Глава 2.

# ОЦЕНКА И АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ГОРОДСКОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

## 2.1. ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ ГОРОДСКОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

Городская водопроводная сеть, являясь структурно сложной и территориально рассредоточенной системой, в процессе эксплуатации находится под воздействием множества неблагоприятных (дестабилизирующих надежность трубопроводов и оборудования) факторов, подавляющее большинство которых носит случайный, практически неконтролируемый характер. Поэтому точно предсказать, а тем более полностью исключить их отрицательное влияние невозможно.

Тем не менее осуществление на действующих водопроводных сетях определенных организационно-технических и профилактических мероприятий способно заметно повысить их надежность. Выявить возможный характер таких мероприятий, а также обосновать их экономическую эффективность можно с помощью математического моделирования процессов, определяющих надежность трубопроводов водопроводных сетей.

Математическая модель составляется для решения конкретной задачи и должна быть по возможности простой, но давать результаты расчетов с достаточной для инженерной практики точностью. При составлении модели важны степень ее детализации, а также строгое математическое определение параметров, характеристик и понятий, которыми она оперирует.

Основным в рамках рассматриваемой проблемы является понятие надежности трубопровода, т.е. «свойство объекта ...выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения...» [1]. Как следует из этого определения, надежность — характеристика качественная. Количественная же оценка надежности связана с понятием отказа, под которым понимается случайное событие, переводящее объект (в данном случае участок трубопровода водопроводной сети) в неработоспособное состояние. Отказ может возникнуть в любой момент времени и влечет за собой необходимость ремонтных работ непосредственно с момента возникновения отказа с целью восстановления работоспособности трубопровода.



Если для многих технических объектов отказ однозначно проявляется в физически очевидной потере его работоспособности, то, когда речь идет о водопроводной сети как единой системе, дело обстоит несколько иначе. Действительно, при эксплуатации кольцевой водопроводной сети нередко по каким-либо причинам участок трубопровода на некоторое время отключается (в основном на время ликвидации аварии). С точки зрения технологии такой режим работы трубопровода не является нормальным, однако система в целом не теряет свою работоспособность.

Структурное резервирование кольцевой водопроводной сети приводит к тому, что неблагоприятные технологические ситуации и даже аварии на отдельных участках сети не влияют на ее способность выполнять основную функцию — водообеспечение потребителей.

Отказ участка трубопровода является случайным событием, поскольку нельзя заранее точно указать момент его возникновения. Для восстанавливаемых (ремонтируемых) элементов городской водопроводной сети, какими являются участки трубопроводов, необходимо изучить последовательность случайных событий, представляемых повторяющимися отказами, следующими за многократными восстановлением (ремонтами).

В работах Ю.А. Ермолина и М.И. Алексеева [20,21] показано, что с точки зрения теории надежности приведенные выше рассуждения позволяют рассматривать функционирование сети как марковский случайный процесс с непрерывным временем и двумя состояниями:  $S_1$ , при котором система работает нормально, и  $S_2$  — когда на сети производятся ремонтные работы.

Переход из  $S_1$  в  $S_2$  происходит под воздействием потока отказов, а обратный переход из  $S_2$  в  $S_1$  — под воздействием потока восстановлений. Под потоком отказов для трубопроводов водопроводной сети понимается последовательность однородных событий — аварий с нарушением герметичности трубопровода, происходящих в произвольные моменты времени.

Время между двумя последующими отказами участков трубопроводов  $t$  есть непрерывная случайная величина, которая может быть описана некоторой плотностью распределения вероятностей (дифференциальным законом распределения)  $f(t)$ . Функция  $f(t)$ , получаемая на практике путем обработки данных наблюдений о состоянии трубопроводов, полностью определяет все параметры потока и, в частности, его важнейшую характеристику — интенсивность отказов  $w$ , которая в общем случае зависит от времени, т. е.  $w = w(t)$ .

Связь между  $f(t)$  и  $w(t)$  определяется уравнением:

$$\int_t^{\infty} f(t) dt = \exp \left[ - \int_0^t w(t) dt \right] \quad (2.1)$$

Знание функции  $f(t)$  либо  $w(t)$  позволяет ввести в рассмотрение количественные показатели надежности трубопроводов городской водопроводной сети:  $w$  — интенсивность отказов, 1/год·км;  $t_a$  — среднее время восстановления (ликвидации аварии), ч;  $T$  — среднее время работы элемента (участка трубопровода) между отказами (наработка на отказ), год;  $P(t)$  — вероятность безотказной работы участка трубопровода в интервале времени  $t$ ;  $Q(t)$  — вероятность возникновения отказа участка трубопровода в интервале времени  $t$ .

В соответствии с ГОСТом 27.002-83 «Надежность в технике. Термины и определения» интенсивность отказов элемента системы  $w$  (в данном случае участка трубопровода сети) характеризует плотность вероятности возникновения отказа в рассматриваемый момент времени, т.е. характеризует риск появления отказа.

Конструктивная надежность зависит от прочностных характеристик трубопровода.

Эксплуатационная надежность определяется качеством и условиями эксплуатации водопроводной сети.

Для оценки интенсивности отказов участков трубопроводов водопроводной сети  $w(t)$  по результатам сбора и статистической обработки данных об их отказах может быть использована зависимость

$$w(t) = \frac{\sum n(t)}{t \sum L}, \quad (2.2)$$

где  $\sum n$  — количество отказов участка трубопровода определенного материала и диаметра за период времени наблюдения  $t$ ;  $\sum L$  — суммарная длина участка трубопровода определенного материала и диаметра («однородного» трубопровода).

Чаще всего в качестве показателя надежности трубопровода используют так называемую функцию надежности  $P(t)$ , определяемую выражением:

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt, \quad (2.3)$$

а числового — математическое ожидание  $T_o$  (наработки на отказ) случайной величины  $t$ :

$$T_o = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} P(t) d(t). \quad (2.4)$$

Физический смысл этих показателей состоит в следующем: функция надежности численно равна вероятности безотказной работы трубопровода в фиксированный момент времени  $t$ , отсчитываемый от предшествующего отказа, а  $T_o$  — среднее время работы трубопровода между двумя последующими отказами.

При анализе надежности городской водопроводной сети физичес-

ки оправданным является как показатель в виде среднего времени безотказной работы, т. е.  $T_0$ , так и интенсивность отказов  $w(t)$ .

Как правило, функция распределения времени безотказной работы участков трубопроводов водопроводной сети крупных городов согласуется с экспоненциальным законом распределения, что позволяет использовать аналитические выражения для оценки этого показателя надежности:

$$T_0 = P(t)dt = \int_0^{\infty} e^{-wt} dt = \frac{1}{wt}.$$

Как следует из уравнений (2.1—2.4), величина  $T_0$  полностью определяется видом закона распределения  $f(t)$ , который для городской водопроводной сети зависит от множества факторов: количества элементов (участков трубопроводов), составляющих систему (городскую водопроводную сеть) и их «возраста», внешних условий, в которых она работает, от качества эксплуатации и т.п.

Для численного определения значений показателей надежности различных элементов трубопроводных систем необходимо найти статистические закономерности распределения рассматриваемых случайных величин (или событий) и установить, какому из теоретических законов распределения они ближе всего соответствуют.

Исследования, проведенные МГУП «Мосводоканал» и ГУП «МосводоканалНИИпроект», показали, что для инженерных расчетов надежности сложных трубопроводных систем чаще всего адекватной оказывается модель простейшего (или стационарного пуассоновского) потока отказов, для которого функция  $f(t)$  имеет вид:

$$f(t) = w_0 e^{-w_0 t}. \quad (2.5)$$

Тогда вероятность безотказной работы участка трубопровода определится из выражения:

$$P(t) = e^{-w_0 t}, \quad (2.6)$$

где  $w_0$  — интенсивность потока отказов.

Эта вероятность и есть функция надежности участка трубопровода.

При использовании для статистических исследований в качестве математического описания потока отказов трубопроводов водопроводной сети закона Пуассона вероятность того, что в течение интервала времени  $t$  произойдет ровно  $n$  отказов участка трубопровода, может оцениваться по формуле:

$$P_n(t) = \frac{w_0^n t^n}{n!} e^{-w_0 t}, \quad (2.7)$$

где  $w_0$  — параметр закона Пуассона, равный среднему числу отказов участка трубопровода определенной длины, материала и диаметра в единицу времени.

Важно отметить, что широко используемое представление о потоке отказов трубопроводных систем, как о пуассоновском, само по себе не может рассматриваться как определяющий аргумент при выборе математической модели конкретного процесса функционирования этих систем [21].

Однако адекватность простейшего потока процессам, определяющим надежность сложных трубопроводных систем, подтверждается многочисленными наблюдениями. Кроме того, в теории математической статистики доказано, что если какой-либо поток есть результат суперпозиции (наложения) других потоков, каждый из которых характеризуется своим (не обязательно показательным) законом распределения, то результирующий поток стремится к пуассоновскому при увеличении числа потоков, его составляющих. Это условие соблюдается, когда речь идет о потоке отказов сложной, состоящей из многих элементов системы, рассматриваемой как единый технический объект. К водопроводной сети крупного города, содержащей десятки и даже сотни отдельных взаимосвязанных элементов и оборудования, это положение применимо в полной мере.

Таким образом, физических предпосылок в пользу гипотезы о стационарности потока отказов водопроводной сети больше, чем в отношении какого-либо другого предположения. Отметим также немаловажное обстоятельство, состоящее в том, что большинство существующих методик расчета надежности трубопроводных систем, удобных для использования в инженерной практике, разработано именно для пуассоновского потока отказов [24, 27, 28, 65]. Оценка параметров функций распределения числа и интенсивности отказов участков трубопроводов городской водопроводной сети позволяет на практике прогнозировать число отказов и вероятность их возникновения.

Трубопроводы городской водопроводной сети относятся к восстанавливаемым системам массового обслуживания, которые ремонтируются по мере появления отказов их элементов.

Возврат водопроводной сети в работоспособное состояние (в терминах теории надежности) происходит под воздействием потока восстановлений. Аргументы, аналогичные приведенным выше, дают основание предполагать, что поток восстановлений системы также простейший, характеризуемый интенсивностью восстановления  $\mu$ . Если это так, то интенсивность потока восстановлений  $\mu$  есть величина, обратная среднему времени одного восстановления (ремонта) участка трубопровода  $t_g$ .

Результаты статистических исследований по оценке параметра  $t_g$  для участков трубопроводов водопроводной сети ряда городов РФ, включая и Москву, показали, что продолжительность восстановления этих элементов описывается экспоненциальным законом распределения:

$$F_B(t) = 1 - e^{-\mu t}. \quad (2.8)$$



Данная функция характеризует вероятность восстановления участка трубопровода в заданное время, в частности в период времени, предусмотренный нормами (СНиП, ведомственные нормы).

Плотность распределения времени восстановления описывается формулой:

$$f(t) = \mu e^{-\mu t}, \quad (2.9)$$

где  $\mu$  — интенсивность восстановления,  $\mu = 1/t_g$ .

В дальнейшем единая система таких показателей надежности должна быть введена, по нашему мнению, в ведомственные нормативные документы, технологические регламенты и в методы оценки надежности эксплуатируемых водопроводных сетей (для возможности сравнения фактических показателей с требуемыми и проведения подконтрольной эксплуатации участков трубопроводов).

Экспериментальное определение значений  $W$  и  $\mu$  сводится к нахождению путем обработки эксплуатационных данных по отказам и восстановлению участков трубопроводов водопроводной сети за длительное время. Задача статистической обработки данных о продолжительности восстановления участков водопроводной сети заключается в построении эмпирической функции распределения времени восстановления (ликвидации аварии)  $t_g$ , аппроксимации полученной функции теоретическим законом распределения случайных величин.

Такой подход приемлем лишь в том случае, если оба потока (отказов и восстановлений) пуассоновские. Если же результаты наблюдений дают основания предполагать существенную нестационарность системы, то средние значения  $T_o$  и  $t_g$  недостаточны для математического описания процессов и требуется выявление соответствующих дифференциальных законов распределения. При этом математическое описание процессов заведомо «огрубляется», однако появляется возможность использовать хорошо разработанные инженерные методики расчета надежности сложных инженерных систем.

При известных значениях  $w_o$  и  $\mu_o$  нетрудно найти финальную вероятность функционирования трубопровода водопроводной сети в безаварийном режиме:

$$P(S_1) = \mu_o / (w_o + \mu_o). \quad (2.10)$$

Определением  $w(t)$ ,  $P(t)$  и  $P(S_1)$  завершается первый этап исследования надежности водопроводной сети — ее анализ. Следующий шаг, который условно можно назвать этапом синтеза, состоит в разработке мероприятий по повышению надежности, их оценке с точки зрения реновации трубопроводов и осуществлении этих мероприятий на конкретном объекте — участке водопроводной сети.

В работе [21] показано, что пути повышения вытекают из формулы (2.10). Сделать систему более надежной — значит, увеличить вероятность ее функционирования в безаварийных режимах  $P(S_1)$ . Из

формулы (2.10) следует, что этого можно добиться как уменьшением значения  $w_o$ , так и увеличением  $\mu_o$ .

В соответствии с широко принятой последовательной схемой расчета надежности значение интенсивности потока отказов многоэлементной системы  $w_o$  трактуется как сумма интенсивностей отказов ее элементов. Следовательно, повышение конструктивной надежности обеспечивается использованием в системе элементов (участков трубопроводов), имеющих меньшее значение интенсивности отказов.

Если задача повышения надежности ставится на этапе проектирования водопроводной сети, то ее решение должно сводиться к выбору конструктивных элементов, обеспечивающих требуемое суммарное значение  $w_o$ . Однако следует учитывать, что вероятные значения интенсивностей отказов трубопроводов различных материалов могут рассматриваться лишь как приближенные, поскольку они в значительной степени зависят от условий прокладки и эксплуатации сети. Современный аппарат математической статистики при наличии данных наблюдений по эксплуатируемым водопроводным сетям дает возможность выявить не только качественное, но и количественное влияние на интенсивность потока отказов трубопроводов как отдельных дестабилизирующих факторов, так и их сочетаний и учесть их еще на этапе проектирования.

Если же речь идет о действующей водопроводной сети, то для разработки мероприятий по повышению ее надежности необходимо иметь данные по оценке и анализу наблюдений по отказам и повреждениям трубопроводов, выявлению наиболее «слабых» в технологическом и конструктивном отношении элементов системы участков с последующей их санацией или заменой более надежными.

В общем потоке отказов системы определенную часть составляют отказы, порожденные ошибками людей при управлении эксплуатацией водопроводной сетью (нарушение эксплуатационной надежности). Пути снижения интенсивности потока отказов, вызываемых этой причиной, состоят в повышении квалификации обслуживающего персонала, оснащении диспетчерских пунктов вычислительной техникой, помогающей принимать правильные решения в сложных ситуациях.

Таким образом, характер мероприятий по повышению надежности очевиден: необходимо использовать высоконадежные и долговечные трубопроводы и оборудование, совершенствовать качество строительства и эксплуатации водопроводных сетей. Кроме того, необходим технологический регламент эксплуатации водопроводной сети города, разработанный с учетом обеспечения критериев надежности, ее состояния и фактически выполняемых работ на сети.

Из формулы (2.10) следует еще одна возможность повышения надежности — увеличение значения  $\mu_o$ . Поскольку  $\mu_o$  — интенсивность потока восстановлений, то ее можно увеличить снижением среднего

времени одного ремонта трубопроводов. Это может быть достигнуто интенсификацией восстановительных работ за счет увеличения численности ремонтных бригад, повышения их квалификации, применения более совершенных технологий ремонта, оснащения бригад достаточным количеством оборудования, транспортных средств, проведением в полном объеме планово-профилактических работ [20, 21].

## 2.2. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРОДСКОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

Важную роль в обеспечении надежности трубопроводов городской водопроводной сети имеет объективная оценка риска их отказов, которая определяется на основе оценки и прогноза показателей надежности трубопроводов.

Анализ специфики устройства и функционирования городских сетей водоснабжения позволяет сделать вывод, что никакими математическими методами, вероятностными или детерминированными, нельзя получить абсолютную характеристику надежности городской водопроводной сети. Вместе с тем, имея статистические данные по отказам трубопроводов, выполнив их математическую обработку с использованием ЭВМ, можно оценить и прогнозировать уровень надежности водопроводной сети города, определить «слабые» элементы системы (приводящие к наибольшему риску аварий) и наметить мероприятия по обеспечению их надежности.

Постоянно растущие большие объемы информации, непосредственно и косвенно связанные с надежностью трубопроводов и оборудования городской водопроводной сети, требуют оперативной обработки на основе использования современных информационных технологий и автоматизированных средств сбора, передачи и отображения информации.

Важнейшей частью автоматизированного информационно-технического обеспечения контроля и управления эксплуатацией городской водопроводной сети являются сбор, накопление и обработка данных по всем повреждениям и авариям на трубопроводах и оборудовании.

В Московском водопроводе исходная информация по эксплуатации трубопроводов и оборудования городской водопроводной сети представляется в виде электронных баз данных (БД) и хранится в памяти ЭВМ. БД предназначены для автоматического ввода, хранения, корректировки, обработки и выдачи необходимой информации по эксплуатации трубопроводов и оборудования водопроводной сети города. Их задача — обеспечение информацией и ответы на запросы управляющих звеньев всех уровней.

Специфика формирования БД заключается в том, что в едином банке данных должна накапливаться и храниться информация, орга-

низованная по признаку функциональной подчиненности и по территориальному признаку.

Представляется необходимым программно формировать в базе данных следующие виды информации:

- информация, характеризующая технико-экономические параметры трубопроводов и оборудования водопроводной сети города — паспорта района водопроводной сети, планшета, участка трубопровода (магистраль, сеть, заводомерная сеть, водопроводный ввод, сеть водоразборных колонок), колодца, водомерного узла;
- графическое изображение водопроводной сети (эскиз детализовки сети и арматуры, схема водомерного узла), характеризующее взаимосвязь объектов;
- информационные массивы данных по эксплуатации трубопроводов, включая данные по всем авариям и повреждениям.

Для обработки обширных данных по эксплуатации сети Московского водопровода была разработана методика сбора и статистической обработки исходных данных по отказам и восстановлению участков трубопроводов и на ее основе — автоматизированное информационно-техническое обеспечение оценки и прогноза показателей надежности трубопроводов сети водоснабжения города.

Структура информационно-технического обеспечения, используемого при эксплуатации городской водопроводной сети Москвы, приведена на **рис. 2.1**. Она включает электронные базы данных по инвентаризации и эксплуатации трубопроводов и оборудования городской водопроводной сети, а также программное обеспечение информационно-аналитической подсистемы для контроля эксплуатации сети, оценки и прогноза показателей надежности участков трубопроводов и сроков их полезной службы.

На **рис. 2.2** представлен паспорт участка городской водопроводной сети, на **рис. 2.3** — паспорт водопроводного ввода, а на **рис. 2.4** — карточка регистрации выполненных работ на водопроводе, на основе которой формируется электронная база данных.

Автоматизированное информационно-техническое обеспечение, введенное на Московском водопроводе, используется для автоматизированного ввода, хранения, обработки и выдачи необходимой информации по оценке и прогнозу уровня надежности трубопроводов и оборудования водопроводной сети.

Входящая в его структуру программа «Надежность» позволяет для любого района эксплуатации городской водопроводной сети, для выбранных объектов — участков трубопроводов различных диаметров, материалов и сроков эксплуатации получить следующие данные:

- статистическую частоту отказов трубопроводов (в среднем за год) и ее прогноз;
- оценку и прогноз интенсивности отказов трубопроводов;



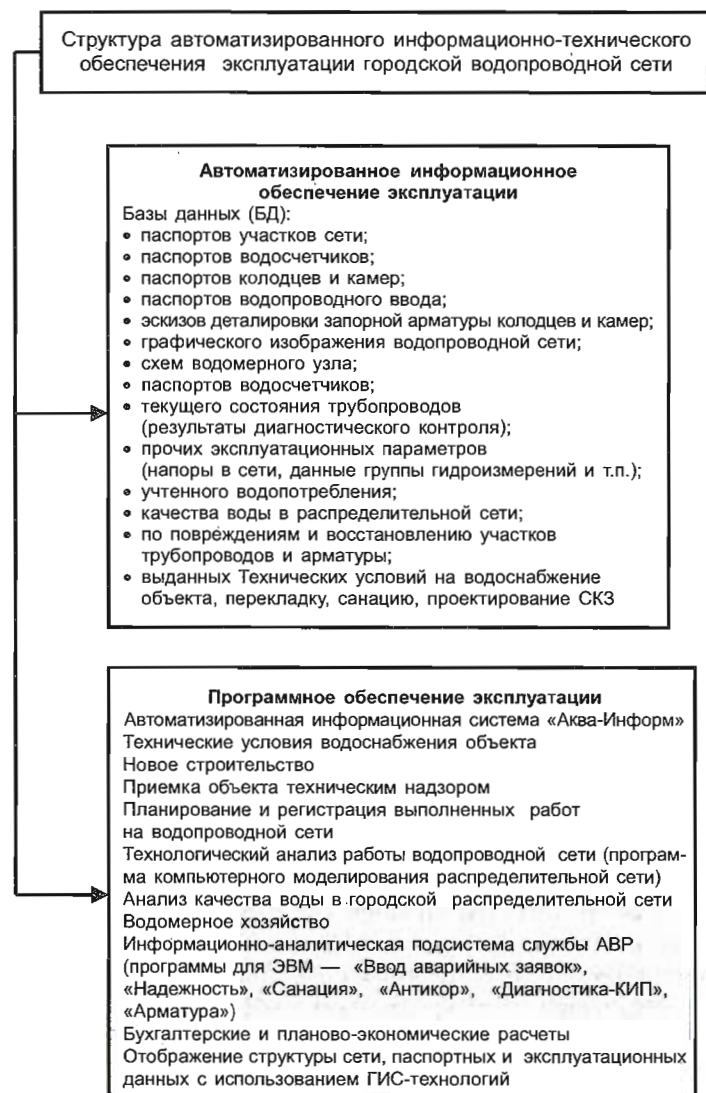


Рис. 2.1. Структура информационно-технического обеспечения эксплуатации городской водопроводной сети

- аварийность участков трубопроводов по диапазонам сроков эксплуатации;
- прогноз вероятности «выживания» трубопроводов (функции выживания);
- вероятность безотказной работы трубопроводов за заданный промежуток эксплуатации;

Паспорт участка

Тип трубопровода: магистраль

Академическая

Маршрут: 204

Документы: Карандаш, Принят, Освоен, Ликен

Обслуживается: МВК

Узел №1: Тип колодец, № 502111, планшет: 216

Узел №2: Тип колодец, № 50471, планшет: 216

Мет. прокл.: открытая, Дата прокл.: 01.01.1965, Адм. о: ЮЗАО

Мат-л: сталь, Диаметр: 1200, Тер. район: Академический

Внутр. пок.: без покрытия, Длина: 45.6, Особ. условия:

Внеш. пок.: без покрытия, Примечание:

Путляр: Санация, СКЗ, Покрывание

Метод: Мат-л: Дата: Диаметр:

Сохранить, Следующий, Следующий, Закрыть

Дата последнего изменения: Балансовая стоимость: Износ:

Рис. 2.2. Паспорт участка городской водопроводной сети

Ввод: 246, В/счетчик: 54830 (Зав. ном.: 9066494)

Кален. уст. показ: 80 ВМК, 13.01.2003, 197572

Диаметр в/вода: 150

Район водоп. сети: 2, Красносельская нижн. ул.

Улица: 43

Дом: 246, 0

Планшет: 135

Маршрут: 12044, 0, сеть МВК

Колодец, принадлежн.: Центральный АО

Администр. округ: Басманный

Муницип. район: Бауманский район

Старый адм. район: Подвал

Место установки: между 3 и 4 подъездами

Примечание 1: Соединение

Диам. пожар. зап.: 100

Тип, диам. фильтра: 80, 13.01.2003

Наименование: РЗУ-5

абонента: 267-45-80 дисп., 265-40-26

Телефон абонента: 267-45-80 дисп., 265-40-26

Дата регистр. ввода: 13.01.2003

Тип в/вода, связь: Хозяйственно-питьевой ввод

Примечание 2: 0 - Не стандартная схема

Типовая схема в/ч: Р2 запись, Р3 обслуживание, Esc отказ

Рис. 2.3. Паспорт водопроводного ввода

- прогноз риска появления отказов трубопроводов;
- прогноз изменения уровня надежности трубопроводов;
- среднее время безотказной работы (наработка между отказами).



Просмотр заявки

КАРТОЧКА

регистрации выполненных работ на водопроводе

N заявки по РВС 325 N заявки по ГДП 936

Адрес ВАО КРАСОВСКИЙ 1-й ПР. 30

Содержание заявки Выбывает вода из земли

Заявитель Скорик 700-23-35

Дата и час

Поступление заявки 10.03.2002 11:00 Место аварии земля сеть

Начало работ 10.03.2002 12:00 N сооружения коп. 84155 коп. 84158

Начало раскопок 11.03.2002 10:00 Планшет 1427

Котлован засыпали 11.03.2002 18:00 Маршрут 51

Окончание работ 00:00 Диаметр 50

Выключение 10.03.2002 15:00 Материал труб сталь

Включение 11.03.2002 18:00 Покрытие газон

Грунт плавун

Год укладки 1962

Закрытие в колодцах

Выключенные абоненты 4 жил.д.

Характер повреждения Свист

Выполненные работы Поставили хомут d= 50.0

Телефонограмма в АИ N 589 от 11.03.2002

о начале работ принял Ногина

о окончании работ принял Заев

Ответственный за сан.обработку Широков Д.

| Дата        | Содержание выполненных работ                                | Исполнители               |
|-------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 10.03.2002г | Встреча представителей                                      | Сидоров В.А.              |
| 12:00       | Раскопка котлована вручную 3х2х2 м3 с постоянно и откачкой. | Пташник А.И.              |
| 18.03.2002г | Необходимо окопать трубу и сменить 1,5 м., сеть закрыва.    | Хвостов                   |
| 19:30       |                                                             | Диспетчер: Шварикова В.В. |
|             |                                                             | См. инженер: Волков А.М.  |
|             | Машины и механизмы                                          |                           |
|             | ДЖИСиБи 45-78                                               | 4.0                       |
|             | КАМАЗ Самосвал                                              | 3.0                       |
|             | Компрессор                                                  | 3.0                       |
|             | зип-5301 ш 79 м 937 ор                                      | 7.5                       |
| 11.03.2002г | Раскопка котлована вручную 15 м3 окопали трубу.             | Денисенко И.С.            |
| 8:00        | Проложили участок трубы 3 м со сваркой.                     | Боилов Н.Д.               |
| 11.03.2002г | Санобработку произвел изоляция.                             | Макаров В.И.              |
| 20:00       | Открыли зад-ки в кол.84155 84154 84121 84160.               | Фаустов Р.В.              |
|             | Треб.подвезти песок и щебень. Стоит красный свет.           | Диспетчер: Стрикова С.А.  |
|             |                                                             | См. инженер: Широков Д.   |
|             | Машины и механизмы                                          |                           |
|             | ДЖИСиБи 45-78                                               | 11.5                      |
|             | Цистерна                                                    | 11.0                      |
|             | Сварочная                                                   | 10.0                      |
|             | зип-5301 ш 79 м 937 ор                                      | 11.5                      |

Рис. 2.4. Карточка регистрации выполненных работ на водопроводе

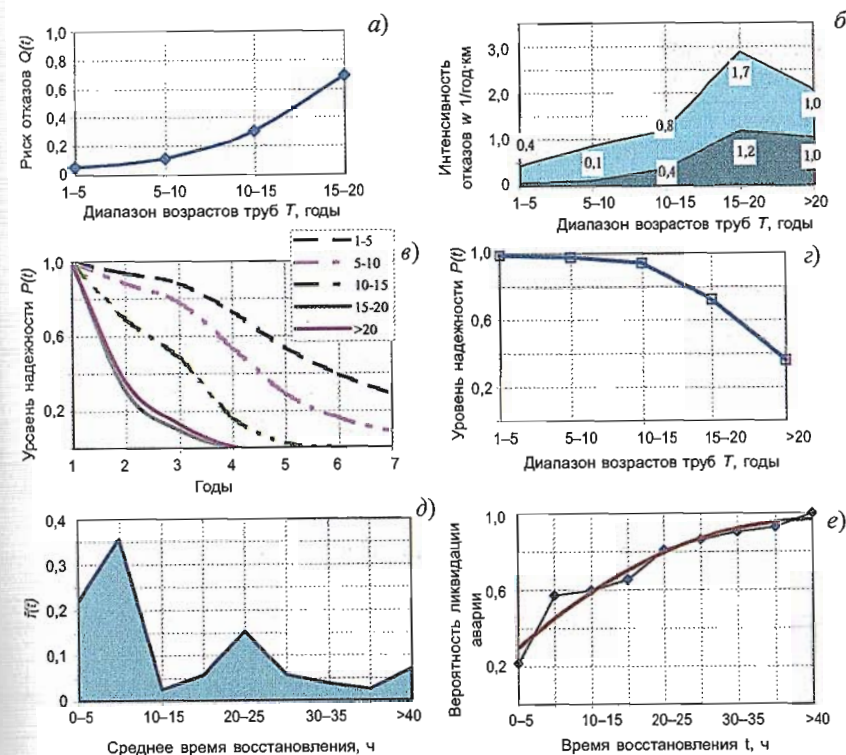


Рис. 2.5. Результаты оценки и прогноза показателей надежности трубопроводов Московского водопровода, выполненные на ЭВМ с использованием программы «Надежность»: а — прогноз риска аварий с изливом воды; б — оценка и прогноз интенсивности отказов; в — изменение надежности трубопроводов различных возрастов по годам эксплуатации; г — функции «выживания» по диапазонам возрастов труб; д — плотность распределения среднего времени восстановления трубопроводов; е — вероятность ликвидации аварий

Программа «Надежность» позволяет также оценить среднее время восстановления участков трубопроводов водопроводной сети города. При этом программно формируются данные по плотности распределения частоты и продолжительности среднего времени восстановления трубопроводов, а также функции распределения среднего времени восстановления трубопроводов (вероятность ликвидации аварии за определенный промежуток затраченного на ремонт времени).

На рис. 2.5 (распечатка с ЭВМ) дан пример расчета с результатами оценки и прогноза показателей надежности стальных трубопроводов диаметром 150 мм одного из районов эксплуатации городской водопроводной сети г. Москвы.



Таблица 2.1. Результаты оценки и прогноза показателей надежности стальных трубопроводов по районам эксплуатации водопроводной сети (РВС) Москвы (диаметр трубопроводов 150 мм, срок службы более 20 лет)

| № РВС | Интенсивность отказов, факт/прогноз $W_{ф.}/W_{пр}$ (1/год·км) | Годовая частота отказов, факт/прогноз | Вероятность «выживания» трубопровода (без капитального ремонта) | Уровень надежности | Риск отказов | Срок полезной службы $T_{пол.}$ годы | Наработка на отказ $T$ , годы | Среднее время ликвидации аварий $t_{в}$ , ч |
|-------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------|--------------|--------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------|
| 1     | 1,02/ 2,04                                                     | 14,5/28,1                             | 0,36                                                            | 0,36               | 0,64         | 11,8                                 | 0,975                         | 12,5                                        |
| 2     | 0,405/1,1                                                      | 10/ 27,5                              | 0,32                                                            | 0,67               | 0,33         | 12,5                                 | 2,47                          | 11,9                                        |
| 3     | 0,454/1,2                                                      | 16,5/39                               | 0,37                                                            | 0,63               | 0,37         | 13,5                                 | 2,204                         | 12,5                                        |
| 4     | 0,804/ 1,6                                                     | 19,8/39,5                             | 0,79                                                            | 0,58               | 0,42         | 10                                   | 1,2                           | 18                                          |
| 5     | 0,35/1,6                                                       | 16,3/41                               | 0,59                                                            | 0,71               | 0,29         | 13,1                                 | 3,102                         | 18,5                                        |
| 6     | 0,687/1,01                                                     | 33,5/51,5                             | 0,74                                                            | 0,5                | 0,5          | 12,2                                 | 1,45                          | 15                                          |
| 7     | 1,2/1,82                                                       | 47,8/75                               | 0,59                                                            | 0,52               | 0,48         | 9                                    | 0,9                           | 10                                          |
| 8     | 0,68/1,87                                                      | 17,7/21,6                             | 0,55                                                            | 0,55               | 0,45         | 9,6                                  | 0,894                         | 10                                          |
| 9     | 1,38/2,4                                                       | 67,8/93,4                             | 0,45                                                            | 0,34               | 0,66         | 7,9                                  | 0,723                         | 13                                          |
| 10    | 0,68/1,4                                                       | 13,5/20,5                             | 0,67                                                            | 0,52               | 0,48         | 10                                   | 1,47                          | 20                                          |
| 11    | 0,533/1,6                                                      | 18,7/32,0                             | 0,5                                                             | 0,58               | 0,42         | 13,8                                 | 1,8                           | 14                                          |
| Ср    | 0,53/1,31                                                      | 25,1/42,6                             | 0,6                                                             | 0,37               | 0,63         | 10,1                                 | 1,338                         | 14,12                                       |

В табл. 2.1 приведены расчетные данные, систематизированные по районам эксплуатации водопроводной сети города, которые позволяют оценить и прогнозировать надежность трубопроводов, определить «слабые» звенья системы (участки трубопроводов, имеющие наибольший риск аварий), наметить мероприятия по обеспечению надежности трубопроводов и оборудования сети.

Для оценки динамики изменения аварийности трубопроводов по районам города и соответственно распределения уровня риска от поступления воды в окружающую среду программно формируется электронная планшетная карта водопроводной сети города с графическим отображением плотности отказов участков трубопроводов (рис. 2.6).

Анализ электронной планшетной карты позволяет определить районы города с наибольшим риском отказов трубопроводов и соответственно с максимальным уровнем утечек воды, связанных с авариями и повреждениями трубопроводов. Эти данные являются основой для разработки стратегии восстановления и обновления сети, позволяют оценить и контролировать уровень надежности трубопроводов, установить те из них, которые создают наибольший риск аварий.



Рис. 2.6. Планшетная карта аварийности трубопроводов

Контроль за электронными базами данных и работой программы «Надежность» осуществляет производственное управление «Мосводопровод».

На основе передаваемой из районов водопроводной сети (РВС) информации (в электронном виде) в отделе аварийно-восстановительных работ ПУ «Мосводопровод» посредством DBF-файла формируется электронная база данных по аварийности: повреждения труб в земле, колодцах, коллекторах, подвалах, повреждение оборудования в колодцах.

Массив данных по аварийности ежегодно пополняется (около 10000 повреждений в год). Имеющиеся базы данных обрабатываются по различным параметрам, на основании их готовится оперативная информация, формируются планы реконструкции, осуществляется контроль за деятельностью РВС.

На рис. 2.7 приведена структура формирования и использования районами баз данных по эксплуатации городской водопроводной сети.



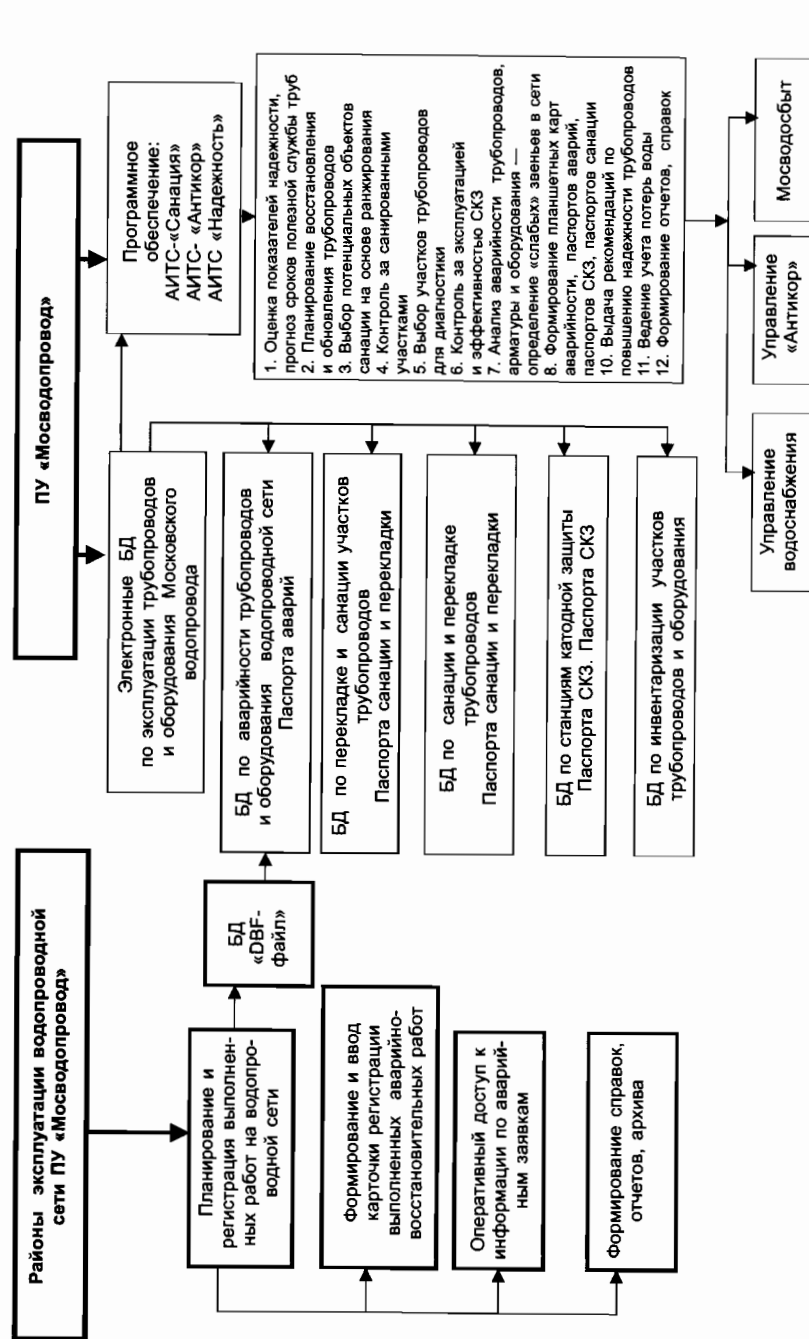


Рис.2.7. Структура формирования и использования в МУ «Мосводопровод» автоматизированного информационно-технического обеспечения

### 2.3. МЕТОДИКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПО ОТКАЗАМ И ВОССТАНОВЛЕНИЯМ ТРУБОПРОВОДОВ

Методика включает следующие основные этапы:

- планирование статистических испытаний — определение объема доверительной информации по отказам трубопроводов;
- построение математических моделей надежности трубопроводов — выявление эмпирических и теоретических законов распределения отказов и длительности восстановления трубопроводов;
- оценка показателей надежности трубопроводов и факторов, формирующих законы их изменения.

В качестве основных случайных величин, исследуемых при оценке надежности участков трубопроводов водопроводной сети города, принимаются: число отказов этих элементов в определенный интервал времени, сроки службы до отказа (наработка на отказ), время восстановления работоспособного состояния участка трубопровода (время ликвидации аварии). Для практической реализации методики в качестве объекта статистических испытаний использована городская водопроводная сеть Москвы.

Интервал времени эксплуатации трубопроводов, за который были собраны статистические данные по их отказам, был определен на основании плана определительных испытаний, регламентированного ГОСТом 17510–82 «Планирование объема определительных испытаний» и с учетом исследований канд. техн. наук Д.А. Сабитова.

За основу при определении характеристик объема доверительной информации был принят план типа  $(N, R, r)$  для восстанавливаемых систем, где  $N$  — количество элементов, поставленных под наблюдение (в данном случае протяженность водопроводных линий, км);  $R$  — планы, в которых отказавшие элементы ремонтируются или заменяются новыми;  $r$  — число отказов или предельных состояний, до возникновения которых проводятся наблюдения.

Планирование определительных испытаний участков трубопроводов дало возможность с заданной достоверностью результатов (доверительная вероятность  $\alpha$ ) и их точностью (относительная предельная ошибка  $\sigma$ ) определить характеристики объема испытаний (реальное число отказов  $r$ , длительность испытаний  $T_u$  и т.д.).

Следует отметить, что планирование определительных испытаний можно провести в случае, если установлены законы распределения исследуемых величин [78].

Ранее проведенные исследования показали, что изменение числа отказов трубопроводов водопроводной сети Москвы во времени, в пределах допустимой ошибки, подчиняются закону распределения Пуассона. Поэтому в качестве исходной математической модели может быть принят этот закон [94]. При этом учитывалось, что для восстанавливаемых

Таблица 2.2. Значения количества отказов  $r$ 

| $a_3$ | $\alpha$ |     |      |
|-------|----------|-----|------|
|       | 0,8      | 0,9 | 0,95 |
| 1,05  | 300      | 600 | 1000 |
| 1,1   | 80       | 200 | 300  |
| 1,15  | 45       | 90  | 150  |
| 1,2   | 25       | 50  | 80   |

мых элементов, у которых поток отказов простейший, т.е. случайное число отказов распределено по закону Пуассона, промежутки времени между последовательными отказами (наработка на отказ) имеют экспоненциальное распределение.

В этой связи планирование статистических испытаний проводилось, исходя из экспоненциального закона распределения наработок на отказ участков трубопроводов. Согласно методике проведения определительных испытаний, объем доверительной выборки:

$$NT_u = \frac{r}{a_3} \cdot T_o, \quad (2.11)$$

где  $N$  — количество элементов, или их протяженность в км;  $r$  — фиксированное число отказов для принятой доверительной вероятности  $\alpha$  и предельной относительной ошибки  $\sigma$ ;  $a_3$  — доверительная граница по  $T_o$  снизу;  $T_o$  — ожидаемая величина наработки на отказ.

Требуемое фиксированное количество отказов  $r$  можно определить следующим образом.

По значению коэффициента, характеризующего доверительную границу опытной наработки на отказ сверху, которая равна  $a_1 = 1 + \sigma$  и значению доверительной вероятности  $\alpha$  по [111], находим значения необходимого количества отказов  $r$ , которые приведены в табл. 2.2.

Данные табл. 2.2 позволяют определить расчетное число отказов в зависимости от предельной относительной погрешности  $\sigma$  и значению доверительной вероятности  $\alpha$ . По известному значению  $r$  находим значения коэффициента  $a_3$  для различных значений доверительной вероятности  $\alpha$ . Результаты расчета приведены в табл. 2.3.

По данным ранее проведенных статистических исследований значения ожидаемых величин интенсивности отказов  $w$  для участков трубопроводов городских сетей водоснабжения изменяются в пределах:  $w_{min} = 0,05$  1/год·км,  $w_{max} = 10$  1/год·км.

Это эквивалентно величинам наработки на отказ  $T_{omin} = 0,1$  года  $\approx 876$  ч,  $T_{omax} = 20$  лет  $\approx 1,75 \cdot 10^5$  ч. Таким образом, имея значения  $r$ ,  $a_3$ ,  $T_o$  по формуле (2.11), определяем необходимый объем испытаний. Результаты вычислений приведены в табл. 2.4.

Используя данные табл. 2.4 и задаваясь значением доверительной вероятности  $\alpha = 0,95$ , характерной для инженерных расчетов, и значением относительной ошибки  $\sigma = 0,1$ , определим расчетное число отказов  $r = 300$ , а из табл. 2.3 — значение коэффициента  $a_3 = 0,91$ . Далее, задаваясь значениями ожидаемых наработок на отказ и протяженнос-

тью трубопроводов по формуле (2.11), вычисляем значение требуемой длительности статистических испытаний  $T_u$  в часах —  $1,05 \cdot 10^5 = 12$  лет.

Доверительный интервал для показателей надежности принимался в зависимости от принятого предположения о законе распределения исследуемого события (частоты отказов, времени между отказами, среднего времени восстановления), объема наблюдений и стандартного отклонения  $\sigma$  с уровнем значимости  $\alpha = 0,05$ .

Обработка исходного материала включала следующие этапы:

- составлялись вариационные ряды времени наработок между отказами,  $T_1, T_2, \dots, T_i$  и времени восстановления  $t_e^{(1)}, t_e^{(2)}, \dots, t_e^{(i)}$ , участков трубопроводов по каждому району и строились гистограммы частот исследуемых случайных величин;

- по критериям согласия проверялась степень согласованности статистических (эмпирических) и теоретических распределений  $T$  или  $t_e$  (наработок на отказ и среднего времени восстановления). В качестве теоретических распределений использованы экспоненциальный закон и распределение Эрланга;

- определялись численные показатели надежности участков трубопроводов водопроводной сети Москвы в распределении по величине диаметра и материалу труб.

Предварительно проводилась проверка однородности данных о наработках на отказ участков водоводов и сети. Необходимость этой проверки обуславливается тем, что существующие алгоритмы обработки статистических данных основываются на допущении, что наработки на отказ для всех элементов трубопроводной сети в выбранной партии распределены одинаково. Поэтому только для однородных данных о надежности элементов системы  $\Delta T_i = T_i - T_{(i-1)}$  можно считать, что разброс наработок на отказ носит случайный характер и не является следствием различия в условиях функционирования или искажения статистической информации.

Нулевая гипотеза  $H_0$  о неизменности условий эксплуатации и регулярности ведения записей об отказах участков труб в районах по экс-

Таблица 2.3. Значения коэффициента  $a_3$ 

| $\alpha$ |       |      |
|----------|-------|------|
| 0,8      | 0,9   | 0,95 |
| 0,95     | 0,95  | 0,95 |
| 0,91     | 0,92  | 0,91 |
| 0,875    | 0,875 | 0,88 |
| 0,84     | 0,84  | 0,84 |

Таблица 2.4. Объем испытаний  $N \cdot T_u$  (ч, км)

| $\sigma$ | $a_3$ | $\alpha$                               |                                        |                                        |
|----------|-------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
|          |       | 0,8                                    | 0,9                                    | 0,95                                   |
| 0,05     | 0,95  | $0,695 \cdot 10^6$ — $2,76 \cdot 10^7$ | $1,39 \cdot 10^6$ — $5,52 \cdot 10^7$  | $2,32 \cdot 10^6$ — $9,2 \cdot 10^7$   |
| 0,1      | 0,91  | $1,94 \cdot 10^5$ — $7,7 \cdot 10^6$   | $4,84 \cdot 10^5$ — $1,93 \cdot 10^7$  | $7,25 \cdot 10^5$ — $2,88 \cdot 10^7$  |
| 0,15     | 0,875 | $1,13 \cdot 10^6$ — $4,5 \cdot 10^6$   | $2,26 \cdot 10^5$ — $0,9 \cdot 10^7$   | $3,75 \cdot 10^5$ — $1,49 \cdot 10^7$  |
| 0,20     | 0,84  | $0,655 \cdot 10^5$ — $2,6 \cdot 10^6$  | $1,13 \cdot 10^5$ — $0,524 \cdot 10^7$ | $2,09 \cdot 10^5$ — $0,834 \cdot 10^7$ |



плутации водопроводной сети выполнялась путем сравнения данных о наработках на отказ участков из стальных и чугунных труб по критериям Бартлетта и Фишера [9, 12, 111].

Если в выборке данных о наработке на отказ (или времени восстановления) участков водоводов или сети объем каждой подгруппы данных не превышал величины  $n_j = 5-10$ , то проверка однородности выполнялась по критерию  $t$ , который имеет распределение Стьюдента с  $K = n - 2$  степенями свободы.

$$t = \frac{J_{nj} \sqrt{nj(n-2)}}{\sqrt{n - nj - nj(J_{nj})}}, \quad (2.12)$$

где  $J_{nj}$  — наибольшие отклонения средней подгруппы от общей сред-

ней  $J_{nj} = \frac{\bar{x} - \bar{x}_j}{s}$ ;  $n$  — объем выборки;  $n_j$  — объем  $j$ -й подгруппы;  $s$  —

среднее квадратическое отклонение данных в выборке.

В табл. 2.5 и 2.6 приведены результаты проверки однородности данных о наработках на отказ участков стальных и чугунных трубопроводов Московского водопровода.

Проверка гипотезы о распределении наработки на отказ участков трубопроводов водопроводной сети Московского водопровода по экспоненциальному распределению выполнялась по тем выборкам, объем которых  $n \approx 50$ . В качестве меры расхождения теоретического и статистического распределений принималось число, которое вычислялось по формуле:

$$\hat{X}^2 = \sum_{i=1}^l \frac{(\gamma_i - nP_i)^2}{n \cdot P_i}, \quad (2.13)$$

где  $l$  — число событий, по которым определяется мера  $\hat{X}^2$ ;  $\gamma_i$  — число отказов, попавших в  $i$ -й интервал;  $nP_i$  — математическое ожидание числа отказов в  $i$ -м интервале при принятой гипотезе.

Гипотеза  $H_0$  принималась, если выполнялось условие:

$$\hat{X}^2 \leq X^2(K), \quad (2.14)$$

где  $c$  — число параметров распределений, оцениваемых по той же статистике.

При построении гистограмм — статистического аналога плотности распределения наработки на отказ участка водовода или сети — значения  $\hat{f}(t_1), \hat{f}(t_2), \dots, \hat{f}(t_i)$ , вычислялись по формуле:

$$\hat{f}(t_i) = \frac{\gamma_i}{n \cdot t_i}, \quad (2.15)$$

где  $t_i$  — длина  $i$ -го интервала.

Таблица 2.5. Результаты проверки однородности данных о наработках на отказ участков стальных трубопроводов Московского водопровода (по РВС)

$H_0$  — нулевая гипотеза: данные однородны.

| Характеристика объекта | $T_j$ , годы (трубы стальные, $d_y = 100$ мм) |     |      |      |     |      |      |      |      |
|------------------------|-----------------------------------------------|-----|------|------|-----|------|------|------|------|
|                        | 1                                             | 2   | 3    | 4    | 5   | 6    | 7    | 8    | 9    |
| $n = 48$               | 0,4                                           | 1,6 | 1,3  | 0,46 | 1,6 | 0,7  | 0,86 | 1,15 | 1,15 |
|                        | 0,35                                          | 1,5 | 2,4  | 0,79 | 3   | 0,96 | 1    | 1,5  | 1,1  |
| $\bar{x} = 1,08$       | 0,35                                          | 1,6 | 1,5  | 0,7  | 1,6 | 0,76 | 1,2  | 1,3  | 0,9  |
|                        | 0,3                                           | 0,9 | 1,1  | 0,65 | 1,6 | 0,77 | 0,8  | 1    |      |
|                        | 0,36                                          | 1,4 | 1,3  | 0,8  | 1,2 | 0,8  | 0,97 | 1,15 |      |
| $n_j$                  | 5                                             | 5   | 5    | 5    | 5   | 5    | 5    | 5    | 3    |
| $\bar{x}$              | 0,35                                          | 1,4 | 1,52 | 0,68 | 1,8 | 0,8  | 0,96 | 1,22 | 0,75 |

$$S^2 = 0,212; S = 0,46; t = \frac{J_{nj} \sqrt{n_j(n-2)}}{\sqrt{n - n_j - n_j \cdot J_{nj}}} = 1,339; K = n - 2 = 46;$$

$$t_{\alpha}(K) = 2,0129; \alpha = 0,05.$$

Вывод:  $t > t_{\alpha}(K)$ ,  $1,339 < 2,0129$ ;  $H_0$  — гипотеза не отвергается.

Таблица 2.6. Результаты проверки однородности данных о наработке на отказ участков чугунных трубопроводов Московского водопровода (по РВС)

$H_0$  — нулевая гипотеза: данные однородны

| Характеристика объекта   | $T_j$ , годы (трубы чугунные, $d_y = 200$ мм) |      |      |      |      |      |      |     |      |
|--------------------------|-----------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
|                          | 1                                             | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8   | 9    |
| $n = 48$                 | 1,18                                          | 0,26 | 0,4  | 0,77 | 0,2  | 0,5  | 0,27 | 0,4 | 0,5  |
| $\bar{x} = 0,38$         | 0,17                                          | 0,2  | 0,4  | 0,6  | 0,38 | 0,47 | 0,28 | 0,9 | 0,47 |
| $K = 46$                 | 0,3                                           | 0,2  | 0,35 | 0,5  | 0,37 | 0,47 | 0,33 | 0,4 | 0,37 |
| $t_{\alpha}(K) = 2,0129$ | 0,2                                           | 0,15 | 0,27 | 0,5  | 0,46 | 0,3  | 0,29 | 0,3 |      |
|                          | 0,2                                           | 0,18 | 0,56 | 0,75 | 0,6  | 0,3  | 0,33 | 0,5 |      |
| $n_j$                    | 5                                             | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5   | 3    |
| $\bar{x}$                | 0,21                                          | 0,19 | 0,39 | 0,62 | 0,4  | 0,4  | 0,3  | 0,5 | 0,44 |

$$S^2 = 0,0186; t = 0,5; \alpha = 0,05.$$

Вывод:  $0,5 < 2,0129$ ;  $H_0$  — гипотеза не отвергается.

Число разбиения  $K$  вариационного ряда определялось по правилу Сторджесса:

$$K = 1 + 3,31 \lg n;$$

Плотность теоретического распределения наработки на отказ вычислялась по формуле:

$$f(t) = \omega \cdot e^{-\omega t}, \quad (2.16)$$

Таблица 2.7. Проверка гипотезы о законе распределения наработки на отказ участков чугунных трубопроводов Московского водопровода ( $D = 200$ , мм в целом по системе эксплуатируемых трубопроводов) $H_0$  — нулевая гипотеза: закон экспоненциальный.

| Характеристика объекта         | $l$ | $\Delta T$ | $\gamma_i$ | $P_i$ | $nP_i$ | $\gamma_i - nP_i$ | $\frac{(\gamma_i - nP_i)^2}{nP_i}$ |
|--------------------------------|-----|------------|------------|-------|--------|-------------------|------------------------------------|
| Трубы чугунные<br>$d = 100$ мм | 1   | 0—2        | 20         | 0,53  | 24,4   | -4,4              | 0,79                               |
|                                | 2   | 2—4        | 8          | 0,3   | 13,1   | -3,8              | 1,04                               |
|                                | 3   | 4—6        | 5          |       |        |                   |                                    |
|                                |     |            | 13         |       |        |                   |                                    |
| $T_0 = 4,66$ год               | 4   | 6—8        | 4          |       |        |                   |                                    |
| $\omega = 0,21$                | 5   | 8—10       | 3          | 0,17  | 7,82   | 5,2               | 3,45                               |
| $n = 43$                       | 6   | 10—12      | 6          |       |        |                   |                                    |
|                                |     |            | 13         |       |        |                   |                                    |
| Итого:                         |     |            |            |       |        |                   | 5,28                               |

$$K = 1 + 3,31 \lg n = 6; \quad n = \sum_{i=1}^l \gamma_i = 46;$$

$$X_{\text{Набл.}}^2 = 5,28; \quad X_{0,05}^2(2) = 5,991, \text{ т.е. } X_{\alpha}^2(n) > X_{\text{Набл.}}^2$$

Вывод:  $H_0$  — гипотеза не отвергается.

где  $\omega = 1/T_0$ ;  $T_0$  — среднее время наработки на отказ участка водовода или сети.

В табл. 2.7 и 2.8 приведены результаты проверки гипотезы о распределении наработки на отказ участков чугунных и стальных трубопроводов по экспоненциальному закону. Приведенные оценки показывают, что нулевая гипотеза  $H_0$  не отвергается.

Доверительный интервал для оценки средней наработки на отказ участка водовода или сети  $\bar{T}_0$  определялся по неравенству:

$$T_0 - t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \bar{T}_0 < T_0 + t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2.17)$$

где  $t$  — табулированное значение критерия Стьюдента, взятого при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и числа степеней свободы  $K = n - 1$ .

Определение статистических параметров потока отказов и времени восстановления участков трубопроводов Московского водопровода заключалась в том, чтобы изучить поток отказов участков трубопроводов сети, найти его основные характеристики и убедиться в стационарности как необходимого условия применения функции Пальма-Хиллрока  $\mathcal{S}_{K(n)} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\omega(o, t)}{\pi_1(r, t)}$  для описания этого потока.

Здесь  $\mathcal{S}_{K(n)}$  — вероятность наступления в промежутке времени —

Таблица 2.8. Проверка гипотезы о законе распределения наработки на отказ участков стальных трубопроводов Московского водопровода ( $D = 100$  мм, в целом по системе эксплуатируемых трубопроводов) $H_0$  — нулевая гипотеза: закон экспоненциальный.

| Характеристика объекта         | $l$ | $T_i$    | $\gamma_i$ | $P_i$ | $nP_i$ | $\gamma_i - nP_i$ | $\frac{(\gamma_i - nP_i)^2}{nP_i}$ |
|--------------------------------|-----|----------|------------|-------|--------|-------------------|------------------------------------|
| Трубы стальные<br>$d = 100$ мм | 1   | 0—0,5    | 5          | 0,52  | 22,3   | -2,3              | 0,23                               |
|                                | 2   | 0,5—1    | 15         |       |        |                   |                                    |
|                                |     |          | 20         |       |        |                   |                                    |
| $T_0 = 1,08$ год               |     |          |            |       |        |                   |                                    |
| $n = 43$                       | 3   | 1—1,5    | 13         | 0,32  | 13,76  | 0,76              | 0,04                               |
| $\omega = 0,825$ 1/год·км      | 4   | 1,5—2    | 8          |       |        |                   |                                    |
|                                | 5   | 2—2,5    | 1          | 0,16  | 6,88   | 3,12              | 1,41                               |
|                                | 6   | 2,5—7,25 | 1          |       |        |                   |                                    |
|                                |     |          | 10         |       |        |                   |                                    |
| Итого:                         |     |          |            |       |        |                   | 1,68                               |

$$K = 1 + 3,31 \lg n = 6; \quad n = \sum_{i=1}^l \gamma_i = 43;$$

$$X_{\text{Набл.}}^2 = 1,68; \quad X_{0,05}^2(2) = 5,991, \text{ т.е. } X_{\alpha}^2(K) > X_{\text{Набл.}}^2$$

Вывод:  $H_0$  — гипотеза не отвергается.

$\Delta t$  равно  $K$  отказов при условии, что в начальный момент этого промежутка  $t$  отказ наступил.

Обычно у любого реального потока отказов проверяется наличие свойств: регулярности, стационарности, ординарности и последствия.

Имеется ряд причин, обуславливающих наличие этих свойств у потока отказов участков трубопроводов Московского водопровода. Последствия сказываются на небольшом отрезке времени в период приработки (испытания) трубопроводов системы. Практика эксплуатации показывает, что если ремонт участка труб будет выполняться качественно, то последствие в потоке отказов будет незначительно. Наши исследования показали, что последствие не оказывает существенного влияния на поток отказов участков водоводов и сети, и для этого потока на отдельных отрезках времени можно допустить присутствие свойств: ординарности, регулярности, стационарности.

Поскольку время функционирования участков труб  $t$ , во много раз больше, чем время между их соседними отказами, то можно допустить, что  $\lim_{t \rightarrow \infty} \omega(t) = \frac{1}{T_i}$  и вероятность наступления в промежутке  $t$  равно

но  $n$  отказов участков водовода или сети остается неизменной:  $\mathcal{S}_{K(n)} = \text{const}$ , т.е. имеет место простейший поток отказов.



Оценка параметров функций распределения числа отказов участков трубопроводов позволяет на практике прогнозировать число отказов и вероятность их возникновения. Так, при простейшем (пуассоновском) потоке отказов вероятность того, что в течение интервала времени  $t$  произойдет  $n$  отказов участка трубопровода, оценивается из выражения (2.17).

Задача статистической обработки данных о продолжительности восстановления участков трубопроводов заключается в проверке однородности данных, построении эмпирической функции распределения времени восстановления (ликвидации аварии)  $t_0$ , аппроксимации полученной функции теоретическим законом распределения случайных величин.

Исследования показали, что процесс восстановления участков трубопроводов водопроводной сети не является полностью случайным, что он значительно зависит от организационных ситуаций, возникающих при выполнении ремонтных работ на сети.

Из-за сложности сбора достоверной информации по восстановлению элементов сети на данном этапе исследований не ставилась задача описания процесса их восстановления в замкнутой форме. Обобщение анализа потоков восстановления участков стальных трубопроводов и статистическая обработка данных показали, что гипотеза о распределении времени восстановления участков водоводов по экспоненциальному закону, а для трубопроводов ряда районов по эксплуатации водопроводной сети по закону Эрланга 2-го порядка — не отвергается (табл. 2.9).

В общем виде плотность распределения потока восстановлений по закону Эрланга 2-го порядка описывается по формуле:

$$f(\tau) = 4 \frac{\tau}{t_B^2} \cdot \exp\left(-\frac{2\tau}{t_B}\right), \quad (2.18)$$

а функция распределения времени восстановления оценивается по формуле

$$F(\tau) = \int_0^{\tau} \frac{4t}{t_B^2} e^{-2t/t_B} dt, \quad (2.19)$$

где  $\bar{t}_B$  — среднее время восстановления участка сети, ч.

Для этого распределения среднее время восстановления находится в пределах:

$$t_B - t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \bar{t}_B < t_B + t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2.20)$$

Таблица 2.9. Проверка гипотезы о законе распределения времени восстановления участков трубопроводов Московского водопровода (стальные трубы)

$H_0$  — гипотеза. Закон Эрланга 2-го порядка.

| Интервалы времени, ч | $\gamma_i$ | $P_i$ | $nP_i$ | $\gamma_i - nP_i$ | $(\gamma_i - nP_i)^2$ | $nP_i$ |
|----------------------|------------|-------|--------|-------------------|-----------------------|--------|
| 0—5                  | 20         | 0,26  | 24     | 4                 | 16                    | 0,6    |
| 5—10                 | 42         | 0,35  | 34     | 8                 | 64                    | 1,8    |
| 10—15                | 9          | 0,25  | 23     |                   |                       |        |
| 15—20                | 7          |       |        | 7                 | 49                    | 2,1    |
|                      | 16         |       |        |                   |                       |        |
| 20—25                | 7          |       |        |                   |                       |        |
| 25—30                | 4          | 0,11  | 10     | 1                 | 1                     | 0,1    |
| 30—35                | 3          |       |        |                   |                       |        |
| 35—40                |            | 0,05  | 5      | 3                 | 9                     | 1,8    |
| 40                   | 5          |       |        |                   |                       |        |
|                      | 8          |       |        |                   |                       |        |
| Итого:               | 96         | 1     | 96     |                   |                       | 6,4    |

$$n = 96; K = n - 1 = 95 - 1 = 94; X_{0,05}^2(4) = 9,4;$$

$\alpha = 0,05$ ; т.е.  $X_{\alpha}^2(K) > X_{Набл.}^2$  — гипотеза не отвергается.

$$t_B - t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \bar{t}_B < t_B + t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; 15 - 4 < \bar{t}_B < 15 + 4; 11 < \bar{t}_B < 19.$$

Вывод:  $H_0$  — гипотеза не отвергается.

где  $\bar{t}_B$  — среднее время восстановления (оценивалось как средневзвешенная величина);

$$\sigma = \sqrt{s^2 - \frac{t_i^2}{12}}, \quad (2.21)$$

где  $t_i^2/12$  — поправка Шеппарда;  $t_i$  — длина интервала разбиения;  $s$  — выборочное среднее квадратическое отклонение;  $T$  — табулированное значение критерия Стьюдента, взятое при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и числе степеней свободы  $K = n - 1$ ;  $N$  — объем выборки.

Приведенная методика обработки статистических данных по отказам и восстановлениям водопроводной сети положена в основу алгоритма программы для ЭВМ по оценке показателей надежности трубопроводов водопроводной сети и реализована для оценки показателей надежности трубопроводов Московского водопровода.

## 2.4. РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ МОСКОВСКОГО ВОДОПРОВОДА

### 2.4.1. Характеристика трубопроводов Московского водопровода

К настоящему времени протяженность трубопроводов городской водопроводной сети Москвы составляет более 10000 км, из них 72 % — стальные трубопроводы, 26 % — чугунные, 2 % — железобетонные, полиэтиленовые и поливинилхлоридные трубы.

Средний возраст стальных трубопроводов Московского водопровода — 24 года, чугунных — 41 год. 10 % чугунных трубопроводов построены до революции и имеют срок эксплуатации более 85 лет. В центре Москвы имеются участки чугунных трубопроводов, которые эксплуатируются с 1893 г.

В табл. 2.10 систематизированы данные по протяженности трубопроводов Московского водопровода по годам укладки.

На рис. 2.8 приведена протяженность трубопроводов Московского водопровода по назначению.

На протяжении длительного времени реновация действующего водопровода в среднем составляет не более 1 % в год от общей его протяженности (рис. 2.9).

Большинство трубопроводов водопроводной сети Москвы (более 53 %) имеет в настоящее время значительный физический износ, так как они были построены и введены в эксплуатацию десятки лет назад, без учета требований надежности по применяемым материалам и организационно-технических возможностей эксплуатирующих организаций.

Протяженность самортизированных трубопроводов, т.е. отслуживших установленный нормативный срок службы, и несамортизированных трубопроводов, т.е. не отслуживших нормативный срок, почти равна. Аналогичная картина наблюдается и по количеству отказов (рис. 2.10).

Таблица 2.10. Протяженность трубопроводов Московского водопровода, км

| Время укладки | Стальные | Чугунные | Асбестовые | Железобетонные | Полиэтиленовые | Поливинилхлоридные | ВЧШГ   | Нержавеющая сталь | Итого   |
|---------------|----------|----------|------------|----------------|----------------|--------------------|--------|-------------------|---------|
| 1900—1920     | 2,489    | 117,22   | 0          | 0              | 0              | 0                  | 0      | 0                 | 119,71  |
| 1921—1940     | 53,997   | 329,9    | 0          | 0              | 0              | 0                  | 0      | 0                 | 383,9   |
| 1941—1960     | 687,6    | 695,1    | 0          | 0              | 0              | 0                  | 0      | 0                 | 1382,7  |
| 1961—1980     | 3534,7   | 603,08   | 0,56       | 6,03           | 0,261          | 3,329              | 0      | 0                 | 4148    |
| 1981—2004     | 2627,1   | 417,77   | 225,94     | 32,57          | 21,715         | 121,44             | 763,25 | 0,648             | 4210,4  |
| Всего:        | 6905,9   | 2163,1   | 226,5      | 38,6           | 21,976         | 124,77             | 763,25 | 0,648             | 10244,7 |

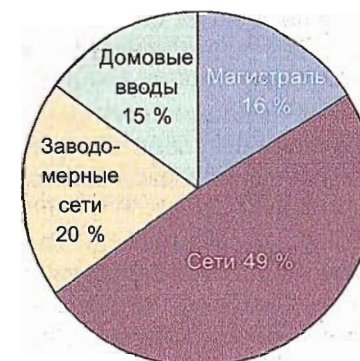


Рис. 2.8. Протяженность трубопроводов Московского водопровода по назначению

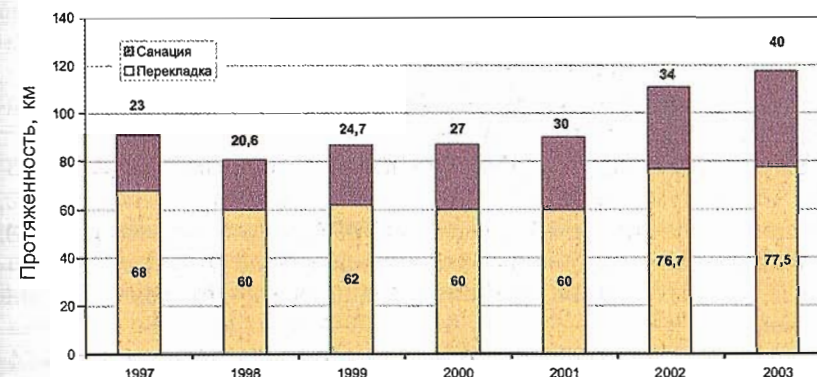


Рис. 2.9. Объемы перекладки и санации трубопроводов Московского водопровода по годам

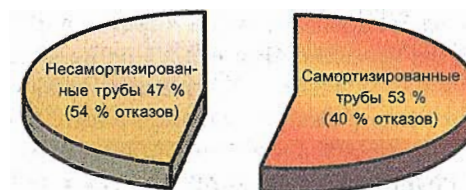


Рис. 2.10. Протяженность и аварийность трубопроводов Московского водопровода

Это свидетельствует о том, что реальные сроки службы трубопроводов Московского водопровода значительно отличаются от нормативных, так как фактический срок службы трубопроводов варьируется по времени в достаточно широком интервале и зависит не только



от материала трубопровода и срока его эксплуатации, но и от местных условий и в зависимости от них может быть различен.

Основные причины отказов трубопроводов и оборудования: значительный срок их службы, низкие темпы обновления труб, колебания напоров в сети, интенсивная внешняя и внутренняя коррозия, низкое качество труб, уложенных в период массового жилищного строительства в Москве (1960—1970).

Причины сложившейся в последние годы напряженной ситуации с обеспечением надежности водопроводной сети столицы связаны с тем, что, вопреки требованиям СНИП при строительстве водопроводов, в бывшем СССР широко использовались стальные трубы, не защищенные от внутренней и внешней коррозии. Так, до 1990 г. страна продолжала потреблять ежегодно до 24 млн т стальных труб, что соответствовало уровню потребления такими странами, как США, Англия, Германия, Франция, Япония и Италия вместе взятых. Примерно половина этой огромной массы стальных труб использовалась для замены вышедших из строя таких же стальных труб. Этот сизифов труд привел к тому, что изношенность трубопроводов в России и в других странах СНГ самая высокая в мире.

Следует отметить, что при крайне неблагоприятных условиях прокладки и эксплуатации труб в Москве (блуждающие токи в грунте, коррозионно-опасные грунты, высокий уровень грунтовых вод и т.п.), значительная часть трубопроводов водопроводной сети города выложена из стальных труб без устройства защиты от электрохимической коррозии.

В последние годы растет протяженность трубопроводов из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ). Анализ данных по надежности трубопроводов централизованных систем питьевого водоснабжения в развитых странах Северной Америки и Европы (Канада, США, Германия, Франция) показал, что эти страны имеют самые надежные системы водоснабжения в мире. Это обусловлено в первую очередь широким применением в последние 40 лет трубопроводов из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ). В свою очередь в интенсивно развивающемся Китае действует уже более 10 предприятий по производству чугунных труб. КНР стала вторым (после США) крупнейшим экспортером труб из ВЧШГ.

В структуре чугунных трубопроводов Московского водопровода 17 % — трубы из ВЧШГ. Первый опыт прокладки труб ВЧШГ на Московском водопроводе относится к 1981 г., когда были закуплены первые партии импортных труб (фирма «Тироллен-Ролен», Австрия). За более чем 20-летний срок эксплуатации этих труб аварий и повреждений на них не наблюдалось.

Технические условия на водоснабжение, выдаваемые МГУП «Мосводоканал», регламентируют отказ от использования при строитель-

стве городской водопроводной сети стальных труб диаметром до 300 мм включительно и обеспечивают преимущественное применение труб из ВЧШГ с внутренним цементно-песчаным покрытием и оцинкованной наружной поверхностью, усиленной полиэтиленовой изоляцией. Приоритет выбора труб из ВЧШГ основан на их высоких эксплуатационных качествах, надежности и многолетнем положительном опыте их использования в РФ и за рубежом.

Нормативный срок службы таких труб в условиях почвенной коррозии, воздействия блуждающих токов и отсутствия катодной защиты составляет до 80 и более лет. Масса 1 п.м. трубы из ВЧШГ на 25—40 % меньше соответствующего показателя трубы из серого чугуна. Трубы могут укладываться в грунт на глубину до 8—10 м. Раструбные соединения с резиновыми манжетами допускают осевые смещения труб до  $\pm 5$  относительно горизонтальной оси трубопровода без потери герметичности соединения. Они надежно выдерживают ударные нагрузки при резком изменении давления в трубопроводах, а также нагрузки, вызванные перемещением грунта в результате его оседания и промерзания.

Липецким заводом «Свободный сокол» освоено новое раструбное соединение труб типа ВРС. Это соединение является фиксированным, что обеспечивает невозможность рассоединения труб при их прокладке в сложных рельефах местности, в том числе в местах осадки грунта, при ударных нагрузках, а также в вертикальном положении труб.

Для обеспечения антикоррозионной стойкости трубопроводов применяется защита внутренней и наружной поверхности труб из ВЧШГ различными покрытиями. Как в России, так и в Европе наибольшее распространение получила защита внутренней поверхности труб цементно-песчаной смесью по ISO 4179, ISO 6600 и ТУ 154-23-90, которая эффективно обеспечивает защиту трубопровода от коррозии и сохранение качества транспортируемой воды.

Толщина покрытия для труб  $D_y = 80—1400$  мм колеблется от 3,5 до 9 мм в зависимости от диаметра. Прочность облицовки на сжатие после твердения — не менее 50 МПа.

Из нескольких видов защиты наружной поверхности труб от коррозии наиболее часто используется нанесенный на поверхность слой цинка массой 130 г/м<sup>2</sup> и дополнительный битумный слой толщиной 70 мкм по ISO 8179-1.

Прокладка труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, обладающих повышенными показателями надежности значительно сокращает ремонтно-эксплуатационные затраты и обеспечивает надежную, экономичную и эффективную работу трубопровода.

Технические требования на трубы из ВЧШГ, внутреннее цементно-песчаное покрытие, наружное антикоррозионное покрытие, резиновые кольца, размеры, допуски, механические свойства, методы ис-

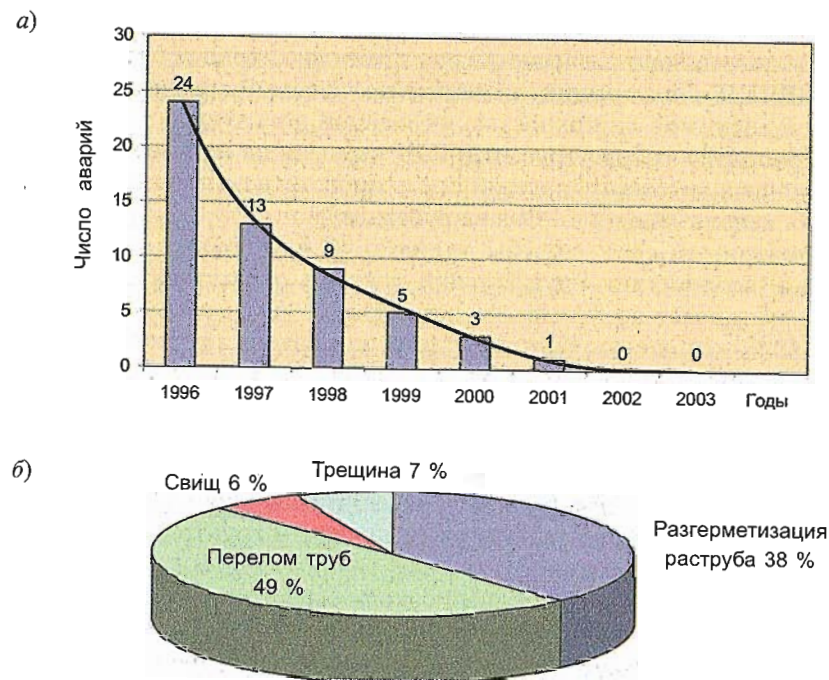


Рис. 2.11. Отказы трубопроводов из ВЧШГ: а — число аварий и повреждений по годам эксплуатации; б — классификация отказов по видам повреждений

пытания, указания по эксплуатации изложены в Технических условиях (ТУ 1461-037-50 254 094-2000) «Трубы чугунные напорные высокопрочные»[87].

Проектирование и монтаж трубопроводов городской водопроводной сети с использованием труб из ВЧШГ ведется в соответствии с СП 40-106-2002 «Проектирование и монтаж подземных трубопроводов водоснабжения с использованием чугуна с шаровидным графитом» «Госстрой РФ, 2002 г.».

В настоящее время протяженность труб ВЧШГ на Московском водопроводе составляет более 500 км, использованы основном отечественные трубы, изготовленные на Липецком заводе ОАО МЗ «Свободный сокол».

В первые годы эксплуатации качество труб ВЧШГ, выпущенных отечественными трубными заводами по лицензии, оказалось менее удовлетворительным, чем импортных. С улучшением технологии, контроля качества и методов испытаний труб ВЧШГ их качество и надежность значительно улучшились (рис. 2.11).

Более подробно о трубах ВЧШГ и опыте их использования на Московском водопроводе см. в главе 4.

В последние десятилетия в практике строительства водопроводных систем все чаще применяют трубы из полимерных материалов. Достоинства пластмассовых трубопроводов: полное отсутствие коррозии и зарастания внутритрубного пространства, малая масса, технологичность монтажа, значительный срок службы при правильной эксплуатации. В то же время отечественные пластмассовые трубы, которые эксплуатируются на Московском водопроводе, не отличаются высоким качеством и надежностью.

#### 2.4.2. Статистические исследования надежности трубопроводов Московского водопровода

Осуществление бесперебойного водоснабжения города Москвы в целом и отдельных потребителей требует выполнения большого объема ремонтно-восстановительных работ на водопроводной сети и увеличивает ответственность за обеспечение надежности и экологической безопасности трубопроводов.

Ежегодно на трубопроводах и оборудовании городской водопроводной сети Москвы фиксируется более 10 тыс. различных аварий и повреждений, причем для устранения почти половины из них требуется проведение раскопочных работ (рис. 2.12, а, б).

Анализ причин отказов трубопроводов показал, что наиболее часто встречающимся повреждением на стальных трубах Московского водопровода являются свищи, которые вызваны воздействием внешней и внутренней коррозии труб (рис. 2.13).

На чугунных трубопроводах отказы связаны с нарушением герметичности раструбных соединений и переломами труб (рис. 2.14). Одной из причин выхода свинца из раструба являются перепады давления в сети, ведущие к возникновению гидравлического удара.

Наибольшее количество аварий (примерно 90 %) происходит на трубах водопроводной сети малых диаметров — 100—400 мм. В основном это повреждения на домовых вводах и заводомерных сетях (рис. 2.15).

Наибольшее число повреждений с изливом воды приходится на проложенные в земле стальные трубы (рис. 2.16).

Статистические исследования надежности трубопроводов проводились в два этапа: для выбранных объектов-представителей — контрольных участков трубопроводов Московского водопровода и в целом по системе трубопроводов городской водопроводной сети.

Для вероятностной оценки исследуемых случайных величин привлекались следующие показатели надежности трубопроводов:  $w$  — интенсивность отказов, (1/год·км);  $t_{\text{с}}$  — среднее время восстановления (ликвидации аварии), ч;  $T$  — среднее время работы участка трубопро-



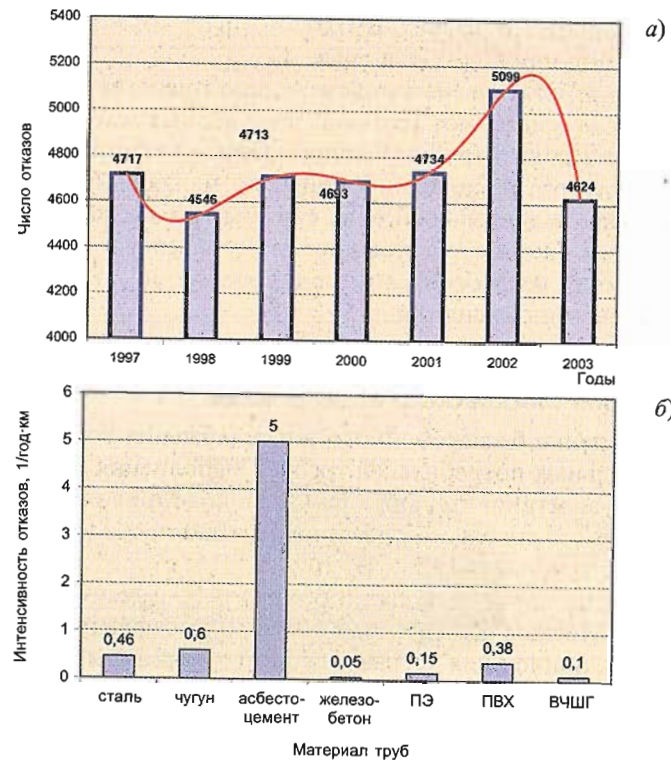


Рис. 2.12. Аварийность трубопроводов Московского водопровода: а — изменение числа отказов (аварий с раскопкой) трубопроводов по годам; б — интенсивность отказов по материалу труб

вода, задвижки и т.д. между отказами, год,  $P(t)$  — вероятность безотказной работы в пределах заданного времени  $t$ .

На первом этапе статистические испытания контрольных трубопроводов городской водопроводной сети проводились по информационным группам, сформированным по районам водопроводной сети (РВС) с высокой и низкой аварийностью трубопроводов и характеризующимся наличием широкого диапазона дестабилизирующих надежность труб факторов.

Были обработаны данные по эксплуатации 329 объектов-представителей — контрольных участков трубопроводов за 20 лет эксплуатации, характеризующихся широким диапазоном вариации параметров, способных объяснить возникновение отказов (аварий с раскопкой). Участки выбирались однородными по отношению к указанным выше параметрам и относились в основном к одному планшету и улице.

Для выбранных объектов-представителей — участков трубопроводов изучались условия их эксплуатации, наличие дестабилизирующих

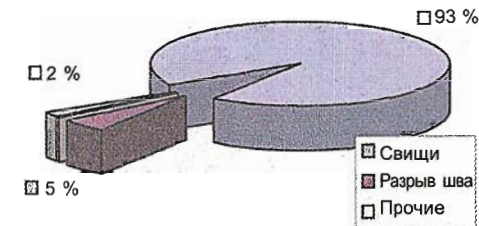


Рис. 2.13. Классификация повреждений на стальных трубах Московского водопровода

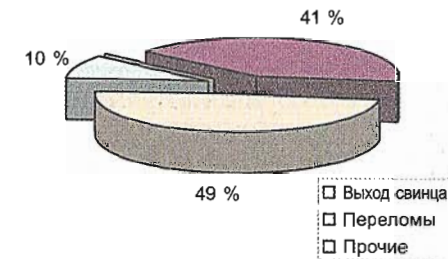


Рис. 2.14. Классификация аварий и повреждений на чугунных трубах Московского водопровода

надежность труб факторов, время возникновения первой аварии и ее причина, а также суммарное время отключения участка на период проведения ремонтно-восстановительных работ. Эти данные в виде статистических таблиц вводились в базу данных ЭВМ и составили информационную основу статистических испытаний трубопроводов городской водопроводной сети.

Для установления закономерностей процесса возникновения аварий трубопроводов и их причин для каждого контрольного участка трубопровода составлялись его паспорта, изучалось «окружение» трубопровода.

Для анализа влияния дестабилизирующих надежность трубопроводов факторов последовательно исследовалось влияние каждого фактора на возникновение отказов. Степень влияния каждого фактора определялась по точности прогноза количества повреждений в год на контрольных (обследованных) участках трубопроводов в предположении, что другие факторы не имеют места.

Была проанализирована зависимость интенсивности отказов трубопроводов от сезонов года. Установлено, что сезон года не имеет значительного влияния на общее количество аварий, возникающих на всей системе Московского водопровода.

В зимние и осенние месяцы наблюдается увеличение числа повреждений на стальных и чугунных трубопроводах, вызываемых рез-

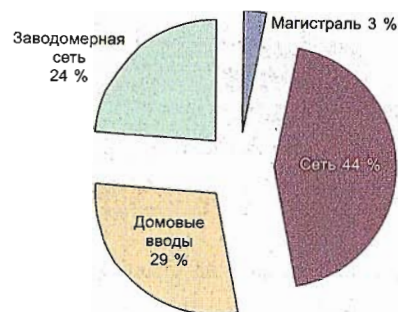


Рис. 2.15. Повреждения с изливом воды по назначению трубопроводов

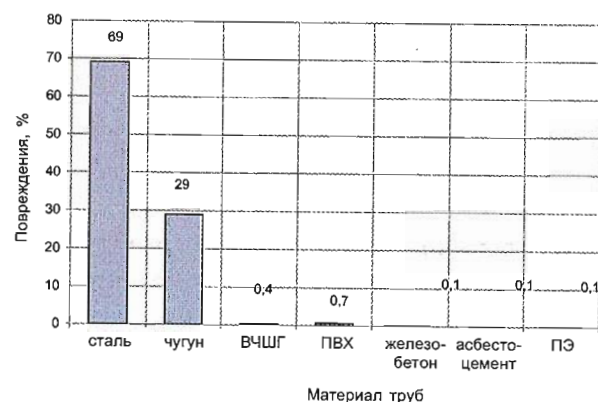
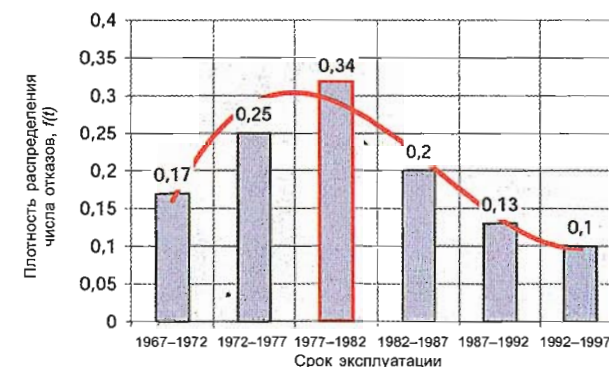


Рис. 2.16. Повреждения с изливом воды материалу труб, %

кими перепадами температуры наружного воздуха и проявляемых в нарушениях стыковых соединений. Но вместе с тем уменьшается количество повреждений, связанных с перемещением грунта как на стальных, так и на чугунных трубопроводах. Это и приводит к тому, что в целом по системе существенного изменения количества повреждений в зависимости от сезонов года не наблюдается. Наиболее существенной оказалась связь между интенсивностью отказов, сроками укладки, материалом и диаметром трубопровода. На рис. 2.17 представлен график функции плотности распределения числа отказов участков чугунных трубопроводов диаметром 250 мм одного из РВС Московского водопровода по интервалам сроков укладки труб. Как видно из графика максимальная плотность числа отказов исследуемых трубопроводов приходится на интервал времени 1977—1982 годы, то есть в период

Отмечено, что интенсивность отказов участков трубопроводов существенно отличается по районам водопроводной сети города и по диаметрам труб (рис. 2.18).

Рис. 2.17. Плотность распределения отказов участков чугунных труб Московского водопровода по интервалам сроков укладки труб ( $D = 250$  мм)

В табл. 2.11 сравнивается интенсивность отказов обследованных контрольных участков трубопроводов отдельно для трубопроводов, где ранее не наблюдались аварии, и трубопроводов, где ранее был один отказ (авария с раскопкой).

Проведенные статистические исследования позволяют утверждать, что вероятность отказа участка трубопровода в настоящем и соответственно величина риска разлива воды в окружающую среду зависит от наличия и интенсивности аварий (отказов) трубопровода в прошлом. На трубопроводах, на которых и раньше наблюдались аварии, частота отказов, приходящихся на единицу их длины, была в 3 раза выше, чем на трубопроводах, на которых раньше аварий не было.

В данном случае программа восстановления должна решать в первую очередь проблему реабилитации участков трубопровода, занимающих около 13 % общей длины обследованных трубопроводов. Именно на этих участках случается основная масса аварий, и, следовательно, надо принимать решение по методу обеспечения их надежности.

Исходя из особенностей строительства и эксплуатации подземных трубопроводов в г. Москве (стесненные условия, большое насыщение подземного пространства коммуникациями, тяжелые грунтовые условия, наличие блуждающих токов и др.), вопросы оценки влияния этих факторов на обеспечение надежности трубопроводов требуют тщательного рассмотрения.

Оценка функций вероятности безотказной работы контрольных участков трубопроводов показала существенное влияние на уровень их надежности

Таблица 2.11. Интенсивность отказов обследованных контрольных участков трубопроводов

| Наличие отказов | Интенсивность отказов $W$ , 1/год·км | Доля, % |
|-----------------|--------------------------------------|---------|
| Отказов не было | 1,3                                  | 87,3    |
| Был один отказ  | 3,92                                 | 12,7    |



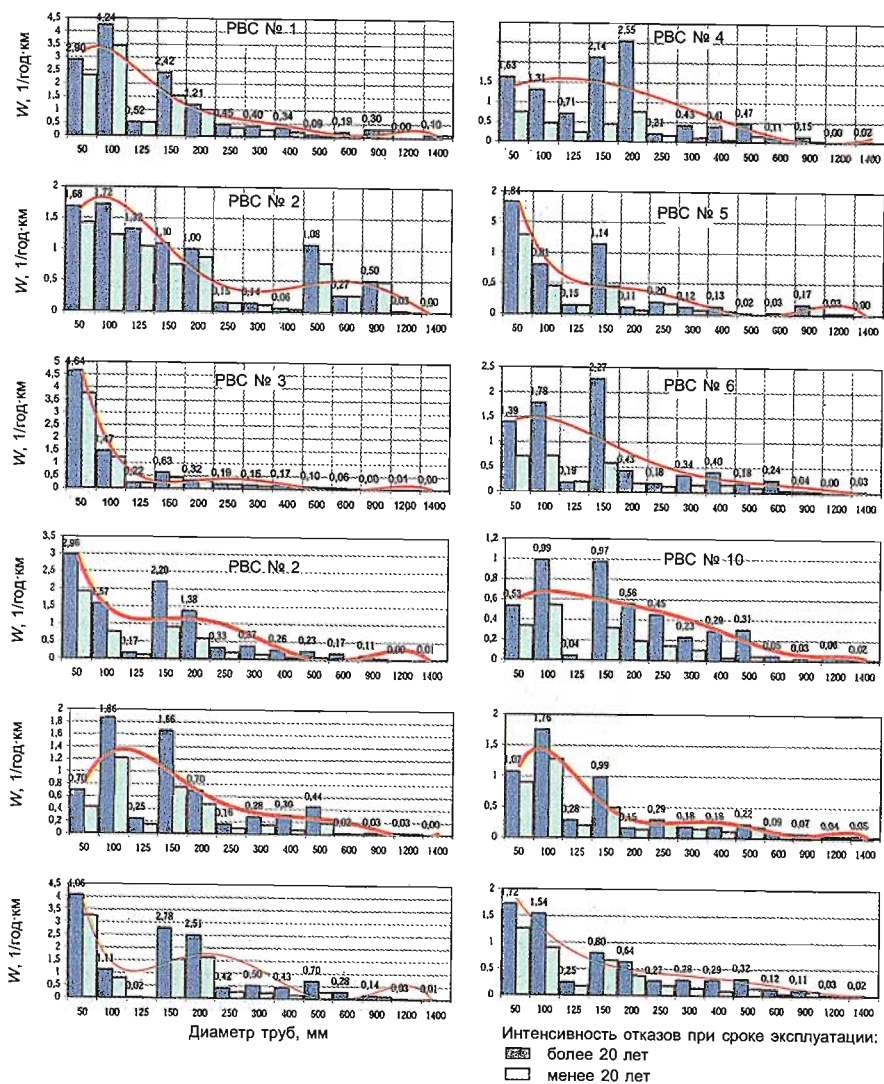


Рис. 2.18. Изменение интенсивности отказов участков трубопроводов по районам водопроводной сети города

двух значимых факторов: наличие блуждающих токов и материала труб. В меньшей степени на их надежность влияет интенсивность автомобильного движения.

На рис. 2.19 приведены эмпирические функции изменения вероятности безотказной работы (надежности) для контрольных участков (длиной 500 м) трубопроводов одного из районов эксплуатации городской водопроводной сети г. Москвы.

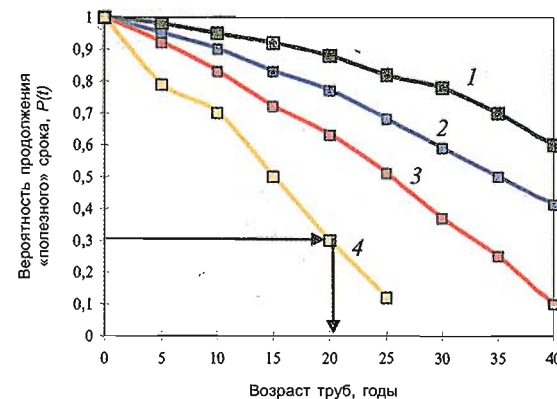


Рис. 2.19. Эмпирические функции изменения вероятности безотказной работы (надежности) для участков стальных трубопроводов городской водопроводной сети г. Москвы

График показывает, что взаимное влияние этих двух дестабилизирующих факторов значительно снижает надежность и экологическую безопасность трубопроводов. Так, для исследуемого трубопровода № 1 вероятность безаварийной работы на участке протяженностью 500 м в течение 20 лет составляет 0,9, что соответствует вероятности возникновения первой аварии 0,1 в течение 20 лет. Это эквивалентно риску возникновения аварии в год 0,01 на 1 км.

Напротив, для трубопровода № 4 эта вероятность составляет 0,3 для срока службы 20 лет, или соответствует риску аварий 0,5 в год на 1 км.

Если регламентировать по нормам европейского стандарта TWS требования к выбору объектов реновации — заменять, если случится более одного отказа (аварии с раскопкой) на 1 км в течение последних двух лет, что равносильно интенсивности отказов труб  $w = 0,5$  1/год·км, то очевидно, что реновации (замена, санация) требуют участки стальных труб диаметром 100 мм, уложенные в зоне блуждающих токов без устройства электрозащиты и при наличии интенсивного автомобильного движения. Такие участки не трудно определить с помощью созданной базы данных по паспортизации и эксплуатации сети.

На втором этапе статистических исследований были проведены с использованием автоматизированного информационно-технического обеспечения оценка и прогноз показателей надежности трубопроводов для всех районов эксплуатации водопроводной сети Москвы.

При сборе статистических данных в качестве основных случайных величин, исследуемых при оценке надежности участков трубопроводов водопроводной сети г. Москвы, принимались: число отказов этих элементов в определенный интервал времени, сроки их службы до от-

каза (наработка на отказ), время восстановления работоспособного состояния участка трубопровода (ликвидации аварии).

Сбор исходных данных проводился в следующей последовательности.

1. Формировалась (в электронном виде, с использованием программы «Надежность») планшетная карта водопроводной сети г. Москвы с нанесенной на нее аварийностью трубопроводов. Для выбранных планшетов программно формировались информационные запросы по надежности и технико-экономическим показателям трубопроводов.

2. На выбранном планшете определялись участки трубопроводов с однородными техническими и эксплуатационными характеристиками. Для первого этапа исследований выбирались участки трубопроводов с числом аварий более двух в течение последнего года эксплуатации.

3. Изучалась исполнительная и инвентаризационная документация на исследуемые участки, уточнялись время их укладки и месторасположение.

4. По данным ПУ «Мосводопровод» и диспетчерских журналов РВС при контрольной проверке карточек-заявлений фиксировались число и характер аварий участков с разбивкой по годам, вплоть до года его укладки. При этом для участков трубопроводов каждого района по эксплуатации водопроводной сети фиксировались: диаметр трубопровода, материал труб, количество аварий по срокам укладки, протяженность трубопроводов каждого диаметра и материала.

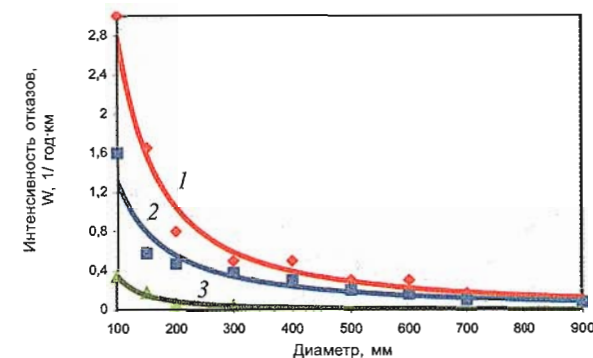
5. Фиксировалось, проводилась ли замена участка трубопровода или его санация.

Отдельно проводился сбор статистических данных по продолжительности ремонта (времени восстановления) участков трубопроводов в распределении по диаметру и материалу труб по всем районам эксплуатации водопроводной сети г. Москвы.

Таким образом, была сформирована информационно-техническая база данных (БД) по эксплуатации водопроводной сети Москвы в целом по системе. В электронные базы данных введены эксплуатационные данные по отказам (авариям с раскопкой) и восстановлением участков трубопроводов всех районов водопроводной сети города за 1991—2003 гг.

Для оценки зависимости риска отказов трубопроводов от диаметров и материала труб на **рис. 2.20** представлены полученные в результате статистических исследований эмпирические функции зависимости интенсивности отказов трубопроводов Московского водопровода от диаметра труб (в целом по системе), которые характеризуют степенной закон снижения интенсивности отказов при увеличении диаметров труб.

Аппроксимируя эти зависимости методом наименьших квадратов, получены аналитические выражения для оценки и прогноза интенсив-



**Рис. 2.20.** Эмпирические функции зависимости интенсивности отказов стальных и чугунных трубопроводов Московского водопровода от величины диаметров труб (в целом по системе): 1 — сталь; 2 — чугун; 3 — ВЧШГ

ности отказов участков трубопроводов в зависимости от диаметра и материала труб (в целом по системе трубопроводов):

$$w = 157,64D^{-1,15} \text{ — для чугунных труб,} \quad (2.22)$$

$$w = 81,51D^{-0,984} \text{ — для стальных труб,}$$

$$w = 0,85D^{-0,01} \text{ — для труб ВЧШГ,} \quad (2.23)$$

где  $D$  — диаметр трубы, мм,  $w$  — интенсивность отказов, 1/год·км.

Отмечая зависимость интенсивности отказов трубопроводов от диаметра и материала, установлено, что аварийность трубопроводов из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, который в последние годы широко использует МГУП «Мосводоканал», значительно ниже, чем аварийность стальных трубопроводов и труб из серого чугуна.

Анализ полученных данных показал, что в целом для трубопроводов Московского водопровода риск отказов с уменьшением диаметра труб увеличивается как для стальных, так и для чугунных труб. Исходя из этого, целесообразно скорректировать приоритеты при выделении финансовых средств на реабилитацию трубопроводов. Большую часть средств необходимо направлять на реновацию стальных трубопроводов диаметром 100—300 мм и ремонт раструбных соединений чугунных труб.

По результатам статистических исследований установлено, что для Московского водопровода средневзвешенное значение интенсивности отказов трубопроводов составляет  $w = 0,5$  1/год·км, что выше аналогичных показателей для трубопроводов систем водоснабжения большинства городов Европы, но значительно ниже средних по РФ.

Контроль этой величины позволяет фиксировать фактический уровень надежности и риска отказов труб, соответствующий суще-



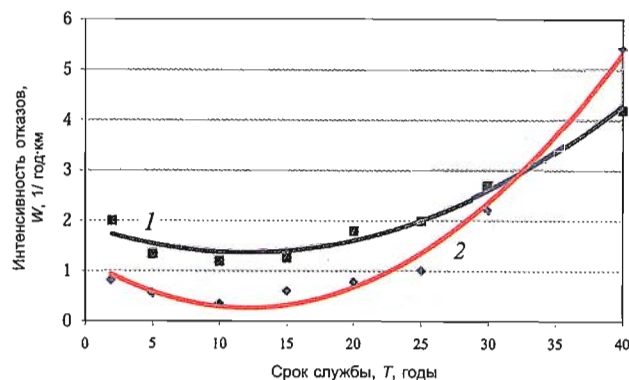


Рис. 2.21. Изменение интенсивности отказов трубопроводов водопроводной сети города Москвы по срокам их эксплуатации: 1 — чугун; 2 — сталь

ствующему техническому состоянию трубопроводов водопроводной сети Москвы, организации их технического обслуживания и интенсивности обновления.

Кроме того, анализ показателей надежности трубопроводов различных сроков службы, полученных из опыта их эксплуатации, позволяет определить те из них, которые имеют наибольший риск возникновения аварий и для которых необходимо провести анализ причин высокой аварийности и в конечном итоге — принимать решения по повышению их надежности и экологической безопасности.

На рис. 2.21 приведен обобщенный график эмпирических функций интенсивности отказов трубопроводов водопроводной сети города по срокам их эксплуатации.

Отмечается наличие зоны стабильности интенсивности отказов в пределах 10—17 лет эксплуатации, затем аварийность труб и соответственно экологический риск от изливов воды в окружающую среду резко возрастает.

Полученные в результате статистических исследований интервальные оценки наработки на отказ участков стальных трубопроводов системы водоснабжения города показывают, что эти значения с вероятностью  $\delta = 0,95$  находятся в пределах  $4,0 \geq T \geq 0,9$  года и весьма различны для условий эксплуатации отдельных районов водопроводной сети города. В качестве примера на рис. 2.22 приведены гистограмма и вид функции наработки на отказ участков стальных трубопроводов одного из районов эксплуатации водопроводной сети города.

Особое внимание при статистических испытаниях было уделено оценке среднего времени восстановления трубопроводов — ликвидации аварии. Именно этой величиной определяется длительность поступления воды в грунт при аварии трубопровода.

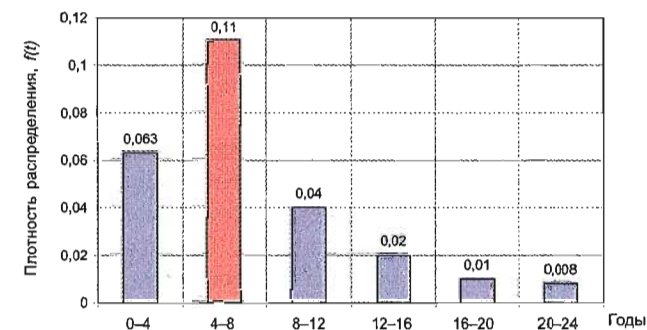


Рис. 2.22. Плотность распределения наработки на отказ стальных трубопроводов одного из районов эксплуатации водопроводной сети Москвы ( $D = 300$  мм)

Значимость и практическое использование результатов статистических оценок времени восстановления участков трубопроводов городской водопроводной сети определяется возможностью оценки вероятности восстановления трубопроводов за определенное время, в том числе и за период времени, предусмотренный нормами. Это позволяет оценить эффективность работы и оснащение ремонтно-восстановительных бригад, а также ремонтпригодность трубопроводов.

В целом по системе средняя длительность восстановления трубопроводов Московского водопровода с доверительной вероятностью  $\delta = 0,95$  колеблется в пределах 10—12 ч, что указывает в целом на оперативность и достаточную техническую оснащенность работы аварийных бригад Московского водопровода и хорошую квалификацию персонала.

В целом результаты статистических исследований показали, что условия эксплуатации и дестабилизирующие надежность трубопроводов Московского водопровода факторы по степени их влияния на надежность труб могут быть ранжированы в следующей последовательности: материал труб и его качество, диаметр, наличие и качество изоляционного покрытия, год укладки, величина и динамика изменения напоров в сети, грунтовые условия, наличие блуждающих токов, число уже произошедших аварий на участке, интенсивность автомобильного движения, сезон года.

## 2.5. НАДЕЖНОСТЬ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ ГОРОДСКОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

### 2.5.1. Основные требования, предъявляемые к арматуре

Одним из важнейших элементов системы водоснабжения является трубопроводная арматура, с помощью которой осуществляется регулирование потоками, обеспечивается возможность ремонта и обслу-

живания трубопроводов. От надежной работы арматуры в значительной степени зависит надежность работы городской водопроводной сети. Поэтому выбор арматуры должен производиться тщательно, с учетом ее назначения и условий работы.

В системах водоснабжения, как правило, используется арматура следующего назначения: водоразборная, запорная, запорно-предохранительная, предохранительная, регулирующая.

В общем, к арматуре, как к изделию, должен предъявляться ряд требований, основными из которых являются: прочность, долговечность, безотказность, герметичность, транспортабельность, ремонтпригодность, готовность к выполнению цикла срабатывания (открытие, закрытие) после длительного периода нахождения в открытом или закрытом положении, допустимость перепада давления до и после арматуры, исключаяющего возникновение кавитационных явлений, опасных для работоспособности арматуры.

Прочность арматуры обеспечивается изготовлением деталей из соответствующих конструкционных материалов. Наиболее важна прочность корпуса, разрушение которого по своим последствиям особенно опасно.

Прочностные параметры гарантируются условным давлением  $P_y$  — наибольшим избыточным рабочим давлением при температуре среды 20 °С. В каталогах трубопроводной арматуры обычно дополнительно указываются ее рабочее и пробное давление.

Долговечность арматуры в зависимости от условий ее работы может ограничиваться различными факторами. Ресурс (временной или цикловой) могут определять износ деталей, коррозия материала, эрозия деталей рабочего органа, старение резиновых или пластмассовых деталей. Быстрее всех обычно выходят из строя детали рабочего (регулирующего) органа: уплотнительные кольца, золотники, плунжеры, краны, подвергающиеся механическому, коррозионному и кавитационному износу. При интенсивной эксплуатации запорной, предохранительной и регулирующей арматуры могут ускоренно выходить из строя детали ходового узла.

Безотказность арматуры сохраняется при правильной ее эксплуатации и тщательном техническом обслуживании, если конструкция и материалы деталей выбраны правильно и соответствуют условиям работы системы водоснабжения.

Наибольшее число отказов возникает в рабочем органе арматуры в результате коррозии, эрозии и вибрации. Вибрации в регулирующей и запорно-предохранительной арматуре во время открытия при больших перепадах давления могут вызвать поломку деталей и разрушение седел и даже корпусов. Эрозия приводит к ускоренному износу седел и затвора.

На надежность арматуры оказывают влияние следующие факторы [26]: частота колебаний — определяет общее число циклов, а следова-

тельно, и срок службы детали до усталостного разрушения. Если эта частота совпадает с собственной частотой колебаний какой-либо детали или узла арматуры, то возникает явление резонанса и арматура может выйти из строя после нескольких часов работы; ускорение (определяемое сочетанием частоты и амплитуды колебаний) характеризует динамическую силу, действующую на арматуру.

Источником вибраций в процессе перемещения затвора арматуры или при его неподвижном положении является турбулентное движение рабочей среды. Для уменьшения вибраций необходимо снижать нестационарность потока, применять гашение вибраций, снижать перепад давления на рабочем органе и использовать виброустойчивые конструкции. Чтобы уменьшить вероятность возникновения вибраций, необходимо до и после регулирующих устройств предусматривать прямые участки трубопроводов длиной не менее 10 диаметров трубопровода. Имеются рекомендации — длину прямых участков принимать равной 12—20 диаметрам. Для регулирующих устройств, например, могут применяться antivибрационные приставки.

Усталостное разрушение деталей происходит наиболее часто в местах концентрации напряжений, например во фланцах, патрубках и других деталях.

Арматура считается герметичной при следующих условиях: при закрытом запорном органе рабочая среда не проходит из одной части в другую, отделенную арматурой; отсутствуют протечки через сальниковый узел, фланцевые и другие разъемные соединения; металл корпусных деталей имеет плотную структуру, отсутствуют пористые участки, раковины, трещины, через которые могла бы просачиваться рабочая среда в окружающую атмосферу.

Требования к арматуре по готовности к открытию без затруднений после длительного пребывания в закрытом положении (и, наоборот, к закрытию) вызываются тем, что во многих случаях запорная и предохранительная арматура должна срабатывать редко и при этом возникают благоприятные условия для «прикипания» уплотнительных поверхностей затвора и седла друг к другу. Для обеспечения безотказной работы изделий необходимо в объеме работ по техническому обслуживанию включать периодическое выполнение цикла «открыто — закрыто», чтобы удостовериться в работоспособности арматуры.

Из приведенных данных следует, что перечисленные параметры, характеризующие арматуру, зависят от правильного определения области возможного применения различных видов арматуры, обеспечения эксплуатационных режимов работы системы и обслуживания арматуры, совершенства конструктивных решений, соблюдения норм на проектирование систем водоснабжения, в которых должны указываться функциональные требования к арматуре, обеспечивающие эффективную работу всей системы в целом.



Для оценки надежности работы различных типов трубопроводной арматуры в реальных условиях эксплуатации необходимо проводить систематический сбор и обработку статистических данных обо всех повреждениях и авариях арматуры и на их основе определить численные показатели надежности.

### 2.5.2. Показатели надежности трубопроводной арматуры

Надежность трубопроводной арматуры (запорно-регулирующей арматуры, вентузов, пожарных гидрантов и др.) можно оценить количественными показателями, столь же объективными, как вес, напор, подаваемый расход воды и др. Разница заключается лишь в том, что указанные показатели можно определять по приборам, а показатели надежности определяют в результате обработки статистических данных, полученных из опыта эксплуатации [27, 28].

Поэтому «источником» для определения показателей надежности трубопроводной арматуры являются наблюдения за их отказами (авариями и повреждениями) и восстановлением, а «точность измерения» зависит от количества арматуры, за которой установлено наблюдение, и от продолжительности наблюдений [26].

Надежность как свойство трубопроводной арматуры проявляется в полной мере в процессе его эксплуатации, для которой характерна цикличность. В общем случае нормальный цикл эксплуатации арматуры включает подготовку к работе, безотказную работу, простои и профилактические мероприятия.

На длительность нормального цикла оказывают существенное влияние режим эксплуатации и надежность арматуры. Чем менее надежно оборудование, тем чаще проводятся профилактические мероприятия по поддержанию его работоспособности и возрастает длительность их проведения.

Нормальный цикл работы арматуры нарушается случайными событиями в виде отказов и восстановлений работоспособности, которые при реализации повседневных условий эксплуатации систем водоснабжения могут произойти, а могут и не произойти. Случайные события — отказы (аварии и повреждения), восстановления трубопроводной арматуры — принято связывать с непрерывной случайной величиной  $t$ , т.е. временем, прошедшим от начала эксплуатации арматуры до отказа или от начала ремонта до его восстановления.

Поскольку время возникновения отказов и продолжительность ремонтов трубопроводной арматуры являются случайными величинами, то показатели надежности имеют вероятностный характер. Им дают статистическое и вероятностное определения. Первое необходимо для оценки показателей надежности по результатам эксплуатации трубопроводной арматуры и участков трубопроводов в системах

или специальных испытаний их на надежность, второе — при теоретическом анализе надежности сооружений и арматуры систем водоснабжения.

Проф. Ю.А. Ильиным показано, что показатели надежности арматуры целесообразно классифицировать по тому свойству надежности, которое они характеризуют. В этой связи показатели надежности можно разделить на:

- единичные, которые характеризуют какое-нибудь одно свойство надежности трубопроводной арматуры, например безотказность, ремонтпригодность, долговечность или сохраняемость;
- комплексные, которые характеризуют одновременно несколько свойств надежности, например коэффициент готовности, учитывающий такие свойства надежности трубопроводной арматуры, как ее безотказность и ремонтпригодность.

При оценке безотказности трубопроводной арматуры используется ряд показателей, аналогичных показателям надежности участков трубопроводов: вероятность безотказной работы или вероятность отказа, среднее время наработки до отказа, интенсивность отказов, частота или средняя частота отказа (рис. 2.23).

Вероятность безотказной работы трубопроводной арматуры  $P(t)$  — вероятность того, что она будет сохранять свои рабочие параметры в заданных пределах в течение определенного промежутка времени  $t$  при определенных условиях эксплуатации.

Из определения следует, что вероятность безотказной работы — это вероятность того, что время  $t_1$  от момента начала работы арматуры до ее отказа будет больше или равно времени  $t$ , в течение которого определяется вероятность безотказной работы, т.е.

$$P(t) = P(t_1 > t). \quad (2.24)$$

Наряду с  $P(t)$  часто используется и другая характеристика — вероятность отказа:

$$Q(t) = 1 - P(t) = P(t_1 < t). \quad (2.25)$$

Для определения  $P(t)$  или  $Q(t)$  по результатам статистических данных об отказах трубопроводной арматуры при ее эксплуатации используется метод непосредственного подсчета вероятностей. При этом:

$$P(t) = \frac{N_o - n(t)}{N_o}, \quad (2.26)$$

где  $N_o$  — число однотипных видов арматуры, за которыми велось наблюдение в течение времени  $t$ ;  $n(t)$  — число отказавших видов арматуры (например, задвижек).

Частотой отказов трубопроводной арматуры  $a(t)$  называется отношение числа отказавших элементов (образцов) в единицу времени к общему количеству арматуры, за которой ведется наблюдение при ус-

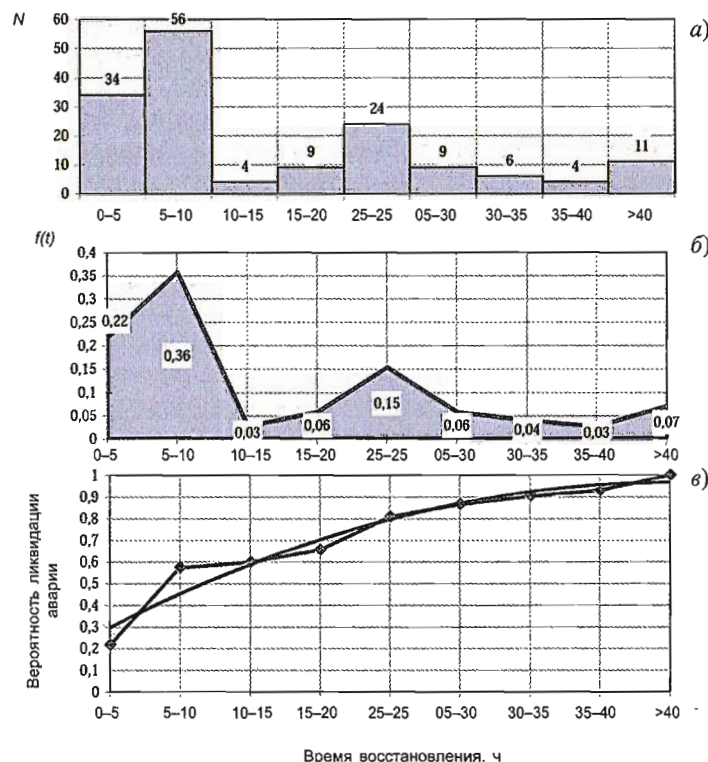


Рис. 2.23. Статистическая оценка среднего времени восстановления участков стальных трубопроводов  $D = 150$  мм, Московского водопровода РВС № 5: а — распределение случаев восстановления трубопроводов по диапазонам времени ликвидации аварии; б — плотность распределения среднего времени восстановления трубопроводов; в — функция вероятности ликвидации аварий

ловии, что отказавшие образцы не восстанавливаются и не заменяются исправными.

Из определения следует, что частота отказов есть плотность распределения времени работы арматуры до отказа, т.е.

$$a(t) = f(t) = Q'(t) = -P'(t). \quad (2.27)$$

Для определения  $a(t)$  по результатам статистических данных об отказах арматуры используют зависимость

$$a(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_o \Delta t}, \quad (2.28)$$

где  $n(\Delta t)$  — число отказавших образцов арматуры в интервале времени  $\Delta t$ ;  $\Delta t$  — временные интервалы, на которые разделен период, в течение которого ведется наблюдение за оборудованием.

Интенсивность отказов  $w(t)$  трубопроводной арматуры — есть условная вероятность его отказа в интервале времени  $(t, t + \Delta t)$  при условии, что до момента  $t$  оборудование работало безотказно, т.е.

$$w(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = -\frac{a(t)}{P(t)}. \quad (2.29)$$

Интенсивность отказов  $w(t)$  характеризует степень надежности арматуры в каждый данный момент периода ее эксплуатации. На практике для определения  $w(t)$  по результатам статистических данных об отказах трубопроводной арматуры используют зависимость:

$$w(t) = -\frac{n(\Delta t)}{N(\Delta t) \cdot \Delta t}, \quad (2.30)$$

здесь  $n(\Delta t)$  — число трубопроводной арматуры (например, задвижек определенного типа), отказавшей в интервале времени наблюдения  $\Delta t$ ;  $N(\Delta t)$  — общее число арматуры, эксплуатируемой в интервале времени наблюдения (1 год).

С ранее приведенными показателями надежности интенсивность отказов связана зависимостями:

$$P(t) = e^{-\int_0^t w(t) dt} \quad \text{и} \quad a(t) = w(t) e^{-\int_0^t w(t) dt}. \quad (2.31)$$

Интенсивность отказов имеет размерность, обратную размерности случайной величины  $t$ . По ней наиболее просто определяются остальные количественные показатели надежности арматуры, поэтому ее принято считать основным показателем надежности трубопроводной арматуры.

Среднее время безотказной работы  $T$  трубопроводной арматуры представляет собой математическое ожидание случайной величины  $t$ :

$$T = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (2.32)$$

На практике для определения показателя  $T$  по результатам статистических данных об отказах арматуры используют зависимость

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{N_o} t_i}{N_o}, \quad (2.33)$$

где  $t_i$  — время работы до отказа  $i$ -го элемента (задвижки, вентуза, пожарного гидранта и т.п.) арматуры.

Наработкой на отказ  $t_{cp}$  называется среднее значение времени работы арматуры между соседними отказами при условии, что отказавшие образцы восстанавливаются. Таким образом:



$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}, \quad (2.34)$$

где  $N$  — число единиц арматуры, отказавших за время  $t$ ;  $t_1$  — время исправной работы арматуры между  $(i-1)$ -м и  $i$ -м отказами.

Из определения следует, что наработка на отказ является средним временем между соседними отказами и равна величине, обратной средней частоте отказов.

Перечисленные показатели являются основными количественными характеристиками безотказности трубопроводной арматуры. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки, поэтому только в совокупности они могут характеризовать надежность работы арматуры водопроводных сооружений и систем [26, 27].

При оценке ремонтпригодности трубопроводной арматуры используется ряд показателей: вероятность восстановления или вероятность невозможности восстановления; среднее время восстановления; интенсивность восстановления, частота или плотность вероятности восстановления.

Вероятность восстановления (ремонта) трубопроводной арматуры  $F_B(t)$  — вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации восстановление будет закончено в течение определенного промежутка времени  $t$ . Из определения следует, что вероятность восстановления — это вероятность того, что время  $\tau$  от момента начала отыскания неисправности до ее устранения будет меньше или равно времени  $t$ , в течение которого определяется вероятность восстановления, т.е.

$$F_B(t) = P(\tau \leq t). \quad (2.35)$$

Данная функция характеризует вероятность восстановления трубопроводной арматуры в заданное время, в частности в период времени, предусмотренный нормами (СНиП, ведомственные нормы).

Плотность распределения времени восстановления описывается выражением:

$$f(t) = me^{-mt}, \quad (2.36)$$

где  $m$  — интенсивность восстановления,  $m = 1/t_B$ .

Иногда более удобной характеристикой является  $V_B(t)$  — вероятность невозможности восстановления за время  $t$ . Восстановление и невозможность восстановления арматуры являются событиями несовместимыми и противоположными, поэтому вероятность невозможности восстановления представляют в виде:

$$V_B(t) = 1 - F_B(t) = P(\tau > t). \quad (2.37)$$

На практике для определения  $F_B(t)$  или  $V_B(t)$  по результатам статистических данных о продолжительности обнаружения и устранения

отказов трубопроводной арматуры используют метод непосредственного подсчета вероятностей. При этом

$$F_B(t) = -\frac{n_B(t)}{N_{om}}, \quad V_B(t) = -\frac{N_{om} - n_B(t)}{N_{om}}, \quad (2.38)$$

где  $N_{om}$  — число однотипных образцов арматуры, подлежащих ремонту в течение времени  $t$ ;  $n_B(t)$  — число отремонтированных образцов арматуры за время  $t$ .

Среднее время восстановления  $t_B$  трубопроводной арматуры представляет собой математическое ожидание случайной величины продолжительности ремонта  $\tau_B$ .

Для определения  $t_B$  по результатам статистических данных о продолжительности устранения аварий арматуры может быть использована зависимость:

$$t_B = \frac{\sum_{i=1}^{N_{om}} \tau_{Bi}}{N_{om}}, \quad (2.39)$$

где  $\tau_{Bi}$  — продолжительность ремонта  $i$ -го образца арматуры.

Среднее время восстановления трубопроводной арматуры — достаточно наглядный показатель его ремонтпригодности и характеризует работу ремонтно-восстановительных бригад.

В ряде случаев показатели надежности трубопроводной арматуры определяются расчетным методом, который предусматривает выделение элементов арматуры, лимитирующих безотказность его работы. Для выделенных элементов составляют логическую схему соединения, отражающую их роль в обеспечении надежности работы арматуры.

При оценке надежности запорно-регулирующей арматуры в качестве элементов логической схемы выделяют клапанно-запорное устройство, скользящее уплотнение, корпус, прокладки, резьбовые соединения, пружины возвратные, винтовые пары, сальниковый узел и т.п. Для выделенных элементов (при наличии подобной статистической информации) определяют вид распределения наработки на отказ, показатели надежности (средняя наработка на отказ или интенсивность отказов), коэффициент вариации.

В целом вышеприведенная методика оценки показателей надежности трубопроводной арматуры позволяет оценить фактический уровень их надежности, что необходимо для контроля и анализа возможного изменения этих величин.

В качестве примера на рис. 2.24 приведена распечатка результатов выполненных на ЭВМ расчетов по оценке частоты отказов задвижки МГР-300.

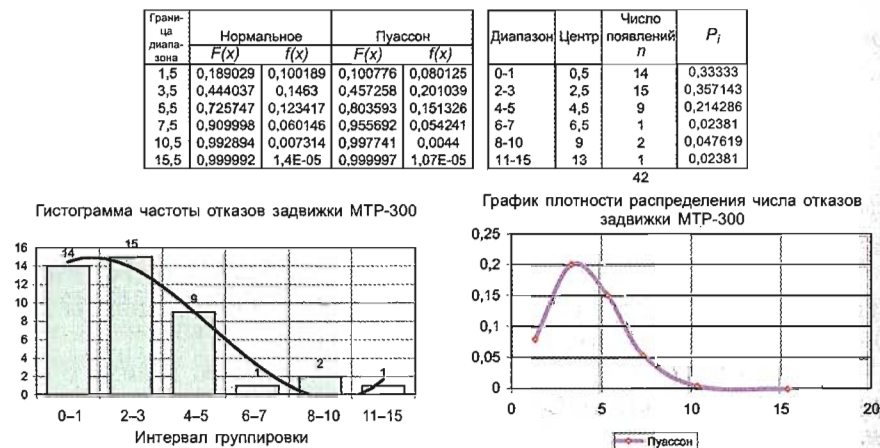


Рис. 2.24. Оценка частоты отказов задвижки МТР-300

### 2.5.3. Конструктивная надежность запорно-регулирующей арматуры Московского водопровода

Надежность работы городской водопроводной сети в значительной мере зависит от надежности и качества установленной на ней запорно-регулирующей арматуры (ЗРА), которая должна обеспечивать: требуемые (нормативные) показатели надежности; герметичность перекрытия потока воды; легкость управления; небольшие вес и габариты; срок службы ЗРА должен быть соразмерен сроку службы трубопровода; возможность установки в безколдежном варианте.

Следует отметить, что факторный анализ условий возникновения повреждений на запорно-регулирующей арматуре городской водопроводной сети затруднен в связи с многообразием использующейся на трубопроводах арматуры, мест ее установки, степени использования (постоянное — для регулирующих и эпизодическое — для секционирующих).

Можно рассмотреть лишь наиболее частые и характерные факторы, вызывающие повреждения арматуры в результате выхода из строя ее типовых элементов, для большинства отечественных задвижек.

На водопроводной сети г. Москвы установлено более 98000 единиц запорно-регулирующей арматуры диаметром от 50 до 1400 мм различных типов.

На рис. 2.25 приведена классификация запорно-регулирующей арматуры Московского водопровода. Основной тип запорной арматуры — задвижки типа МТР (87 %). Распределение запорно-регулирующей арматуры по типу и диаметрам показано на рис. 2.26.

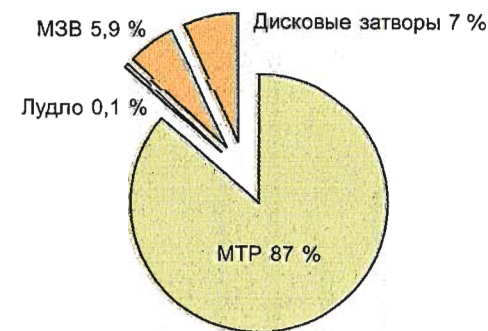


Рис. 2.25. Классификация типов запорно-регулирующей арматуры Московского водопровода

Тяжелые условия эксплуатации, износ и низкая конструктивная надежность и недолговечность отечественной трубопроводной арматуры Московского водопровода приводят к значительному числу повреждений арматуры и оборудования в колодцах сети и соответственно потерям воды — материальному и социальному ущербу.

Наибольшее количество повреждений ЗРА отмечается на арматуре, установленной на сети (82 %), диаметр 300 мм (рис. 2.27, 2.28) и происходит в весенние и зимние месяцы года (рис. 2.29).

Практика эксплуатации существующей ЗРА на Московском водопроводе показала, что задвижки типа МТР, «Лудло» и поворотно-дисковые затворы (ПДЗ), выпускавшиеся заводом «Водоприбор» до 1991 г., в настоящее время морально и физически устарели, не отвечают вышеперечисленным требованиям и требуют планомерной замены.

В 70-х гг. XX в. завод «Водоприбор» практически полностью прекратил выпуск задвижек типа МТР  $D_y = 100—200$  мм и приступил к изготовлению поворотно-дисковых затворов (ПДЗ) диаметром от 50 до 400 мм, около 7000 шт. которых было установлено на водопроводной сети города Москвы. Однако эти поворотно-дисковые затворы отличались несовершенством конструкции и исключительно низким качеством материала, что приводило к потере управляемости и герметичности затвора при закрытии из-за сквозной коррозии и кавитационного износа диска.

В годы массовой застройки трубопроводы новых районов города были оснащены в основном поворотными затворами данной конструкции. При локализации поврежденных трубопроводов в этих районах возникают большие проблемы из-за сложности перекрытия водопроводной сети ввиду технически несовершенной и неисправной арматуры. Работники аварийной службы вынуждены расширять зону закрытия сети, что приводит к потерям времени, увеличению объемов из-



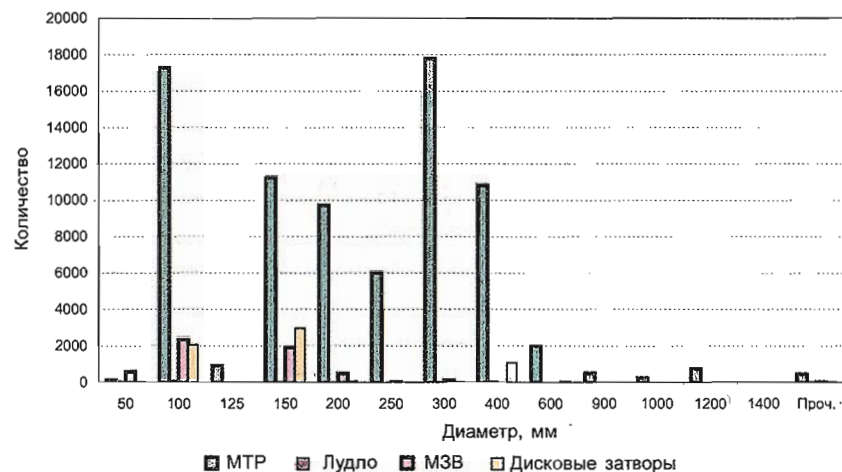


Рис. 2.26. Распределение запорно-регулирующей арматуры по типу и диаметрам

лившейся воды, отключению больших жилых массивов, административных зданий и производственных предприятий.

В последние годы МГУП «Мосводоканал» проводит модернизацию и замену запорной арматуры устаревших конструкций и типов, в первую очередь происходит замена ПДЗ старой конструкции.

Практика эксплуатации различных типов ЗРА позволяет обобщить основные недостатки и «слабые» места запорно-регулирующей арматуры, установленной на водопроводной сети города Москвы.

**Задвижки МТР диаметром 100—1200 мм.** На водопроводной сети Москвы установлено около 80 тыс. задвижек данного типа, это самая многочисленная группа, составляющая 87 % от общего количества арматуры.

Принцип действия и основные узлы задвижек, использующихся в городской водопроводной сети, несмотря на различные конструктивные решения, в основном одинаковы, что позволяет обобщать наблюдения над сравнительно малым количеством типов задвижек на почти все применяемые типы задвижек. Рассмотрим в качестве примера клиновую задвижку.

Для этого конструктивного типа можно выделить следующие наиболее характерные повреждения.

1. Нарушение герметичности контура-замка — соприкосновение уплотняющих колец затвора с уплотняющими кольцами седла корпуса по ряду причин:

- а) шероховатость уплотняющих поверхностей;
- б) коробление и деформация плоскости затвора;

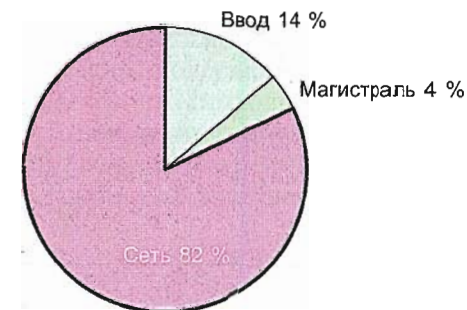


Рис. 2.27. Количество повреждений ЗРА по назначению сети (в течение года)



Рис. 2.28. Изменение числа повреждений ЗРА по диаметрам (в течение года)

- в) неравномерный износ и царапины;
- г) засорение пазов и других углублений, а также непосредственно контактирующих поверхностей;
- д) выпадение инородных частиц в нижнюю полость корпуса задвижки и др.

2. Отказы задвижек с невымкнутым шпинделем из-за образования на резьбе шпинделя прочных отложений.

3. Нарушения сальника. Эти повреждения вызываются следующими причинами:

- а) неправильным выбором набивки без достаточного учета особенностей ее работы;
- б) некачественной укладкой набивки;
- в) конструктивными дефектами сальников;
- г) плохим надзором за работой сальников.

4. Повреждения разъемного соединения, состоящего из трех элементов: прокладки, болтов (шпильки) и фланцев.

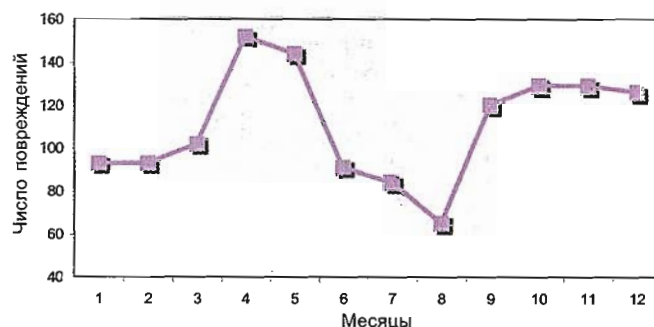


Рис. 2.29. Изменение числа повреждений ЗРА по месяцам года

Причины этих повреждений:

- а) неоднородность состава мягких прокладок, их пористость;
- б) эрозийное разрушение прокладки из-за длительного воздействия на них протекающей воды;
- в) коррозия болтов или шпилек;
- г) трещины во фланцах из-за ряда причин.

По нашему мнению, такие виды повреждений, как падение плашек (23 %) и повреждение резьбы шпинделя, относятся к конструктивным недоработкам. Падение плашек является скрытым и весьма опасным дефектом, так как система водоснабжения в Москве закольцована и бывает трудно оценить аварийную ситуацию.

Большое количество повреждений (25 %) приходится на износ тарелок и уплотнительных колец, т.е. связано непосредственно с качеством транспортируемой воды (вспомним о «блуждающих» шарах пожарных гидрантов). Это еще раз подтверждает, что все в системе водоснабжения взаимосвязано и на надежность работы водопроводной арматуры влияет не только качество проектирования и изготовления, но и режимы работы системы (цикличность, гидравлические удары, температурный и скоростной режимы), качество и количество воды.

Одной из основных неисправностей задвижки МТР является негерметичность сальникового уплотнения, включая коррозионный износ и разрушение болтов и шпилек. До 1997 г. практически все задвижки МТР имели в качестве уплотнения сальниковую набивку ХБСД-10, срок службы которой ограничивался тремя годами.

На Московском водопроводе были проведены сравнительные испытания более десяти видов уплотнений различной конструкции и материала. По результатам испытаний была предложена конструкция уплотнения из свилена, выполненная в виде комплекта самоустанавливающихся больших и малых колец.

Как показала практика, свойство самоустанавливающихся колец обеспечило полную герметичность узла уплотнения даже при ради-

альном смещении шпинделя задвижки (на 2—3 мм) относительно сальниковой коробки, что отмечается почти в половине установленных задвижек. В последние годы модернизировано около 80 тыс. задвижек диаметром 100—400 мм, что позволило более чем в 7 раз увеличить срок службы уплотнения и снизить количество выбиваний воды из колодца на 31 %.

Рассмотрим более детально конструктивные причины низкой надежности задвижек типа МТР.

**Редуктор задвижек диаметром 600—1200 мм.** Привод задвижки выполнен в виде открытой конической передачи. Шестерни изготовлены из серого чугуна методом литья в землю, после отливки не обрабатываются. При работе под нагрузкой шестерни часто выходят из зацепления, зубья шестерен откалываются, что приводит к искажению показаний счетчика оборотов, необходимости постоянного присутствия наблюдателя в камере, увеличению времени закрытия задвижек при локализации повреждений на сетях города.

**Винтовая пара «шпиндель-гайка».** Быстрый износ и срезание резьбы бронзовой гайки. Шпиндель изготавливается из нержавеющей стали с низким качеством поверхности резьбы, что в сочетании с высокими контактными напряжениями и усилиями при открытии или закрытии задвижки является причиной быстрого износа бронзовой гайки.

В последнее время имеются случаи отрыва упорной втулки от шпинделя, которая закрепляется по новой технологии при помощи резьбы и сварного шва.

**Крышка упорная.** При возникновении максимального осевого усилия на шпинделе при закрытии задвижки происходит разлом крышки в сечении центрального отверстия.

**Серьги тарелок.** Разрыв серьги в сечении отверстий. Самопроизвольное отвинчивание крепежных болтов.

**Корпус задвижки.** При горизонтальном расположении задвижки (ось шпинделя расположена горизонтально) в нижней части корпуса отсутствует окно для прочистки. Попадание инородных предметов или песка в полость корпуса препятствует полному закрытию задвижки.

**Плашки.** Задирки уплотнительных поверхностей плашек приводят к нарушению герметичности задвижки. Этот вид повреждений в большей степени связан непосредственно с качеством транспортируемой воды, наличием песка и посторонних предметов (электроды, окалина и т.п.).

**Поворотные дисковые затворы.** На городской водопроводной сети Москвы находятся в эксплуатации более 5650 поворотных дисковых затворов (ПДЗ), что составляет 5,6 % от общего количества установленных запорной арматуры.

По конструкции ПДЗ разделяются на два типа:

$D_y = 100—400$  мм с уплотнением по корпусу (изготовители: ОАО «Водоприбор», ЗАО «Данфосс», ЗАО Арматэк»);  $D_y = 600—1400$  мм с



уплотнением по диску (изготовители: Иваново-Франковский арматурный завод, Усть-Каменогорский арматурный завод).

Поворотный затвор с уплотнением по корпусу состоит из корпуса, уплотнительной манжеты, диска с приводным валом и червячного редуктора.

Герметизация затвора в закрытом положении происходит за счет вдавливания в манжету диска, установленного симметрично относительно оси вращения. Диаметр диска превышает внутренний диаметр манжеты на величину, обеспечивающую заданную деформацию манжеты. Герметичность затвора обеспечивается при отклонении диска от вертикали на угол до  $4^\circ$ .

Основными преимуществами затворов по сравнению с задвижками являются малые габариты и масса, а также легкость управления. Кроме того, затворы допускают работу в режимах неглубокого дросселирования, вызывают меньшее повышение давления в сети при закрытии.

Затворы с уплотнением по корпусу так же, как и задвижки, обеспечивают двухстороннюю герметичность, а существующие конструкции затворов с уплотнением по диску — лишь одностороннюю, при подаче давления на диск со стороны вала. При подаче давления с противоположной стороны резиновый шнур отжимается от конусного уплотнителя седла и между шнуром и поверхностью седла образуется кольцевой зазор в несколько десятых миллиметра, через который происходит протечка воды. Величина этой протечки незначительна и зависит от давления и диаметра диска.

Следует отметить, что ПДЗ ( $D_v = 100\text{—}400$  мм) с уплотнением по корпусу производства завода «Водоприбор» отличали несовершенство конструкции и исключительно низкое качество материала диска, что повсеместно приводит к потере управляемости и герметичности затвора при закрытии из-за сквозной коррозии и кавитационного износа кромки диска. 75 % отказов ПДЗ приходится на кавитационный износ диска.

Для анализа надежности отечественных поворотных затворов были проведены сравнительные испытания на Рублевской водопроводной станции затворов с различными дисками: без специального покрытия (базовый вариант), с наплавкой по уплотнительной кромке нержавеющей стали 12×18НТ и бронзой. Наплавка производилась на заводе «Водоприбор».

Испытания показали, что затворы ЗАО «Данфосс» и ЗАО «Арматэк» зарекомендовали себя гораздо лучше в эксплуатации, чем затворы завода «Водоприбор», они имеют высокие показатели надежности, герметично перекрывают трубопровод, легки в управлении.

В практике Московского водопровода ПДЗ-400 устанавливаются, как правило, в качестве разделительной запорной арматуры при парных вводах для крупных потребителей воды. Отключение таких абонен-

тов для замены неисправной арматуры сопряжено с большими сложностями, так как работы должны производиться по согласованию с районными управами и префектурами административных округов только в ночное время и в строго ограниченных временных интервалах.

Исходя из этих требований, наиболее приемлемым вариантом является замена неработающих ПДЗ одного номинала на новые того же номинала и с той же строительной длиной. При этом отпадает необходимость в газозлектросварочных работах.

Альтернативным вариантом замены неисправных ПДЗ-400 на новые затворы является установка задвижек МЗВ-300 с переходными фланцами на 400 мм. Несмотря на то что монтаж задвижки из-за большей строительной длины и необходимости «переврезки» одного из вводов требует больше времени и трудозатрат, чем установка нового затвора, общие затраты на установку задвижки с учетом меньшей ее стоимости по сравнению с затвором делает этот вариант более предпочтительным.

Задвижки типа МЗВ завода «Водоприбор» с обрешиненным клином, несомненно, имеют наиболее современную конструкцию. Преимущества задвижек данного типа перед другой запорной арматурой — облегченный корпус, минимальные строительные габариты, герметичность закрытия, отсутствие сальниковой коробки, длительная эксплуатация без профилактических работ. Однако при эксплуатации более 10 лет задвижки типа МЗВ имеют тенденцию к зарастанию внутренней поверхности и, следовательно, к потере герметичности из-за неплотности прилегания обрешиненного клина к опорной поверхности корпуса, поэтому требуется специальный подбор внутреннего покрытия корпуса во избежание его обрастания.

Анализ статистических данных по повреждаемости запорно-регулирующей арматуры, эксплуатируемой на Московском водопроводе, позволил оценить и ранжировать основные виды неисправности ЗРА:

- течь сальника 25 %;
- невозможность открытия (регулирования) 20 %;
- нарушение герметичности («не держит») 20 %.

Характер неисправностей задвижки типа МЗВ:

- обрыв шпинделя 68 %;
- срезание резьбы гайки клина 20 %;
- трещина корпуса 12 %.

Характер неисправностей задвижки типа МТР:

- коррозионный износ резьбы болтов 38 %;
- обрыв шпинделя 22 %;
- разрушение серьги 26 %.

Характер неисправностей задвижки типа Лудло:

- износ резьбы гайки на винте (36 %), в основном для  $D = 100$  мм;
- обрыв шпинделя 35 %;
- задиры колец корпуса задвижки 16 %;

задир колец тарелки 17 %.

Характер неисправностей поворотного затвора:

коррозия диска (58 %), в основном для  $D = 400$  мм;

коррозия редуктора 19 %;

кавитационный износ диска 12 %;

задир уплотнения корпуса 11 %.

**Пожарные гидранты.** На городской водопроводной сети Москвы установлено более 48 000 гидрантов. Конструкция отечественных пожарных гидрантов (ПГ) за последние два десятилетия претерпела ряд изменений, к сожалению, не повлиявших на надежность данного типа водопроводной арматуры.

Практика эксплуатации пожарных гидрантов показала, что среди деталей и узлов ПГ наиболее подвержены отказам: квадрат штока, уплотнительное кольцо, клапан (шар), корпус, ниппель с резьбой, шпонка. 65 % отказов приходится на износ квадрата штока.

Представленные на рис. 2.30 результаты оценки отказов задвижек МТР (а) и пожарных гидрантов (б) показали, что свыше 50 % приходится на самое уязвимое место пожарного гидранта — клапан (шар), причем 35 % приходится на повреждение уплотнительного кольца и около 20 % — на отрыв клапана.

Последний фактор влияет не только на надежность пожарного гидранта, но и на надежность всей системы трубопроводов: около ста клапанов (шаров) отрываются ежегодно и «блуждают» по водопроводным сетям, создавая непредсказуемые последствия. Аналогичные пожарные гидранты фирм «Mueller» (США), «TRM» (Австрия) и другие имеют ту конструктивную особенность, что в случае отказа в работе клапан не может попасть в трубопровод.

В соответствии с инструкцией по эксплуатации пожарных гидрантов на сетях водопровода Москвы предусматривается их проверка два раза в год. Это связано не только с ненадежной работой гидранта в целом, но и с недоработкой конструкции в части удаления воды из стояка гидранта после окончания работы. Так, при первом осмотре (весеннем) освобождается и прочищается затравочное отверстие пожарных гидрантов в колодцах с грунтовой водой.

Если учесть, что в Москве 61,8 % колодцев сделано специально под пожарные гидранты и 38,2 % колодцев — для установки запорной арматуры, то на их эксплуатацию с учетом двухразовых осмотров в год, смены дефектных пожарных гидрантов, ремонт и обработку колодцев требуется почти 20 % общих эксплуатационных затрат на сети. В этой связи правомерен вопрос о компенсации непроизводительных затрат на эксплуатацию пожарных гидрантов, которые в конечном счете повышают себестоимость продукции.

Следует отметить, что в соответствии со СНиП 2.04.02-84 противопожарный водопровод должен, как правило, объединяться с хозяй-

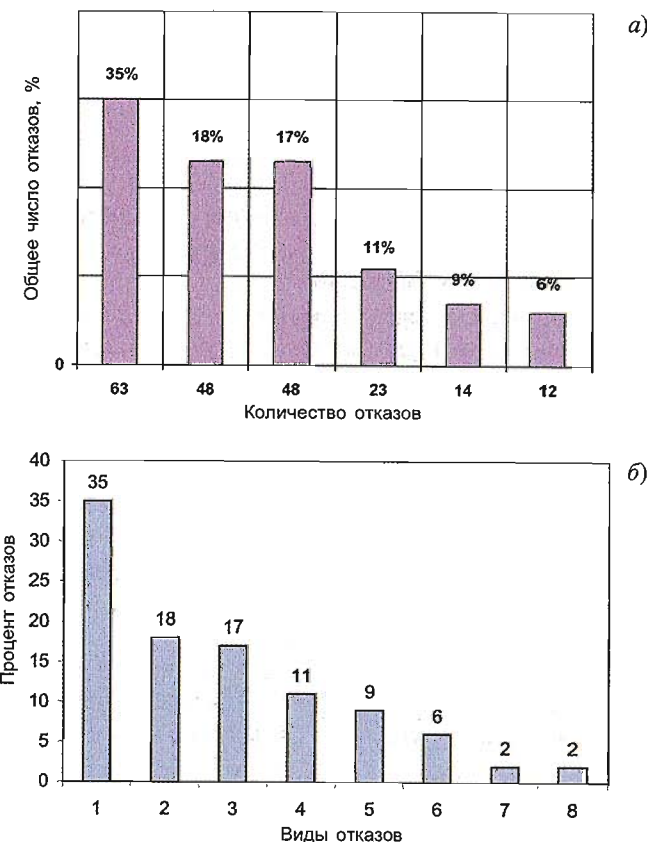


Рис. 2.30. Классификация отказов задвижек МТР (а) отказов пожарных гидрантов сети Московского водопровода (б)

ственно-питьевым водопроводом. Это привело к тому, что диаметр разводящего трубопровода фактически завышается до 300 мм (по Москве трубопроводы диаметром 300 мм составляют 22 %), скорость движения воды в трубопроводах за последние 10 лет понизилась, повысились капитальные затраты на строительство. К сожалению, в практике проектирования мало используют альтернативные решения — не используются пожарные резервуары, водоемы и т.д.

В результате анализа отказов ПГ были предложены основные направления модернизации действующих ПГ и в конструкцию гидранта внесены следующие изменения:

штанга изготавливается из высоколегированной коррозионно-стойкой стали;

производится термообработка квадрата штока;



клапан ПГ собирается с применением полимерной мастики, что увеличивает надежность его крепления;

седло клапана обрабатывается специальным полимерным материалом для предотвращения его залипания;

крепежные изделия выполняются с эффективным антикоррозионным покрытием.

Однако остается ряд недостатков в конструкции ПГ, устранение которых невозможно без изменения конструкции гидранта:

нижнее расположение винтовой пары «шпindel-гайка» способствует засорению резьбы через верх гидранта при незакрытой крышке;

увеличенные зазоры в сопряжении клапана и корпуса, свойственные литым деталям, приводят к большой вибрации клапана при открывании гидранта;

из-за относительно низкой прочности серого чугуна и дефектов литья происходит обрыв нижней части клапана;

применение серого чугуна в корпусных деталях и наличие промежуточных фланцевых соединений приводят к большой массе гидранта.

Закрытая полость клапана при попадании в нее воды через резьбовое соединение «шпindel-клапан» становится местом размножения вредных бактерий.

В этой связи очевидно, что наряду с модернизацией существующих конструкций ПГ необходимо продолжить поиск и разработку наиболее перспективных конструкций ПГ, имеющих высокие показатели надежности.

В 2004 г. в «Мосводоканале» разработан технический проект нового гидранта, в котором исключены перечисленные недостатки (рис. 2.31). В этой конструкции ПГ резьбовая пара размещена в верхней части гидранта, клапан гидранта — цельный, обрешиненный, имеет беззазорное центрирование в корпусе, отлит он из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ). Корпус гидранта также изготовлен из ВЧШГ, что дает снижение массы до 40 %. Для повышения герметичности клапана и безопасности гидранта при механических повреждениях корпуса его расположение осталось прежним: внизу относительно седла.

Для повышения морозоустойчивости в конструкции предусмотрены меры, препятствующие поступлению воды в корпус гидранта при затоплении колодца: сверху гидрант закрывается герметичной крышкой, а на дренажное отверстие устанавливается обратный поплавковый клапан. Наружное и внутреннее покрытие корпуса гидранта — эпоксидно-полимерное. Для увеличения высоты гидранта разработана надставка, состоящая из корпуса и штока.

Конструкция нового гидранта проста, имеет меньшее количество деталей, его установка возможна в бесколодезном варианте.

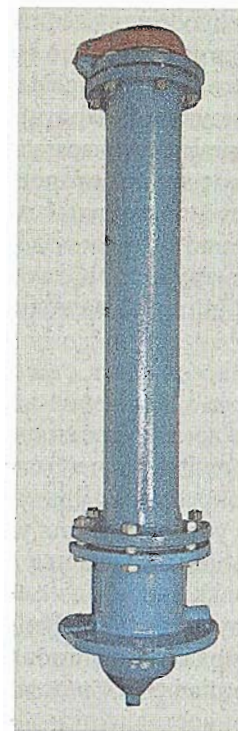


Рис. 2.31. Конструкция гидранта ПГМ  $D = 125$  мм

**Вантузы.** В процессе эксплуатации городской водопроводной сети в повышенных точках сети и водоводов скапливается воздух, выделяющийся из воды, который попадает в нее через неплотности в соединениях в коммуникациях на насосных станциях и трубопроводах, а также во время заполнения системы жидкостью. По данным экспериментальных работ, в воде может содержаться до 4 % нерастворенного воздуха. Присутствие воздуха в транспортируемой воде и особенно его скопление в повышенных точках перелома профиля создает следующие проблемы в процессе эксплуатации трубопроводов:

- наличие в трубопроводе воздушных пробок существенно увеличивает гидравлическое сопротивление трубопровода, что приводит к дополнительным затратам энергии при подаче воды потребителю;

- воздушные скопления, находясь под рабочим давлением, аккумулируют потенциальную энергию, и при аварийном (или плановом) отключении насосного оборудования при открытой запорной арматуре снижение напора насосной станции отражается от воздушного «мешка» волной повышения давления. Вода под действием этого давления движется в обе стороны от скопления (даже в горизонтальном трубопрово-

де. Гашение развившейся скорости движения воды при закрытии обратных клапанов приводит к возникновению гидравлических ударов, при этом давление может в несколько раз превышать рабочее);

- выброс воздуха в приемные резервуары, неконтролируемый его выпуск через воздушники, перемещение воздушных пробок по трубопроводу приводит к резким изменениям скорости движения воды, что является причиной возникновения локальных гидравлических ударов и связанных с этим повреждений систем водоподачи;

- присутствие воздуха в трубопроводах ускоряет коррозию труб и оборудования и развитие бактерий, наличие которых в питьевой воде крайне нежелательно;

- воздушные скопления снижают степень готовности пожарных гидрантов к работе, а после завершения выхода из них воздуха способствуют возникновению локальных гидроударов.

Этими причинами обусловлена необходимость принятия мер по удалению воздуха из трубопроводов. Для этих целей используются автоматически действующие устройства для удаления воздуха при рабочем давлении в трубопроводе, называемые вантузами.

Необходимость установки вантузов на системах подачи воды и порядок их размещения предусмотрены СНиП 2.04.02–84.

Обычно, если на водоводах не установлены вантузы, обеспечивающие выпуск воздуха, скопившегося в повышенных участках водовода, снижение подачи воды составляет 5–10 %, а в отдельных случаях — 14 %. В связи с этим для подачи расчетного количества воды требуется увеличение напора насосов, что ведет к дополнительным затратам электроэнергии.

По конструкции и назначению вантузы распределяются на:

- вантузы эксплуатационные, предназначенные для постоянного удаления воздуха, выделяющегося из воды;
- для выпуска воздуха при заполнении водоводов;
- для выпуска воздуха при плановом или аварийном опорожнении водоводов (указанные вантузы называют противовакуумными или аэрационными клапанами);
- для впуска воздуха в водоводы при образовании в них вакуума, для предотвращения разрыва потока и смягчения гидравлического удара также используются клапаны различных конструкций, обеспечивающие выпуск и выпуск воздуха и клапаны для впуска и заземления воздуха;
- патрубки с задвижками (вентильми) для впуска и выпуска воздуха.

Перечисленное выше оборудование для впуска и выпуска воздуха действует автоматически, за исключением последней группы, которая представляет собой вспомогательное оборудование, управляемое вручную или дистанционно.

В соответствии с требованиями СНиП 2.04.02–84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» на водоводах и водопроводной сети в

необходимых случаях необходимо предусматривать установку: клапанов для впуска и выпуска воздуха при опорожнении и заполнении трубопроводов; клапанов для впуска и заземления воздуха, а также вантузов для выпуска воздуха в процессе работы трубопроводов.

Клапаны автоматического действия для впуска и выпуска воздуха должны предусматриваться в повышенных переломных точках профиля и в верхних граничных точках ремонтных участков водоводов и ести для предотвращения образования в трубопроводе вакуума, величина которого превышает допустимую для принятого вида труб, а также для удаления воздуха из трубопровода при его заполнении. При величине вакуума, не превосходящей допустимую, могут применяться клапаны с ручным приводом.

Взамен клапанов автоматического действия для впуска и выпуска воздуха допускается использовать клапаны автоматического действия для впуска и заземления воздуха с клапанами (затворами, задвижками) и с ручным приводом или вантузами — в зависимости от расхода удаляемого воздуха.

Вантузы следует предусматривать в повышенных переломных точках профиля на воздухоборниках, диаметр которых зависит от диаметра водовода. Требуемая пропускная способность вантузов должна определяться расчетом или приниматься равной 4 % максимального расхода воды, подаваемой по трубопроводу, считая по объему воздуха при нормальном атмосферном давлении.

Стоимость водоводов и напорных трубопроводов водоотведения составляет значительную часть стоимости систем водоснабжения и водоотведения, а затраты электроэнергии на перекачку воды весьма значительны. Поэтому использование высокоэффективного оборудования для впуска и выпуска воздуха является актуальной задачей, правильное решение которой позволит не только предохранить водоводы от аварий, но и снизить эксплуатационные затраты, связанные с перекачкой воды.

Проектами предусмотрен монтаж вантузов на патрубках диаметром 50 или 100 мм, что противоречит требованиям СНиП. В этом случае удаляется до 40 % воздуха, движущегося по трубопроводу. Результаты исследований влияния диаметра воздухоборника на эффективность удаления воздуха показывают, что для наиболее полного удаления воздуха (до 90 %) диаметр воздухоборника должен быть не менее одной трети диаметра трубопровода.

В связи с этим при согласовании проектов и приемке водопроводных сетей в эксплуатацию необходимо контролировать соответствие размещения вантузов требованиям СНиП. При производстве работ по реконструкции или перекладке отдельных участков трубопроводов рекомендуется выполнять работы по замене стояков под вантузы на воздухоборники указанных выше размеров.



Другим фактором, влияющим на эффективность удаления воздуха, является качество работы вантузов. Как показывают практика эксплуатации трубопроводов, а также проведенные в МГУП «Мосводоканал» и ГНЦ «НИИ Водгео» специальные обследования арматуры для выпуска воздуха, качество работы вантузов, выпускавшихся отечественной промышленностью, не в полной мере удовлетворяло предъявляемым к ним требованиям. Так, шаровые вантузы прямого действия, которыми в основном оборудованы водоводы, из-за конструктивных недоработок производят выпуск воздуха при давлении не более 20 м вод. ст., в то время как напор в трубопроводах значительно превышает эту величину. Негерметичность закрытия выпускного отверстия вантузов приводит к заливу камер, где они установлены. По этим причинам эксплуатационники перекрывают ремонтные задвижки под вантузами или демонтируют их с трубопроводов, что приводит к завоздушиванию водоводов, магистралей и распределительных сетей.

В отдельных случаях воздушные скопления настолько значительны, что для восстановления их пропускной способности эксплуатирующие организации вынуждены периодически объезжать трассы трубопроводов, вручную выпуская воздух через воздушки.

В 1999 г. завод «Водоприбор» освоил выпуск новой достаточно надежной конструкции рычажного вантуза В-6. Такие вантузы лишены недостатков, присущих шаровым вантузам:

- они производят выпуск воздуха при давлении до 100 м вод. ст.;
- использование рычажной подвески и автономного клапана с плоским резиновым уплотнением обеспечивает абсолютную герметичность закрытия выпускного отверстия;
- производительность вантуза В-6 — 5 л воздуха в секунду (относительно плотности воздуха при давлении в трубопроводе).

Расчеты показали, что вантуз с выпускным отверстием диаметром 6 мм обеспечивает полное удаление воздуха при максимально возможном его содержании из трубопроводов, транспортирующих до 1000 л воды в секунду. При необходимости увеличения объема выпускаемого воздуха в одной точке водовода устанавливается два вантуза и более. В связи с этим отпадает необходимость в изготовлении металлоемких, так называемых «двойных вантузов» с присоединительным фланцем диаметром 100 мм.

Испытания первых серийных вантузов типа В-6, установленных на водоводах Восточной водопроводной станции Москвы, показали, что потери напора после установки вантузов при одинаковом расходе по водоводам уменьшились в среднем за сутки на 1,03 м вод. ст.

Расчеты показывают, что снижение потерь напора на 1 м вод. ст. экономит 21,28 кВт·ч электроэнергии. При этом годовая экономия составляет 186413 кВт. Например, при тарифе на электроэнергию 0,6 руб. за кВт·час годовой экономический эффект составит 111847 руб. Учи-

тывая незначительные затраты на приобретение арматуры для выпуска воздуха (стоимость одного вантуза 1065 руб., стоимость монтажа в готовых камерах — 150 руб.), очевидно, что применение новых вантузов даёт существенный экономический эффект.

Необходимо отметить, что существует проблема установки вантузов в подтапливаемых камерах. В этом случае при возникновении вакуума в трубопроводе при аварийном или плановом отключении его участка через открытое отверстие вантуза вода из камеры может проникать внутрь трубопровода, что недопустимо по санитарно-гигиеническим требованиям.

В Европе специалисты решают эту проблему с помощью специальной конструкции вантуза или располагая обычный вантуз в кожухе с выводом воздуха на поверхность земли. Места вывода воздуха на поверхность ограждаются декоративными защитными решетками. В условиях Москвы такое решение чаще всего неприемлемо. Для устранения этой проблемы в настоящее время принято решение по дополнению вантуза В-6 обратным клапаном, устанавливаемым на выпускном отверстии. Этот клапан предотвращает попадание воды и воздуха из окружающей среды при возникновении в них вакуума.

Кроме работ по применению отечественных вантузов, в МГУП «Мосводоканал» проводились испытания вантузов фирмы «A.R.I.». Испытывались вантузы фирмы «A.R.I.» с ленточным клапаном: для систем водоподдачи марки 8-050-С-уак  $D_v$  25 мм — 32 шт.,  $D_v$  15 мм — 2 шт., марки В-040-С-уак  $D_v$  50 мм — 20 шт. для систем водоотведения марки О-020  $D_v$  100 мм — 18 шт.

Проверка работы вантузов «A.R.I.» в условиях эксплуатации Московского водопровода проводилась с целью определения целесообразности их использования при модернизации и новом строительстве системы подачи и распределения воды.

Испытания вантузов, проведенные в реальных условиях эксплуатации Московского водопровода, показали:

- вантузы обеспечивают полное удаление воздуха из трубопроводов в режимах подачи воды и в период наполнения отдельных участков;
- в период срабатывания вантузов выброс воды практически отсутствует;
- отмечено мелкодисперсное «пыление» в момент закрытия выпускного клапана;
- клапан вантуза обеспечивает надежную герметичность закрытия выпускного отверстия во всем диапазоне рабочих давлений;
- вантузы «A.R.I.» для систем питьевого водоснабжения не допускают попадания окружающего воздуха или воды (при расположении в подтопленной камере) внутрь трубопровода при образовании в нем вакуума. В результате качественной работы вантузов гид-

гидравлическое сопротивление водоводов в г. Зеленограде снизилось в среднем на 2,25 м вод. ст., что позволяет экономить ежемесячно 30943 кВт·ч электроэнергии. Срок полной окупаемости вантузов — 9 месяцев.

Вантузы «A.R.I.» надежно работают в эксплуатационных условиях Московского водопровода, обеспечивая полное удаление воздуха из трубопроводов, что способствует снижению гидравлического сопротивления водоводов и предотвращению возникновения гидроударов, приводящих к нерациональным потерям воды и увеличению аварийности на системах водоподдачи.

Таким образом, в процессе решения задач, связанных с применением в сети Московского водопровода современных конструкций предохранительной арматуры, освоен выпуск и проводится внедрение в практику строительства и эксплуатации новой отечественной и импортной арматуры, позволяющей снизить затраты на эксплуатацию и повысить надежность работы Московского водопровода.

#### 2.5.4. Анализ аварийности в колодцах городской водопроводной сети

Значительная часть повреждений, приводящих к изливу воды, происходит в колодцах. На рис. 2.32 приведена классификация причин аварий с изливом воды в колодцах водопроводной сети города.

Наличие автоматизированной информационно-технической базы данных по эксплуатации водопроводной сети в МГУП «Мосводоканал» позволило изучить динамику аварий с изливом воды в колодцах водопроводной сети и сделать следующие выводы.

1. Ранжирование повреждений показало, что наибольшее количество повреждений происходит в колодцах на водопроводной сети (81 %), затем — в колодцах на домовых вводах (14 %), в камерах на магистралях (4 %) и заводомерной сети (1 %).

2. Интенсивность повреждений арматуры в колодцах (в год на 1 колодец) составляет: сети — 0,43, магистрали — 0,17, домовые вводы — 0,2, заводомерная сеть — 0,2.

3. Наиболее интенсивно утечки воды происходят по причине: повреждений фланцевых соединений труб в колодцах при диаметре труб 100, 300 и 400 мм, а также по причине течи сальника.

Анализ аварийности арматуры в колодцах показал, что при планировании технического обслуживания ЗРА необходимо учитывать уровень надежности арматуры, сроки их службы, конкретные условия эксплуатации и конструктивные особенности арматуры.

Установлено, что к числу основных дестабилизирующих факторов, влияющих на аварийность арматуры в колодцах городской водопроводной сети и величину излива воды, необходимо отнести изменение напоров в сети (рис. 2.33).

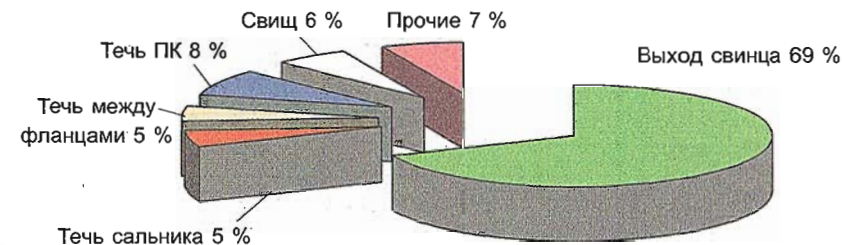


Рис. 2.32. Классификация причин аварий с изливом воды в колодцах водопроводной сети Москвы

Однако, исходя из объемов статистики, в настоящее время не удалось установить корреляционную связь интенсивности аварий и повреждений арматуры от изменения величины напора, так как для анализа могли быть использованы лишь максимальные значения напора в диктующих точках (см. рис. 2.33). Для более детального анализа необходимо рассмотреть тенденцию изменения аварийности на определенном трубопроводе с обязательным измерением величины напора на этом участке.

Анализ интенсивности аварий с изливом воды в колодцах (по районам эксплуатации водопроводной сети города) показал, что имеет место большой разброс в уровнях надежности арматуры в колодцах водопроводной сети.

Предварительный вывод — наличие различных дестабилизирующих надежность арматуры сети факторов в различных районах города и различные условия эксплуатации.

#### 2.5.5. Автоматизированная информационно-техническая система АИТС «Арматура»

Практика эксплуатации показывает актуальность проблемы не только выбора наиболее надежных и долговечных типов арматуры, но и оптимизации планирования восстановления и обновления запорно-регулирующей арматуры.

Следует отметить, что сегодня многие задачи управления эксплуатацией трубопроводной арматуры городской водопроводной сети и планирования ее восстановления и обновления решаются эмпирически, на базе личного опыта или интуиции работников эксплуатационных служб.

На Московском водопроводе решение задачи оптимизации контроля эксплуатации как трубопроводов, так и арматуры городской водопроводной сети основано на использовании информационных тех-





Рис. 2.33. Изменение напоров и количество повреждений с изливом воды в колодцах сети Московского водопровода

нологий и автоматизации методов сбора, обработки и использования эксплуатационной информации.

В современных условиях ограничения финансовых и материальных ресурсов, учитывая (характерное для большинства водопроводов городов РФ) значительное количество трубопроводной арматуры и арматуры с истекшими сроками службы устаревших конструкций, не обеспечивающих требуемый уровень надежности и долговечности, весьма актуальна задача оптимизации выбора объектов восстановления и обновления трубопроводной арматуры.

Методика выбора приоритетных объектов восстановления и обновления трубопроводной арматуры базируется на использовании фактических данных по эксплуатации водопроводной сети Москвы. Первостепенную роль имеет уровень надежности трубопроводной арматуры и балльная оценка влияния ряда дестабилизирующих факторов и особенностей эксплуатации на работоспособность и долговечность арматуры.

Для реализации этих задач подготовлены электронные базы данных по паспортизации и эксплуатации трубопроводной арматуры Московского водопровода и разработано соответствующее программное обеспечение — система АИТС «Арматура» (рис. 2.34).

Система АИТС «Арматура» является автоматизированным информационно-техническим обеспечением контроля за эксплуатацией трубопроводной арматуры городской водопроводной сети и включает:

- электронные базы данных по эксплуатации трубопроводной арматуры Московского водопровода и данные по аварийности в колодцах городской водопроводной сети;

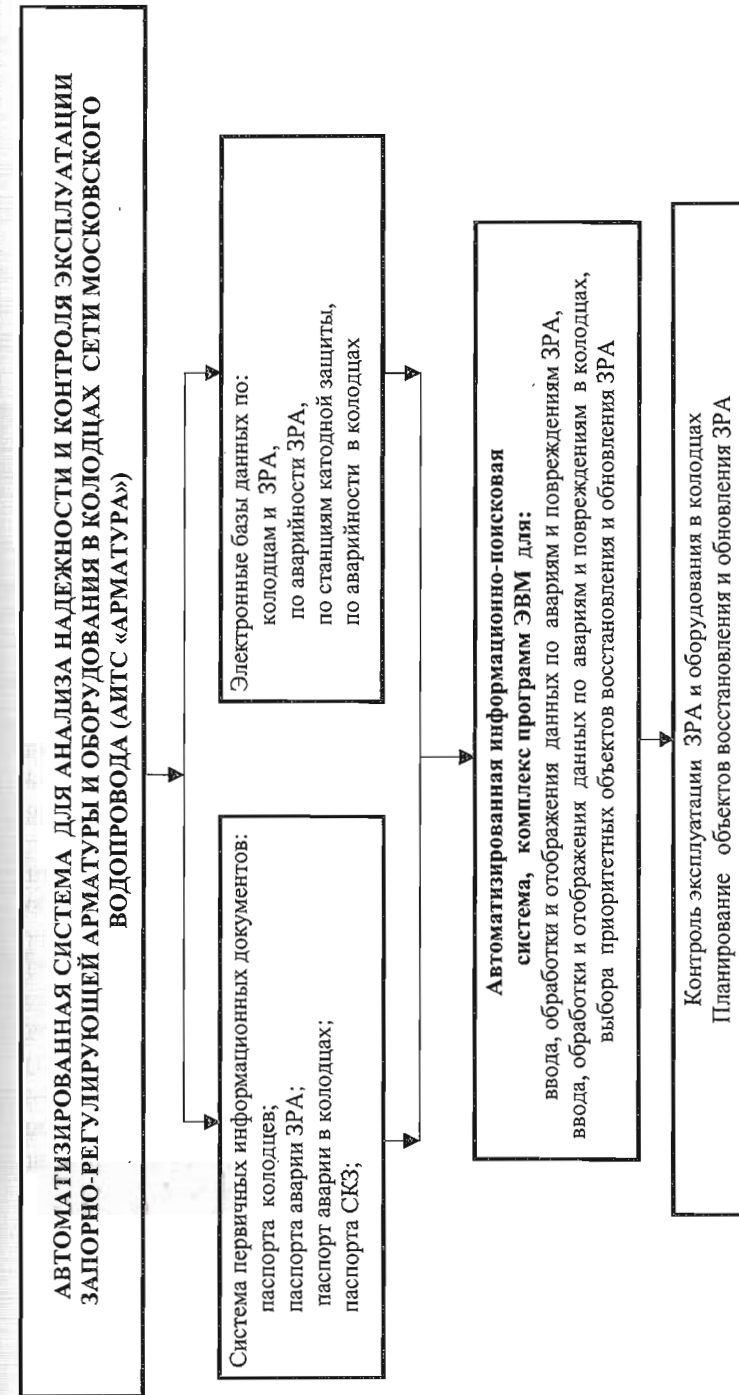


Рис. 2.34. Структура АИТС «Арматура»



| РВС | Улица             | Дом    | Планшет  | № колодца | Тип задв. | Состояние задв.         | Диаметр | № з | Дата уст.       | Дата повр. | Хар-р повр.     | Вид   |
|-----|-------------------|--------|----------|-----------|-----------|-------------------------|---------|-----|-----------------|------------|-----------------|-------|
| 11  | ПАРКОВАЯ 11-Я УЛ. | 37 к3  | 1277 к   | 35916     | МТР       | Не дает обороты         | 100     |     | 1960.31.05.1999 |            | Разрушение серы | Заче  |
| 11  | ПАРКОВАЯ 11-Я УЛ. | а52 к4 | 1261 к   | 48057     | МТР       | Течь салынка            | 250     | 1   | 1961.14.04.2000 |            | Изнас резьбы    | Ремон |
| 11  | ПАРКОВАЯ 11-Я УЛ. | 29     | 184 а/в  | 37484     | МТР       | Не дает обороты         | 80      |     | 1959.05.07.2001 |            | Обрыв шпindelа  | Заче  |
| 11  | ПАРКОВАЯ 11-Я УЛ. | 29     | 184 а/в  | 37484     | МТР       | Не дает обороты         | 100     |     | 1959.18.07.2001 |            | Обрыв шпindelа  | Заче  |
| 11  | ПАРКОВАЯ 11-Я УЛ. | а42/1  | 1261 а/в | 25014     | МТР       | Не держит               | 150     |     | 1972.06.09.2000 |            | Защир. колодез  | Заче  |
| 11  | ПАРКОВАЯ 11-Я УЛ. | 29     | 184 а/в  | 37484     | МТР       | Не закрывается/не откр. | 100     |     | 1959.05.07.2001 |            | Изнас резьбы    | Заче  |

Рис. 2.35. Паспорт аварии (повреждения) запорно-регулирующей арматуры

- систему первичных информационных документов (паспорта ЗРА, паспорта повреждений и аварий ЗРА, данные по составу арматуры в колодцах водопроводной сети);
- информационно-поисковую систему выбора потенциальных и приоритетных объектов восстановления и обновления трубопроводной арматуры, а также сервисные программы.

Программное обеспечение системы АИТС «Арматура» разработано на основе Microsoft Visual FoxPro 6.0 и обеспечивает регистрацию, хранение, редактирование, обработку и отображение данных, связанных с эксплуатацией трубопроводной арматуры городской водопроводной сети и планированием ее восстановления и обновления.

Система АИТС «Арматура» работает в режиме просмотра и графического отображения результатов паспортизации и аварийности ЗРА и оборудования в колодцах городской водопроводной сети.

В просмотрном режиме можно вызвать на экран монитора паспорт аварии (повреждения) ЗРА (рис. 2.35), паспорт аварии в колодце на выделенном трубопроводе (рис. 2.36) и при необходимости их распечатать.

В режиме графического интерфейса программно формируется электронная планшетная карта городской водопроводной сети с обозначением номеров планшето и «плотности» аварий и повреждений ЗРА на трубопроводах, проложенных в пределах планшето и «плотности» аварий и повреждений в колодцах городской водопроводной сети (рис. 2.37).

| РВС | Улица               | Дом                    | Планшет | Г. пост. | Диаметр | Номера | Колодез | и дощ... | Повреждение | Место повр. | М.      |
|-----|---------------------|------------------------|---------|----------|---------|--------|---------|----------|-------------|-------------|---------|
| 1   | ЗАО Дорогомиловское | ДОРОГОМИЛОВСКАЯ УЛ. 46 | 268     | 1967     | 300     | 22913  | 26326   | 0        | выск.сальн. | колодез     | ст      |
| 1   | ЗАО Занковское      | БАХРЫШИНА УЛ.          | 27      | 335      | 0       | 300    | 1804    | 0        | рас.отверс  | колодез     | ст      |
| 1   | ЗАО Якимов          | КРЫЖИШКА УЛ.           | 10      | 333      | 1971    | 300    | 14194   | 6479     | 0           | течь ренк.  | колодез |
| 1   | ЗАО Тверской        | БРЕСТСКАЯ 2-Я УЛ.      | 16      | 240      | 1962    | 300    | 6079    | 2212     | 0           | течь салы.  | колодез |

Рис. 2.36. Паспорт аварии (повреждения) в колодце городской водопроводной сети

Для получения подробной информации по характеристике аварий и повреждений арматуры для выбранного на электронной карте планшета необходимо щелкнуть по нему правой кнопкой «мышки». При этом на дисплее компьютера выводится в табличной форме список аварий и повреждений, сопровождаемый с информацией, имеющейся по ним в этой базе данных.

Пользователь может проводить со списком трубопроводов и ЗРА все операции по поиску, выдаче и распечатке информации по их характеристикам трубопроводов и ЗРА (в колодцах) и авариям на них. Информация выдается для выбранных районов эксплуатации водопроводной сети.

Автоматизированная система ранжирования ЗРА водопроводной сети Московского водопровода по балльной системе комплексной оценки приоритетности восстановления и обновления включает паспорт ранжирования ЗРА (с «адресами» в виде номеров колодез), в которые вносятся информация по 9 позициям (рангам) (рис. 2.38), а также таблицы для ввода, редактирования, обработки и отображения рангов ЗРА по балльной системе комплексной оценки на предмет приоритетности восстановления и обновления.

За критерий выбора объектов первоочередной реновации принимается максимальный балл.

Источником информации для заполнения «Паспорта ранжирования» служат: список ЗРА в колодцах городской водопроводной сети





## ГЛАВА 3.

# СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ТРУБОПРОВОДОВ ОТ СТАРЕНИЯ И КОРРОЗИИ

### 3.1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Характерной особенностью крупных и средних городов России является наличие разветвленных и весьма протяженных подземных трубопроводов, в частности водопроводных и водоотводящих (канализационных) сетей различного диаметра и из разных материалов, которые неизбежно с течением времени подвергаются старению и риску аварийных ситуаций.

Повышение надежности работы подземных трубопроводов, предупреждение их старения и оперативная ликвидация последствий аварий на сетях — главная задача служб эксплуатации коммунальных объектов. В настоящее время она приобретает особую актуальность, так как в коммунальном секторе старение подземных трубопроводных коммуникаций и другого оборудования различного назначения достигло критического уровня.

В связи с этим поддержание высокой надежности и работоспособности трубопроводов городской водопроводной сети (т.е. своевременное и эффективное техническое обслуживание, ремонт и реконструкция трубопроводов и оборудования по причине их старения или преждевременного износа) остается приоритетным для эксплуатирующих предприятий.

Коммунальными службами городов-мегаполисов различных стран все большее внимание уделяется вопросам использования перспективных бестраншейных технологий восстановления (санации) и прокладки водопроводных, водоотводящих и других сетей, что является альтернативой традиционному открытому способу реконструкции и строительству трубопроводов траншейным способом.

В перспективе практика развития инженерных коммуникаций должна ориентироваться на строительство подземных проходных каналов общего назначения больших размеров, в которых могли бы разместиться все городские инженерные сети или их большая часть.

Под *бестраншейными технологиями* понимаются технологии прокладки, замены, ремонта, инспекции и обнаружения дефектов в под-

земных коммуникациях различного назначения с минимальным разрытием поверхности земли.

Бестраншейные технологии санации и прокладки трубопроводов наряду с оперативностью и экономичностью по сравнению с традиционными методами (проведение земляных работ с раскопкой траншей, ремонт или заменой трубопровода новым) позволяют сохранять высокое качество транспортируемых вод и не нарушать сложившуюся экологическую обстановку.

Первое широкое ознакомление российской инженерной общественности с многообразными зарубежными технологиями бестраншейного восстановления действующих трубопроводов различного назначения и их прокладки пришлось на конец 80-х и начало 90-х гг. XX в. Появившиеся широкие возможности применения бестраншейных технологий в нашей стране послужили мощным импульсом их пропаганды в последующие годы.

Старение подземных трубопроводных коммуникаций различного назначения приводит: к потерям напора и снижению пропускной способности из-за зарастания труб; к ухудшению физико-химических показателей транспортируемой питьевой воды (например, цветности) по причине коррозии; к возможности повторного заражения вод (в результате свищей, трещин, нарушения стыковых соединений в случае старения сетей питьевого водоснабжения); к загрязнению подземных и поверхностных вод, почвы, атмосферы (в случае старения нефтяных и газовых коммуникаций, водоотводящих сетей бытовой, дождевой и производственной канализации). Утечки воды из трубопроводов, вызванные их старением, являются также причиной подъема уровня грунтовых вод, что может привести к интенсивному разрушению эксплуатируемых зданий и действующих сооружений инженерной инфраструктуры.

Решение проблемы восстановления и прокладки трубопроводов видится в широком использовании бестраншейных технологий с применением специального оборудования. В передовой зарубежной практике 95 % объема работ по прокладке и реконструкции подземных коммуникаций производится бестраншейным способом.

Во многих крупных зарубежных городах прокладка инженерных коммуникаций открытым способом уже запрещена. Необходимо отметить, что в Европе постоянно растет число объектов с применением различных методов бестраншейной технологии ремонта и прокладки коммуникаций. Причем этот рост более стремительный, чем в США, так как большинство крупнейших европейских городов было заложено несколько столетий назад.

В большинстве российских городов из-за недостатка или отсутствия соответствующего оборудования и материалов, а также средств для их приобретения ремонт и прокладка коммуникаций производятся преимущественно открытым способом, что ведет к резкому увели-



чению стоимости работ и сроков строительства объектов, к необходимости разрушения дорожных покрытий, загрязнению придорожных полос и перекрытию движения транспорта. Подобные обстоятельства создают в свою очередь автомобильные пробки, неудобства пассажирам, пешеходам и, кроме того, приводят к ухудшению экологической обстановки в городах.

Рост населения в крупных городах мира и переход большинства подземных сооружений на более глубокие горизонты из-за стесненной городской застройки и насыщения предповерхностных уровней сооружениями инженерной инфраструктуры придает еще большую значимость бестраншейным методам реконструкции и прокладки коммунальных сетей водоснабжения и водоотведения.

На ближайшую перспективу развития подземной инженерной инфраструктуры городов должен быть выработан новый подход, максимально ориентированный на использование бестраншейных технологий с научно обоснованной стратегией восстановления и замены выходящих из строя трубопроводов. Данный подход позволит в значительной мере решить обостряющуюся из года в год проблему последствий аварийных ситуаций, напрямую связанных с состоянием и содержанием подземных инженерных коммуникаций, сохранить существующую экологическую обстановку, значительно снизить техногенное воздействие подземных трубопроводов на геологическую среду и повысить уровень коммунального обслуживания населения. Успешное решение задачи предотвращения старения подземных трубопроводов водоснабжения на базе новых подходов и разработанных на их основе нормативов технического обслуживания и ремонта будет способствовать реализации долгосрочных экономических, социальных и экологических проблем, стоящих перед современным городом.

В данной главе обобщаются последние достижения в области бестраншейных технологий строительства, ремонта, реконструкции и эксплуатации водопроводных сетей, реализуемые на Московском водопроводе.

### 3.2. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ САНАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ГОРОДСКОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

Трубопроводы городской водопроводной сети, находящиеся в эксплуатации, подвергаются как естественному старению, так и преждевременному износу, что требует их *восстановления* или *санации*.

Под *санацией* трубопроводов понимается полное восстановление трубопровода путем устранения дефектов всех видов по длине труб и в местах их стыковки с помпью нанесения защитных покрытий (облицовок) при соблюдении (поддержании) исходных гидравлических характеристик течения потока транспортируемой воды [106].

В свою очередь под *восстановлением* структуры трубопровода следует понимать ликвидацию:

- структурных дефектов (свищи — сквозные отверстия, микротрещины и другие повреждения, которые приводят к эксфильтрации и инфильтрации воды);

- функциональных дефектов, вызванных временными факторами (например, старением) и неудовлетворительной эксплуатацией водопроводных сетей (появление ржавчины на внутренних стенках труб, биообрастания, бугристые наросты в виде уплотненных оксидов железа, марганца и извести, инородные включения, проникающие в трубопроводы при любом вмешательстве извне — сварке, ремонте и замене запорно-регулирующей арматуры и т.д.);

- дефектов, вызванных некачественным монтажом труб при их укладке в траншею (например, деформация труб) или являющихся результатом воздействия природных явлений (деформация грунтов, приток подземных вод и т.д.).

Выбор конкретного метода санации трубопроводов с использованием бестраншейных технологий и обоснование возможности его применения зависят от состояния трубопровода и результатов теледиагностики, а также возможностей размещения и использования соответствующего оборудования и механизмов для реализации метода на месте санации.

В табл. 3.1 представлены данные о наиболее распространенных методах санации трубопроводов городской водопроводной сети с использованием бестраншейных технологий ремонта.

Срок службы водопроводных и водоотводящих трубопроводов в действующих нормативных документах определен в зависимости от их материала. Например, стальные водопроводные трубопроводы должны эффективно эксплуатироваться в течение 20 лет, а чугунные — в течение 60 лет [4].

Однако, как показала практика эксплуатации Московского водопровода, старение стальных трубопроводов сетей водоснабжения и снижение их пропускной способности может наступить в более ранние сроки (через 3—10 лет после прокладки) из-за влияния отдельных или совокупности следующих факторов: отсутствие внешних и внутренних антикоррозионных покрытий, несоответствие материала труб условиям эксплуатации, нарушение условий прокладки трубопроводных систем в соответствующих грунтах, агрессивный характер почв и грунтовых вод, коррозия стенок, биообрастания и т.д.

Типичная картина бугристых отложений в стальном трубопроводе водопроводной сети после его многолетней эксплуатации, а также повреждение трубопровода с образованием продольной трещины показаны на рис. 3.1.

В сетях городского водопровода наиболее характерными загрязнениями, осаждающимися на стенках труб, являются уплотненный оса-

Таблица 3.1. Сравнительные показатели основных методов санации трубопроводов городской водопроводной сети с использованием бестраншейных технологий ремонта

| Технологические, технические и эксплуатационные показатели                               | Нанесение цементно-песчаных покрытий   | Протаскивание нового трубопровода в старый (с его разрушением и без разрушения) | Использование гибкого комбинированного рукава (чулка) |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Диапазон диаметров, мм                                                                   | 100—2200                               | 100—300                                                                         | 100—1000                                              |
| Максимальная протяженность ремонтного участка, м                                         | 180                                    | 100                                                                             | 300                                                   |
| Виды повреждений (дефектов)                                                              | Мелкие трещины, свищи, коррозия, износ | Любые повреждения                                                               | Крупные трещины, сколы, малая деформация по сечению   |
| Материал ремонтного покрытия                                                             | Цементно-песчаная смесь                | Полипропилен, поливинилхлорид, полиэтилен                                       | Композит на основе полиэфирных, эпоксидных смол       |
| Термостойкость, °С                                                                       | Без ограничений                        | 45                                                                              | 70                                                    |
| Требования к подготовке внутренней поверхности трубопровода                              | Очистка скребками                      | Не требуется                                                                    | Очистка водой под давлением, TV контроль              |
| Требования к водоотливу                                                                  | Требуется                              | Требуется                                                                       | Требуется                                             |
| Минимальное монтажное отверстие (проем)                                                  | Люк колодца                            | Люк колодца                                                                     | Люк колодца                                           |
| Продолжительность технологического цикла при ремонте участка длиной 100 м, рабочие смены | 3—5                                    | 2—3                                                                             | 1                                                     |
| Планируемый срок службы санированного трубопровода, годы                                 | 30                                     | 50                                                                              | 30                                                    |
| Уменьшение диаметра трубопровода после ремонта, %                                        | 5—10                                   | Нет                                                                             | 3—5                                                   |
| Необходимость испытания на герметичность                                                 | Да                                     | Да                                                                              | Да                                                    |

док, оксиды марганца и железа (в виде бугристых наростов), комплексные соединения на основе оксидов железа и извести, инородные включения (кусочки древесины, мелкий щебень и т.д.). Наличие последних может свидетельствовать прежде всего о низком качестве очист-

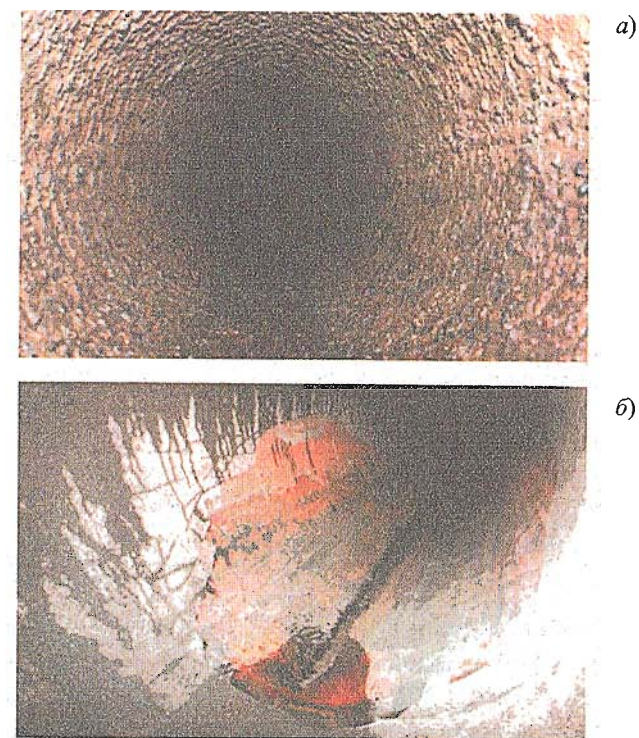


Рис. 3.1. Типичные бугристые отложения в трубопроводах питьевой воды (а) и образование продольных трещин (б) после нескольких лет эксплуатации сетей

ки воды (в частности, удаления железа и марганца), а также попадания посторонних предметов в трубопроводы при их прокладке или ремонте запорно-регулирующей арматуры.

Согласно международной и принятой в России классификации, поврежденные подземные трубопроводы подвергаются санации путем нанесения на их внутреннюю поверхность следующих типов защитных покрытий (облицовок):

- сплошные набрызговые (например, цементно-песчаные и другие растворы); применяются в основном на стальных и чугунных трубопроводах различного диаметра;

- сплошные (например, протяжка полимерных гибких оболочек или пластиковых труб с сохранением или разрушением старого трубопровода); используются на водопроводных, водоотводящих и газовых сетях малого и среднего диаметра;

- спиральные (например, навивка полимерных профильных лент на внутреннюю поверхность трубопроводов); применяются в основном для водоотводящих сетей;



- точечные (наложение временных и постоянных бандажей на внутренней поверхности трубопроводов и др.).

Качественно проведенная санация трубопроводов позволяет:

- предотвратить коррозию металлических стенок трубопроводов за счет пассивного (изоляции стенок) и активного (образования на стенках субмикроскопического покровного слоя из оксидов железа) защитного эффекта;

- обеспечить требуемый уровень надежности трубопроводов и снизить аварийность на водопроводных сетях;

- сохранить неизменными (для трубопроводов больших диаметров в некоторых случаях даже улучшить) гидравлические характеристики, а также стабилизировать напоры за счет уменьшения коэффициента гидравлического трения до уровня, соответствующего табличным значениям для новых труб;

- сохранить свойства воды, транспортируемой от станций водоподготовки до потребителей за счет снижения концентраций растворенного кислорода и остаточного хлора.

Отличительной особенностью *бестраншейного восстановления (санации)* от *бестраншейной прокладки* является сохранение старого трубопровода в качестве опоры несущей конструкции.

**Сплошные набрызговые покрытия на основе цементно-песчаных растворов.** В 40—50 гг. XX в. эффективной мерой защиты внутренней поверхности подземных металлических трубопроводов от наростов ржавчины и биообрастаний считалось напыление асбестоцемента. В последующие годы в качестве напыляемых ремонтных покрытий стали применять пластмассовую крошку. По тем временам данные мероприятия удовлетворяли техническим требованиям к трубопроводам, так как позволяли увеличить продолжительность эксплуатации сетей и оттянуть сроки их ремонта. Однако надолго эти методы не прижились, более эффективным оказалось нанесение на внутреннюю поверхность трубопроводов цементно-песчаных покрытий.

Покрытия из цементно-песчаных растворов широко используются за рубежом уже более 40 лет, а первый опыт их применения в Москве для защиты стального водовода внутренним диаметром 1200 мм (3-й Краснопресненский водовод) относится к 1968 г.

Работы по нанесению цементно-песчаных покрытий могут выполняться методом центрифугирования или центробежного набрызга (рис. 3.2) с использованием разглаживающих устройств.

Участок, подвергаемый облицовке, и готовый к эксплуатации трубопровод с нанесенным на внутреннюю поверхность защитным покрытием показаны на рис. 3.3 и 3.4.

Цементно-песчаные покрытия являются надежным средством ликвидации различного рода дефектов на внутренней поверхности стальных и чугунных труб, а также антикоррозионным материалом, однако

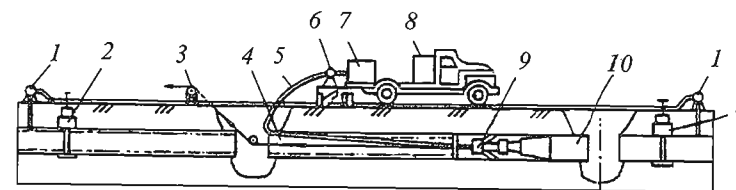


Рис. 3.2. Нанесение цементно-песчаного покрытия методом центрифугирования на трубопроводы малого диаметра: 1 — насос для временного отвода сточной жидкости; 2 — временный запорный вентиль (задвижка); 3 — лебедка; 4 — подлежащий обработке трубопровод; 5 — трубопровод транспортировки раствора; 6 — дозировочный насос для цементного раствора; 7 — емкость для цементного раствора; 8 — электрошкаф; 9 — разбрызгивающее устройство; 10 — обработанный участок трубы

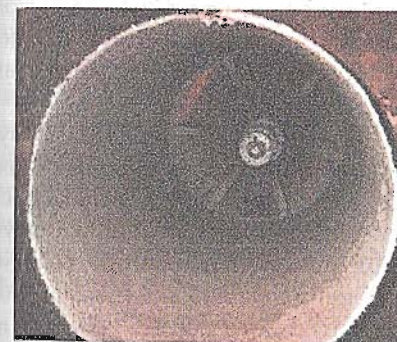


Рис. 3.3. Фрагмент участка облицовочного трубопровода в момент нанесения цементно-песчаного покрытия

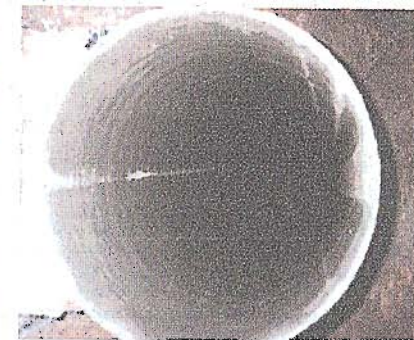


Рис. 3.4. Внутренняя поверхность облицованного трубопровода

не могут быть использованы для восстановления сильно разрушенных трубопроводов.

В качестве исходных материалов для приготовления качественного цементно-песчаного раствора необходимо использовать портландцемент марки М500 (ГОСТу 10178–85) и мелкозернистый кварцевый песок (фракционированный по ГОСТ 8736–93 и ТУ 39-1554–91).

Минимальная толщина защитного слоя должна определяться диаметром и материалом труб, а требуемая — возрастом труб, толщиной их стенок и физическим состоянием (износом). Выбранная толщина защитного слоя достигается при определенной скорости передвижения агрегата в трубе, а также при постоянных значениях производительности насоса, подающего цементный раствор, и скорости вращения центробежной головки.

Таблица 3.2. Минимальная толщина слоя в зависимости от диаметра труб

| Наружный диаметр трубы, мм | Толщина внутренней изоляции  |                            |
|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
|                            | минимальная толщина слоя, мм | допуск по толщине слоя, мм |
| 76                         | 4                            | +2                         |
| 89                         | 4                            | +2                         |
| 102                        | 4                            | +2                         |
| 108                        | 4                            | +2                         |
| 114                        | 4                            | +2                         |
| 133                        | 4                            | +2                         |
| 159                        | 5                            | +2                         |
| 219                        | 5                            | +2                         |
| 273                        | 5                            | +2                         |
| 325                        | 6                            | +2                         |
| 377                        | 6                            | +2                         |
| 426                        | 7                            | +2                         |
| 530                        | 7                            | +2                         |
| 630                        | 7                            | +2                         |
| 720                        | 7                            | +2                         |
| 820                        | 9                            | +2                         |
| 920                        | 10                           | +2                         |
| 1020                       | 11                           | +2                         |
| 1220                       | 12                           | +2                         |
| 1420                       | 12                           | +2                         |
| 1620                       | 14                           | +2                         |
| 2020                       | 16                           | +2                         |

Предельные отклонения размеров стальных труб, подлежащих восстановлению цементно-песчаным покрытием, не должны превышать величин, указанных в нормативных документах (ГОСТы 8731–74, 8732–78, 8696–74, 10704–91, 10706–76). Эллипсность труб не должна превышать 0,5 % от диаметра, а поражение коррозией не должно быть выше 10 % толщины трубы.

Требуемая толщина слоя цементно-песчаного покрытия для стальных труб должна соответствовать техническим условиям, согласованным с заказчиком (эксплуатирующей трубопроводы организацией) в установленном порядке (ТУ 5745-001-16341648).

Минимальная толщина слоя в зависимости от диаметра представлена в табл. 3.2.

Указанные допуски по толщине слоя соответствуют гладкому и прямому трубопроводу; над сварными швами толщина слоя может уменьшаться (до 3 мм). На концах труб допускается уменьшение толщины изоляции до 50 %, от торцов участка не более 50 мм.

Указанные в табл. 3.2 значения толщины внутренней защитной

Область применения метода санации путем нанесения цементно-песчаных покрытий — стальные и чугунные трубы независимо от давления воды. Диапазон наружных диаметров санируемых стальных труб 76—2020 мм.

Метод используется при любой глубине заложения труб (в грунте или непроходных каналах) и не зависит от типа грунтов, окружающих трубопровод. Он целесообразен при коррозионных обрастаниях и абразивном износе, но неэффективен при раскрытых стыках труб, смещении труб в стыках и деформации секций труб.

Внутренняя поверхность трубопровода перед санацией должна быть очищена. Допускается на поверхности стальных труб слой плотной ржавчины толщиной не более 0,05 мм (измеряется магнитным толщиномером). Наличие воды в трубопроводе не допускается.

Предельные отклонения раз-

изоляции относятся также к трубопроводам с нанесенным цементно-песчаным покрытием в стационарных (заводских) условиях.

Работы по нанесению цементно-песчаных покрытий должны включать проведение подготовительных технических мероприятий, а также подготовку и приготовление компонентов смеси. В свою очередь подготовительные работы должны заключаться в проведении следующих операций:

- раскопка двух котлованов (стартового и финишного) с вырезкой лазов (при необходимости) или использованием колодцев со снятием гидрантов, фасонных частей и установкой (снятием) заглушек; технологические операции должны заканчиваться обязательным водоотливом (откачкой воды из трубопровода);

- определение протяженности технологических захваток, которая диктуется длиной стандартных рабочих тросов и рукавов (подачи раствора и воздуха), а также техническими характеристиками растворонасоса и не зависит от диаметра трубопровода.

В случае непреодолимых для прохождения прочистными снарядами и облицовочными агрегатами препятствий (вертикальные подъемы и опуски, местные углы поворота трассы в плане и по вертикали, свищевые клинья, болты и т.д.) необходимо дополнительное вскрытие трубопроводов (устройство лазов) независимо от расположения колодцев в пределах установленной ранее технологической захватки и замена их предварительно облицованными элементами, в том числе фасонными частями.

Нанесение защитных покрытий в труднодоступных местах должно производиться вручную на месте или в стационарных условиях с последующей перекладкой труб. Возможны и другие методы устранения препятствий, возникающих при облицовке трубопроводов.

Стандартная технология подготовки компонентов смеси должна включать операции просеивания песка и цемента через сито и затаривания их в специальные емкости с плотно закрывающимися крышками, предотвращающими воздействие влаги и загрязнение посторонними примесями (для цемента согласно ГОСТу 22 237–85).

Портландцемент (вяжущее) должен отвечать следующим требованиям: не содержать комков и химических добавок, иметь густоту цементного теста не более 27 % и период схватывания не ранее 60 мин.

Удельная эффективная активность радионуклидов должна соответствовать 1-му классу (менее 370 Бк/кг) по ГОСТу 30 108–94. Не допускается смешивание цементов разных партий и марок, а также использование вяжущего со сроком хранения более 60 сут со дня отгрузки заводом-изготовителем. Возможно наличие в составе вяжущего сертифицированных тонкомолотых минеральных добавок (до 10 % по массе цемента) для повышения физико-химических характеристик покрытия (водонепроницаемости и стойкости к вспучиванию).



Используемый для приготовления смеси песок должен иметь крупность зерен не более 1 мм; фракции с размером зерен 0,315...0,63 мм должны составлять не менее 70 % массы песка, а фракции размером до 0,315 мм — менее 3 %. Содержание глинистых, илистых и пылевидных частиц не должно превышать 3 % по массе, удельная эффективная активность радионуклидов должна соответствовать 1-му классу.

Используемая вода должна соответствовать ГОСТу 23732–79 и иметь температуру +10...+30 °С, а оптимальное соотношение твердых компонентов цемент: песок должно быть в пределах: по объему от 1:1 до 1 : 1,2 и по массе от 1:1,115 до 1:1,338. При этом водоцементное отношение должно составлять 0,3—0,36.

Подготовленная к нанесению на внутреннюю поверхность трубопровода цементно-песчаная смесь должна быть хорошо перемешана и однородна. Ее подвижность в течение всего времени использования должна быть в диапазоне 6,5—9 (по глубине погружения конуса согласно ГОСТу 5802–86). Перед нанесением на трубопровод цементно-песчаная смесь должна иметь температуру +10...+25 °С. Работы по нанесению цементно-песчаных покрытий не производятся при среднесуточной температуре наружного воздуха менее 5 °С.

Нанесенные цементно-песчаные покрытия должны соответствовать следующим основным требованиям:

- покрытие должно быть сплошным, с заглаженной поверхностью (допускаются борозды или гребни с отклонением по глубине до 1 мм при выполнении требований по толщине слоя);
- набор прочности цементно-песчаного покрытия до 70 % должен проходить при температуре покрытия +5...+30 °С и влажности 90—100 %;
- покрытие на любом участке санированного трубопровода должно иметь среднюю плотность не менее 2200 кг/м<sup>3</sup> и прочность на сжатие в возрасте 3 сут. — 30 МПа (70 % R28), 7 сут. — 35 МПа (80 % R28) и 28 сут. — 45 МПа (100 % R 28) по ГОСТ 26633–91 и СНиП 82-02–95.

Непосредственно после санации трубопровода должны производиться маркировка и регистрация выполненных работ по ТУ, согласованным с заказчиком (эксплуатирующей организацией) в установленном порядке.

После маркировки для равномерного схватывания цемента по всей длине трубопровода он должен подвергаться герметизации в пределах захватки путем плотной заделки обоих мест вскрытия полиэтиленовой пленкой. Перед сдачей санированного трубопровода в эксплуатацию производятся его промывка и дезинфекция.

Санированный трубопровод должен быть принят эксплуатирующими организациями путем проверки соответствия покрытия требованиям ТУ 5745-001-16341648. Данными техническими условиями регламентируются также вопросы безопасности производства работ и охраны окружающей среды.

К достоинствам метода нанесения цементно-песчаных покрытий можно отнести относительную простоту технического исполнения и низкую стоимость ремонтных работ, которая составляет около 30 % стоимости нового строительства. Тонкая и гладкая поверхность облицовки после ее затирки обеспечивает снижение гидравлического сопротивления и потерь напора в трубопроводах при незначительном уменьшении его внутреннего диаметра. После нанесения цементно-песчаного раствора трубопровод может быть пущен в эксплуатацию через 3—5 сут., т.е. технологический цикл процесса является относительно продолжительным. Покрытие сохраняется стабильным в течение длительного срока эксплуатации (50 лет).

*Контроль качества санации* при нанесении цементно-песчаных покрытий включает контроль качества внутренней защитной изоляции и проведение приемо-сдаточных испытаний, в том числе:

- визуальный осмотр (при диаметре трубопровода более 900 мм) и телеинспекцию с помощью видеокамер (при диаметре трубопровода менее 800 мм), позволяющих выделить усадочные трещины, отслоения облицовок, вздутия, пустоты и другие дефекты, подлежащие ликвидации ручным или механизированным способом с повторным нанесением покрытия;
- измерение толщины защитного слоя путем использования механического способа, т.е. прокола специальным щупом в виде пластины размером 100×5×0,8 мм неотвердевшего покрытия, или ультразвуковых и электромагнитных толщиномеров (допускаемая погрешность +10 %); покрытие должно быть сплошным и гладким, на поверхности допускаются продольные борозды (гребни) глубиной (высотой) не более 1 мм, образованные заглаживающим устройством;
- измерение механической прочности покрытия (через 72 ч после нанесения раствора); прочность образца (кубика) на сжатие (или на изгиб) должна быть не менее 22,5 МПа; проверка прочностных свойств должна производиться как минимум однократно при каждом нанесении покрытия;
- гидравлические испытания, т.е. натурные измерения расходов воды и давлений (в том числе, для определения истинного значения коэффициента гидравлического трения).

**Сплошные набрызговые покрытия из эпоксидной смолы и других веществ.** В состав покрытий, кроме органической смолы, входят волокнистые добавки на основе стекла, которые защищают трубопровод от коррозии и абразивного износа, гарантируя водонепроницаемость стенок. Нанесение раствора осуществляется как и в случае использования цементно-песчаного раствора, центрифугированием с помощью вращательных устройств со щетками. Метод нашел применение за рубежом в основном для санации водоотводящих сетей. Его особенностью является более тщательная предваритель-

ная подготовка (чистка) внутренней поверхности восстанавливаемых трубопроводов.

При напылении на внутреннюю поверхность стальных и чугунных трубопроводов покрытий на основе полиуретана, отверждаемого изоцианатом (например, по технологии фирмы CUES, США), трубопроводы могут быть использованы в системах водоснабжения, так как рекомендуемые по технологии составы сертифицированы Государственной санитарно-эпидемиологической службой РФ в соответствии с требованиями СанПиН.

**Сплошные покрытия в виде гибких полимерных рукавов или труб из различных материалов.** Данный тип покрытий применяется как для водопроводных, так и водоотводящих труб.

Прежде чем остановиться на сущности методов сплошного покрытия полимерными материалами и последовательности сопровождающих их технологических операций, необходимо представить некоторые сведения об использовании труб из пластических материалов для ремонтно-восстановительных работ, а также об уникальных свойствах пластиков.

Первый опыт использования труб из пластических материалов для восстановления (санации) трубопроводов относится к концу 1960-х гг., когда в г. Торонто (Канада) были восстановлены газовые, а затем и водоотводящие сети. Для этой цели использовались полиэтиленовые и поливинилхлоридные трубы, долговечность которых оценивалась соответственно в 35 и 20 лет. В европейских странах полимерные трубы для санации водоотводящих трубопроводов стали применять в начале 1970-х, а водопроводных — в конце 1970-х гг. При выборе конкретного материала для изготовления труб руководствовались техническими условиями и экологическими факторами.

Как известно, полиэтилен имеет уникальные свойства, которые позволяют использовать его при восстановлении трубопроводов. Одно из них заключается в том, что при монтаже плетей трубопроводов из отдельных звеньев труб возможно использование бесшовной сварки плавлением. При этом труба может быть соединена с другой полиэтиленовой арматурой, например клапанами, боковыми отводами, задвижками и т. д., обеспечивая полную герметизацию системы.

Другое уникальное свойство полиэтилена заключается в том, что он может принимать первоначальную форму благодаря своей специфической молекулярной структуре. Это свойство используется для изготовления складывающихся труб, что весьма целесообразно при транспортировке и прокладке сетей. По завершении прокладки на saniруемых участках сети звеньев труб принимают свою первоначальную форму, создавая герметичную оболочку, вплотную примыкающую к внутренней поверхности практически любых типов трубопроводов.

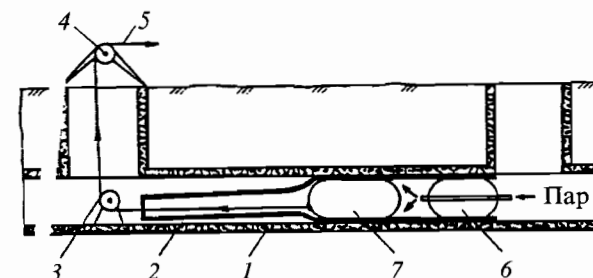


Рис. 3.5. Нанесение внутреннего покрытия из гибких пластических материалов: 1 — восстанавливаемый участок трубопровода; 2 — защитное покрытие; 3 — направляющий ролик; 4 — лебедка; 5 — трос; 6 — емкость с горячим воздухом (паром); 7 — специальный груз

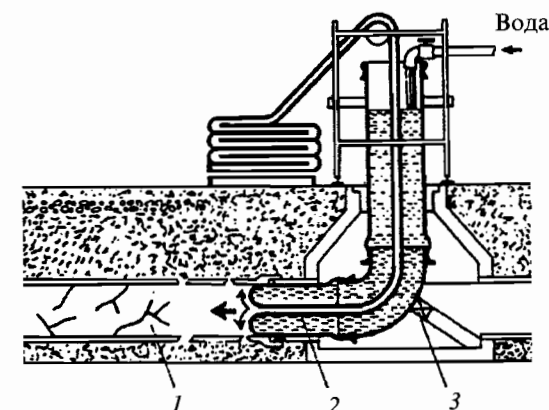


Рис. 3.6. Нанесение внутреннего защитного покрытия по технологии фирмы ENTREPOS: 1 — восстанавливаемый трубопровод; 2 — защитное покрытие в виде чулка; 3 — направляющие ролики

При нанесении на saniруемые трубопроводы как гибких внутренних покрытий из полимерных материалов (оболочек, мембран, рукавов), так и при введении в них полимерных труб наряду с обеспечением полной герметичности стенок достигается их высокая сопротивляемость динамическим нагрузкам.

Введение в трубопровод и закрепление в нем оболочек может производиться либо путем протаскивания бесшовного покрытия на всю длину реабилитируемого участка между двумя колодцами с последующим прижатием ее специальным грузом в форме баллона и подачей под давлением горячего воздуха или водяного пара (рис. 3.5), либо постепенным введением на реабилитируемый участок скрученной в рулон оболочки в виде чулка (лайнера) с прижатием ее к стенке давлением жидкости (рис. 3.6).





Рис. 3.7. Подача защитной оболочки в трубопровод через открытый люк колодца

Ввод оболочки в трубопровод через открытый люк колодца для последующего монтажа на внутренней стенке показан на рис. 3.7.

В результате процесса полимеризации происходит затвердевание сплошной защитной оболочки, после чего все устройства и жидкость из трубопровода удаляются. Коммуникации могут быть сданы в эксплуатацию через несколько суток после проведения описанных операций.

Последовательность операций при нанесении защитных оболочек по технологии фирмы «Wavin» представлена на рис. 3.8.

Особого внимания с технической точки зрения заслуживает технология нанесения сплошных полимерных рукавов «Феникс» (Phoenix). Это один из новых эффективных способов восстановления внутренней поверхности изношенных трубопроводов, который позволяет армировать внутреннюю поверхность трубопроводов специальным рукавом, изготовленным из полиэфирных и нейлоновых нитей, пропитанных полиэтиленом. На Московском водопроводе работы по санации подземных трубопроводов данным методом при использовании оборудования германукой фирмы «Пройсаг Вассер унд Рортехник ГмбХ» ведутся с 1995 г.

Сущность данного метода санации трубопроводов заключается в закреплении у торцов и протягивании в полость трубы на всю длину ремонтного участка бесшовного полимерного рукава с плотной фиксацией его внутренней оболочки к внутренней поверхности трубопровода с помощью предварительно нанесенных клеевых составов (эпоксидной смолы) и давления воздуха или пара (рис. 3.9).

Воздушный поток обеспечивает продвижение оболочки по длине трубопровода, а термообработка приводит к быстрому твердению клеевых составов. Фрагмент выворота чулка на поперечном разрезе трубопровода при реализации метода «Феникс» показан на рис. 3.10.

Полимерный рукав может изготавливаться из полиэстра, полиэтилена и других материалов, которые обеспечивают механическую прочность и герметичность восстанавливаемого трубопровода.

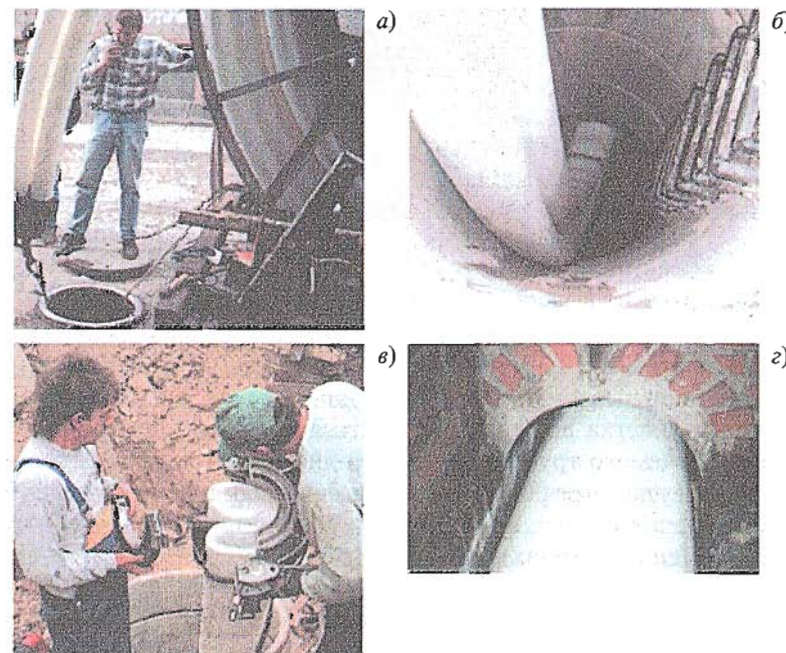


Рис. 3.8. Последовательность операций при нанесении гибких внутренних покрытий: а — монтаж специального замка на переднем конце гибкого покрытия и ввод его в люк колодца с помощью троса и лебедки; б — протягивание гибкого покрытия через колодец в полость ветхого трубопровода; в — монтаж специального замка на конце отрезка гибкого покрытия; г — общий вид (вскрытый фрагмент) отремонтированного участка трубопровода

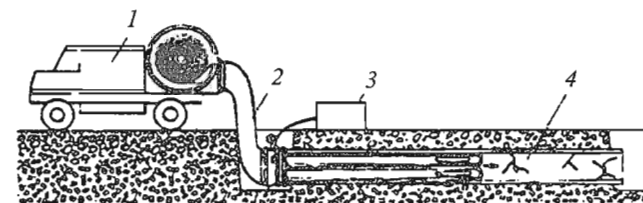


Рис. 3.9. Нанесение внутреннего защитного покрытия по технологии «Феникс»: 1 — автомобиль с небольшим оборудованием; 2 — полимерный чулок (рукав); 3 — компрессор; 4 — санируемый трубопровод

Полимерный рукав имеет толщину 2 мм (при эксплуатации трубопровода под давлением воды до 3 МПа) или 3—10 мм при необходимости противодействия значительным внешним нагрузкам, а также достижения необходимой устойчивости и прочности, сравнимой с аналогичными показателями для нового стального или чугунного трубопровода.





Рис. 3.10. Фрагмент выворота чулка в период санации трубопровода

Область применения метода нанесения сплошного полимерного покрытия — стальные и чугунные трубы диаметром 150 — 900 мм. Длина ремонтного участка должна определяться в зависимости от диаметра восстанавливаемого трубопровода: при диаметре 150 мм она составляет 500 м, при диаметре 300 мм — 300 м, при диаметре 900 мм — 100 м.

Метод используется при любой глубине заложения труб (в грунте или непроходных каналах) и не зависит от типа грунтов, окружающих трубопровод. Метод эффективен при следующих видах повреждений: трещины (продольные, поперечные, винтообразные), абразивный износ, свищи (при отсутствии инфильтрации воды в трубу). При других повреждениях (раскрытых стыках, смещении труб в стыках) необходима предварительная подготовка, обеспечивающая соосность труб в местах дефектов.

Внутренняя поверхность трубопровода перед санацией должна быть очищена до металлического блеска в соответствии со степенью А по ГОСТу 9.402–80 «Изоляция подземных трубопроводов», что обеспечивается многократным протаскиванием скребкового снаряда с металлическими гребенчатыми и радиальными скребками, специального манжетного снаряда для сбора отложений и поролонового поршня для удаления остатков отложений, а также использованием гидравлической очистки.

Соотношение эпоксидной смолы и отвердителя в период производства работ по нанесению полимерного рукава должно составлять 1:1, скорость подачи рукава в трубопровод 2,5 м/мин независимо от диаметра подлежащего восстановлению трубопровода.

Продолжительность этапов затвердевания клеевого состава следует принимать не менее 5 ч при температуре пара 105 °С, а продолжительность этапа охлаждения не более 6 ч при температуре 50 °С. Санация проводится при температуре наружного воздуха не ниже 0 °С.

Основное требование к нанесенным полимерным покрытиям — покрытие должно быть сплошным без видимых дефектов. В случае обнаружения любых видимых дефектов (разрыва рукава, вздутия пленки и т.д.) рукав извлекается из трубы и процесс санации повторяется.

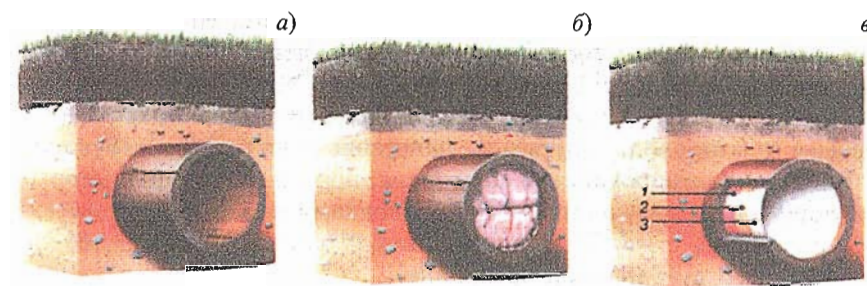


Рис. 3.11. Этапы технологического процесса «Феникс»: а — предварительная очистка перед санированием; б — отгибание лайнера в трубу; в — трубопровод после окончания санирования; 1 — клей; 2 — ткань; 3 — покрытие

Применяемые в процессе санации по методу «Феникс» материалы, а также защитное покрытие в целом должны соответствовать существующим санитарным требованиям в части разрешения органов санитарного надзора РФ на использование в качестве облицовки трубопроводов, транспортирующих питьевую воду, и иметь сертификат соответствия Госстандарту РФ.

Проектирование ремонтных работ методом «Феникс», а также производство работ по нанесению покрытий, включая операции по предварительной прочистке трубопровода, должны производиться в соответствии с требованиями Правил по проведению ремонта (санации) внутренней поверхности трубопроводов полиэтиленовым рукавом по технологии «Феникс».

Ограничения метода «Феникс» — длина прочищаемого участка трубопровода не должна превышать 100 м, так как используемые стандартные шланги для гидравлической очистки имеют длину до 100 м. Профиль прочищаемого участка должен иметь постоянный уклон, обеспечивающий сток воды из трубопровода.

Для исключения застревания рукава на поворотах и образования складок рукава угол поворота трубопровода при санации должен быть следующим: для труб диаметром 150 мм — менее или равен 15°, для труб диаметром 300–900 мм — менее или равен 45°.

Последовательность реализации технологии «Феникс» приведена на рис. 3.11.

Контроль качества работ по санации по методу «Феникс» включает следующие операции:

- визуальный осмотр и телеинспекцию с помощью видеокамер, позволяющих обнаружить разрывы оболочек, их вздутие и отслоение и другие дефекты, подлежащие последующей ликвидации ручным или механизированным способом;



• гидравлические испытания, т.е. натурные измерения расходов и давлений воды (в том числе для определения истинного значения коэффициента гидравлического трения).

Успешная реализация метода «Феникс» и ему подобных на Московском водопроводе (например, нанесение многослойных рукавов, состоящих из армированного материала, пропитанного полимерным связующим и заключенного между оболочками из термопластических пленок) связана с равномерной пропиткой защитных покрытий или армирующего трубопровод материала.

Заливка связующего (полиэфирные, эпоксидные смолы) производится с одного или двух концов заготовки комбинированного рукава, с последующим распределением связующего по длине рукава валками на десятки метров. Процесс пропитки, особенно для комбинированных рукавов большой длины и диаметра, чрезвычайно трудоемок и практически не поддается механизации. Последствием некачественной пропитки может стать образование «линз», т.е. участков связующего без наполнителя на поверхности ремонтного покрытия.

Для устранения указанных недостатков отечественными специалистами предложен новый способ изготовления комбинированного рукава, в котором пропитка армирующего материала осуществляется через штуцеры и в специальном «рукаве-емкости» (рис. 3.12).

При реализации способа достигается равномерное дозирование связующего как по длине комбинированного рукава, так и по его периметру. Реализация его может осуществляться тремя путями.

Первый — пропитка комбинированного рукава, имеющего внешнюю полиэтиленовую и внутреннюю полипропиленовую оболочки, с помощью заливки связующего между внутренней оболочкой и армирующим материалом с последующим распределением связующего от концов комбинированного рукава к его середине вручную.

Второй — введение связующего через штуцеры, сваренные с интервалом 1 м во внешнюю оболочку. Распределение связующего по длине армирующего рукава также осуществляется валками.

Третий — пропитка комбинированного рукава производится введением связующего внутрь заготовки «рукава-емкости», представляющей собой рукавный армирующий материал с внешней полиэтиленовой оболочкой. Связующее распределяется посредством механического валкования. Ввод внутренней полипропиленовой оболочки в заготовку осуществляется методом пневмовыворота. Формование внутреннего ремонтного покрытия производится горячим водяным паром при давлении 0,5 кг/см<sup>2</sup> и температуре 100 °С в течение 3 ч.

Исследования показали, что композитный материал покрытия, изготовленного из комбинированного рукава по третьему варианту, имеет наиболее стабильные свойства по всей длине заготовки.

Перечисленные варианты изготовления комбинированного рукава

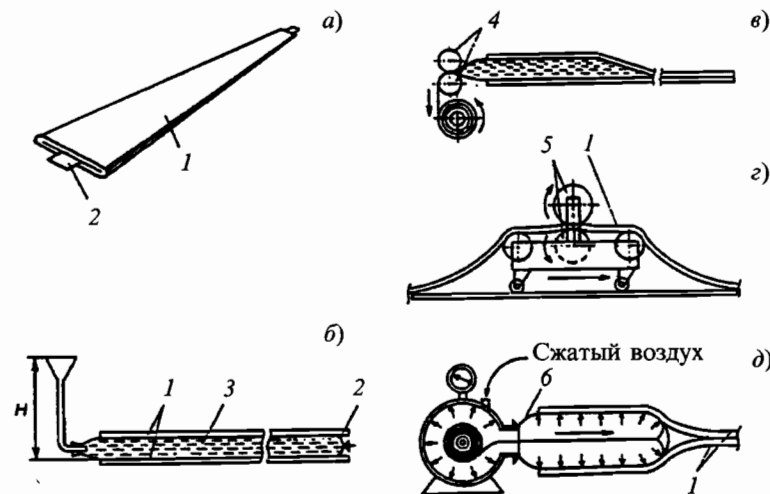


Рис. 3.12 Метод изготовления комбинированного рукава для ремонта трубопроводов: а — исходный комбинированный рукав; б — подача связующего в «рукав-емкость»; в — распределение связующего по длине комбинированного рукава посредством вытягивания «рукава-емкости»; г — пропитка комбинированного рукава валковым устройством; д — «выворот» в пропитанный комбинированный рукав полиэтиленового рукава; 1 — заготовка комбинированного рукава; 2 — рукав-емкость; 3 — связующее; 4 — вытягивающие валки; 5 — отжимные валки; 6 — внутренний пленочный рукав

успешно прошли апробацию на Московском водопроводе в 1996 г. при проведении работ по ремонту водоотводящих трубопроводов. Объем санации трубопроводов диаметром 150—450 мм по данному способу составляет ежегодно около 16—20 км.

Разработка и промышленное внедрение в МГУП «Мосводоканал» прогрессивных материалов, оборудования и технологии бестраншейного восстановления подземных трубопроводов была отмечена Государственной премией РФ за 1997 г. в области науки и техники.

**Технология сплошного покрытия путем введения в старый трубопровод нового из полимерных материалов.** Схема процесса втягивания нового трубопровода в старый показана на рис. 3.13.

При реализации технологии происходит значительное уменьшение живого сечения трубопровода (например, в трубе диаметром 400 мм после санации условный проход составляет лишь 315 мм).

Для исключения указанного недостатка немецкой фирмой «Preussag» разработана технология санации, получившая название «Swagelining». С помощью данной технологии и ее модификаций в различных странах мира восстановлено свыше 800 км трубопроводов. Преимуществом технологии является то, что санация осуществляется

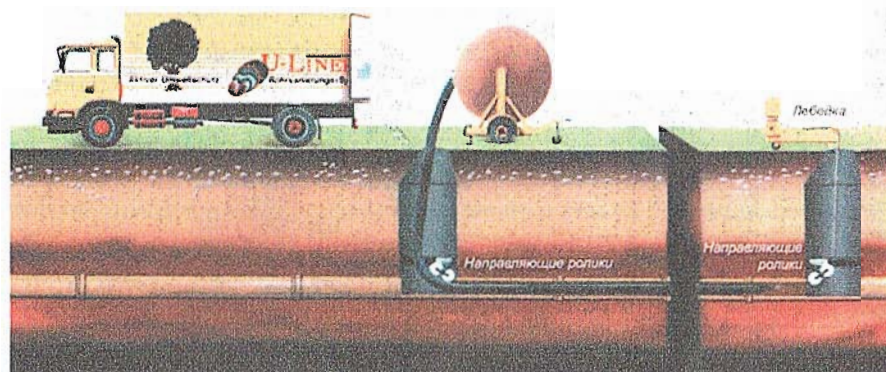


Рис. 3.13. Схема протяжки полиэтиленовой трубы в санируемый трубопровод

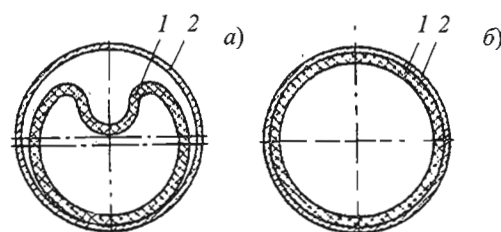


Рис. 3.14. Форма полиэтиленовой трубы при втягивании в санируемый трубопровод (а) и после расширения внутри него (б): 1 — полиэтиленовая труба; 2 — изношенный трубопровод

с помощью тонких полиэтиленовых труб, которые позволяют восстановить сети практически без уменьшения сечения трубопроводов. Процесс восстановления трубопроводов состоит в том, что после операций прочистки внутренней поверхности подлежащего обновлению трубопровода в него втягивается полиэтиленовая труба сплюсненной U-образной формы, называемая улайнером (U-Liner) (рис. 3.14 и 3.15).

Последовательность основных операций при реализации метода показана на рис. 3.16.

Под давлением пара труба приобретает круглую форму, плотно прилегая к внутренней поверхности трубопровода без образования кольцевого зазора. Диапазон диаметров санируемых трубопроводов по данной технологии 100—800 мм. Максимальная протяженность реабилитируемого участка до 600 м.

Основными преимуществами описанных методов санации являются достаточно высокая производительность и относительная простота. Однако недостаток последнего метода заключается в том, что после ремонта заметно уменьшается внутренний диаметр трубопровода.

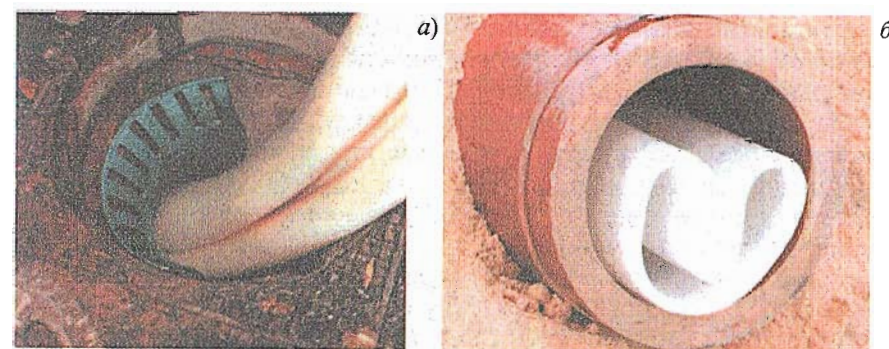


Рис. 3.15. Фрагмент ввода сплюсненной трубы в колодезь (а) и ее расположения в санируемом трубопроводе (б)

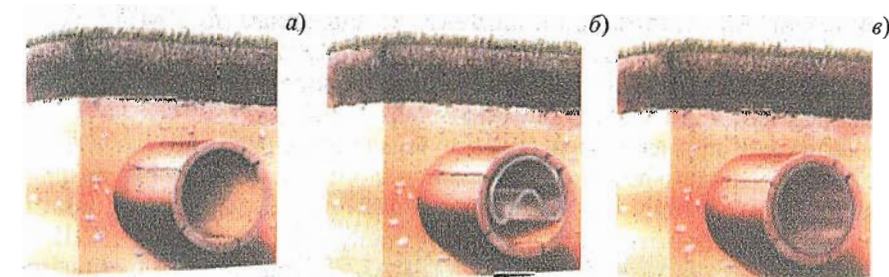


Рис. 3.16. Этапы технологического процесса «Swagelining»: а — очищенная труба перед санированием; б — введенный U-Liner перед возвращением в первоначальную форму; в — полностью санированная труба

**Точечные (местные) защитные покрытия.** Данный тип покрытий характерен для ликвидации одиночных (точечных) сквозных отверстий, в том числе периферийных трещин для трубопроводов диаметром 150 мм и более. Данные дефекты трубопроводов могут быть вызваны подвижкой грунта (например, при проведении вблизи трасс земляных работ, воздействием на трубопроводы сверхнормативных нагрузок от дорожного движения, размоканием грунта, землетрясений и т.д.), а также местной (очаговой) коррозией стенок трубопроводов как изнутри, так и снаружи.

Покрытия для точечного ремонта могут также использоваться в качестве герметичных соединений отдельных труб при реализации различных способов бестраншейного восстановления сетей.

Местные повреждения, явившиеся причиной химической эрозии стенок трубопроводов, могут развиваться очень быстро и приводить к преждевременному выходу трубопровода из строя. Данные статистики показывают, что такого рода повреждения составляют около 10 % длины трубопровода.



С помощью защитных покрытий для местного ремонта кольматируются со стороны внутренней поверхности трубопроводов сквозные, продольные и круговые трещины. Точечные защитные покрытия могут быть в виде: жидких растворов, твердеющих после нанесения на поврежденные поверхности (акриловые или полиуретановые гели, полиуретановая пена, растворы на основе цемента со стойкими по отношению к сточной воде добавками); растворов полужидкой консистенции; волокнистых материалов с пропиткой смолами; профильных резиновых уплотнителей; гильз из нержавеющей стали; композиционных составов холодного отверждения и т.д.

Английской фирмой «PMP Ltd.» для ремонта водопроводных сетей разработан метод «Amex-10», в основу которого положено использование резиновой изоляции, которая прижимается к внутренней поверхности трубопровода расширяющимися кольцами из нержавеющей стали. Для систем водоснабжения (с давлением до 2 МПа) рекомендуется использовать специальную резину типа EPDM. Метод «Amex-10» позволяет реставрировать трубопроводы с локальными повреждениями в диапазоне диаметров 600—3000 мм.

Широкое применение в области водоснабжения и водоотведения находят ремонтно-восстановительные технологии, основанные на применении композиционных материалов холодного отверждения, производимые зарубежными фирмами «MultiMetal» (ФРГ), «Devco» (США), «Durmetal» (Швейцария), «Belzona» (США), «Diamant» (ФРГ), «Loctite» (США). На российском рынке технические фирменные услуги по реализации технологий и материалам указанных фирм оказывает Международная московская корпорация «МОСИНТРАСТ».

Качество применяемых материалов гарантируется зарубежными и российскими контролирующими органами: Госгортехнадзором и Госсанэпиднадзором РФ, Морским регистром РФ, Регистром Ллойда (ФРГ, Великобритания), Институтом гигиены и медицины при Рурском институте Бохума и др.

Восстановительные работы могут проводиться как на наружной поверхности объекта, так и на внутренней, причем в некоторых случаях без их опорожнения, если речь идет о трубопроводах большого диаметра или резервуарах для хранения воды.

Одним из основных преимуществ технологий корпорации «МОСИНТРАСТ» является удешевление ремонта в 5—6 раз по сравнению с традиционными методами. При этом сроки ремонта (простоя оборудования) могут сокращаться в 2—10 раз. Выполнение ремонтно-восстановительных работ часто производится без разборки или с частичной разборкой оборудования. Опыт эксплуатации отремонтированных объектов показывает, что срок их службы может увеличиваться в несколько раз.

Технологиями корпорации «МОСИНТРАСТ» пользуются подразделения Мосводоканала, Мосгаза, Мосэнерго, Мосавтотранса, МПС и др.

### 3.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ И ЗАВЕРШАЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Работы по проведению санации независимо от применяемого метода в обязательном порядке должны предваряться комплексным диагностическим инспекционным контролем трубопровода и его эффективной прочисткой. Проведение данных работ является неотъемлемой составной частью технологии санации.

**Инспекционный контроль.** Диагностический контроль проводится до и после санации (для оценки качества работ). В нашей стране внутренняя инспекция водопроводных труб больших диаметров для диагностики их состояния предусматривает визуальный контроль, а малых — телеконтроль специальными роботами.

Телероботы представляют собой перемещающиеся внутри трубопровода транспортные модули на колесном или гусеничном ходу, на салазках или плавающие (рис. 3.17), на них, кроме телекамер, могут располагаться ремонтные головки (например, заделочная или бандаж-

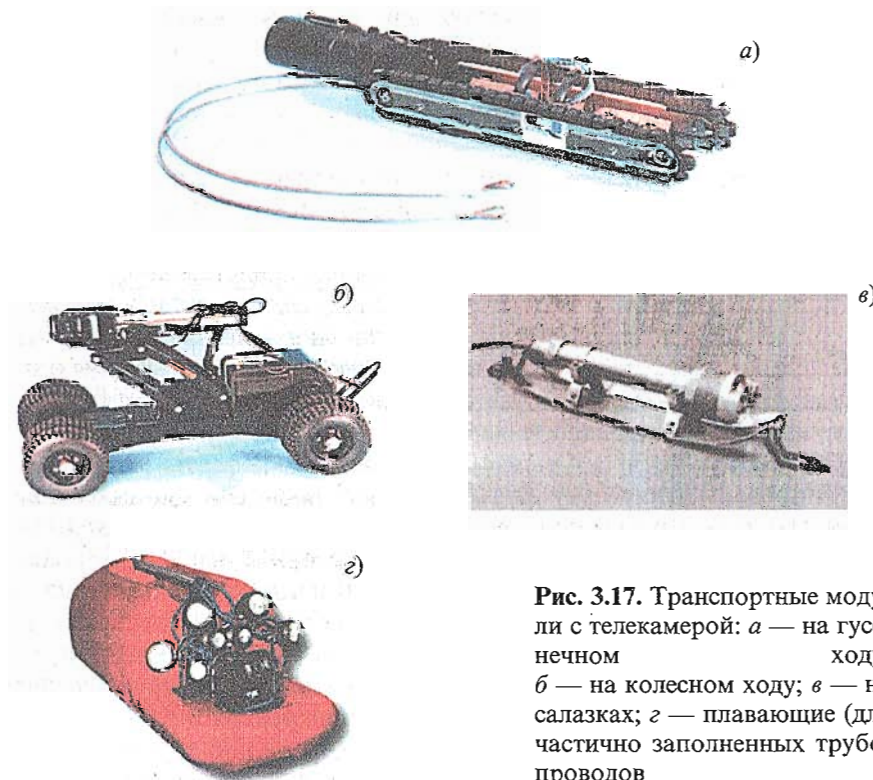


Рис. 3.17. Транспортные модули с телекамерой: а — на гусеничном ходу; б — на колесном ходу; в — на салазках; г — плавающие (для частично заполненных трубопроводов)

ная). Управляются телероботы по кабелю длиной до 150 м. Аппаратура управления и пост оператора находятся в специальном микроавтобусе. Здесь же располагаются кабельный барабан, подъемники, устройства очистки и связи, генератор, бортовой компьютер, видеосистема и прочее оборудование. Телеробот полностью герметичен и способен работать в частично заполненных водой трубопроводах, что дает ему преимущества перед другими средствами диагностики.

Инспекция трубопроводов осуществляется цветной телекамерой с высокой разрешающей способностью, которая дает богатую информацию о состоянии сети. Телекамера способна обнаружить даже небольшие трещины и течи, засоры и посторонние предметы, определить точное местоположение и характер дефекта, состояние трубопровода вокруг дефекта. Видеосъемка может производиться круглосуточно и независимо от погодных условий.

Технология съемки заключается в следующем. Оператор управляет видеосъемкой из студии, размещенной в автомобиле. На монитор выводится четкое и ясное изображение внутренней поверхности трубы. По кромке изображения высвечивается и фиксируется информация о заказчике, а также данные о месте проведения работ и виде трубопроводов. В нижней части кадра записываются время съемок и ход камеры (расстояние от исходной точки движения). В местах обнаружения повреждений (дефектов) внутренней поверхности оператор останавливает камеру и подробно осматривает место путем поворота объектива.

Комментарий оператора вместе с изображением записывается на видеопленку. Видеокассета передается заказчику по окончании работ и хранится в его видеоархиве. По результатам видеоосмотра должен составляться письменный отчет, в котором представляется полное описание нарушений стыковых соединений, ответвлений и всех дефектов внутренней поверхности: трещин, прогибов, изломов, деформаций, заусениц, зазубрин и т.д. В отчете должны даваться выводы о необходимости проведения соответствующих ремонтных работ и профилактических мероприятий.

Обнаруженные в результате телеинспекции дефекты могут быть сгруппированы, как отмечалось выше, в основном в две категории: структурные (микротрещины, вызывающие локальную эксфильтрацию и инфильтрацию, продольные и круговые трещины, нарушение стыковых соединений в результате старения труб и т.д.) и функциональные (деформации, образование ржавчины, биообрастаний и наносов на внутренней поверхности труб, проникновение корней деревьев внутрь трубопроводов, преждевременное разрушение материала труб и защитных оболочек из-за агрессивного воздействия грунтов и т.д.).

На практике в большинстве случаев весьма трудно определить значимость и приоритетность факторов, которые определяют периодич-

ность, последовательность и характер ремонтных работ на сетях. Необходимо отметить, что временной фактор (разрушение труб по причине старения) не всегда является приоритетным при принятии решения по организации работ по восстановлению сетей.

Специальными исследованиями установлено, что появление дефектов зависит от ряда дестабилизирующих надежность труб факторов и обстоятельств (см. главу 2).

Телеконтроль водопроводных сетей применяется:

- в трубах из любого материала диаметром 80—150 мм с помощью неповоротной и несамостоятельной (протягиваемой на тросе или проталкиваемой фиброгласовым стержнем) телеустановки;
- в трубах диаметром 100—250 мм с помощью самостоятельного робота с неповоротной широкоугольной телекамерой;
- в трубах большого диаметра (до 1020 мм) с помощью самостоятельных роботов с поворотной телекамерой, устанавливаемой с помощью пантографического механизма по центру трубы.

В каждом из перечисленных вариантов используется цветная телекамера с разрешением не менее 330—470 линий.

*Прочистка трубопроводов.* Перед санацией трубопроводов должна проводиться их эффективная чистка, исключающая повреждение внутренней поверхности трубы и заделку стыковых раструбных соединений (например, при ремонте чугунных и других труб).

В зависимости от степени зарастания живого сечения трубопроводов можно использовать следующие основные методы чистки трубопроводов:

- водяной, или гидромеханический; применяется для труб диаметром 100 мм и менее при наличии уплотненных бугристых наносов;
- водовоздушный; применяется для трубопроводов диаметром 150—200 мм при наличии уплотненных бугристых наносов при длине обрабатываемого участка за один цикл (проход) до 2000 м (рис. 3.18);
- гидропрочистка с использованием высоконапорных устройств с вращательными головками; применяется для трубопроводов диаметром до 300 мм и при длине обрабатываемого участка за один цикл (проход) до 1000 м (рис. 3.19);
- очистка с использованием цилиндрических поршневых скребков из полиуретана, покрытого ворсистым металлическим патроном (рис. 3.20); применяется для диаметров трубопроводов 80—150 мм. Данный способ прост в применении, не требует высококвалифицированного персонала и сложной техники. Недостатки — необходимость резки трубопровода, значительный расход воды, а также возможное нарушение качества воды в трубопроводе, из которого подается вода для промывки. Кроме того, возможно разрушение или блокировка очистного устройства в трубе, а его обнаружение и извлечение являются сложными и дорогостоящими операциями;



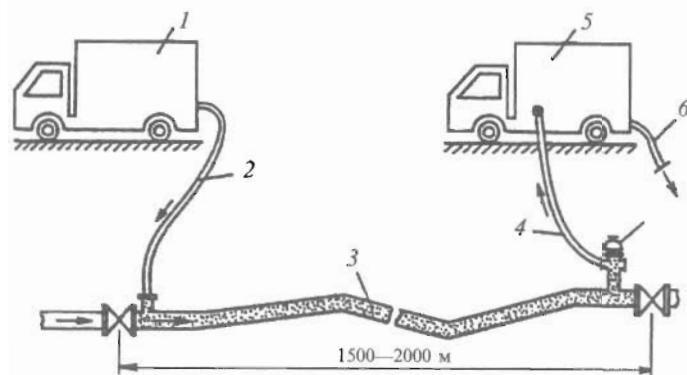


Рис. 3.18. Водовоздушная прочистка трубопроводов: 1, 5 — соответственно компрессорная установка и цистерна для оттаивания; 2, 4 — шланги (рукава) соответственно для подачи сжатого воздуха и отвода смеси; 3 — обрабатываемый трубопровод; 6 — шланг для удаления отстоя; 7 — водоразборная колонка, или гидрант

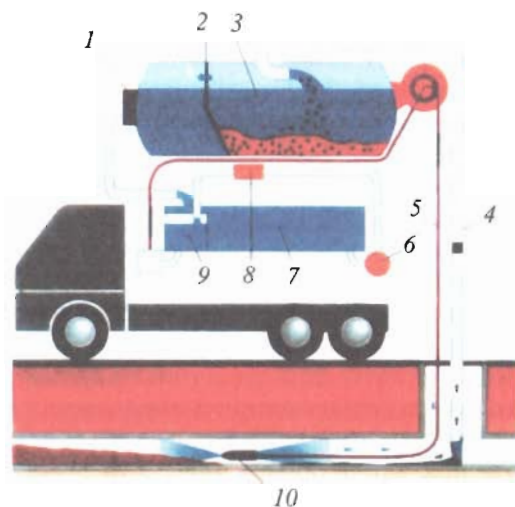


Рис. 3.19. Гидропрочистка трубопроводов от отложений и ржавчины: 1 — фильтр; 2 — разделительная перегородка; 3 — резервуар; 4 — всасывающая труба; 5 — гидрошланг; 6 — центробежный насос; 7 — цистерна; 8 — гидrocиклон; 9 — коллектор; 10 — вращательная головка

- очистка с использованием стержневых устройств или спиралевидных скребков (рис. 3.21); применяется для трубопроводов диаметром 100 мм и менее при плотных наростах накипи и ржавчины;
- гидравлический метод очистки на основе использования реактивных головок или гидрокavitационных сопел; применяется для труб

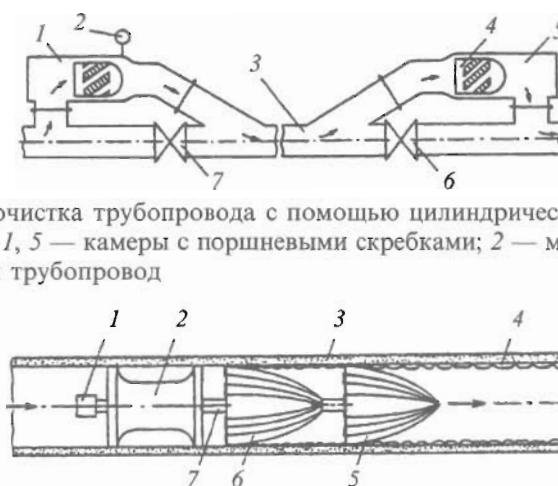


Рис. 3.20. Прочистка трубопровода с помощью цилиндрического поршневого скребка: 1, 5 — камеры с поршневыми скребками; 2 — манометр; 3 — очищаемый трубопровод

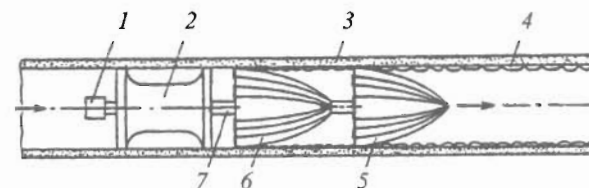


Рис. 3.21. Прочистка трубопровода скребковым устройством: 1 — трубопровод, подлежащий прочистке; 2 — наросты на внутренней поверхности трубы; 3 — движитель; 4, 5 — соответственно передние и задние скребки; 6 — стержень; 7 — электронный детектор

любых диаметров, при этом достигается зеркальный блеск поверхности и одновременно наносится антикоррозионное защитное покрытие;

- электрогидроимпульсный метод реализуемый путем создания высоковольтного разряда в жидкости, при этом образуется ударная волна, разрушающая отложения на внутренней поверхности трубопроводов; применяется для трубопроводов диаметром до 400 мм и длиной до 300 м;
- гидрохимическая промывка для удаления железоокисных и карбонатных отложений на основе специально приготовленных растворов (разработана в АКХ им. П.Д. Памфилова).

Технология прочистки трубопроводов по некоторым из указанных выше методов достаточно полно изложена в работе [53].

Необходимо отметить, что, несмотря на большое разнообразие способов прочистки и средств их реализации, выбор наиболее оптимального и эффективного способа для конкретного объекта представляет сложную задачу, так как при этом должны учитываться возраст трубопровода, возможности минимизации работ по демонтажу той или иной арматуры на сети, материально-технические возможности организаций и др. Кроме того, необходимо учитывать появление со временем тех или иных недостатков, в частности относительно быстрого восстановления бугристых или иных отложений, спровоцированных нарушением сложившейся годами структуры внутренней поверхности трубопровода. Последнее обстоятельство не может исключить повторную санацию трубопровода через определенный промежуток времени.

### 3.4. ОБОРУДОВАНИЕ, МЕХАНИЗМЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ БЕСТРАНШЕЙНЫМИ МЕТОДАМИ

Многообразие бестраншейных методов восстановления водопроводных сетей невозможно реализовать без использования современной специальной техники (телевизионных камер, подъемных и тяговых механизмов, различного оборудования, приборов и т.д.). Согласно описанным выше методам санации, рассмотрим основные отечественные и зарубежные установки, оборудование, механизмы и приборы, которые позволяют эффективно выполнять возложенные на них функции на этапах, предваряющих санацию, и в период работ по восстановлению трубопроводов.

**Механизмы и оборудование для диагностического телеконтроля подлежащих восстановлению трубопроводов.** Для объективной оценки состояния подлежащего восстановлению трубопровода, а также после санации широко используются телевизионные робототехнические комплексы.

Отечественные телероботы НПО «ТАРИС» (например, «РОКОТ-1», Р-100, Р-200, С-200 и др.) имеют следующие технические возможности:

- видеосъемка для обнаружения и фиксации дефектов по длине восстанавливаемого трубопровода;
- локальный ремонт трубопроводов (зачистка места дефекта фрезами, щетками или специальными составами) путем накладки на внутреннюю поверхность трубы кольцевого банджа (полосы специальной ткани, пропитанной полимерным составом);
- устранение выступающих элементов с помощью фрезерной головки и посторонних предметов с помощью накопительного поддона;
- вскрытие боковых отводов при проведении внутренней облицовки трубопроводов сплошным полимерным рукавом;
- временное устранение течи грунтовой воды через свищ в трубопровод перед нанесением цементно-песчаных покрытий или сплошного полимерного рукава (установка временного банджа в виде тонкой полосы из нержавеющей стали со специальным замковым устройством и подслоем из пористой резины).

На рис. 3.22 показан телеробот «Рокот-1».

Робототехнические комплексы можно разделить на классы.

Комплексы первого класса — это телевизионные диагностические комплексы, которые осуществляют телевизионную инспекцию внутреннего состояния трубопровода. Такие комплексы выпускаются многими фирмами, среди них и всемирно известные «ИБАК» и «Рауш» (Германия), американская фирма «Кьюз», европейский концерн «Вьетмаскин» и российские НПО «ТАРИС» и СТВС.



Рис. 3.22. Телеробот «Рокот -1»

Комплексы второго класса — предназначены для прецизионного ремонта трубопровода — устранения свищевых повреждений, подготовки поверхности трубопровода к санации и проведения других работ внутри трубопровода.

Комплексы **первого** класса комплексов используются для следующих видов диагностики трубопроводов:

- приемка построенного трубопровода соответствующими службами районов водопроводной сети города. Осуществляется 100 %-ный контроль принимаемого трубопровода. При осмотре оценивается качество цементно-песчаного покрытия трубопровода, фиксируются наличие трещин и отслоений в покрытии, неравномерность покрытия, выход резины из раструбных и фланцевых уплотнений, наличие внутри трубопровода посторонних предметов: песка, гравия и т.д. После удаления посторонних предметов осуществляется повторное обследование;
- контроль качества подготовки внутренней поверхности трубопровода к санации. Оценивается как качество прочистки трубопровода, так и наличие свищевых повреждений и посторонних предметов в трубопроводе;
- контроль качества внутренней поверхности трубопровода после санации. Оцениваются равномерность покрытия, отсутствие пропусков, оползней цементно-песчаного покрытия;
- контроль качества внутреннего состояния трубопровода при появлении претензий жителей города к качеству питьевой воды (в основном, на мутность). Оценивается наличие в трубопроводе песка, грунта. После проведенной промывки осуществляется повторное обследование;
- поиск места повреждения трубопровода. Осуществляется в тех случаях, когда определение места повреждения иными способами (с помощью корреляционных и акустических течискателей) невозможно. При этом производится поиск места перелома чугунного трубопровода или местоположение свища в стальном трубопроводе. Технология поиска: участок сети ставится под напор на некоторое время, затем движущийся модуль комплекса вводится в трубопровод, напри-





Рис. 3.23. Панорамная вращающаяся камера CCTV фирмы «Telespec»

мер через «подставку» гидранта. Местоположение повреждения определяется по наличию инфильтрации воды внутрь трубы;

контроль качества промывки тупиковых линий и участков с малыми скоростями. Телевизионная диагностика осуществляется до промывки для оценки внутреннего состояния трубопровода и после промывки для оценки качества промывки.

Робототехнические комплексы **второго** класса используются для устранения свищевых повреждений на водопроводной сети города, при этом ремонт выполняется в два этапа:

1) поиск места повреждения. Для этой цели может быть использован и более мобильный и легкий телевизионный диагностический комплекс. Место повреждения отыскивается по инфильтрации воды из водонасыщенного грунта в трубу;

2) непосредственно сам ремонт, состоящий из подготовки внутренней поверхности с использованием фрезерной головки робота и установки внутритрубного бандажа на подготовленное место.

Очевидно, что такой достаточно сложный ремонт с использованием дорогостоящей техники должен производиться лишь в том случае, если ремонт трубопровода по раскопной технологии невозможен или сильно затруднен, например если свищевое повреждение находится под коллектором теплосети, под загруженной автомагистралью или перекрестком, если рядом проходят кабельные коммуникации.

Робототехническим комплексом «Рокот-1» успешно выполняются работы по подготовке внутренней поверхности трубопровода к проведению санации. Они заключаются в шлифовке сварных швов и удалении «града» сварных швов. По упрощенной бандажной технологии может устраняться инфильтрация воды внутрь трубопровода перед проведением санации цементно-песчаным покрытием.

В последние годы западно-европейскими и американскими фирмами предложено много интересных новинок. В их числе вращающиеся и панорамные камеры цветного изображения «SlimLine Pan» (Великобритания) с системой транспортировки и слежения на гусеничном ходу, «Telespec» (Великобритания) на колесном ходу со встроенной системой освещения и возможностью наезда (рис. 3.23), а также мик-

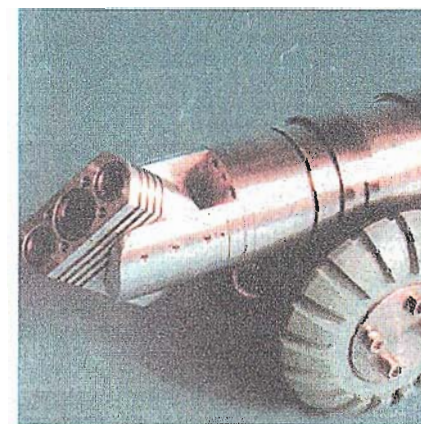


Рис. 3.24. Мини-камера «Chaser» фирмы «Uemsi»

рокамеры HV 25 (Франция) для осмотра трубопроводов малого диаметра с резкими изгибами и затрудненным доступом; эти микрокамеры позволяют исследовать трубопроводы диаметром 30—150 мм на расстоянии до 50 м.

Подобные системы производятся также американской фирмой «Uemsi». В частности, малогабаритные камеры «Predator» этой фирмы для труб диаметром 75 мм имеют возможность преодолевать изгибы (повороты) трубопровода до 90°, а миникамеры серии «Chaser» позволяют производить инспектирование трубопроводов диаметром 50 мм и более (рис. 3.24).

Локационное устройство «Tracker» фирмы «Uemsi» служит для обнаружения трассы и глубины прокладки трубопровода.

Современные системы телеинспекции позволяют не только обнаружить и идентифицировать дефекты, но и прогнозировать их появление. Для этих целей разработаны и используются специальные диагностические комплексы, включающие датчик-толщиномер, который позволяет с высокой точностью определять остаточное количество металла в сечении трубопровода, в том числе под слоем отложений, а также обнаруживать микротрещины протяженностью не менее 50 мм.

При разработке таких диагностических комплексов основной задачей являлось создание устройства, аналогичного по функциям снарядам-дефектоскопам, используемым в магистральных нефте-газопроводах, однако способного в отличие от снарядов работать в трубопроводах с неравномерным внутренним проходным сечением и без специальных камер запуска.

В настоящее время на зарубежных коммунальных объектах используются технические средства для диагностики состояния сетей и работы сооружений в виде многопрофильных диагностических комп-

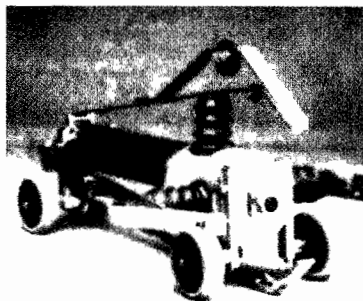


Рис. 3.25. Профилирующий инструмент DKM-150 фирмы «Optimes»

лексов по типу мини-лабораторий, фиксирующих патологии труб и отбирающих пробы воды и твердых отложений на анализ непосредственно из интересующих исследователей мест на внутренней поверхности трубопровода.

Германской фирмой «Optimes» выпускаются профилирующие лазерные измерительные головки 200/KFW с высокой разрешающей способностью и механический профилирующий инструмент DKM-150 для точного измерения размеров и деформаций труб (рис. 3.25). Данные по диагностике их состояния передаются с помощью электрических сигналов в контрольное регистрирующее устройство, которое может быть удалено на 1500 м. Инструмент DKM-150 используется для труб диаметром 150—450 мм.

Перспективным мероприятием коммунальных служб при проведении ими теледиагностики являются плановые периодические обследования трубопроводов с накоплением информации об их состоянии в банке данных. В случае проведения первичного обследования (например, сразу после прокладки трубопровода) пользователь в последующем будет иметь значительно более полную информацию о степени износа труб, поскольку сможет сравнивать текущие результаты обследования с предыдущими.

**Механизмы и оборудование для прочистки трубопроводов перед санацией.** В зависимости от принятого метода прочистки (см. п.3.3) в качестве механизмов и оборудования используется большая гамма специальных устройств: высоконапорные установки с вращательными головками, поршневые, стержневые, спиралевидные скребки и др.

В многолетней практике проведения профилактических работ по очистке водопроводных сетей на Московском водопроводе широко применялись специальные снаряды для гидромеханической прочистки трубопроводов фирмы «Рейнхард» (Швейцария). Снаряд представляет собой устройство, состоящее из трех частей, шарнирно скрепленных между собой. Два из них (специальные механические скребки) изготавливались из легирующей стали, а движитель — из высококаче-

ственной кожи. Движитель со специальными прорезями для пропуска воды создавал пульсирующее движение внутри трубопровода, в результате чего возникало усилие для прохода всего устройства.

Механические скребки в виде плугообразных подпружиненных ножей срезали бугристые отложения в трубопроводе, которые выносились вместе с водой через специально оборудованный водовыпуск. Бугристые отложения в трубопроводах отличались высокой твердостью и состояли из оксидов железа, карбонатов и сульфатов, их толщина не превышала 15—20 мм.

После операций прочистки высота отложений на внутренней поверхности трубы не превышала 3—4 мм. Это позволяло увеличить пропускную способность трубопроводов и сократить затраты электроэнергии на подачу воды на 10—15 %.

Этим способом в 1980-е гг. было прочищено 59 км водопроводных сетей (диаметром 300 и 400 мм), расположенных в зоне влияния Северной и Восточной водопроводных станций г. Москвы. После очистки некоторые участки сети подверглись санации путем нанесения цементно-песчаных покрытий.

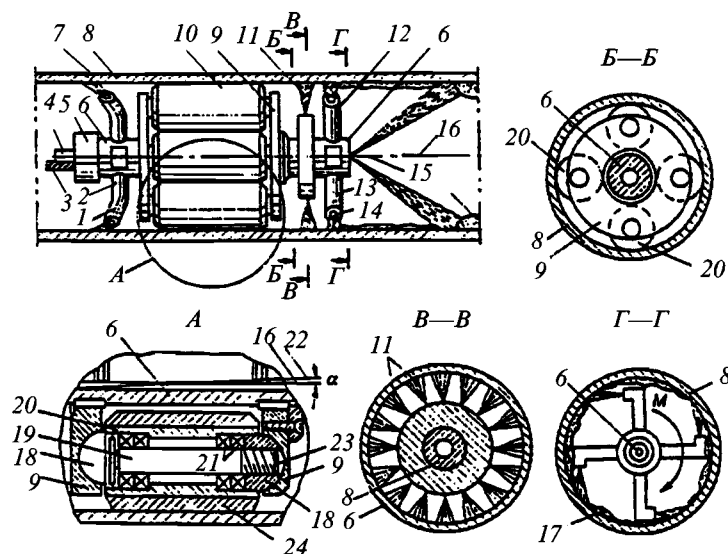
Для реализации электрогидроимпульсного метода чистки трубопроводов применяются отечественные установки «Зевс», разработанные АО «Зевс-технология».

Особый интерес представляет устройство для гидравлической прочистки с реактивными головками. Устройство разработано Научно-производственным кооперативом «БОС» совместно с Научно-техническим центром (ООО НТЦ). В его основе лежит использование реактивной головки с гидрошлангом (рис. 3.26). Прочистка осуществляется мощным напором воды, которая подается к соплам реактивной головки. Последняя движется вперед под воздействием реактивной силы струй воды. Шлам выталкивается водой в направлении следующего по ходу движения потока колодца.

После окончания процесса очистки трубопровода на обработанную поверхность с помощью реактивной головки наносится антикоррозийное покрытие. Преимущество данных реактивных головок состоит в более качественной очистке трубопроводов и нанесении защитного покрытия благодаря применению гидрокавитационных сопел. Эти сопла обеспечивают очистку до зеркального блеска внутренней поверхности трубопроводов практически любого диаметра.

**Механизмы и оборудование для нанесения цементно-песчаных покрытий.** При реализации бестраншейной технологии восстановления трубопроводов путем нанесения на внутреннюю поверхность цементно-песчаных растворов используются два типа облицовочных агрегатов: для труб большого диаметра, обеспечивающего рабочим доступ внутрь трубопровода, и для труб малого диаметра, т.е. непроходных.

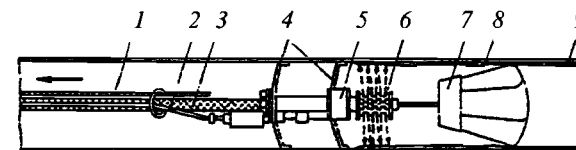




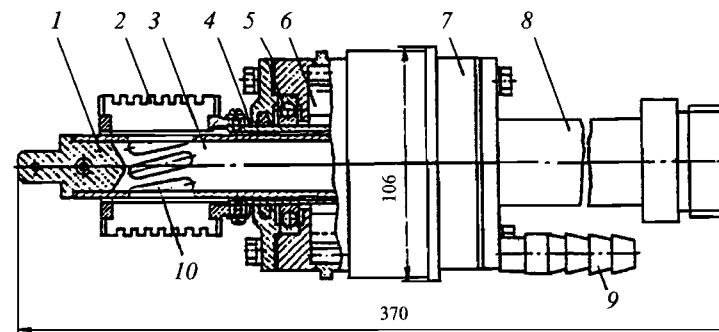
**Рис. 3.26.** Конструкция реактивной головки для очистки трубопроводов: 1, 13 — крыльчатки; 2 — приспособление с тяговыми соплами; 3 — страховочный трос; 4 — шланг; 5 — вертлюг; 6 — полый вал; 7, 14 — гидрокавитационные сопла; 8 — трубопровод; 9 — опорные диски; 10 — самозавинчивающаяся головка; 11 — вращающиеся щетки; 12 — приспособление с очищающими соплами; 15 — дополнительное гидрокавитационное сопло; 16 — ось полого вала; 17 — отложение и ржавчина; 18 — шаровая опора; 19 — палец; 20 — каток; 21 — подшипники качения; 22 — ось катка; 23 — сферическое гнездо; 24 — покрытие из упругого материала

Облицовочный агрегат, используемый для трубопроводов малых диаметров (**рис. 3.27**), имеет в качестве основных элементов метательную головку 5 с центрирующим устройством 4, заглаживающее устройство 7, обеспечивающее выравнивание наносимого слоя, а также заглаживание и железнение его поверхности. К металлической головке цементно-песчаный раствор и сжатый воздух подводятся соответствующими рукавами 3 и 2. Протаскивание облицовочного агрегата внутри трубы осуществляется посредством троса и лебедки, расположенных в финишном котловане. Рукава подачи раствора и сжатого воздуха в едином пучке с рабочим тросом вне трубы движутся сначала по роликам, а на определенном расстоянии от колодца (котлована) отделяются от него. Рукав подачи раствора укладывается на поверхность земли змееобразно, а рукав подачи воздуха — кольцами.

На **рис. 3.28** представлен разрез метательной головки, разработанной фирмой «Нидунг» (Германия) для облицовки трубопроводов диаметром 300 и 400 мм.



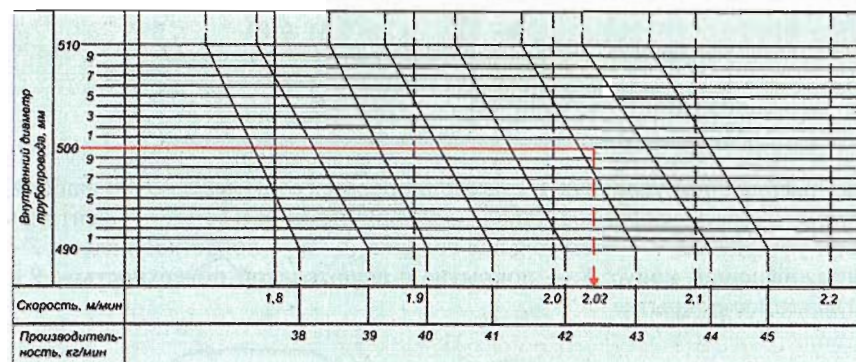
**Рис. 3.27.** Конструктивная схема облицовочного агрегата: 1 — рабочий трос; 2 — рукав подачи воздуха; 3 — рукав подачи раствора; 4 — центрирующее устройство; 5 — метательная головка; 4—6 — лопастное колесо; 7 — заглаживающий конус; 8 — покрытие с шероховатой поверхностью; 9 — заглаженное покрытие



**Рис. 3.28.** Головка метательная: 1 — пробка с хвостовиком для присоединения заглаживающего устройства; 2 — колесо лопастное; 3 — полый вал; 4 — втулка; 5 — подшипник передний; 6 — лопатка; 7 — корпус; 8 — патрубок подачи раствора; 9 — штуцер рукава подачи воздуха; 10 — наклонные прорези полого вала

Работа головки состоит в следующем. В пневморотационный двигатель головки воздух от компрессора подается по рукаву через штуцер 9. Воздействуя на лопатки 6, он вращает втулку 4, опирающуюся на передний и задний подшипники. В это время от растворонасоса по рукаву через патрубок 8 подается цементно-песчаный раствор в полый вал 3 и вытекает через его наклонные прорезы 10. Вытекаемый раствор попадает на гребенчатые радиальные пластины лопастного колеса, прикрепленного к втулке и вращающегося вместе с ней, и равномерно с большой радиальной скоростью разбрызгивается по периферии.

Толщина наносимого слоя раствора зависит от диаметра трубы и скорости движения метательной головки внутри трубопровода. Используя стандартную номограмму (**рис. 3.29**), можно установить, с какой скоростью должна перемещаться метательная головка в трубе соответствующего диаметра при установленной производительности растворонасоса и обеспечении требуемой толщины слоя. Так, для бес-



**Рис. 3.29.** Номограмма для определения скорости движения метательной головки при диаметре трубопровода 500 мм и толщине цементно-песчаного покрытия 5 мм

печения толщины внутреннего цементно-песчаного покрытия 5 мм в трубопроводе диаметром 500 мм при установленной проектом производительности насоса 43,25 кг/мин требуется скорость передвижения агрегата 2,02 м/мин.

Технологическое оборудование для нанесения цементно-песчаного покрытия на внутренние поверхности трубопроводов изготавливается многими зарубежными фирмами («Нидунг», Германия; «Амерон», США и др.).

Впервые нанесение цементно-песчаных оболочек на трубы большого диаметра (1200—1400 мм) с помощью отечественного комплекта оборудования модели МФТ 1200/1400 (разработка НИИ КВОВ) применено к восстановлению пропускной способности нескольких водоводов 1-го и 2-го подъёмов (1968—1979).

С 1987 г. на Московском водопроводе для санации труб среднего диаметра (300—400 мм) применяется оборудование фирм «Нидунг» и «Амерон», а с 1997 г. московская фирма «Доркомтехника» изготавливает технологическое оборудование для внутренней цементно-песчаной облицовки действующих и строящихся трубопроводов (облицовочные пневморотационные машины в комплекте с заглаживающими конусами для труб диаметром 100—700 мм, а также с заглаживающими лопатками для труб диаметром 800—2000 мм).

**Механизмы и оборудование для восстановления трубопроводов с помощью пластмассовых труб.** При санации трубопроводов малого диаметра основными механизмами являются лебедки или домкраты. Лебедки устанавливаются как в котловане, так и на поверхности земли. Для проталкивания труб и плетей используются гидро- и пневмодомкраты, перемещающиеся по направляющим. Домкраты устанавливаются непосредственно в рабочем котловане. Независимо от исполь-

зуемых механизмов, протягивание труб и плетей должно осуществляться плавно, без рывков, с небольшой скоростью для исключения возможности разрыва плетей или повреждения поверхности труб. Усилия натяжения плетей контролируются по динамометру.

**Механизмы и оборудование для санации трубопроводов по технологии «Феникс».** В состав оборудования для санации по технологии «Феникс» должны входить: установка для гидравлической очистки внутренней поверхности трубопровода с давлением около 1000 МПа; установка «Феникс» с реверсивной машиной и парогенератором; передвижная мастерская с пескоструйной установкой для очистки внутренней поверхности трубопровода; пылепоглотители для удаления загрязнений путем создания вакуумного разряжения, компрессор, барабан с чулком и набор устройств для прочистки трубопровода, телевизионное оборудование для контроля качества прочистки трубопровода и качества санации.

**Механизмы и оборудование для санации трубопроводов с использованием комплексного предварительно пропитанного рукава.** В местах восстановления трубопроводов у стартового котлована устанавливаются: паровой котел с паропроводной арматурой (например, ПКУ-500Ж), заглушки для трубопроводов, компрессор, емкость для воды, упаковочный ящик с комплексным предварительно пропитанным рукавом, вспомогательные материалы и оборудование. Технологический процесс требует также использования троса и лебедки, с помощью которых через систему специальных блоков рукав транспортируется в трубопровод. Процесс отверждения паром нанесенного на внутреннюю поверхность трубопровода комплексного рукава продолжается не менее 4 ч, после чего в него подается сжатый воздух от компрессора для удаления остатков пара из внутренней полости трубопровода.

### 3.5. ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННИХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА КАЧЕСТВО ТРАНСПОРТИРУЕМОЙ ВОДЫ И САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКУЮ НАДЕЖНОСТЬ ТРУБОПРОВОДОВ

При эксплуатации трубопроводов городской водопроводной сети возникает необходимость поддержания определенного уровня их пропускной способности, а также сохранения высокого качества транспортируемой воды. Вода в разветвленной и протяженной водопроводной сети, конструкция и размеры которой определяются топографией, месторасположением и размером населенного пункта, может находиться в течение весьма длительного промежутка времени, а так как она не является инертной средой, неизбежны изменения ее физико-химических и бактериологических свойств.

Интенсивность изменения параметров качества воды при ее транспортировке по трубопроводам зависит от многих факторов и обстоя-



тельств, влияющих на кинетику химических реакций (температура, солевой состав, pH и т.д.). На изменение показателей качества воды влияют также инженерно-конструктивные особенности водопроводной сети, в частности гидравлический режим течения, материалы труб и внутренних покрытий.

В транспортируемой воде может увеличиться концентрация взвешенных веществ, периодически возможны неприятные привкусы и запахи, которые могут быть следствием попадания посторонних примесей, развития водных организмов и прохождения коррозионных процессов. Их присутствие нежелательно, так как приводит к изменению вкусовых свойств воды и ее внешнего вида, к которым особенно чувствителен потребитель. К водным микроорганизмам относятся цианобактерии, железобактерии, актиномицеты, бактерии *Aeromonas spp.*, которые могут давать ложные положительные реакции в тестах на наличие колиформ [6].

Необходимо отметить, что вода в распределительных сетях может также подвергаться дополнительному загрязнению в результате падения давления в системе (например, в результате аварии), когда не исключается проникновение в трубопровод за счет подсоса загрязнений, присутствующих в грунтовых водах, горизонт которых расположен над трубопроводом. Временное нарушение подачи воды (перебои) также способствуют появлению залповых повышенных концентраций загрязнителей, вымываемых с внутренних стенок трубопроводов. На качество транспортируемой воды оказывают косвенное влияние скорость потока, наличие газовых (воздушных) пробок, повышенная турбулизация потока, застаивание воды и другие факторы.

Негативное влияние на качество воды, транспортируемой по водопроводным сетям, оказывает «повторный рост» бактерий. Размножение микроорганизмов в воде распределительных сетей происходит за счет потребления органического или неорганического субстратов. Основными источниками питания для гетеротрофных бактерий служат углерод, азот и фосфор, которые потребляются в соотношении приблизительно 100:10:1 [6]. Поэтому количество содержащегося в воде органического углерода оказывается лимитирующим фактором роста микроорганизмов. Органический углерод используется гетеротрофными бактериями для образования нового клеточного материала (ассимиляция) и в качестве источника энергии (диссимиляция). В поверхностных источниках воды он представлен в основном гуминовыми и фульвокислотами, углеводородами и карбоновыми кислотами.

Микроорганизмами усваивается и используется для роста только малая часть (около 0,1—9 %) общего органического углерода, т.е. так называемый ассимилируемый органический углерод. Его количество может возрастать, например, в результате озонирования воды, которое приводит к трансформации части органических загрязнений из

биорезистентной формы в биоразлагаемую. Специальными исследованиями установлено, что содержание в воде ассимилированного органического углерода даже в концентрации около 0,05 мг/л стимулирует рост микроорганизмов в распределительной сети водопровода [6].

Для торможения процесса «повторного роста» необходимо стремиться к получению биологически стабильной воды, под которой понимается вода с очень низким уровнем биоразлагаемого и легкоусваиваемого органического углерода, как изначально содержащегося в исходной воде после ее очистки, так и образующегося впоследствии при воздействии на сложные органо-минеральные комплексы сильных окислителей (озона, хлора).

При невозможности сдерживания роста концентраций усвояемого микроорганизмами органического углерода и аммиака происходит интенсивный рост бактерий и других микроорганизмов. Например, если вода в распределительных сетях содержит 0,25 мг/л органического углерода, а ее температура превышает 20 °С, то для торможения роста бактерий *Aeromonas spp.* необходима остаточная доза хлора около 0,25 мг/л. При этом прикрепленные к внутренним стенкам труб микроорганизмы продолжают развиваться даже в присутствии больших остаточных доз хлора.

Необходимо отметить, что на сегодняшний день не установлено строгое соотношение между концентрацией ассимилированного органического углерода и степенью биообрастаний в распределительных системах.

Транспортирование питьевых вод по ветхим городским водопроводным сетям может представлять серьезную эпидемиологическую опасность. При использовании такой воды потребителями не исключается реальный эпидемиологический риск вирусных инфекций, передающихся водным путем. Косвенным показателем вирусного загрязнения воды может служить присутствие колифагов.

При использовании избыточных доз дезинфектантов на основе хлора на внутренних стенках ветхих трубопроводов могут происходить реакции обеззараживающих агентов с пленкой биообрастания. Результатом данного явления может стать повышение содержания в воде муравьиного альдегида или формальдегида (газа с резким неприятным запахом), что повышает общую токсичность воды.

Обобщая отмеченные обстоятельства, можно констатировать, что наличие большого и разнообразного количества нежелательных микроорганизмов в системе водоснабжения и, в частности, в водопроводных сетях косвенно свидетельствует либо о недостаточной (неглубокой) обработке воды, либо о неудовлетворительном состоянии трубопроводов, низком уровне технического обслуживания и ремонта водопроводных сетей.

В задачи эксплуатационных служб коммунальных сетей входит поддержание стабильности качественных характеристик воды, свое-

временное предупреждение или ликвидация нежелательных явлений на внутренних стенках трубопроводов, в частности биообрастаний, наростов ржавчины, бугристых отложений солей, а также утечек воды, являющихся следствием повреждения трубопровода.

Ухудшение качества транспортируемой воды в распределительной сети свойственно практически всем системам водоснабжения. Такая тенденция сохраняется независимо от экологической обстановки, санитарно-гигиенического состояния источников водоснабжения, конструктивной специфики системы водоснабжения или особенностей технологии водоподготовки.

Сложившаяся ситуация для передовых в техническом отношении стран стала веским доводом пересмотра и уточнения допустимых пределов бактериологического загрязнения воды в распределительных сетях и строгого нормирования загрязненности воды микроорганизмами. В частности, в настоящий момент предписывается избирательное определение в воде некоторых популяций бактерий и простейших, которые относятся к категории болезнетворных. Проведение анализов-тестов на наличие подобных микроорганизмов может являться как контролем качества воды, так и косвенным свидетельством санитарно-гигиенической надежности водопроводных сетей и резервуаров-накопителей.

Отечественная и зарубежная практика эксплуатации систем и сооружений водоснабжения использует ряд способов, позволяющих обеспечивать установленные нормативными документами (Нормы качества, ГОСТ, СНИП, СанПиН и др.) показатели качества воды в пределах допустимых.

К первому способу можно отнести *повышение степени очистки природных вод* в конце технологической схемы обработки до такой степени, чтобы вода с учетом неизбежно получаемых в период транспортировки вторичных загрязнений имела качественные характеристики, соответствующие установленным нормам. Можно констатировать, что этот способ используется редко и весьма часто не оправдывает себя из-за дороговизны и неэффективности в случае крупных повреждений сети или значительных утечек.

Ко второму способу следует отнести создание условий для *снижения проявлений биологической активности* в транспортируемой воде (например, ограничение содержания в ней питательных веществ, в частности легко усваиваемого органического углерода), а также *поддержание избыточной дозы стойкого дезинфектанта* (например, хлора, имеющего пролонгирующее действие). Это способствует предотвращению риска повторного заражения воды. Данный способ более реален, чем первый, однако требует жесткого контроля работы очистных сооружений.

Третьим способом поддержания высокого качества транспортируемой воды может стать *совершенствование системы подачи и распреде-*

ления воды, что выражается уменьшением времени транзита и ликвидации «мертвых» зон, т.е. участков водопроводной сети с малыми скоростями движения воды. Способ перспективен лишь при правильно спроектированной водопроводной сети и слаженной работе служб эксплуатации сетей.

И наконец, четвертый способ — *систематическая эффективная прочистка трубопроводов*, а также *нанесение на их внутреннюю поверхность защитных покрытий*. Этот способ завоевывает все большее признание как средство поддержания требуемого качества транспортируемой воды и санитарно-гигиенической надежности системы водоснабжения, позволяя одновременно ликвидировать утечки (непроизводительные расходы) и восстановить пропускную способность трубопроводов.

Для предотвращения ухудшения качества транспортируемой воды необходимо стремиться к созданию условий, способствующих эффективному образованию естественных феррокальциевых защитных отложений на внутренних стенках трубопроводов.

Зарубежные исследователи рекомендуют поддержание следующих характеристик воды при соблюдении соответствующих мероприятий:

- рН выше 7, что способствует образованию защитного феррокальциевого слоя;
- содержание растворенного кислорода более 6 мг/л (для формирования в осадившемся на стенках гидроксида железа кристаллов карбоната кальция);
- высокий показатель насыщения воды по карбонату кальция (значение индекса насыщения должно быть пропорционально площади стенок подлежащего защите трубопровода, количеству и размерам бугорков на внутренней поверхности трубы; рекомендуемый индекс насыщения 1,2—1,5) и ограничение контакта воды с атмосферой, в частности при подаче ее в промежуточные резервуары на сети (для предотвращения утечки  $\text{CO}_2$  при перетекании из резервуара в резервуар по патрубкам, погруженным в воду в верхней части резервуаров);
- соотношение показателей щелочности и жесткости в пределах 0,8—1,2 (для ограничения скорости окисления  $\text{Fe}^{2+}$  в  $\text{Fe}^{3+}$  и, тем самым, торможения процессов коррозии);
- электропроводность воды до 650 Ом/см (для обеспечения превышения скорости образования феррокальциевых отложений над скоростью коррозии);
- низкая суммарная концентрация сульфатов и хлоридов по отношению к бикарбонатам (для уменьшения скорости коррозии).

Важным мероприятием по повышению санитарно-гигиенической надежности сети городских водопроводов является организация контроля качества воды. Система контроля, или система мониторинга, предусматривает сбор и анализ информации по установ-



Таблица 3.3. Сведения о контроле качества питьевой воды в зависимости от численности населения

| Численность обслуживаемого населения, чел | Количество проб в месяц, не менее |                                                         |                                                         |             |
|-------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------|
|                                           | ГОСТ 2874-82                      | СанПиН 2.1.4.1074-01                                    | Рекомендация ВОЗ                                        | Норматив ЕС |
| До 10000                                  | 2                                 | 2                                                       | 1—2                                                     | 1           |
| 10000—20000                               | 10                                | 10                                                      | 2—4                                                     | 5           |
| 20000—50000                               | 30                                | 30                                                      | 4—10                                                    | 5           |
| 50000—100000                              | 100                               | 100                                                     | 10—20                                                   | 10          |
| Более 100000                              | 200                               | 100 + 1 проба на каждые 5 тыс. чел., свыше 100 тыс. чел | 1 проба на каждые 10 тыс. чел. + 10 дополнительных проб | 180—360     |
| Москва — 10 млн                           | 200                               | 2080                                                    | 1010                                                    | 360         |

ленным государственными нормами органолептическим, санитарно-химическим, токсикологическим, бактериологическим и биологическим показателям. Согласно установленным требованиям к качеству питьевой воды, поступающей в распределительную сеть, она должна быть безопасной в эпидемиологическом отношении, безвредной по химическому составу и обладать благоприятными органолептическими свойствами.

Качество воды в водопроводной сети Москвы контролируется аттестованной Госстандартом России химико-бактериологической лабораторией МГУП «Мосводоканал» (ХБЛ), ЗАО «Роса» и Московским центром Госсанэпиднадзора (МосЦГСЭН).

Контроль качества воды в городской водопроводной сети Москвы осуществляется в соответствии с санитарными правилами и нормами СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» и другими нормативными материалами.

Ежегодный график контроля качества питьевой воды в трубопроводах городской водопроводной сети согласовывается с Центром Госсанэпиднадзора.

В табл. 3.3 приведены сведения об интенсивности производственного контроля качества питьевой воды в распределительной водопроводной сети по микробиологическим и органолептическим показателям согласно отечественным и зарубежным нормативам.

В настоящее время отбор проб лабораторией производится более чем в 70 стационарных точках городской водопроводной сети. Выбор точек на территории города определяется необходимостью контроля качества воды на городских регулирующих узлах, контроля изменения

качества по мере продвижения воды по сети (в том числе по зонам питания водопроводных станций), а также для возможности отбора проб в ночное время.

Состав работ, выполняемых ХБЛ:

- ежедневный производственный надзор качества питьевой воды в распределительной водопроводной сети города (по «точкам» отбора проб);
- проведение контроля качества воды в водоразборных колонках, резервуарах и скважинах питьевой воды резервных территорий (согласно графику работ);
- периодический контроль качества питьевой воды на участках сети с малыми скоростями (план);
- контроль питьевой воды при поступлении жалоб от населения на плохое качество воды (дополнительные внеплановые работы);
- контроль питьевой воды нецентрализованного водоснабжения (колодцы);
- контроль промывных вод после хлорирования, дезинфекции и промывки;
- контроль качества питьевой воды вновь построенных участков сети;
- контроль эксплуатируемых фрагментов сети;
- контроль качества питьевой воды вновь после проводимых на участке сети работ (санация, прочистка и т.п.);
- контроль качества питьевой воды с целью ее идентификации при аварийных затоплениях.

Для обеспечения оперативных и форс-мажорных работ ХБЛ использует микроавтобус «Передвижная лаборатория».

Периодичность отбора проб питьевой воды на городской водопроводной сети Москвы:

- в пунктах автоматического контроля качества воды с дистанционной передачей показаний на ГДП — через 4 ч;
- в пунктах регулярного контроля: 1—10 суток (осуществляет «Химико-бактериологическая лаборатория» МГУП «Мосводоканал»);
- в пунктах выборочного контроля качества воды — 12—36 суток (с привлечением независимой межотраслевой лаборатории «Роса»).

Кроме того, отборы проб питьевой воды осуществляются в производственных местах сети с приоритетом отбора проб на тех участках сети, где имеется возможность попадания вторичных загрязнений в трубопровод (водоразборная колонка, гидрант, штуцер под манометр и т.п.).

Контроль показателей качества питьевой воды в трубопроводах водопроводной сети Москвы, анализируемых в отобранных пробах воды, проводится по физико-химической, микробиологической и гидробиологической группам ингредиентов и включает следующие показатели:

по физико-химической группе:

- 1 — рН,
- 2 — мутность,
- 3 — цветность,
- 4 — запах,
- 5 — щелочность,
- 6 — жесткость,
- 7 — перманганатная окисляемость,
- 8 — стабильность,
- 9 — сухой остаток,
- 10 — остаточный хлор,
- 11 — железо,
- 12 — алюминий,
- 13 — хлориды,
- 14 — сульфаты,
- 15 — фосфаты,
- 16 — аммиак,
- 17 — нитриты,
- 18 — нитраты,
- 19 — натрий,
- 20 — фтор,
- 21 — кальций,
- 22 — магний

по гидробиологии:

фитопланктон,  
зоопланктон;

по микробиологии:

общее микробное число (ОМЧ),  
общие и термотолерантные колиформные бактерии.

В соответствии с утвержденной номенклатурой исследований ежедневно контролируется более 60 показателей качества питьевой воды.

Кроме ежедневного контроля качества воды, в стационарных точках может производиться периодический контроль с разной интенсивностью на водоразборных колонках и по жалобам населения, а также контроль качества воды после дезинфекции сетей, магистралей, резервуаров питьевой воды, тупиковых участков распределительной сети (до и после их промывки). При аварийных ситуациях (например, затоплении подвалов) производится отбор и анализ проб с целью идентификации воды (питьевая, сточная, грунтовая, из системы отопления и т. д.).

Аналитическим центром «Роса» с 1998 г. в соответствии с программой расширенных исследований качества воды в городской водопроводной сети Москвы, утвержденной городским центром Госсанэпиднадзора, осуществляется оперативный контроль по 150 физико-хими-

ческим показателям в 8 точках сети (по 2 точки в зоне питания каждой водопроводной станции) и по 10 микробиологическим показателям в 16 точках городской сети. Ежемесячно производится контроль на присутствие токсичных органических и неорганических соединений, тяжелых металлов, специфических бактериологических и радиологических показателей.

Систематический контроль качества питьевой воды Московского водопровода осуществляется также Госсанэпиднадзором.

Наряду с ростом концентраций химических элементов в транспортируемой по распределительным сетям воде могут ухудшаться и бактериологические показатели, например рост числа колиформ в отдаленных участках сети. Появление нежелательных микроорганизмов может стать следствием повторного загрязнения воды или недостаточных доз дезинфицирующих агентов обеззараживания, в средней части сети и в зонах влияния водопроводных станций.

Во Франции в последнее время получила развитие система диагностики качества воды в распределительных водопроводных сетях по методу «Aquadiag». При разработке комплексного метода диагностики французские специалисты руководствовались тем, что поддержание высокого качества питьевых вод при их транспортировке по магистральным и распределительным городским сетям вплоть до водопроводного крана потребителя напрямую зависит от состояния внутренней поверхности трубопроводов. Неудовлетворительное физическое состояние большинства подземных трубопроводов (например, наличие обрастаний, свищей), загрязнение окружающего грунта и подземных вод вдоль трассы может способствовать проникновению внутрь трубопровода нежелательных веществ, ухудшающих качество воды. Для учета динамики изменения параметров качества воды при транспортировке и одновременно оценки состояния (износа, дефектов) внутренних стенок трубопроводов фирмой «Sarp reseau et distribution» разработан комплексный метод диагностики «Aquadiag».

Сущность метода диагностики состоит в оперативном проведении с помощью мобильной лаборатории физико-химических и бактериологических анализов воды, а также металлографических исследований поверхности стенок подземного трубопровода, что позволяет определить скорость разрушения материала трубопровода и рекомендовать на перспективу метод его бестраншейной реабилитации.

При проведении диагностики по методу «Aquadiag» предварительно изучается имеющаяся техническая документация, позволяющая установить конкретные места (точки) забора проб воды и частоту их отбора в зависимости от поставленной задачи. Как правило, подробно изучению подлежат: схема водоснабжения города; геологические карты вдоль трасс сетей; возраст и материал изготовления трубопроводов, производительность системы; давление в сети и время пребы-



вания воды на ее отдельных участках; частота проведения ранее выполненных анализов качества питьевой воды; время и место установки дополнительных очистных модулей на распределительных сетях (например, для обезжелезивания, деманганации, декарбонизации и др.). Для этого составляется специальная база данных, представляющая собой своеобразный паспорт водопроводной сети.

Весь комплекс анализов производится в основном в местах установки пожарных гидрантов, что не усложняет отбор проб и не отражается на работе распределительных трубопроводов.

При реализации метода «Aquadiag» производится дублирование измерений: одно осуществляется с помощью специального зонда (из поливинилхлорида диаметром 40 мм) с отводом потока для анализа с расходом 0,5 м<sup>3</sup>/ч; другое — производится зондом (из поливинилхлорида диаметром 100 мм) с отводом потока с расходом 60 м<sup>3</sup>/ч.

В обоих потоках специальными датчиками определяются величины мутности воды, pH, растворенного кислорода, температуры и проводимости. После отбора проб в мобильной лаборатории проводится оперативный анализ содержания общего железа, марганца, алюминия, кремния, остаточного хлора, колиформ и бактерий *E. Coli*. Бактериологический тест осуществляется в течение 18 ч.

Сущность двойного измерения состоит в том, чтобы сопоставить данные экспериментов и по разнице показателей оценить степень взаимодействия материала стенок трубопровода с транспортируемой водой. При малом расходе отбираемой воды (0,5 м<sup>3</sup>/ч) не нарушается гидравлический режим течения основной массы транспортируемой жидкости. При большом расходе (60 м<sup>3</sup>/ч) к датчикам с забираемой из трубопровода водой поступают соскобы слизи и даже частички бугристых отложений с внутренней стенки.

Таким образом, отбор проб с большим расходом позволяет проанализировать видовой состав и состояние микроорганизмов, находящихся в толще слизистой оболочки и под бугорками твердых отложений. Последнее обстоятельство позволяет прогнозировать скорость разрушения материала трубопровода.

Металлографический анализ производится после отключения трубопровода и заключается в последовательном проведении следующих этапов: механическая зачистка внешней и внутренней поверхности трубы в одной из точек вблизи повреждения (свища, излома); замер остаточной толщины стенки трубы, плотности наростов с внешней и внутренней стороны трубопровода и средней высоты 30 наибольших бугорков с обеих сторон.

Полученные данные позволяют сделать выводы о состоянии трубопровода на момент осмотра, оценить скорость коррозии и реальный остаточный срок эксплуатации. Динамика изменения качества воды в разных точках распределительной сети и данные металлографических

исследований позволяют принять ряд соответствующих практических решений, в частности, о повышении степени очистки воды на станциях водоподготовки, о проведении внеочередных прочисток водопроводной сети, а также выявить первоочередной и потенциальный объект реабилитации, т.е. наиболее уязвимый по комплексу показателей участок водопроводной сети.

### 3.5.1. Оценка потенциального воздействия внутренних защитных цементно-песчаных и пластиковых покрытий трубопроводов на качественные показатели воды

При многообразии способов бестраншейного восстановления водопроводных сетей наиболее распространены в нашей стране внутренние цементно-песчаные покрытия, а также пластиковые тонкостенные оболочки и гибкие полимерные трубы. Нанесение указанных типов внутренних оболочек на восстанавливаемый трубопровод может приводить к взаимодействию между ними и транспортируемой средой, вызывая трансформацию показателей качества воды, в том числе и вкусовых, когда предметом исследования становятся питьевые воды.

Данные обстоятельства являются причиной проведения соответствующих научных исследований организациями, отвечающими за обеспечение и поддержание высокого качества транспортируемых вод, а также проведения оперативного санитарно-химического, токсикологического, эпидемиологического и бактериологического контроля.

Необходимо отметить, что до настоящего времени вопрос влияния защитных покрытий на характеристики воды полностью не изучен. Причиной является относительно небольшой срок эксплуатации защитных покрытий в реальных условиях, различный химический состав материалов, из которых изготавливаются защитные покрытия, специфика технологии их нанесения и многие другие обстоятельства.

Остановимся на основных взаимосвязанных причинах, которые, с одной стороны, приводят к разрушению защитных покрытий в период длительной эксплуатации трубопроводов, а с другой — провоцируют трансформацию некоторых качественных показателей транспортируемой воды.

**Цементно-песчаные покрытия.** После нанесения такого защитного покрытия на внутреннюю поверхность металлического трубопровода последний может рассматриваться в качестве многослойной трубы, внутренняя поверхность которой выполнена из гладкого тонкостенного бетона с присущими ему гидравлическими характеристиками потока.

Со временем после интенсивной эксплуатации трубопровода может происходить механическое или химическое разрушение защитного слоя. Механическое разрушение покрытия вызывается следующими обстоятельствами: избыточной проницаемостью покрытий, для исключения которой необходима плотность покрытия 300—400 кг/м<sup>3</sup>;

появлением трещин в основном из-за нарушения технологии приготовления и нанесения покрытия (например, несоблюдение водоцементного отношения, отсутствие специальных добавок-пластификаторов); эрозией, проявляющейся при скорости течения воды по трубам более 4 м/с или большими температурными перепадами.

Химическое разрушение покрытий может быть вызвано следующими причинами: агрессивностью  $\text{CO}_2$ , воздействием сильных кислот, высоких концентраций аммиака, сульфатов, сильных щелочей, а также биологической коррозией с образованием  $\text{H}_2\text{S}$ . Перечисленные обстоятельства позволяют сделать вывод, что для водопроводных труб, защищенных цементно-песчаными покрытиями, наиболее характерными факторами разрушения являются механические, а для водоотводящих — как механические, так и химические, что во многом предопределяет нецелесообразность использования защитных цементно-песчаных покрытий в водоотводящих сетях.

**Пластиковые оболочки и полимерные трубы.** Эти защитные покрытия могут быть причиной ухудшения качества питьевой воды как за счет смыва различных органических веществ (пластификаторы, антиоксиданты, смазки, поглотители и т.д.) с их стенок, так и в результате диффузии извне через стенки органических веществ (например, нефти и ее производных), присутствующих в грунтах на местах прокладки трубопроводов.

Трубы и оболочки из поливинилхлорида и твердого полиэтилена поглощают хлор, который длительное время может десорбироваться в воду, повышая в ней содержание растворенного хлора. Последнее не исключает воздействия на вкусовые качества воды и может создавать угрозу повышенного содержания тригалогенметана и других токсичных хлорорганических соединений при наличии соответствующих субстратов.

Во Франции и Германии разработаны и реализуются специальные программы, в частности выявления критериев оценки эволюционных изменений в воде распределительных сетей, защищенных различными материалами, изучения взаимодействия между водой и обновленными стенками труб (резервуаров) и описание кинетики роста бактериальных и других показателей.

Французскими специалистами из г. Нанси эти вопросы изучались на специально созданных крупногабаритных опытно-промышленных установках, имитирующих процессы, происходящие в реальных водопроводных сетях. Необходимо подчеркнуть, что строительству специальных установок предшествовали теоретические разработки, которые позволили смоделировать в соответствующем масштабе близкую к реальной картину распределения воды в водопроводной сети с учетом перепадов температур, установленного диапазона скоростей и продолжительности пребывания воды в системе.

Общая протяженность водопроводной сети опытно-промышленной установки составляла 180 м и включала шесть последовательно соединенных кольцевых контуров длиной 30 м каждый. Сеть выполнялась из чугуна, а в качестве защитных оболочек использовались цементно-песчаное покрытие и поливинилхлоридная пленка. Наряду с возможностью регулирования скорости течения воды в трубах и времени пребывания в системе предусматривалось искусственное повреждение защитных покрытий труб для изучения процесса проникновения загрязняющих веществ и образования биопленки, а также введения различных компонентов, имитирующих процессы старения труб и загрязнения транспортируемой по ним воды.

Установка оборудовалась специальными пробоотборниками для возможности съема биопленки с защитных покрытий и ее последующего исследования в лаборатории. Параллельно проводились аналогичные эксперименты в городской водопроводной сети для проверки степени сходимости результатов на модели и в натуре.

Сопоставление данных, полученных в реальных условиях и на модели, показало идентичный характер протекаемых процессов. Результаты исследований на модели позволили более четко выявить кинетику процесса образования и трансформации загрязнений, что послужило весомым доводом использования полученных результатов в практику эксплуатации реальных сетей. Согласно полученным кривым кинетики роста числа бактерий на цементно-песчаных и поливинилхлоридных покрытиях в течение первых 7 ч эксплуатации замкнутой циркуляционной системы, образование колоний микроорганизмов происходило очень быстро. Так, по прошествии 1 ч эксплуатации системы бактериальная плотность на защитных покрытиях превышала  $10^5$  колоний на  $1 \text{ см}^2$ . В последующие часы рост количества колоний замедлялся, а после 4—5 ч практически прекращался.

Длительное пребывание воды в системе (до 40 ч) показало, что при скорости ее течения около 1 м/с плотность прилипших к защитным покрытиям микроорганизмов возрастает весьма незначительно или даже уменьшается в результате ограниченного количества питательных веществ в циркулируемой воде (в частности, общего органического углерода).

Эксперименты показали также, что увеличение числа бактерий происходило практически одинаково как на цементно-песчаном, так и на поливинилхлоридном покрытии. Процесс биообрастания покрытий сопровождался миграцией (переносом потоком воды) и размножением бактерий, эрозией и вымыванием части биопленки. Проведенные эксперименты показали, что бактериальная масса в основном задерживается на покрытиях, а в свободном (взвешенном) состоянии присутствует в относительно малых количествах. Таким образом, для поддержания определенного бактериального качества транспортиру-



емой воды наилучшим условием была бы полная фиксация (прилипание) микроорганизмов на защитном покрытии.

Данный вывод свидетельствует о том, что защитные покрытия априори должны обладать уникальными свойствами, позволяющими, с одной стороны, выполнять возложенные на них функции герметика при восстановлении трубопровода, а с другой — надежного фиксатора микроорганизмов, который должен предотвратить отрыв биопленки при любом изменении гидравлического режима течения воды в трубопроводе.

В проводимых экспериментах по хлорированию воды специалистами было установлено, что наибольшая эффективность окисления бактериальной массы наблюдается при дозе хлора 2,44 мг/л. Однако хлорирование лишь частично сдерживает образование биопленки, так как ее повышенная плотность может служить своеобразным препятствием проникновению окислителя в глубь биообрастаний. Необходимо отметить и тот факт, что хлорирование дозой 1,25 мг/л оценивалось как неэффективное для окисления фиксированной на защитном покрытии бактериальной массы.

В качестве рекомендуемых мероприятий по поддержанию бактериального качества воды на соответствующем уровне специалистами предлагается осуществлять очистку воды до такой степени, чтобы количество биоразлагаемого углерода в ней было минимальным, продолжительность пребывания воды в водопроводных сетях не превышала 40 ч и производилась периодическая чистка защитных покрытий трубопроводов от биообрастаний.

### 3.6. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ САНАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ГОРОДСКОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ МОСКВЫ

Натурные исследования долговечности и качества защитных покрытий на водопроводных сетях начали проводиться на Московском водопроводе начиная с 1968 г, когда был введен в эксплуатацию реконструированный участок 3-го Краснопресненского водовода второго подъема длиной около 100 м и диаметром 1220 мм, восстановленный путем нанесения цементно-песчаного покрытия. В течение следующих 30 лет эксплуатации водовода на saniрованном участке с периодичностью в 10 лет проводились эксперименты по оценке эффективности и долговечности покрытия, а также перспективности его выбора для условий Москвы. К проведению экспериментов в разные годы привлекались специалисты НИИ КВОВ АКХ им. П.Д. Памфилова, МГСУ и других организаций.

Отличительной особенностью натурных исследований и аналитических разработок, проведенных МГУП «Мосводоканал» в 1998—2000 гг., стал комплексный анализ эффективности внутренних защитных покрытий трубопроводов.

Результаты многолетних экспериментов МГУП «Мосводоканал» с привлечением специалистов, участвовавших в работах по нанесению цементно-песчаных покрытий, показали, что защитные покрытия остаются стабильными и могут прослужить много лет. Это обстоятельство прежде всего подтверждает правильность сделанного более 30 лет назад выбора в пользу набрызговых защитных покрытий для ремонта стальных трубопроводов.

Последний (1998) сравнительный анализ и визуальный осмотр (с помощью фото- и телеустановок, расположенных в непосредственной близости) saniрованного и несанированного участков 3-го Краснопресненского водовода показал существенное различие в их физическом состоянии. В частности, на *незащищенной* покрытием внутренней поверхности водовода равномерно по всему сечению наблюдались сплошные, значительной механической прочности закрытые бугристые обрастания (наросты) в виде неровных пятен рыжего цвета с темно-коричневыми вкраплениями ржавчины площадью 1—500 см<sup>2</sup>. Отложения (со средней высотой выступов-бугорков 10—22 мм) были покрыты серой или серо-желтой слизью (налетом) толщиной около 1—2 мм, распределенной равномерно по всей внутренней поверхности трубы и легко удаляемой ветошью, но несмываемой потоком движущейся воды.

Отбор проб бугристых отложений и последующий их химический анализ позволил установить, что 70,2 % содержимого отложений составляют оксиды железа, причем на долю оксида железа приходится 45,6 %, а закиси — 24,6 %, что свидетельствует об активном процессе коррозии стенок трубопровода.

На *защищенной* покрытием внутренней поверхности водовода наблюдалась иная картина: внешний вид покрытия представлял собой гладкую серую поверхность практически без обрастаний, нарушений цементно-песчаного покрытия и заметных следов его выщелачивания. Замеры толщины покрытия в зоне его удаления в период экспериментов в 1988 и 1998 гг. не показали изменения толщины защитной облицовки (7—9 мм). Коррозии стенок трубопровода в зоне кольцевых усадочных трещин (с раскрытием до 0,3 мм) не наблюдалось. Явления набухания и отслоения покрытия присутствовали лишь вблизи сварных швов.

Микробиологические и микроскопические анализы проб слизи, отобранной с поверхности saniрованного и несанированного трубопроводов, также показали некоторое расхождение. В частности, на несанированном участке в пробе слизи с вскрытых бугристых обрастаний присутствовали хлопья коагулянта, незначительное количество нитчатых форм железобактерий *Leptothrix* и одноклеточных *Gallionella*, которые способны развиваться в слабоминерализованной воде. Данные микроорганизмы производят окисление закисного железа в окисное, выделяя гидрооксид железа в виде бугристых (охристых)

хлопьев ржавчины, которые постепенно уплотняются, образуя рыхлую пористую структуру.

В свою очередь, в пробах на облицованном участке обнаруживались лишь единичные одноклеточные *Gallionella*, которые при отсутствии явных очагов коррозии на стенке трубы и облицовке могут быть следствием миграции с несанированных участков на санированные с закреплением на защитных покрытиях.

Несмотря на многие положительные моменты, доказывающие эффективность нанесения защитных покрытий на трубопроводы, результаты описанных выше опытов не могли дать ответы на многие вопросы, связанные с изменением показателей качества воды под влиянием санации из-за ограниченной протяженности восстановленного участка и возможности миграции загрязнителей с незащищенных участков на защищенные по ходу движения воды.

Для описания реальной картины трансформации качественных показателей воды, т.е. наиболее близкой к истинной для санированных и несанированных трубопроводов, работающих в идентичных гидравлических режимах и других аналогичных условиях, проводились исследования динамики изменения качественных показателей на протяженных участках защищенной и незащищенной внутренним покрытием водопроводной сети. Сущность исследований заключалась в сопоставлении и интерпретации полученных данных по изменению качественных показателей воды при ее транспортировке по трубопроводам от водопроводной станции до центральной части города (до Садового кольца).

Натурные исследования проводились на двух участках напорных водоводов Северной водопроводной станции (СВС) г. Москвы:

1 — несанированный (водовод № 7), длиной 11 км и диаметром 1400 мм, на котором отбирались пробы в 4 различных точках по течению воды (точка 1 — СВС; точка 2 (№ 273) — Дмитровское шоссе, 116; точка 3 (№ 365) — Дмитровское шоссе, 97; точка 4 (№ 113) — проезд Черепановых, 72);

2 — санированный внутренним цементно-песчаным покрытием (водовод № 3), длиной 11,2 км и диаметром 1200 мм, на котором также отбирались пробы в 4 различных точках по течению воды (точка 1 — СВС; точка 2 — пос. Ларино; точка 3 (№ 376) — ул. Дубнинская на пересечении с ул. 800-летия Москвы; точка 4 (№ 255) — Дмитровское шоссе, 58).

Продолжительность пребывания воды (в период протекания от точки 1 до точки 4) на 1-м и 2-м водоводах составляла в среднем 3,5 ч. Пространственное ограничение длин водоводов (11—11,2 км) и соответственно временное ограничение пробегания воды в период проведения опытов объяснялись лишь тем, чтобы максимально приблизить условия экспериментов и выявить соответствующие закономерности в санированных и несанированных трубопроводах.

Серии натурных исследований включали определение следующих качественных показателей транспортируемой питьевой воды, ответственных за интенсивность коррозионных процессов: pH, растворенного кислорода, свободного хлора, железа ( $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ ), хлоридов, сульфатов, щелочности, а также расчет индекса стабильности. Анализы качества воды выполнялись Аналитическим центром контроля качества воды ЗАО «Роса».

Изначально предполагалось, что исследование динамики изменения химических показателей качества воды позволит сделать некоторые предварительные выводы об интенсивности прохождения коррозионных процессов в несанированных трубопроводах. Кроме того, ставилась задача дать общую оценку ситуации для санированных (защищенных внутренним цементно-песчаным покрытием) труб, где коррозия практически наблюдаться не должна или составляет незначительную величину (по причине контакта воды с незащищенной облицовкой трубопроводной арматурой или с местами возможного повреждения покрытий на внутренней поверхности трубопроводов).

Интерпретация полученных данных может служить базой дальнейших более глубоких исследований влияния санации на качество питьевой воды, т.е. оценки изменений некоторых химических (и в перспективе санитарно-гигиенических) показателей, а также на выбор приоритетного (первоочередного) объекта санации.

Необходимо отметить, что исходное качество воды в двух водоводах (№ 7 и № 3) несколько отличалось из-за применения различных типов коагулянтов в технологической схеме обработки природной воды на СВС (оксихлорида алюминия и сульфата алюминия). Так, средняя щелочность воды, поступающей в санированный водовод № 3, составляла 2,52 мгэкв/л (стабильность при температуре 20 °С — 0,805), а в несанированный водовод № 7 — 2,67 мгэкв/л (стабильность при температуре 20 °С — 0,847).

По результатам натурных исследований был сделан предварительный вывод: низкие значения индекса стабильности и повышенное содержание растворенного кислорода могут свидетельствовать прежде всего о коррозионной активности воды в обоих водоводах при соприкосновении с металлическими поверхностями (внутренними стенками, трубопроводной арматурой).

Графики изменения концентрации ионов железа  $\text{Fe}^{3+}$  в санированном и несанированном водоводах (рис. 3.30), приведенные к одинаковым начальным условиям (по исходной концентрации железа и в пересчете на диаметр 1200 мм для равной площади контакта воды с внутренними стенками трубопровода), показывают, что на несанированном трубопроводе процессы коррозии протекают более интенсивно. Расчетный прирост концентрации ионов железа  $\text{Fe}^{3+}$  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.



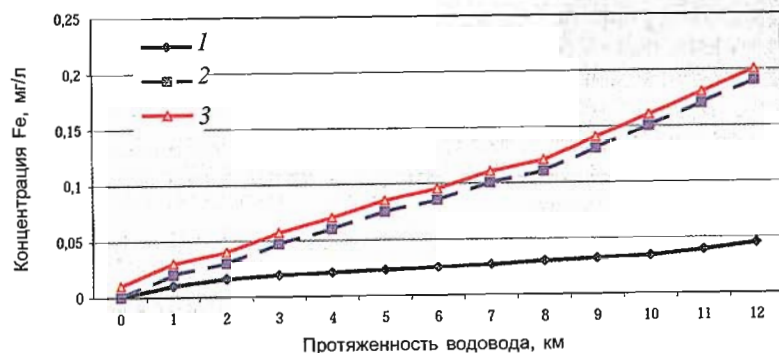


Рис. 3.30. Изменение концентрации трехвалентного железа: 1 — для несанированного трубопровода; 2 — для несанированного трубопровода с приведенной начальной концентрацией; 3 — для санированного трубопровода

В результате обработки данных установлено, что изменение концентрации ионов железа  $Fe^{3+}$  соответственно в санированном и несанированном трубопроводах может быть описано математически в виде следующих линейных функций вида:

$$Y = 0,012 + 0,0042X \text{ и } Y = 0,027 + 0,017X,$$

где  $Y$  — концентрация железа в воде, мг/л;  $X$  — протяженность водовода диаметром 1200 мм.

Используя полученные зависимости, можно предположить, что санированный водовод диаметром 1200 мм при начальной концентрации железа в воде до 0,012 мг/л, средней скорости течения 1 м/с и указанном выше индексе стабильности может обеспечить требования нормативных документов по концентрации железа в питьевой воде менее 0,3 мг/л при его протяженности до 67,58 км. Аналогичные расчеты для тех же условий эксплуатации несанированного трубопровода показывают, что его расчетная протяженность, гарантирующая концентрацию железа в воде не выше установленных значений, составит лишь 16,05 км.

Учитывая площади зон влияния Московских водопроводных станций и прежде всего СВС, можно предположить, что при указанных выше исходных качественных параметрах транспортируемой воды санация водовода № 3 до точки № 255 практически обеспечивает требуемые ГОС-Том показатели по содержанию железа в питьевой воде до границы зоны влияния СВС. Данное обстоятельство снижает риск появления наростов ржавчины на внутренних стенках трубопроводов и образования свищей.

В отношении несанированного водовода № 7 и примыкающей к нему разветвленной водопроводной сети такой гарантии дать не представляется возможным, так как железо может осаждаться на стенках труб, приводя в конечном итоге к интенсивному образованию наростов ржавчины и сквозным отверстиям (свищам).

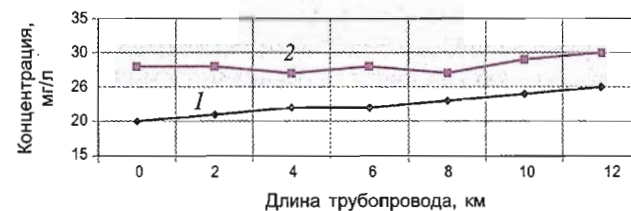


Рис. 3.31. Изменение концентрации сульфатов (1) и хлоридов (2) в воде, транспортируемой по несанированному трубопроводу

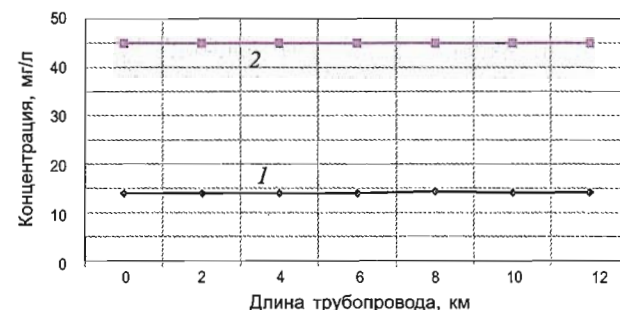


Рис. 3.32. Изменение концентрации сульфатов (1) и хлоридов (2) в воде, транспортируемой по санированному трубопроводу

Таким образом, натурные исследования позволили сделать вывод: нанесение на трубопровод защитного покрытия может рассматриваться и как обеспечение своеобразного временного запаса, в течение которого характеристики качества воды изменяются незначительно (в данном конкретном случае концентрация железа) или не изменяются вовсе по ряду причин.

Подтверждением последнему может служить динамика изменения таких показателей, как концентрация хлоридов и сульфатов (рис. 3.31 и 3.32).

Стабильность концентраций хлоридов и сульфатов позволяет сделать вывод об отсутствии процессов биологической коррозии, хотя при этом не исключается факт возможного присутствия автотрофных микроорганизмов, которые вызывают деполяризацию катода по уравнению  $4Fe = 4Fe^{2+} + 8Fe$ . В результате происходит увеличение содержания в воде ионов  $Fe^{2+}$ , что было зафиксировано в некоторых пробах в период проведения натурных экспериментов на несанированном водоводе.

Подтверждением возможного прохождения биологической коррозии, в частности аэробных процессов, может служить, как уже отмечалось, значительное содержание в воде растворенного кислорода (более 10 мг/л). Однако для окончательного вывода об интенсивности и

степени влияния биологической коррозии на защищенный и незащищенный трубопроводы необходимы дополнительные исследования. Одним из возможных направлений исследований может быть оценка влияния анаэробных процессов, способствующих появлению при возможном дефиците кислорода сернистых соединений железа и сероводорода, которые в свою очередь ответственны за появление неприятного привкуса и запаха питьевой воды.

Анализируя опыт Московского водопровода по эффективности защиты трубопроводов, нельзя не отметить аналогичные разработки других организаций.

МУП «Водоканал» г. Анапа в 1983 г. были проведены работы по защите цементно-песчаным покрытием участка стального водовода диаметром 1220 мм и протяженностью 14 км. В течение 17 лет периодически ведутся наблюдения за состоянием цементно-песчаного покрытия и замеры качества транспортируемой воды. Натурные исследования, в частности, показали, что толщина нанесенного цементно-песчаного покрытия за период эксплуатации не изменилась по сравнению с первоначальной, а качество воды остается стабильным.

Определенный научный и практический интерес представляет опыт нижегородских специалистов, проводивших оценку изменения качественных параметров питьевой воды в несанированных трубопроводах при ее транспортировке от резервуаров чистой воды водопроводной станции до городских распределительных сетей.

В период экспериментов оценка качественных показателей питьевой воды проводилась по следующим приоритетным загрязнителям: хлороформу, трихлорэтилену, формальдегиду, связанному хлору, железу, алюминию, мутности, цветности и нескольким микробным показателям. Результаты экспериментов, в частности, показали, что в воде по мере удаления от водопроводной станции увеличивается количество соединений железа, образующихся за счет влияния электрохимической коррозии. Так, интенсивность коррозионных процессов стальных водопроводных труб увеличивалась с 3,15 г/м<sup>2</sup>·сут в резервуаре чистой воды до 5,72 г/м<sup>2</sup>·сут на наиболее удаленных участках сети. При этом общая токсичность воды, определяемая по специальной методике с помощью клеточного тест-объекта, возрастала на 10—15 % на каждый километр удаления от станции.

### 3.6.1. Экспериментальные исследования изменения гидравлических характеристик потока в действующих трубопроводах (до и после санации)

Основной задачей проводимых МГУП «Мосводоканал» натурных гидравлических испытаний на трубопроводах, как не подвергшихся, так и подвергшихся санации, является определение коэффициентов гидравлического трения  $\lambda$ . Они служат наиболее объективной харак-

теристикой состояния внутренней поверхности эксплуатируемого трубопровода. В свою очередь сведения о значениях коэффициентов гидравлического сопротивления на действующих трубопроводах до и после работ по очистке и облицовке их внутренней поверхности позволяют оценить качество работ по нанесению покрытий.

Необходимо подчеркнуть, что в настоящее время нет достаточных теоретических и экспериментальных данных для достоверного прогноза изменения коэффициента  $\lambda$  с учетом всех влияющих факторов: материала труб, качества воды, сроков эксплуатации труб, типа защитных покрытий и т.д.

Методика определения коэффициента гидравлического сопротивления  $\lambda$  базируется на использовании зависимости Дарси-Вейсбаха, а коэффициент гидравлического сопротивления рассчитывается по формуле:

$$\lambda = \frac{2g\Delta H D}{LV^2},$$

где  $\lambda$  — коэффициент гидравлического сопротивления;  $g$  — ускорение свободного падения;  $\Delta H$  — перепад (потери напора) на мерном участке трубопровода, м;  $D$  — диаметр трубопровода, м;  $L$  — длина участка измерения, м;  $V$  — скорость движения воды в трубопроводе, м/с;  $Re$  — число Рейнольдса (безразмерная величина).

Потери напора по длине испытуемого участка водопроводной сети

$$\Delta H = (H_1 + Z_1) - (H_2 + Z_2) = (H_1 - H_2) - (Z_1 - Z_2),$$

где  $H_1$  и  $H_2$  — давления воды в точках измерения, приведенных к верху трубы, м вод. ст.;  $Z_1$  и  $Z_2$  — геодезические отметки верха трубы, м.

Соответственно величина расхода воды при измерении перепада водовоздушным дифманометром определяется как

$$Q = 0,01252\alpha d^2 \sqrt{h/\gamma}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $\alpha$  — коэффициент расхода;  $d$  — диаметр сужающего устройства, мм;  $h$  — перепад давления, мм вод. ст.;  $\gamma$  — средняя плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

В связи с тем, что измеренные величины  $\Delta H$  и  $V$  связаны со случайными погрешностями, для получения значений  $\lambda$  для каждого участка трубопровода измерения повторяются несколько раз при различных скоростях потока при условии, чтобы доверительный интервал математического ожидания  $\lambda$  не превышал +5 % с 95 % доверительной вероятностью. При этом число измерений должно составлять не менее 10 на каждом мерном участке. Реальная вариация результатов измерений составляла 6—8 %, т.е. при принятом числе измерений доверительный интервал составлял:

$$\Delta\lambda = + (t_{\mu} / \sqrt{n}) = (2 \cdot 8 / \sqrt{10}) \leq 5 \%,$$

где  $\mu$  — вариация результатов измерений;  $n$  — число измерений;  $t = 2$  — параметр, соответствующий 95 % доверительной вероятности.



Таблица 3.4. Результаты расчета коэффициентов гидравлического сопротивления стальных участков городской водопроводной сети

| Адрес                        | Диаметр, мм | Скорость, м/с | $K = \lambda/\lambda_t$ |
|------------------------------|-------------|---------------|-------------------------|
| Старомонетчиковский пер., 32 | 600         | 0,61          | 2,49                    |
| 1-й Электровозный пер., 4    | 600         | 0,93          | 1,76                    |
| Чонгарский б-р, 9            | 600         | 1,2           | 2,37                    |
| Сходненская ул., 44          | 700         | 0,29          | 3,37                    |
| Лобачика ул.                 | 800         | 0,53          | 1,83                    |
| Поперечный пр-т              | 800         | 0,94          | 2,05                    |
| Окружной пр.                 | 900         | 0,63          | 2,81                    |
| Оранжевая ул.                | 1200        | 1,27          | 2,1                     |
| Нагатинская ул.              | 1200        | 0,71          | 1,8                     |
| Сталеваров ул.               | 1400        | 1,35          | 1,74                    |
| Минское шоссе                | 1400        | 1,65          | 1,58                    |
| Абрамцевская ул.             | 1400        | 1,53          | 1,74                    |
| Коровинское шоссе            | 1400        | 0,84          | 1,89                    |

Согласно принятой методике, для каждого трубопровода измеренные значения коэффициентов  $\lambda$  сопоставляются с теоретическими значениями этих коэффициентов  $\lambda_t$ , расчет которых проводится по формулам Ф.А. Шевелева для неновых стальных и чугунных трубопроводов.

Итогом натурных экспериментов и расчетов для каждого испытуемого участка трубопровода является определение относительного увеличения коэффициента гидравлического сопротивления  $K_\lambda$  за период эксплуатации:

$$K_\lambda = \lambda/\lambda_t \text{ или } K_\lambda = \lambda_{\text{после санац}}/\lambda_{\text{до санац}}$$

По значениям  $K_\lambda$  в различных условиях (при разном сроке эксплуатации, различных скоростях потока, качестве транспортируемой воды и т.д.) представляется наиболее объективная оценка технического состояния трубопроводов.

Некоторые выборочные за прошедшие годы результаты натурных исследований по определению коэффициентов гидравлического сопротивления участков городской водопроводной сети приведены в табл. 3.4, а результаты расчетов относительного изменения коэффициентов гидравлического сопротивления для водоводов после прочистки и санации — в табл. 3.5.

В табл. 3.6 представлены некоторые сводные данные результатов экспериментов по определению коэффициентов гидравлического сопротивления в 1998—2002 гг.

Анализ и обобщение результатов проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы.

Коэффициенты гидравлического сопротивления стальных и чугунных трубопроводов в условиях Московского водопровода интенсивно возрастают в первые 5—6 лет эксплуатации. Для водоводов перво-

Таблица 3.5. Относительное увеличение коэффициентов гидравлического сопротивления стальных водоводов первого подъема Восточной водопроводной станции

| Номер водовода | Диаметр, мм | Год укладки | $K_\lambda$ после прочистки по отношению к табличному значению | $K_\lambda$ после облицовки по отношению к прочистке |
|----------------|-------------|-------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1              | 1200        | 1967        | 1,6                                                            | 1,06                                                 |
| 3              | 1200        | 1967        | 1,61                                                           | 1,03                                                 |
| 4              | 1400        | 1968        | 1,68                                                           | 1,02                                                 |
| 6              | 1200        | 1968        | 1,53                                                           | 1,01                                                 |
| 8              | 1400        | 1978        | 1,65                                                           | 1,02                                                 |
| 9              | 1400        | 1978        | 1,32                                                           | 1,00                                                 |

Таблица 3.6. Определение коэффициента гидравлического сопротивления

| $D_1$ ,<br>мм         | Длина<br>участ-<br>ка, м | До облицовки   |           |             |                                             | После облицовки |           |             |                                             | Относи-<br>тельное<br>увеличение<br>расхода,<br>% (раз) |                             |
|-----------------------|--------------------------|----------------|-----------|-------------|---------------------------------------------|-----------------|-----------|-------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------|
|                       |                          | $\Delta H$ , м | $V$ , м/с | $\lambda_1$ | $K_\lambda =$<br>$= \lambda_1/\lambda_\tau$ | $\Delta H$ , м  | $V$ , м/с | $\lambda_2$ | $K_\lambda =$<br>$= \lambda_2/\lambda_\tau$ |                                                         | $\Delta Q =$<br>$= Q_2/Q_1$ |
| Шипиловская ул.       |                          |                |           |             |                                             |                 |           |             |                                             |                                                         |                             |
| 300                   | 68,58                    | 0,798          | 0,552     | 0,122       | 3,75                                        | 0,151           | 0,4246    | 0,0722      | 2,14                                        | 66 (1,66)                                               |                             |
| Шипиловская ул.       |                          |                |           |             |                                             |                 |           |             |                                             |                                                         |                             |
| 400                   | 47,32                    | 0,286          | 0,637     | 0,116       | 4,0                                         | 0,101           | 0,462     | 0,078       | 2,5                                         | 92 (1,92)                                               |                             |
| Уссурийская ул.       |                          |                |           |             |                                             |                 |           |             |                                             |                                                         |                             |
| 400                   | 79,8                     | 0,256          | 0,628     | 0,064       | 2,2                                         | 0,0047          | 0,414     | 0,0269      | 0,835                                       | 46 (1,46)                                               |                             |
| Ивана Сусанина ул.    |                          |                |           |             |                                             |                 |           |             |                                             |                                                         |                             |
| 250                   | 106,0                    | 0,938          | 0,84      | 0,0627      | 1,96                                        | 0,157           | 0,7133    | 0,021       | 0,65                                        | 63 (1,63)                                               |                             |
| 1-я Магистральная ул. |                          |                |           |             |                                             |                 |           |             |                                             |                                                         |                             |
| 1200                  | 99,7                     | 0,182          | 0,99      | 0,0438      | 2,179                                       | 0,039           | 0,99      | 0,0185      | 0,53                                        | 90 (1,9)                                                |                             |

го подъема этот рост составляет 50—80 % первоначальных значений  $\lambda$ , для водоводов второго подъема — 60—100 %.

Коэффициент  $K_\lambda$  увеличивается с уменьшением диаметра трубопровода. Это объясняется тем, что, помимо увеличения шероховатости внутренней поверхности труб на сопротивление оказывает влияние уменьшение площади живого сечения трубопровода. Если для труб диаметром 600 мм и более  $K_\lambda$  в среднем составляет 2 раза, то для труб диаметром 200 мм эта величина может увеличиваться до 3—4 раз.

Очистка внутренней поверхности с последующим нанесением защитных цементно-песчаных покрытий обеспечивает снижение коэффициента  $\lambda$  до уровня, соответствующего табличным значениям для неновых труб (по Ф.А. Шевелеву).

Измерение в обязательном порядке коэффициента гидравлического сопротивления до и после санации является целесообразным мероприятием. По результатам измерения можно проверить качество проводимых облицовочных работ. В дальнейшем после нанесения на внутреннюю поверхность труб защитных цементно-песчаных покрытий (т.е. проведения ремонтно-восстановительных работ) измерения гидравлического сопротивления проводить нецелесообразно.

Учитывая высокую эффективность нанесения внутренних защитных покрытий, целесообразно применять их и на вновь строящихся трубопроводах непосредственно в заводских условиях или после укладки.

Критериями очередности проведения санации эксплуатируемых участков трубопроводов могут служить: повышенная аварийность на участках сети; значимость участка в отношении пропускной способности в целом для системы подачи и распределения воды; физический износ материала труб и др.

### 3.6.2. Технико-экономическая эффективность восстановления водопроводных сетей бестраншейными методами (на примере нанесения цементно-песчаных покрытий)

Комплексный анализ преимуществ восстановления водопроводных сетей бестраншейными методами может быть осуществлен на основе проведения расчета экономической эффективности по следующим вариантам:

- сравнение с прокладкой нового трубопровода взамен старого открытым способом;
- изменение (увеличение) пропускной способности трубопроводов;
- сокращение затрат электроэнергии на подачу воды;
- снижение реального объема утечек (скрытых расходов воды) на водопроводных сетях;
- сравнение с прокладкой нового дублирующего трубопровода и прочисткой действующего трубопровода.

Годовая экономическая эффективность восстановления по сравнению с прокладкой нового трубопровода взамен старого открытым способом может быть рассчитана по формуле:

$$\mathcal{E} = [3_1(P_1 + E_n)/(P_2 + E_n) - 3_2]A_2,$$

где  $\mathcal{E}$  — годовой экономический эффект, тыс. руб;  $3_1$  и  $3_2$  — приведенные затраты на 1 км по сравниваемым вариантам, тыс. руб;  $(P_1 + E_n)/(P_2 + E_n)$  — коэффициент учета изменения срока службы новой техники по сравнению с заменяемой (коэффициент реновации);  $A_2$  — годовой объем внедрения новой техники, км.

Приведенные затраты определяются по формулам:

$$3_1 = C_1 + K_1 E_n \text{ и } 3_2 = C_2 + K_2 E_n,$$

где  $C_1$  и  $C_2$  — годовые эксплуатационные затраты на 1 км по сравни-

ваемым вариантам, тыс. руб;  $K_1$  и  $K_2$  — удельные капитальные вложения по сравниваемым вариантам, тыс. руб;  $E_n$  — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений,  $E_n = 0,15$ .

За базовый вариант сравнения при определении годового экономического эффекта принимается стоимость прокладки нового трубопровода.

Эффективность мероприятий, связанных с восстановлением трубопроводов, можно оценить по изменению пропускной способности трубопроводов по формуле:

$$Q_2 = Q_1[(\lambda_1/\lambda_2)(D_2^5/D_1^5)]^{1/2},$$

где  $Q_2$  — пропускная способность сети после проведения восстановительных работ, куб. м/с;  $Q_1$  — пропускная способность сети до проведения восстановительных работ, куб. м/с;  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  — коэффициенты гидравлического трения соответственно до и после работ по восстановлению трубопровода;  $D_1$  и  $D_2$  — диаметры трубопровода соответственно до и после восстановления.

Если не принимать во внимание изменение внутреннего диаметра трубопровода до и после восстановления, то увеличение пропускной способности можно определить по упрощенной формуле:

$$Q_2 = Q_1 \sqrt{\lambda_1/\lambda_2}.$$

Или, выражая  $Q_2/Q_1 = \Delta Q$ , относительное увеличение пропускной способности после реабилитации трубопроводов

$$Q = \sqrt{\lambda_1/\lambda_2}.$$

Как указывалось выше, изменением диаметра трубопроводов до и после восстановления при определении увеличения пропускной способности труб можно пренебречь. Данное обстоятельство объясняется тем, что эквивалентная шероховатость эксплуатируемых трубопроводов Московского водопровода в среднем составляет 8—10 мм, а толщина защитного цементно-песчаного слоя, как правило, 7—10 мм. Другими словами, в процессе восстановления практически не наблюдается изменения внутреннего диаметра трубопровода.

Анализируя данные экспериментов по гидравлическим испытаниям на 3-м Краснопресненском водоводе второго подъема диаметром 1220 мм, можно оценить относительное увеличение его пропускной способности до и после ремонтных работ.

Исходные данные для расчета:

толщина наростов за 28 лет эксплуатации водовода 22 мм;

толщина цементно-песчаного покрытия 6 мм;

полученные опытным путем коэффициенты гидравлического трения необлицованного и облицованного трубопроводов соответственно  $\lambda_1 = 0,0438$  и  $\lambda_2 = 0,01085$ .



Тогда относительное увеличение пропускной способности составит:

$$\Delta Q = \sqrt{\frac{0,0438}{0,01085} \left( \frac{1,22 + 0,006}{1,22 + 0,022} \right)^5} \sqrt{4,03 \cdot 0,9} = \sqrt{3,627} = 1,9.$$

Используя результаты гидравлических испытаний и производя аналогичные расчеты для трубопроводов меньшего диаметра, можно констатировать, что относительное увеличение пропускной способности труб диаметром 250—1200 мм может составить после операций нанесения цементно-песчаного покрытия 62—90 %.

Одним из критериев эффективности санации трубопроводов является сокращению затрат электроэнергии на подачу воды.

Определение фактической экономии электроэнергии за счет проведения работ по восстановлению трубопроводов представляет собой весьма сложную задачу. Это объясняется тем, что после изменения гидравлического сопротивления потоки на линиях, где проведены такие работы, могут измениться (например, возрасти). В этом случае доказать эффект восстановительных работ становится трудно.

При восстановлении участков сети эффект изменения напоров или подач на насосных станциях не всегда заметен, а предполагаемый рост напоров в узлах сети может быть ликвидирован за счет роста расхода в узлах (обеспечение такого роста тоже является эффектом восстановительных работ, но замерить и доказать его наличие сложно).

Для определения фактического эффекта работ по восстановлению трубопроводов предлагается следующий путь. Он основан на сравнении величины мощности, затрачиваемой на транспортирование воды, при неизменных параметрах потока по линии до и после восстановления трубопровода.

Экономия электроэнергии за счет увеличения подачи воды по трубопроводу подсчитывается по формуле

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{\gamma \Delta Q H}{102 \eta_{\text{агр}}} T,$$

где  $\Delta \mathcal{E}$  — экономия электроэнергии, кВт·ч;  $\gamma$  — плотность воды (1000 кг/м³);  $\Delta Q$  — увеличение подачи воды по трубопроводу, м³/с;  $H$  — напор на насосной станции, м вод. ст.;  $\eta_{\text{агр}}$  — коэффициент полезного действия насосного агрегата;  $T$  — продолжительность подачи воды по трубопроводу, ч.

Экономия электроэнергии за счет уменьшения гидравлического сопротивления после операций по восстановлению трубопровода и, следовательно, уменьшения потерь напора по длине трубопровода подсчитывается по формуле:

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{\gamma \Delta Q \Delta H}{102 \eta_{\text{агр}}} T$$

где  $\Delta H$  — снижение потерь напора по длине трубопровода, м вод. ст.

Потери напора по длине трубопровода рассчитываются по формуле:

$$H = iL = \lambda (1/d_p) (V^2/2g)L,$$

где  $i$  — гидравлический уклон, м вод. ст.;  $\lambda$  — коэффициент гидравлического трения;  $d_p$  — расчетный внутренний диаметр трубы, м;  $V$  — средняя скорость движения воды, м/с;  $g$  — ускорение свободного падения, м²/с;  $L$  — протяженность трубопровода, м.

Снижение потерь напора по длине трубопровода за счет восстановления определяется из выражения

$$\Delta H = H_1 - H_2 = \lambda_1 (1/d_{p1}) (V_1^2/2g)L - \lambda_2 (1/d_{p2}) (V_2^2/2g)L,$$

где  $H_1$  — потери напора в невосстановленном трубопроводе, м вод. ст.;  $H_2$  — потери напора в восстановленном (санитованном) трубопроводе, м вод. ст.;  $\lambda_1, \lambda_2$  — коэффициенты гидравлического трения соответственно исходного и санитованного трубопроводов.

Принимая равными для невосстановленного и восстановленного участков трубопровода следующие параметры: длина участков, расчетный внутренний диаметр, скорость движения (соответственно расход на участке), формула для снижения потерь напора примет вид:

$$\Delta H = [(1/d_p)(V^2/2g)(\lambda_1 - \lambda_2)]L.$$

Выражая  $\lambda_1$  в виде  $\lambda_1 = K_\lambda \lambda_2$  (где  $K_\lambda$  — коэффициент пропорциональности), снижение потерь напора  $\Delta H$  определится как:

$$\Delta H = [\lambda_2 (1/d_p)(V^2/2g)(K_\lambda - 1)]L.$$

Определив  $A = \lambda_2 (1/d_p)(V^2/2g)L$ , которая является постоянной для данного трубопровода при фиксированном расходе, получим окончательный вариант формулы для расчета  $\Delta H$ :

$$\Delta H = A(K_\lambda - 1).$$

Следовательно, снижение потерь напора в реабилитированном трубопроводе происходит по линейной зависимости и определяется только качеством ремонтных работ. В табл. 3.8 приведены результаты расчета эффективности восстановления трубопроводов при нанесении внутренней цементно-песчаной облицовки.

Данные для расчета:

- расчетная длина трубопровода 1000 м;
- коэффициенты гидравлического трения на невосстановленных трубопроводах приняты по данным гидравлических испытаний;
- коэффициенты гидравлического трения реабилитированных трубопроводов приняты по данным гидравлических испытаний (как показывают результаты этих испытаний значения  $\lambda$  для санитованных участков, соответствуют в основном табличным значениям для новых труб;

Таблица 3.8. Данные по расчету экономии электроэнергии при санации трубопроводов

| Диаметр $d$ , мм | Скорость $V$ , м/с | Расход $Q$ , м <sup>3</sup> /с | 1000 <i>i</i> , м вод. ст. | $K_\lambda = \lambda_1/\lambda_2$ | Снижение потерь напора $\Delta H$ , м вод. ст. | Снижение мощности на транспортировку воды $\Delta N$ , кВт | Снижение расхода электроэнергии на транспортировку воды $\Delta \Sigma$ , тыс. кВт·ч/год | Снижение расхода электроэнергии в период нормативного срока службы 20 лет, тыс. кВт·ч/год |
|------------------|--------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                | 2                  | 3                              | 4                          | 5                                 | 6                                              | 7                                                          | 8                                                                                        | 9                                                                                         |
| 200              | 1,11               | 0,038                          | 10,2                       | 3                                 | 20,4                                           | 9,5                                                        | 83,22                                                                                    | 1664,4                                                                                    |
| 250              | 1,13               | 0,06                           | 7,96                       | 3                                 | 15,92                                          | 11,7                                                       | 102,5                                                                                    | 2050                                                                                      |
| 300              | 1,17               | 0,089                          | 6,74                       | 2,6                               | 10,78                                          | 11,76                                                      | 103                                                                                      | 2060                                                                                      |
| 400              | 1,21               | 0,163                          | 4,94                       | 2,6                               | 7,9                                            | 15,794                                                     | 138,3                                                                                    | 2766                                                                                      |
| 500              | 1,32               | 0,276                          | 4,41                       | 2,3                               | 5,73                                           | 19,387                                                     | 169,83                                                                                   | 3396,6                                                                                    |
| 600              | 1,27               | 0,378                          | 3,24                       | 1,9                               | 2,92                                           | 13,54                                                      | 118,61                                                                                   | 2372,2                                                                                    |
| 700              | 1,31               | 0,52                           | 2,9                        | 1,8                               | 2,32                                           | 14,788                                                     | 129,54                                                                                   | 2590,8                                                                                    |
| 800              | 1,35               | 0,685                          | 2,59                       | 1,8                               | 2,07                                           | 17,376                                                     | 152,21                                                                                   | 3044,2                                                                                    |
| 900              | 1,39               | 0,89                           | 2,35                       | 1,8                               | 1,88                                           | 20,515                                                     | 179,71                                                                                   | 3594,2                                                                                    |
| 1000             | 1,47               | 1,16                           | 2,29                       | 1,8                               | 1,83                                           | 26,021                                                     | 227,94                                                                                   | 4558,8                                                                                    |
| 1200             | 1,48               | 1,68                           | 1,85                       | 1,8                               | 1,48                                           | 30,52                                                      | 267,35                                                                                   | 5347                                                                                      |
| 1400             | 1,48               | 2,2                            | 1,41                       | 1,8                               | 1,13                                           | 30,54                                                      | 267,53                                                                                   | 5350,6                                                                                    |

• расходы воды для трубопроводов различных диаметров приняты в интервале экономически выгодных значений и определены по данным таблиц Ф.А. Шевелева; по тем же таблицам приняты средние скорости движения и потери напора по длине трубопровода;

• продолжительность транспортирования воды по трубопроводу принята равной 8760 ч в год.

В графе 8 табл. 3.8 приведены данные по экономии электроэнергии на saniрованных участках трубопроводов за 1 год, а в графе 9 — по экономии электроэнергии за нормативный срок службы стальных трубопроводов.

Снижение (увеличение) мощности и, следовательно, расхода электроэнергии на транспортирование воды зависит от степени снижения (увеличения) коэффициента сопротивления трения по длине  $K_\lambda$  и происходит по линейной зависимости:

$$K_\lambda = \lambda_1 / \lambda_2 = N_1 / N_2 = \Sigma_1 / \Sigma_2,$$

где  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  — коэффициенты гидравлического трения до и после проведенных работ по реабилитации;  $N_1$  и  $N_2$  — мощности, затрачиваемые на транспортирование воды;  $\Sigma_1$  и  $\Sigma_2$  — расходы электроэнергии на транспортирование воды.

Степень снижения (увеличения) мощности (расхода электроэнергии), выраженная в %, определяется из выражения:

$$\frac{N_1 - N_2}{N_1} 100 = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1} 100.$$

Таблица 3.9. Данные по расчету увеличения расхода электроэнергии в невосстановленных трубопроводах

| Годы эксплуатации трубопровода | $K_\lambda$ | Степень увеличения расхода электроэнергии, % |
|--------------------------------|-------------|----------------------------------------------|
| 1                              | 1,2         | 16,7                                         |
| 2                              | 1,4         | 28,5                                         |
| 3                              | 1,6         | 37,5                                         |
| 4                              | 1,8         | 44,4                                         |
| 5                              | 2           | 50,0                                         |
| с 6 до 10 лет                  | 2           | 50*5=250                                     |
| с 6 до 20 лет                  | 2           | 50*15=750                                    |
| с 6 до 30 лет                  | 2           | 50*25=1250                                   |
| с 6 до 50 лет                  | 2           | 50*45=2250                                   |

В табл. 3.9 приведены данные расчета экономии электроэнергии в относительных единицах за счет санации трубопроводов путем нанесения внутренних защитных цементно-песчаных покрытий. За базовый вариант принят вариант без защитного покрытия. Также принято, что пропускная способность saniрованного трубопровода остается неизменной во времени. Следовательно, мощность затрачиваемая на транспортировку воды и расход электроэнергии, остается неизменной в течение 5 лет эксплуатации трубопровода.

Новый трубопровод без внутренних защитных покрытий подвергается коррозионным обрастаниям. За 5 первых лет эксплуатации увеличение гидравлического сопротивления происходит по линейной зависимости до максимального значения, а затем остается неизменным на весь срок эксплуатации трубопровода.

Коэффициент увеличения гидравлического сопротивления принят равным 2 (усредненный для труб диаметром 300—1000 мм).

Относительное увеличение (в %) потребляемой мощности (увеличение расхода электроэнергии) подсчитано для срока эксплуатации 10, 20, 30 и 50 лет.

Данные табл. 3.9 свидетельствуют о высокой эффективности облицовочных работ, приводящих к снижению мощности, затрачиваемой на транспортирование воды, и расхода потребляемой электроэнергии.

Итак, для обеспечения пропуск расчетного количества воды в необлицованном трубопроводе по мере возрастания срока его эксплуатации требуется постоянное увеличение расхода потребляемой электроэнергии для подачи воды с повышенным напором, т.е. увеличение эксплуатационных затрат. При этом не исключено, что неизбежно будут возрастать и капитальные затраты за счет необходимости строительства дополнительных промежуточных насосных станций подкачки, призванных обеспечить повышение напора в сети.

Это объясняется тем, что при варианте подачи воды с использованием установленного ранее насосного оборудования за счет изменения схемы его включения, например, на последовательную работу агрегатов или за счет монтажа более мощных насосных агрегатов повышается вероятность аварий на трубопроводах, роста утечек воды че-



рез неплотности соединений труб, а также увеличения доли утечек и нерациональных расходов воды у потребителей вследствие повышения напоров у водоразборной арматуры.

### 3.7. ДОСТИЖЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ ПРАКТИКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Многолетняя отечественная и зарубежная практика восстановления трубопроводов путем нанесения внутренних защитных покрытий показывает, что данное направление является не только действенным способом предотвращения раннего старения трубопроводов, но и эффективным методом сохранения их пропускной способности по сравнению с использованием других традиционных методов, например стабилизационной обработки воды (подкислением и подщелачиванием), фосфатированием и в некоторой степени хлорированием.

Изоляция внутренних стенок трубопроводов от соприкосновения с движущейся по ним водопроводной или сточной водой позволяет предотвратить коррозионные процессы и образование провоцируемых коррозией отложений различного характера, которые в свою очередь препятствуют сохранению расчетной пропускной способности трубопроводов в установленные проектом сроки эксплуатации водопроводных и водоотводящих сетей.

Положительные свойства *цементно-песчаных покрытий* — на границе с металлом образуется щелочная среда, которая не только не является агрессивной по отношению к металлической стенке, а, наоборот, предохраняет ее от коррозии, а также замедляет активную жизнедеятельность микроорганизмов, проникающих в усадочные трещины и другие дефекты. Это происходит в связи с тем, что щелочная реакция вызывает гибель некоторой части присутствующих в воде бактерий.

Длительная эксплуатация трубопроводов Московского водопровода показывает, что цементно-песчаная изоляция внутренней поверхности труб практически полностью предохраняет их от коррозионного действия воды.

Описанный выше опыт эксплуатации 3-го Краснопресненского водовода второго подъема диаметром 1220 мм в течение 30-летнего срока подтверждает многочисленные прогнозы зарубежных и отечественных специалистов о стойкости цементно-песчаных покрытий и их долговечности. При эксплуатации не происходит выщелачивание цементного камня, резко уменьшается возможность проявления побочных нежелательных бактериальных процессов (как на стенках труб, так и в потоке транспортируемой воды) и практически неизменным остается гидравлическое сопротивление. Последнее обстоятельство разрешает ряд проблем при проектировании насосных станций и фактически снимает с повестки дня вопросы необходимости оценки роста гидрав-

лических потерь при многолетней эксплуатации сетей и принимаемых при этом контрмерах.

*Полимерные покрытия* так же, как цементно-песчаные, обладают значительной химической стойкостью, однако судить об их долговечности и положительном влиянии на качество транспортируемой питьевой воды после многолетней эксплуатации водопроводных сетей пока не представляется возможным из-за относительно малого срока их использования в зарубежных системах водоснабжения. Необходимо отметить также, что стоимость полимерных покрытий и производства работ по их нанесению значительно дороже, чем цементно-песчаных.

Отечественный опыт использования полимерных защитных покрытий на Московском и других водопроводах некоторых городов РФ пока невелик. Сроки эксплуатации облицованных такими покрытиями трубопроводов пока весьма незначительны (4—5 лет). Данное обстоятельство пока не позволяет оценить характер и степень возможного потенциального биологического обрастания полимерных оболочек при длительной эксплуатации труб, нарушения жесткого крепления их к внутренней поверхности труб, развития, размножения и роста бактерий в местах нарушений (дефектов) облицовок и, наконец, последствий для различных категорий потребителей питьевой воды.

Оценивая перспективность и предпочтение нанесения защитных покрытий другим методам сохранения пропускной способности трубопроводов, нельзя не отметить еще одно их положительное свойство: нанесение покрытий позволяет снизить дозу остаточного хлора.

Как известно, наиболее эффективным методом уничтожения микроорганизмов, поселившихся на внутренних стенках водопроводных сетей, является хлорирование. Хлор обладает высокими окислительными возможностями и относительно дешев, что и обуславливает его широкое применение как дезинфектанта, способствующего поддержанию высокого качества питьевой воды, проходящей до потребителя через разветвленную, протяженную и нередко находящуюся в неудовлетворительном санитарном состоянии городскую водопроводную сеть.

При проектировании хлораторных установок весьма важно назначение оптимальной дозы хлора, достаточной для уничтожения тех или иных микроорганизмов. Вопрос решается в каждом случае в зависимости от хлоропоглощаемости воды, продолжительности ее контакта с хлором, состояния водопроводной сети, оборудования и устойчивости отдельных микроорганизмов к окислителю. Так, для уничтожения железобактерий на стенках трубопроводов доза хлора должна составлять не менее 0,5 мг/л, причем при транспортировке воды питьевого качества для достижения требуемого бактерицидного эффекта должно осуществляться не периодическое, а постоянное хлорирование соответствующими дозами.

Таким образом, наличие защитных цементно-песчаных покрытий или полимерных оболочек на внутренней поверхности труб позволяет значительно снизить остаточную концентрацию хлора в транспортируемой питьевой воде (т.е. уменьшить денежные затраты на обеззараживание) за счет сокращения потерь на сорбцию окислителя пористыми коррозионными образованиями по причине их неразвитости или полного отсутствия.

Отечественный опыт эксплуатации трубопроводов с цементно-песчаным покрытием показывает, что разовое нанесение облицовок, предотвращая процесс старения, позволяет успешно эксплуатировать трубы в течение нескольких лет (даже десятилетий) практически без риска ухудшения качественных показателей воды (в первую очередь органолептических), без необходимости использования химических веществ, чистящих внутреннюю поверхность от осадков коррозионного, карбонатного и органического происхождения, а также без применения механической очистки внутренней поверхности трубопроводов скребковыми механизмами и швабрами.

Перечисленные обстоятельства отдают явное предпочтение цементно-песчаной облицовке перед другими способами сохранения пропускной способности трубопроводов водопроводной сети. При этом необходимо еще раз подчеркнуть, что в настоящий момент эффективность других типов облицовок или покрытий (в частности, полимерных) объективно оценить не представляется возможным из-за отсутствия достаточного опыта эксплуатации и результатов комплексного натурного обследования восстановленных трубопроводов по истечении их расчетного срока службы.

Основным достоинством санации трубопроводов путем нанесения различных типов защитных покрытий является *повышение надежности работы* водопроводных сетей и системы водоснабжения города в целом. Это подтверждается зарубежным и отечественным опытом, в частности Московского водопровода.

В настоящий момент на Московском водопроводе защищена внутренняя поверхность около 1200 км трубопроводов, что составляет 9 % общей протяженности водопроводных сетей. При этом протяженность участков saniрованных трубопроводов составляет более 2 % от всей протяженности стальных трубопроводов.

Результаты экспериментальных исследований последних лет, проводимых на водопроводных сетях, и анализ полученных планшетных карт повреждений на стальных трубопроводах показали, что saniрованные стальные трубопроводы в большинстве случаев надежнее необлицованных защитными оболочками или подверженными другим видам обработки. Об этом прежде всего свидетельствуют данные снижения аварийности в некоторых районах водопроводной сети. Например, до восстановления трубопроводов аварийность на частично saniрованных водо-

проводных сетях составляла 68 %, а после санации — 27 %. В то же время на saniрованных участках аварийность не превышала 5 %.

Опыт эксплуатации Московского водопровода свидетельствует, что наибольший эффект от санации по снижению аварийности наблюдается на трубопроводах диаметром 300 и 400 мм, что может являться одним из приоритетов при выборе объекта реабилитации на водопроводных сетях при прочих равных условиях или одним из базовых критериев принятия решения по обеспечению надежности водопроводной сети.

Необходимо отметить также, что при оценке аварийности трубопроводов, проложенных в различное время, наибольший эффект снижения аварийности saniрованных трубопроводов наблюдается на водопроводных сетях с истекшим сроком амортизации. При выборе потенциального участка реновации водопроводных сетей должно учитываться также то обстоятельство, что санация наряду со снижением аварийности значительно увеличивает пропускную способность трубопроводов, что является весомым фактором в условиях увеличивающейся плотности застройки в центральных районах Москвы.

За последние 20 лет в области бестраншейных технологий ремонта и прокладки подземных инженерных коммуникаций произошел резкий скачок, который позволяет на принципиально новом уровне решать как проблемы восстановления старых, так и прокладки новых подземных коммуникаций. Богатый опыт последнего десятилетия показал, что эффективная реализация бестраншейных методов восстановления трубопроводов в современных условиях невозможна без использования новых технических решений, а также специальных средств и оборудования.

Как уже отмечалось (п. 3.4), процессу восстановления пропускной способности водопроводных и водоотводящих сетей, а также выбору конкретного способа его реализации предшествует детальное обследование трубопроводов, которое включает диагностический осмотр с общей оценкой технического состояния. Для этого используется соответствующее оборудование, перевозимое специальным транспортом (рис. 3.33).

Необходимо отметить, что комплексные натурные обследования поврежденных водопроводных и водоотводящих сетей осуществляются *осмотровыми* робототехническими комплексами (колесными, самоходными с цветной поворотной камерой и постом управления на автомобиле), а после оценки состояния трубопровода и в зависимости от ее результатов используются специализированные *ремонтные* робототехнические комплексы (для точечного ремонта), а также проводятся работы по восстановлению сетей или замене поврежденных участков новыми трубопроводами как бестраншейным, так и открытым способом.

Одним из наиболее перспективных способов устранения локальных (местных) повреждений водопроводной сети в условиях крупного города является бандажирование внутренней поверхности трубопровода с помо-





Рис. 3.33. Автомобиль с необходимым для телеинспекции оборудованием

щью пакеров. Пакеры представляют собой специальные устройства в виде цилиндрических пневмоблоков разных диаметров (например, 200—400 мм), жестко крепящихся к робототехническому комплексу.

На Московском водопроводе с 1996 г. эффективно применяются робототехнические комплексы, которые позволяют выполнять как телеинспекцию, так и фрезерно-подрезные и заделочные работы (бандаж) внутри трубопроводов.

Технология бандажирования включает следующие этапы:

- аварийный участок трубопровода перекрывается, из него удаляется вода и в удобном месте на расстоянии не более 100 м от предполагаемого дефекта делается лаз для помещения в трубу робота; перемещаясь по трубе, робот передает оператору подробную информацию о состоянии трубопровода и осуществляет поиск дефекта;
- поврежденный участок зачищается до металлического блеска с помощью фрезерной головки и металлической щетки; герметичность робота позволяет использовать его даже в частично заполненной водой трубе;
- фрезерная головка робота заменяется пакером соответствующего диаметра, на котором устанавливается бандаж, представляющий собой сложенный кольцом лист нержавеющей стали со специальным замковым устройством; снаружи на лист накладывается прочная ткань, пропитанная полимерным составом, который должен быть сертифицирован СЭС для контакта с питьевой водой;
- робот с пакером подводится к месту ремонта и в пневмобаллон подается сжатый воздух от компрессора; бандажная головка расширяется до размеров трубы и благодаря замковому устройству бандаж плотно фиксируется на внутренней поверхности трубы; пневмобаллон освобождается от воздуха и принимает первоначальный размер.

Продолжительность бандажирования составляет около 10—30 мин и определяется расстоянием от лаза до дефекта на трубопроводе. В технологии бандажирования используется процесс полимеризации без дополнительной температурной обработки, который продолжается несколько часов. Через сутки трубопровод может быть принят в эксплуатацию (после традиционной санитарной обработки).

С помощью робототехнических комплексов «Рокот-1» НПО «ТАРИС» успешно ликвидируются свищи в трубопроводах диаметром 300—400 мм.

Работы по бандажированию исключили трудоемкий и дорогостоящий ремонт открытым способом с вскрытием дорожного полотна и остановкой движения транспорта. Расходы на проведение аварийных работ с помощью ремонтных робототехнических комплексов «Рокот-1» соответственно на 10 и 70 % меньше по сравнению с расходами на раскопку котлована на грунте и на асфальте.

При многих достоинствах робототехнического комплекса «Рокот-1» его недостаток состоит в том, что он не приспособлен восстанавливать повреждения сварных швов и растресбанных соединений.

Как свидетельствуют данные зарубежных специалистов теледиагностика как водопроводных, так и водоотводящих сетей в целом является весьма дорогостоящим мероприятием. При серьезном и целенаправленном подходе к вопросу восстановления коммунальных сетей больших городов с протяженными ветхими коммуникациями может значительно возрасти себестоимость подачи или отвода воды, что приведет к дополнительным весьма значительным инвестициям. Тем не менее состояние сетей в крупных городах заставляет городские власти искать средства на проведение их диагностики и бестраншейного ремонта, реконструкции и прокладки, как единственной альтернативы открытому способу ведения ремонтных работ.

Вернемся к зарубежному опыту восстановления и прокладки инженерных коммуникаций.

Отмеченный ранее метод бестраншейного ремонта «Phoenix» («Феникс») нашел применение на ряде французских объектов. Первым из них был чугунный трубопровод питьевой воды длиной 400 мм и диаметром 150 мм в г. Нанси. В настоящее время во Франции и других европейских странах по технологии «Феникс» обработано свыше 200 км труб сетей водо- и газоснабжения, водоотведения.

Показательно использование данной технологии при ремонте промышленного нефтепровода диаметром 350 мм и длиной 12 км, эксплуатация которого была возобновлена через 21 день. Имеется также опыт нанесения внутренней оболочки на стояки и магистрали в системе горячего водоснабжения и отопления г. Эбес-Жанк. В частности, обработке по технологии «Phoenix» подлежали четыре стояка диаметром 150 и 200 мм, высотой 52 м. Каждый из стояков имел шесть отводов по 45° и четыре

поворота на 90°. К стоякам примыкала магистраль общей длиной 100 м, содержащая восемь поворотов на 90°. Предварительная экспертиза показала, что замена трубопроводов сопряжена с большими трудностями демонтажа. Поэтому ремонт произвели по технологии «Phoenix».

В соответствии с ней систему разделили на горизонтальные и вертикальные участки в среднем длиной 50 м. Внутренняя поверхность была очищена скребками и щетками, а затем наложена оболочка (на вертикальные участки снизу вверх) при максимальном давлении воздуха 0,5 МПа. Эксплуатация системы водоснабжения была возобновлена через 1 сутки.

Определенный интерес представляет опыт восстановления пропускной способности дюкеров без демонтажа системы и земляных работ. Во французском городе Санс в распределительную водопроводную сеть входили два стальных дюкера диаметром 400 мм, пересекающие р. Йонна и транспортирующие воду под давлением 0,6 МПа. Длина каждого дюкера составляла 120 м с учетом двух отводов по 45° вблизи берегов. Трубопроводы были проложены по дну реки, что не исключало их частых повреждений корпусами или якорями проходящих судов. Кроме того, внутренняя сторона трубопроводов была подвержена коррозии. Утечки требовали замены дюкеров или восстановления их начальной пропускной способности.

Разгерметизация трубопроводов была нежелательна, их опорожнение в водоем — невозможно. Поэтому после механической прочистки внутренней поверхности труб ковшами с раскрывающимися створками было проведено предварительное постепенное вытеснение воды под давлением воздуха, а затем нанесение оболочки. По завершении процесса полимеризации эпоксидной смолы (около 3 суток) трубопроводы были приняты в эксплуатацию.

В 1997 г. в шотландском городе Данди были проведены работы по восстановлению двух чугунных водоводов диаметром 675 мм, проложенных под центром древнего поселения. В качестве метода бестраншейной реконструкции трубопроводов, эксплуатирующихся в течение 120 лет, была выбрана технология «Swagelining», с помощью которой было восстановлено свыше 800 км трубопроводов в разных странах мира.

В системе «Swagelining» используются полиэтиленовые трубы, внешний диаметр которых несколько больше диаметра обновляемой трубы. Диаметр полиэтиленовой трубы временно уменьшается пуансоном (специальной матрицей), после чего ее вводят в старую трубу. Затем установленная труба распрямляется до естественного состояния и тесно прилегает к старому трубопроводу.

Работы по восстановлению пропускной способности трубопроводов были поручены фирме «BG plc», которая предложила использовать в качестве материала трубопровода полиэтилен средней плотности SDR 47 диаметром 710 мм.

На трассе для спуска и выхода новой трубы было вырыто семь котлованов. Длина самой протяженной секции, которая должна пройти под историческим местом, составляла 450 м. После тщательной прочистки старой трубы был начат монтаж полиэтиленовой обделки. До протаскивания отдельные секции полиэтиленовой трубы соединялись сваркой для образования сплошной плети длиной, превышающей длину секции, которую надо было облицовывать. Сварная труба подвергалась проверке на наличие утечек. Работы по облицовке старых трубопроводов по всей трассе заняли трое суток, после чего водопровод был принят в эксплуатацию.

Метод «Swagelining» был использован на Московском водопроводе для восстановления 3,4 км ветхих трубопроводов диаметрами 200—400 мм. Работы проводились российскими и датскими специалистами компании «Per Aarsleff A/S» при поддержке субпоставщика полиэтиленовых труб компании «Nordis Wavin A/S». Проект осуществлялся в несколько этапов, включающих: подготовительные работы (организацию временного водоснабжения, рытье стартовых и финишных колодцев и т.д.); прочистку старых труб под высоким давлением воды и протяжку в них плетей полиэтиленовых труб с предварительным пропуском их через специальную матрицу с меньшим диаметром; контроль давления в системе водоснабжения, демонтаж временных устройств для подачи воды, асфальтирование покрытия и т.д.

МУП «Водоканал» г. Сыктывкара (Коми) проводились работы по санированию водопроводной сети диаметром 300 мм и протяженностью более 1,5 км методом «Феникс». Использование данной бестраншейной технологии в условиях Севера является наиболее оптимальным и рациональным решением при реконструкции существующей водопроводной сети.

### 3.8. ЗАЩИТА ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ОТ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ

#### 3.8.1. Виды коррозии подземных металлических трубопроводов и основные методы защиты

При защите внутренней поверхности металлического трубопровода в период его восстановления (санации) внешняя поверхность трубы остается подверженной электрохимической коррозии. Данное обстоятельство вызывает необходимость решения вопросов восстановления и защиты трубопроводов комплексно, т.е. с учетом всех факторов, дестабилизирующих надежность трубопровода в условиях его эксплуатации.

Различают следующие виды коррозии внешней поверхности подземных металлических трубопроводов: *почвенная коррозия* (подземная коррозия), *биокоррозия* и *коррозия блуждающими токами*.



Почвенная коррозия наблюдается в коррозионно-активных почвах и грунтах, биокоррозия возникает под влиянием жизнедеятельности микроорганизмов, а коррозия блуждающими токами — при наличии и воздействии на трубопровод блуждающих токов.

При оценке опасности коррозии металлических протяженных сооружений учитывается возможность развития:

- общей и локальной коррозии в грунте определенной коррозионной агрессивности;
- коррозии анодных участков при функционировании опасных коррозионных макроэлементов (макропар), возникающих из-за различия физико-химических характеристик грунта вдоль трассы и по глубине прокладки трубопровода;
- биокоррозии;
- коррозии при опасном действии на протяженное сооружение блуждающих постоянных и переменных токов.

В арсенале методов защиты трубопроводов от коррозии ведущее место занимает защита трубопроводов от коррозии блуждающими токами.

Основными источниками блуждающих токов в городских условиях являются токи электрифицированного рельсового транспорта (трамвай, метрополитен, электрифицированные железные дороги), работающего на постоянном токе. Несовершенная изоляция рельсов от земляного дорожного полотна вызывает утечку тока в землю. Часть блуждающих токов протекает по подземным трубопроводам, удельное сопротивление которых значительно ниже удельного сопротивления окружающего их грунта. Так как рельсы не полностью изолированы от земли, то часть тягового тока стекает с них в землю. Величина стекающего тока обратно пропорциональна переходному сопротивлению между рельсами и грунтом и прямо пропорциональна продольному сопротивлению рельсов.

При неблагоприятных условиях, способствующих утечке тока в землю, величина блуждающего тока может достигать 70—80 % общей величины тягового тока. Блуждающие токи, протекая в земле и встречая на своем пути подземные металлические сооружения, ответвляются в них, так как сопротивление последних значительно меньше сопротивления грунта. В местах входа блуждающих токов в трубопровод и выхода из него в грунт протекают электрохимические реакции. Участок, где блуждающие токи входят в подземный трубопровод, является катодным, а участок, где они выходят в грунт, — анодным. В анодных зонах подземных сооружений происходит интенсивное разрушение металла, характерным признаком которого является язвенный характер повреждений: сначала появляются каверны, а затем сквозные отверстия (свищи).

Критерий коррозионной опасности трубопроводов, вызываемой блуждающими токами, — наличие положительной или знакоперемен-

ной разности потенциалов между трубопроводом и грунтом (анодные или знакопеременные зоны).

Защита подземных стальных трубопроводов от почвенной коррозии и коррозии, вызываемой блуждающими токами, регламентирована нормативными документами [18,29].

В соответствии с ними должны осуществляться наружная изоляция трубопровода и ограничение проникновения блуждающих токов в трубопроводы из окружающей среды путем катодной поляризации металла трубопровода.

Следует заметить, что в СССР еще в 1952 г. в законодательном порядке был принят принцип комплексной защиты трубопроводов с помощью изоляционных покрытий и электрохимической защиты, которая должна быть осуществлена до ввода сооружения в эксплуатацию.

Электрохимическую защиту (ЭХЗ) стальных трубопроводов городской водопроводной сети следует применять в соответствии с требованиями ГОСТа 9.602–89 и «Инструкцией по защите городских подземных трубопроводов от коррозии» [18,29].

Применение ЭХЗ обязательно: при прокладке трубопроводов в грунтах с высокой коррозионной агрессивностью (защита от почвенной коррозии); при наличии опасного влияния блуждающего постоянного и переменного токов.

Под катодной защитой понимается ЭХЗ металлического трубопровода городской водопроводной сети путем подключения его к отрицательному полюсу источника постоянного тока (станции, установки катодной защиты (УКЗ), к положительному полюсу которого подключен анод.

Практика эксплуатации показывает, что наиболее эффективным методом электрохимической защиты трубопроводов систем водоснабжения является их защита от электрохимической коррозии путем устройства станций (установок) катодной защиты. Одна из установок катодной защиты трубопроводов Московского водопровода показана на рис. 3.34.

Катодная поляризация подземных трубопроводов с помощью установок катодной защиты осуществляется постоянным током от внешнего источника. Основные компоненты УКЗ — выпрямители (катодные станции) и анодные заземлители, служащие для соединения положительного полюса катодной станции с землей. К защищаемому участку трубопровода подключают отрицательный полюс источника тока, а к анодному заземлению — положительный. К одной установке катодной защиты может быть подключено несколько защищаемых сооружений. При необходимости защитная установка может иметь несколько анодных заземлений.

В качестве источников постоянного тока на станциях катодной защиты коммунальных систем водоснабжения городов РФ применяют-

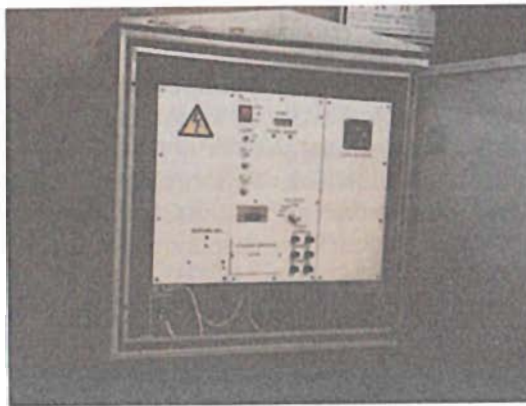


Рис. 3.34. Установка катодной защиты трубопроводов Московского водопровода

ся серийно выпускаемые отечественной промышленностью преобразователи с неавтоматическим и автоматическим управлением режимом работы.

Практика устройства электрозащиты трубопроводов показывает, что эффективная катодная защита достигается при следующих условиях: поддержание на трубопроводе защитных значений поляризационного потенциала; обеспечение названных потенциалов по всей длине участка трубопровода, требующего электрохимической защиты по ГОСТу 9.602–89; непрерывная по времени катодная поляризация (с допустимым перерывом не более 14 суток).

Поляризационный потенциал — это не содержащий омической составляющей потенциал металла трубопровода, через границу которого с электролитической средой протекает ток от внешнего источника. Защитный потенциал — тот, при котором электрохимическая защита обеспечивает необходимую коррозионную стойкость металла.

Выбор способа ЭХЗ осуществляется следующим образом.

Катодную защиту применяют при опасности почвенной коррозии, при одновременной опасности почвенной коррозии и коррозии блуждающими постоянными токами и переменными токами, при опасности коррозии только переменными токами, а также в зонах опасности только блуждающих постоянных токов, если включением дренажей не удастся обеспечить защиту трубопроводов.

Защиту поляризованными или усиленными дренажами применяют при наличии опасности только блуждающих токов для соответствующих участков сближения защищаемого трубопровода с рельсовой сетью электрифицированных на постоянном токе железных дорог или трамвая при устойчивых отрицательных потенциалах рельсов (или знакопеременных потенциалах рельсов трамвая).

**Гальваническая защита** — защита гальваническими анодами (протекторами) может применяться:

- в грунтах с удельным сопротивлением не более 50 Ом·м для отдельных участков трубопроводов небольшой протяженности, не имеющих электрических контактов с другими сооружениями, при отсутствии опасности блуждающих токов или при наличии опасности блуждающих токов, если вызываемое ими среднее смещение потенциала от стационарного не превышает +0,3 В (с применением вентильных устройств);

- для участков трубопроводов, электрически отсеченных от общей сети изолирующими соединениями, а также в случаях, если расчетные защитные токи относительно малы (например, < 1 А), или как дополнительное средство, если действующие катодные станции не обеспечивают защиту отдельных участков трубопроводов.

Коррозионная агрессивность грунта по отношению к стали характеризуется тремя показателями: удельным электрическим сопротивлением грунта, определяемым в полевых условиях; удельным электрическим сопротивлением грунта, определяемым в лабораторных условиях; средней плотностью катодного тока, необходимого для смещения потенциала стали в грунте на 100 мВ отрицательнее стационарного потенциала (потенциала коррозии).

Если один из показателей свидетельствует о высокой агрессивности грунта (табл. 3.11.), то грунт считается агрессивным и определения остальных показателей не требуется.

Для труб из ВЧШГ в отечественных нормативных документах таких критериев нет. Однако с учетом нормативных документов промышленно развитых стран Запада и отечественного практического опыта применения труб из ВЧШГ, а также результатов научных исследований предлагаются следующие основные критерии оценки коррозионной агрессивности грунтов по отношению к ВЧШГ: удельное электрическое сопротивление грунта  $\rho$ ; уровень грунтовых вод относительно трубопровода из ВЧШГ и дополнительный критерий — значение pH грунтовых вод.

Опасным влиянием блуждающего постоянного тока на подземные стальные трубопроводы является наличие изменяющегося по знаку и по величине смещения потенциала трубопровода по отношению к его стационарному потенциалу (знакопеременная зона) или наличие только положительного смещения потенциала, как правило, изменяющегося по

Таблица 3.11. Коррозионная агрессивность грунта по отношению к углеродистой и низколегированной стали

| Коррозионная агрессивность грунта | Удельное электрическое сопротивление грунта, Ом·м | Средняя плотность катодного тока, А/м² |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Низкая                            | Свыше 50                                          | Менее 0,05                             |
| Средняя                           | От 26 до 50                                       | От 0,05 до 0,2                         |
| Высокая                           | Менее 20                                          | Свыше 0,2                              |



величине (анодная зона). Для проектируемых трубопроводов опасным считается наличие блуждающих токов в земле.

Опасное воздействие переменного тока на стальные трубопроводы характеризуется смещением среднего потенциала трубопровода в отрицательную сторону не менее чем на 10 мВ, по отношению к стационарному потенциалу, либо наличием переменного тока плотностью более 1 мА/см<sup>2</sup> (10 А/м<sup>2</sup>) на вспомогательном электроде.

При выборе метода защиты трубопроводов от электрохимической коррозии и определении первоочередных объектов защиты прежде всего выявляется степень опасности коррозии. Это требует выполнения большого количества разнообразных электроизмерительных работ на всех стадиях осуществления защиты сооружений от коррозии.

Коррозионные измерения должны выполняться одновременно с проектированием и эксплуатацией трубопроводов, а также при проектировании, строительстве, наладке и эксплуатации средств электрохимической защиты.

Конструктивные и эксплуатационные особенности водоводов и водопроводных сетей системы водоснабжения города обуславливают определенную специфику коррозионных измерений на трубопроводах.

Целью коррозионных измерений при проектировании электрозащиты трубопроводов систем водоснабжения является определение участков трасс, проходящих в коррозионно-активных грунтах и в поле блуждающих токов, а также получение данных для проектирования электрохимической защиты.

В практике электрозащиты наиболее эффективно измерение удельного сопротивления грунта с помощью специальных измерительных приборов ИКАГ, М-416, ЭП-1М, МС-08 и некоторых других. Для измерения разности потенциалов между подземными сооружением и грунтом используют вольтметры с внутренним сопротивлением не менее 20 кОм на 1 В (типа М-231, Н-399 и др.).

В табл. 3.12. приведены типы и характеристики диагностического оборудования, используемого МГУП «Мосводоканал» для проведения коррозионных измерений.

Для оценки состояния подземных стальных трубопроводов используются приборы отечественного и зарубежного производства — РАД-256, ПКИ-02 с выводом информации на компьютер, МП310-П12, СКАТ-4000, комплект трассового оборудования «УСПЕХ» АТГ-209, RD-400 (Великобритания). Контроль качества сварных швов осуществляется ультразвуковыми дефектоскопами, контроль сплошности наружного изоляционного покрытия — искровыми дефектоскопами.

Диагностика подземных трубопроводов проводится и в процессе профилактического ремонта, который включает техническое обследование трасс трубопроводов с помощью высокочувствительных приборов-течеискателей, обнаруживающих повреждения труб и изоляции.

Таблица 3.12. Типы и характеристики диагностического оборудования, используемые МГУП «Мосводоканал» для проведения коррозионных измерений

| Наименование, тип приборов             | Назначение                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Техническая характеристика                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| АНПИ-А                                 | Для нахождения бесконтактным и контактным способами мест сквозных повреждений в изоляционном покрытии строящихся и эксплуатируемых металлических сооружений                                                                                                                                           | Номинальная мощность генератора — 40 Вт<br>Потребляемая мощность генератора — не более 65 Вт<br>Средняя частота генератора — 1000±20 Гц<br>Диапазон перестройки частоты генератора — не менее 100 Гц<br>Частота модулятора в генераторе — 0,7±0,3 Гц<br>Напряжение питания генератора — 12 В<br>Напряжение контрольного сигнала — 0,12±0,03 В<br>Питание генератора — от аккумулятора автомобиля<br>Входное сопротивление приемника — не менее 8 Ом·м<br>Частота приемника — 1000±20 Гц<br>Полоса пропускания приемника — не более 33 Гц<br>Чувствительность приемника к шуму — не менее 10 дБ, не менее 4,5 мкВ<br>Динамический диапазон входного каскада приемника — не менее 1,1 В<br>Потребляемый ток приемника — не более 10 мА<br>Вид питания — автономный |
| Аппаратно-программный комплекс АПКЗ-03 | Для автоматизации измерений параметров катодной и дренажной защиты подземных                                                                                                                                                                                                                          | Резонансная частота поискового контура — 1000±30 Гц<br>Минимальная площадь определяемого повреждения изоляции газопровода — 0,25 мм <sup>2</sup><br>Точность определения места повреждения изоляции газопровода — ±0,5 м<br>Радиус действия при проверке изоляции трубопровода — 2000 м<br>Максимально определяемая глубина заложения трубопровода — 10 м<br>Точность определения оси трассы газопровода и электрического кабеля — 0,1 м                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                                        | Принцип действия прибора состоит в измерении постоянного тока и пульсирующего напряжения и тока (с использованием внешнего шунта) одновременно по трем каналам, а также поляризованного потенциала (по 4-му каналу), с индикацией измеряемых значений на жидкокристаллическом дисплее, преобразовании |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

См. продолжение

|                          |                                                                                                              |                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Вольтамперметр ЭВ 2234   | металлических сооружений от электрохимической коррозии                                                       | Для измерения тока и напряжения в цепях постоянного тока                                                     | Предел допустимой основной погрешности на всех диапазонах — 1,5 %.<br>Конечное значение диапазонов измерений: по току — 0,005—10 А; по напряжению — 0,5—100 В                                                                                                                                                                                                    |
| ИКАГ                     | Для измерения удельного электрического сопротивления грунта — 5—150 Ом·м, время измерений не более 60 сек    | Диапазон измерений плотности катодного тока различных типов грунтов (ГОСТ 9 602-89)                          | Диапазон измерений удельного электрического сопротивления грунта — 5—150 Ом·м, время измерений не более 60 сек                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Магнитный локатор RD-315 | Для нахождения ферромагнитных объектов (крышек люков)                                                        | Для нахождения ферромагнитных объектов (крышек люков)                                                        | Позволяет находить ферромагнитные объекты, зондируя магнитное поле, излучаемое объектом                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| РАД-256                  | Для проведения периодических и непрерывных измерений электрических напряжений                                | Для проведения периодических и непрерывных измерений электрических напряжений                                | Регистратор проводит периодические измерения входных напряжений, накопление результатов измерений во внутренней памяти (ОЗУ), их хранение и выдачу в ПКЭВМ, обеспечивая при этом для каждого из двух каналов измерений: входное сопротивление — не менее 10 МОм<br>Диапазоны измерений напряжения с возможностью их автоматической либо принудительной установки |
| ТИСПИ-03                 | Для проведения работ по составлению и обновлению планов подземных коммуникаций, для нахождения мест сквозных | Для проведения работ по составлению и обновлению планов подземных коммуникаций, для нахождения мест сквозных | Ослабление промышленных помех — не менее 24 дБ (по напряжению)<br>Усиление приемного устройства — не менее 115 дБ<br>Максимальная мощность генератора в импульсе — 20 Вт<br>Номинальное напряжение питания приемного устройства — 8,4 В<br>Ток, потребляемый приемным устройством, не более — 10 мА<br>Номинальное напряжение питания генератора — 12 В          |

См. продолжение

|                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| повреждений изоляции строящихся и эксплуатируемых распределительных металлических трубопроводов, для нахождения местоположения скрытых электропроводок, находящихся под напряжением | Средний ток, потребляемый генератором, — не более 2 А<br>Глубина промерзания грунта при поиске сквозных повреждений гидроизоляции — не более 15 см<br>Температура наружного воздуха при работе прибора в режиме трассоискателя от -20 до +40 °С                                                                                                                                                                                                                                                    |
| УЛПК-1<br>«Универсальный лабораторный прибор для определения коррозионной агрессивности грунтов»                                                                                    | Измерения на переменном токе с частотой 70±10 Гц и стабильностью не менее 0,5 %<br>Величина измерения электрического сопротивления — до 20 кОм, дискретность измерений — 10 Ом<br>Входное сопротивление — не менее 10 МОм<br>Величина измерения напряжения поляризации — до 999 мВ                                                                                                                                                                                                                 |
| Ф4103-М1<br>«Измеритель сопротивления заземления»                                                                                                                                   | Диапазон измерений — 0—15000 Ом<br>Диапазон дополнительных значений сопротивления электродов: потенциальных — 0—12 кОм; токовых — 0—6 кОм<br>Частота измерения тока — 265—310 Гц<br>Переменное напряжение на зажимах — не более 36 В<br>Время установки рабочего режима — не более 10 с<br>Максимальная толщина изделия — 10—200 мм<br>Максимально допустимая шероховатость поверхности — 160 мкм<br>Минимальная толщина стенки полого цилиндра при минимальном радиусе кривизны — не более 1,0 мм |
| Толщиномер ультразвуковой                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| СКАТ-4000                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |



Диагностика включает также анализ эксплуатационных сведений по техническому состоянию подземных трубопроводов за прошедшие годы (повреждение тела трубы и ее изоляционных покрытий), уровень и эффективность защиты трубы от коррозии. Как правило, обследование подземных трубопроводов заключается в осмотре трубы и ее изоляционных покрытий в местах вскрытий трубопровода, отборе проб грунта с последующим определением степени коррозионной активности в местах повреждений, периодическом измерении потенциалов блуждающих токов.

В табл. 3.13. приведены технические характеристики и типы приборов для диагностики состояния трубопроводов (контроль качества изоляции, сварных швов и др.) и оценки опасности электрокоррозии.

Практика эксплуатации систем электрохимической защиты показывает, что наибольшая интенсивность отказов работы устройств УКЗ наблюдается в результате вывода из строя отдельных узлов и деталей преобразователей катодной защиты, а также повреждений питающих кабелей и анодных заземлителей [79, 84].

Отказом в работе установки электрохимической защиты следует считать любое нарушение режима ее работы, приводящее к снижению потенциалов трубопровода в зоне защиты ниже уровня минимального защитного потенциала. При этом критерием защищенности стальных подземных сооружений является поляризационный потенциал, допустимые (минимальные и максимальные) значения которого регламентированы ГОСТом 9.602-89.

Организация работ по электрохимической защите трубопроводов включает: проектирование ЭХЗ (определение опасности коррозии, разработка и согласование проектной документации); строительно-монтажные работы; пуско-наладочные работы; приемку в эксплуатацию; эксплуатационный контроль работы ЭХЗ (проверка ее эффективности, степени защищенности трубопроводов, технические осмотры установок защиты, их текущий и капитальный ремонты).

Основанием для проектирования ЭХЗ новых трубопроводов являются данные о коррозионной агрессивности грунтов и наличии блуждающих токов. Основанием для проектирования ЭХЗ действующих трубопроводов являются данные о коррозионной агрессивности грунтов, наличии зон опасного влияния блуждающих постоянных токов и переменных токов, а также о коррозионных повреждениях трубопроводов.

Мероприятия по защите трубопроводов городской водопроводной сети от электрохимической коррозии должны быть предусмотрены проектом защиты, который разрабатывается одновременно с проектом строительства или реконструкции трубопровода на основании данных о коррозионной агрессивности грунтов и о наличии блуждающих токов.

Таблица 3.13. Технические характеристики и типы приборов для диагностики состояния трубопроводов и оценки опасности электрокоррозии

| Наименование, тип приборов                                                        | Назначение                                                                                                                                                                                                   | Техническая характеристика                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Прецизионный лока-<br>тор RD-400 PXL-2 с<br>генератором RD 433<br>НСТх и А-рамкой | Используется для трассировки и оценки<br>состояния изоляционного покрытия стальных<br>трубопроводов по засыпанной трассе                                                                                     | Частота — 200—700 Гц; 8,192 кГц; 33 кГц; 65 кГц<br>Выходной ток — 0—300 мА<br>Выходное напряжение: 0—50 В                             |
| Комплект течет-<br>расслоископ<br>«УСПЕХ АТГ-209»                                 | Предназначен для определения местоположе-<br>ния, глубины и повреждения изоляционного<br>покрытия стальных трубопроводов, а также<br>для обнаружения мест разгерметизации<br>трубопроводов на глубине до 6 м | Мощность генератора с нагрузкой — 4 Вт<br>Частота излучения — 1024 Гц; 8928 Гц<br>Потребляемая мощность — 20 Вт                       |
| Искровой дефектоскоп<br>«Elkorte-ter 236<br>Holiday Detector»                     | Служит для контроля сплошности наружного<br>изоляционного покрытия трубопроводов                                                                                                                             | Выходное напряжение — 0—30 кВ                                                                                                         |
| Искровой дефектоскоп<br>«Крона-1рМ»                                               | Применяется для контроля сплошности наруж-<br>ного изоляционного покрытия трубопроводов                                                                                                                      | Выходное напряжение — 0—10 кВ                                                                                                         |
| Адгезиметр элек-<br>тронный АМЦ 2-20                                              | Предназначен для контроля адгезии<br>изоляционного покрытия                                                                                                                                                  | Максимальный предел нагрузки — 20 кг<br>Потребляемый ток — не более 10 мА<br>Напряжение питания — 7—12 В                              |
| Толщиномер маг-<br>нитный МТ 2003                                                 | Служит для измерения толщин изоляционных<br>покрытий                                                                                                                                                         | Диапазон толщин измеряемых покрытий —<br>0,05—15 мм. Потребляемый ток — не более 20 мА                                                |
| Ультразвуковой<br>дефектоскоп<br>УД 2-12                                          | Предназначен для контроля качества сварных<br>швов на предмет выявления внутренних<br>дефектов                                                                                                               | Диапазон скорости ультразвуковых волн —<br>2240—6700 м/с. Диапазон частот — 1,25—10 МГц<br>Диапазон контролируемых толщин — 1—1000 мм |
| Ультразвуковой<br>дефектоскоп<br>А 1212                                           | Предназначен для контроля качества сварных<br>швов на предмет выявления внутренних<br>дефектов                                                                                                               | Диапазон скорости ультразвуковых волн —<br>1000—10000 м/с. Диапазон частот — 0,5—15 МГц<br>Диапазон контролируемых толщин — 1—2200 мм |

Все виды защиты от коррозии, предусмотренные проектом, должны быть введены в действие до сдачи подземных трубопроводов в эксплуатацию. Для подземных стальных трубопроводов в зонах опасного влияния блуждающих токов электрозащита должна быть введена в действие не позднее 1 месяца, а в остальных случаях — не позднее 6 месяцев после укладки трубопровода в грунт.

### 3.8.2. Коррозионная стойкость подземных металлических трубопроводов

При обсуждении вопроса о коррозионной стойкости металлических труб в грунтах обычно приводится в пример чугунный водопровод в парке Версальского дворца, действующий более 300 лет. Согласно работе [134], в США имеется более 275 сооружений, в которых чугунные трубы служат более 100 лет, в том числе, по крайней мере, 8 сооружений со сроком службы 150 лет и более. МГУП «Мосводоканал» имеет опыт эксплуатации чугунных труб со сроком от 60 до 100 лет, а часть водопроводных вводов на улицах Пятницкая, Малая Ордынка, Петровка, Неглинная, Трубная площадь проложены в 1893 г. и находятся до сих пор в технически исправном состоянии.

Обычно подчеркивают возможность более длительного срока эксплуатации в грунтах чугунных труб по сравнению со стальными. Согласно [81], «объясняется это большей толщиной стенок чугунных изделий и наличием литейной корки на поверхности изделий, отлитых в песчаные формы». Стекловидная литейная корка, состоящая из оксидов и силикатов железа, обуславливает высокую коррозионную стойкость чугуна в нейтральных и даже в некоторых кислых средах.

В некоторых видах почв чугун подвержен особой форме коррозии, известной под названием «графитизация» или «графитное размягчение» [14].

В результате избирательного растворения феррита на поверхности чугуна остается слой из продуктов коррозии и таких составляющих чугуна, как графит, карбиды, силициды, оксиды железа и некоторые другие соединения. Эта масса сохраняет исходную форму изделия, но так мягка, что легко может быть разрезана ножом. Если она остается в покое, то может даже выдерживать некоторое давление воды или газа, но сразу же разрушается от удара. Замечено, что графитизация происходит в почвах, содержащих сульфат кальция, как правило, это глинистые почвы — желтые, серые глины, содержащие  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

С началом производства и применения ВЧШГ начались исследования его коррозионной стойкости в различных жидких средах (воде, серной кислоте) и в грунтах. В ранних исследованиях отмечалось, что коррозионная стойкость труб из ВЧШГ такая же или выше, чем труб из серого чугуна [128, 129]. Полагают [134], что основное различие в

коррозионном поведении серого чугуна и ВЧШГ связано с особенностями строения графитовых включений. Наличие графита пластинчатого строения в сером чугуне приводит к развитию локальной коррозии в глубь стенки трубы по границе с графитовыми включениями. Сфероидальная форма графита способствует более равномерной коррозии ВЧШГ. В итоге ВЧШГ более стоек к питтинговой и щелевой коррозии, а также к коррозии под напряжением, чем серый чугун [134].

В совместном немецко-англо-французском исследовании представлены результаты 9-летних сравнительных коррозионных испытаний труб без покрытий из ВЧШГ и серого чугуна в разных почвах [129]. Средняя скорость коррозии составила: труб из ВЧШГ — 0,33 мм/год, труб из серого чугуна — 0,44 мм/год, т.е. скорость коррозии труб из ВЧШГ на 33 % ниже, чем труб из серого чугуна.

Постоянные сравнительные исследования коррозии труб из серого чугуна и ВЧШГ проводятся в США, начиная с 1951 г. [134]. Эти работы выполняет Ассоциация по исследованию труб из ВЧШГ — «Ductile Iron Pipe Research Association» («DIPRA»), которая до 1979 г. называлась «Cast Iron Pipe Research Association» («CIPRA»), т.е. Ассоциация по исследованию чугунных труб.

Так, в 1974 г. «CIPRA» начала осуществлять программу испытаний в грунтах, предусматривающую среди других исследований определение коррозионной стойкости незащищенных труб из серого чугуна и ВЧШГ. Согласно этой программе, несколько секций труб длиной 120 см и диаметром ~ 15 см (6 дюймов) без покрытий были экспонированы в чрезвычайно коррозионно-агрессивном грунте. Характеристика этого грунта: удельное электрическое сопротивление  $\rho = 4 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ;  $\text{pH} = 7,3$ ; редокс-потенциал +0,144 В, присутствуют следы сульфидов, грунт постоянно влажный из-за плохого дренажа.

Четыре раза с интервалом в два года проводили раскопки и измеряли максимальную глубину питтингов. Установлено, что у образцов из серого чугуна максимальная глубина питтингов в среднем на 61 % больше, чем у ВЧШГ (табл. 3.14).

В нашей литературе не много публикаций о коррозионном поведении в грунтах труб из ВЧШГ отечественного производства. В работе [70] приведены результаты коррозионных испытаний образцов труб из ВЧШГ отечественного производства в 3 %-ном растворе  $\text{NaCl}$  и в песке 10—12 % влажности, смоченном 3 %-м раствором  $\text{NaCl}$ .

При испытаниях под образцы укладывали слой песка 2—3 см, сверху их засыпали слоем 30 см. Длительность испытаний — 2500 ч. В табл. 3.15 сопоставлены

Таблица 3.14. Максимальная глубина питтингов

| Вид чугуна  | Глубина питтингов, мм, за годы экспозиции |      |      |      |
|-------------|-------------------------------------------|------|------|------|
|             | 2                                         | 4    | 6    | 8,75 |
| ВЧШГ        | 0,91                                      | 2,36 | 2,9  | 4,67 |
| Серый чугун | 1,65                                      | 3,61 | 4,32 | 7,47 |



Таблица 3.15. Максимальная глубина проникновения коррозии образцов труб из серого чугуна и ВЧШГ за 2500 ч испытаний

| Условия испытаний                              | Глубина коррозии, мм |      |
|------------------------------------------------|----------------------|------|
|                                                | Серый чугун          | ВЧШГ |
| 3 %-ный раствор NaCl, постоянное погружение    | 0,63                 | 0,39 |
| 3 %-ный раствор NaCl, периодическое погружение | 0,28                 | 0,16 |
| Песок 10 %-ный влажности, засоленный           | 0,18                 | 0,11 |

полученные данные в разных средах для серого чугуна и ВЧШГ (среднее по трем образцам).

Из данных табл. 3.15 следует, что в песке скорость коррозии серого чугуна составляет 0,63 мм/год, а ВЧШГ — 0,39 мм/год, т.е. скорость коррозии ВЧШГ на 40 % меньше, чем серого чугуна.

Эти результаты сопоставимы с данными для ВЧШГ, приведенными в работах [129, 134], и хотя скорости коррозии ВЧШГ не совпадают из-за различия грунтов, но общая закономерность сохраняется: скорость коррозии ВЧШГ примерно на 40 % ниже, чем серого чугуна. Коррозионная стойкость труб из ВЧШГ зависит от их химического состава и структуры.

Исследования коррозии ВЧШГ в АКХ им. К.Д. Памфилова [70] были выполнены на образцах, вырезанных из труб производства Липецкого металлургического завода «Свободный сокол». Проведенные сравнительные коррозионные испытания образцов из ВЧШГ, серого чугуна и углеродистой стали в лабораторных ячейках показали, что при экспонировании в грунтах только наружной поверхности литых труб из ВЧШГ и серого чугуна скорость общей коррозии их либо одинакова, либо ВЧШГ меньше, чем серого чугуна. Что касается стали, то ее средняя скорость общей коррозии либо равна, либо даже меньше, чем у ВЧШГ.

Однако скорость локальной коррозии стали в засоленном песчаном грунте и реальных высокоагрессивных грунтах существенно превосходит среднюю скорость общей коррозии, а на ВЧШГ локальная коррозия не развивается при экспонировании наружной поверхности литой трубы. По-видимому, поверхностная пленка, образовавшаяся при литье ВЧШГ, состоит в основном из оксидов железа и, возможно, частично силикатов железа (Si входит в состав чугуна) и обладает защитными свойствами.

После механической зачистки наружной поверхности трубы средняя скорость коррозии ВЧШГ в песке возрастает с 0,13 мм/год до 0,35 мм/год, локальная коррозия развивается со скоростью до 6—7 мм/год (по сравнению с 3 мм/год на механически зачищенной стали).

Было установлено, что опасны в коррозионном отношении циклические испытания в условиях периодического влагонасыщения — высыхания песка. Этот режим моделировал реальные условия эксплуата-

ции, когда трубопровод то затоплен грунтовыми водами (или паводком), то находится выше уровня грунтовых вод (при высыхании грунта в жаркое время года). Средняя скорость общей коррозии возрастает в ряду ВЧШГ < серый чугун < сталь, а скорости локальной коррозии стали и ВЧШГ примерно одинаковы и достигают 0,6—0,7 мм/год.

Было показано, что опасны условия эксплуатации, когда затоплена только нижняя часть трубы. В этом случае верхняя часть образца оказывалась катодом, а нижняя — анодом, т.е. функционировала опасная коррозионная макропара. На анодных участках возникли язвы, максимальная скорость коррозии на нижней части образцов ВЧШГ достигала 0,3 мм/год.

Возможное опасное влияние блуждающих токов на подземные трубопроводы из ВЧШГ и необходимость проведения противокоррозионных мероприятий отмечены также в работах [114, 134].

Приведенные результаты исследований по оценке коррозионной стойкости труб из ВЧШГ в грунтах показывают, что их скорость коррозии сильно зависит от коррозионной агрессивности грунтов, смоченных грунтовыми водами, от периодического увлажнения и высыхания грунта в зоне прокладки труб, от наличия опасного действия блуждающих токов.

### 3.8.3. Критерии опасности коррозии подземных трубопроводов и методики их определения

Наиболее детальное исследование свойств грунта и изменение его характеристик от одного участка к другому вдоль трассы и по глубине прокладки сооружения содержатся в немецком стандарте DIN 50929, часть 3 [143], а также в рабочем стандарте GW9 [145]. Согласно работе [145], следует определять 12 параметров. Эти параметры хорошо проанализированы в работе [20]. Каждому параметру приписывается определенный балл: чем больше отрицательный балл, тем опаснее коррозионное воздействие. Затем баллы суммируются и на основании полученного значения делается заключение о коррозионной агрессивности грунта по отношению к стальному сооружению.

Как было сказано, в ГОСТ 9.602—89 [17] введены два основных параметра для оценки коррозионной агрессивности грунтов: удельное электрическое сопротивление грунта  $\rho$ , определяемое в полевых и лабораторных условиях, и плотность катодного тока  $i_k$  при потенциале на 100 мВ отрицательнее потенциала коррозии стали в данном грунте. Значение  $i_k$  является характеристикой конкретной пробы грунта (как в случае параметров 1-й группы в GW9), а значение  $\rho$  является параметром, характеризующим вероятность возникновения и функционирования опасных коррозионных элементов (2-я группа в GW9), и к тому же зависит от ряда характеристик пробы грунта (которые включены в 1-ю группу в GW9) таких, как вид грунта, солесодержание, влажность.

Таблица 3.16. Скорости коррозии стали в грунтах (DIN 50929)

| Категория грунта | Коррозионная агрессивность грунтов | В отсутствии коррозионных макропар |                                             | При наличии опасных коррозионных макропар |                                             |
|------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|
|                  |                                    | скорость общей коррозии, мм/год    | максимальная скорость проникновения, мм/год | скорость общей коррозии, мм/год           | максимальная скорость проникновения, мм/год |
| Ia               | Практически не агрессивен          | 0,005                              | 0,03                                        | 0,01                                      | 0,06                                        |
| Ib               | Слабо агрессивен                   | 0,01                               | 0,05                                        | 0,02                                      | 0,1                                         |
| II               | Агрессивен                         | 0,02                               | 0,2                                         | 0,05                                      | 0,5                                         |
| III              | Сильно агрессивен                  | 0,06                               | 0,4                                         | 0,2                                       | 1                                           |

Оценка опасности коррозии стали в грунте, нормированная в ГОСТе 9.602–89, значительно менее трудоемка и не такая дорогостоящая, как в GW9. Однако вероятностную оценку опасности коррозии стали в данном грунте она провести позволяет.

В немецком стандарте DIN 50929, часть 3, интересно предложенное деление грунтов по их агрессивности в отсутствии и при наличии коррозионных макропар с указанием скорости общей коррозии и максимальной скорости проникновения, т.е. локальной коррозии (табл. 3.16) [143]. Как видно, диапазон скоростей коррозии стали в грунтах чрезвычайно велик — от 0,05 до 1 мм/год.

Эти данные по оценке опасности коррозии стали в грунте приведены в связи с тем, что механизм коррозии ВЧШГ в грунте такой же, как стали. Следовательно, многие характеристики грунта и условия эксплуатации, влияющие на скорость коррозии стали, будут влиять и на скорость коррозии ВЧШГ.

Еще в 1964 г. Американская ассоциация CIPRA разработала и рекомендовала 10-балльную систему оценки коррозионной агрессивности грунтов по отношению к ВЧШГ и серому чугуна. Параметры и оценочные баллы приведены в табл. 3.17. Если сумма баллов по пяти параметрам 10 и более, то грунт является агрессивным в коррозионном отношении к трубам из серого чугуна и ВЧШГ. Это отражено в американском национальном стандарте для нанесения полиэтиленового покрытия на трубопровод из ВЧШГ для воды и других жидкостей ANSI/AWWA C 105/A 21.5–88 Appendix A [135].

В грунтах с высокой коррозионной агрессивностью по отношению к ВЧШГ скорость коррозии может превышать технически допустимое значение, если не будут приняты надлежащие меры по противокоррозионной защите труб.

Некоторые грунты, как показывает практика эксплуатации труб из ВЧШГ и серого чугуна, заведомо агрессивны в коррозионном от-

Таблица. 3.17. Параметры для балльной оценки коррозионной агрессивности грунтов по отношению к ВЧШГ и серому чугуна

| Характеристики грунта | Значения                               | Баллы |
|-----------------------|----------------------------------------|-------|
| Сопротивление, Ом·м   | <7                                     | 10    |
|                       | 7–10                                   | 8     |
|                       | 10–12                                  | 5     |
|                       | 12–15                                  | 2     |
|                       | 15–20                                  | 1     |
|                       | >20                                    | 0     |
| Значение pH           | 0–2                                    | 5     |
|                       | 2–4                                    | 3     |
|                       | 4–6,5                                  | 0     |
|                       | 6,5–7,5                                | 0     |
|                       | 7,5–8,5                                | 0     |
|                       | >8,5                                   | 3     |
| Редокс-потенциал, мВ  | >+100                                  | 0     |
|                       | +50–+100                               | 3,5   |
|                       | 0+50                                   | 4     |
|                       | Отрицательное значение                 | 5     |
| Содержание сульфидов  | Имеются                                | 3,5   |
|                       | Следы                                  | 2     |
|                       | Отсутствуют                            | 0     |
| Влажность             | Плохой дренаж,                         |       |
|                       | постоянно сырой грунт                  | 2     |
|                       | Слабый дренаж, влажный грунт           | 1     |
|                       | Хороший дренаж, в основном сухой грунт | 0     |

ношении к этому материалу. Для таких грунтов нет необходимости определения их коррозионной агрессивности и противокоррозионные мероприятия проводятся обязательно. К ним относятся грунты, включающие уголь, шлак, перегной, торф, пустые породы, насыпные грунты с высоким содержанием инородных включений.

Такие параметры грунта, как удельное электрическое сопротивление pH и влажность, в качестве критериев опасности коррозии ВЧШГ должны найти отражение в нормативных документах, разработанных на основе опыта достаточно длительной эксплуатации труб из ВЧШГ на Московском водопроводе.

Содержание сульфидов в грунтах, по мнению специалистов АКХ им. К.Д. Памфилова, может служить критерием развития биокоррозии. Такой параметр также целесообразно учитывать [57].

Измерение редокс-потенциала, т.е. потенциала, устанавливающегося на инертном, как правило, платиновом электроде, в грунте и характеризующего окислительно-восстановительные свойства грунта, мало информативно. В настоящее время от таких измерений отказались.



В международном стандарте ISO 2531, приложение А [149], указаны следующие параметры, влияющие на коррозионную агрессивность грунтов по отношению к ВЧШГ: удельное сопротивление грунтов; pH; наличие грунтовых вод на уровне трубы; наличие коррозионных элементов из-за связи с наружными металлическими конструкциями; заражение почвы сточными водами или отходами. Отмечено также опасное действие блуждающих токов.

В Европейском стандарте EN 545:1994 и Европейском стандарте EN 598, имеющем также статус Британского стандарта BS EN 598:1995 [136], указаны практически те же параметры, что и в ISO 2531, для оценки опасности коррозии ВЧШГ в грунтах, но с детализацией их численных значений.

Критерии опасности коррозии ВЧШГ:

- $\rho$  грунтов меньше 15 Ом·м при расположении сооружения выше уровня грунтовых вод и  $\rho$  меньше 25 Ом·м при расположении сооружения ниже уровня грунтовых вод;
- $\text{pH} < 6$ ;
- загрязнение некоторыми типами сточных вод или органическими, а также промышленными отбросами;
- наличие коррозионных элементов из-за связи с наружными металлическими конструкциями.

Последний критерий отражает возможность возникновения опасных коррозионных макроэлементов в грунтах с низким удельным сопротивлением при наличии металлического контакта трубопровода из ВЧШГ с другими подземными металлическими сооружениями. Выделено особо возможное опасное действие блуждающих токов.

Таким образом, в настоящее время в зарубежных нормативных документах сформулированы основные критерии опасности коррозии ВЧШГ в грунтах и при наличии блуждающих токов.

Анализ приведенных данных по оценке коррозионной агрессивности грунтов по отношению к ВЧШГ показывает, что три параметра отражены во всех стандартах — сопротивление грунта, pH, уровень грунтовых вод по отношению к трубопроводу. Таким образом, очевидно, что удельное электрическое сопротивление грунта является критерием, который, как и для стали, характеризует возможность возникновения и функционирования коррозионных макропар на трубопроводах ВЧШГ. Одновременно  $\rho$  зависит от ряда параметров (тип грунта, влажность, солесодержание), которые непосредственно влияют на кинетику процесса коррозии ВЧШГ в данном грунте, смоченном грунтовым электролитом.

Исследования АКХ им. К.Д. Памфилова также показали, что уровень грунтовых вод — тот критерий, который отражает повышенную опасность коррозии ВЧШГ при расположении трубопровода в зоне его периодического затопления или неполного погружения в грунтовые воды [70].

Соответственно критерии опасности коррозии грунта относительно ВЧШГ приведены в табл. 3.18.

При оценке опасности коррозии следует учитывать тот критерий, который для конкретных условий показал более высокую степень коррозионной агрессивности грунта.

Если коррозионная агрессивность грунта определена как средняя и трубопровод из ВЧШГ расположен ниже уровня грунтовых вод, рекомендуется определить дополнительно pH грунтовых вод. Если значение  $\text{pH} > 4$ , то коррозионная агрессивность грунтов и грунтовых вод является средней. Если значение  $\text{pH} < 4$ , то коррозионная агрессивность грунтов и грунтовых вод относительно ВЧШГ считается высокой.

Методика определения  $\rho$  принимается в соответствии с ГОСТом 9.602–89.

Критерием биокоррозионной агрессивности грунтов по отношению к ВЧШГ является наличие визуальных признаков оглеения грунта (окрашенности грунта в сероватые, сизые, голубоватые тона) и наличие в грунте восстановленных соединений серы. Этот новый критерий был введен в ГОСТ 9.602–89.

Критерий опасного влияния блуждающего постоянного тока на трубопровод из ВЧШГ — наличие изменяющегося по знаку и значению смещения потенциала сооружения по отношению к его стационарному потенциалу (знакопеременная зона) или наличие только положительного смещения потенциала, как правило, изменяющегося по значению (анодная зона).

Методика определения опасного влияния блуждающего постоянного тока принимается в соответствии с ГОСТ 9.602–89 (приложение 3) и РД 153–39.04–091–01 «Инструкция по защите городских подземных трубопроводов от коррозии» (разделы 4.2.16–4.2.21 и приложение К).

Критерием опасного влияния переменного тока промышленной частоты (блуждающего или индуцированного) на трубопроводы как из стали, так и из ВЧШГ является смещение среднего значения потенциала трубопровода в отрицательную сторону не менее чем на 10 мВ по отношению к стационарному потенциалу или наличие переменного тока плотностью более 1 мА/см<sup>2</sup> (10 А/м<sup>2</sup>) на вспомогательном электроде.

Методика определения опасного влияния переменного тока принимается в соответствии с ГОСТом 9.602–89 (приложение 6) и РД 153–39.04–091–01 (разделы 4.2.22–4.2.24 и приложения Л и М).

Таблица 3.18. Критерии коррозионной агрессивности грунта

| Коррозионная агрессивность грунта по отношению к ВЧШГ | $\rho$ , Ом·м | Расположение трубопровода относительно уровня грунтовых вод |
|-------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------|
| Низкая                                                | $> 50$        | Выше                                                        |
| Средняя                                               | 20–50         | Ниже                                                        |
| Высокая                                               | $< 20$        | Периодическое или частичное затопление                      |

Опасное действие блуждающих постоянных токов на трубопроводах из ВЧШГ так же, как и на стальных трубопроводах, будет проявляться при наличии анодных и знакопеременных зон [17].

*Опасное влияние постоянного блуждающего и переменного токов* следует оценивать для трубопроводов из ВЧШГ только в том случае, когда соединения труб обеспечивают непрерывную электрическую связь по металлу (сварные или фланцевые соединения). Однако при соединении труб из ВЧШГ через изолирующие резиновые манжеты или прокладки, устанавливаемые через 6 м, непрерывность цепи по металлу будет нарушена. В таком случае опасность действия блуждающих токов резко уменьшается, но следует убедиться, что металлической связи от трубы к трубе нет.

Что касается опасного действия переменного тока, то таких данных для труб из ВЧШГ нет. Но по аналогии со стальными трубами можно ожидать при плотностях переменного тока больше 1—3 мА/см<sup>2</sup> возрастания скорости растворения ВЧШГ.

### 3.8.4. Методы и требования к защите от коррозии подземных трубопроводов из ВЧШГ

Для защиты от коррозии подземных трубопроводов из ВЧШГ в зависимости от условий эксплуатации (коррозионной агрессивности грунтов и наличия блуждающих токов) используются: защитные покрытия (как изоляционные, так и протекторного типа); электрохимическая защита; специальная постель под трубопровод и засыпка грунтом, как правило, песком для снижения коррозионной агрессивности грунта.

К настоящему времени в ряде нормативных документов промышленно развитых стран Запада требования к защите от коррозии наружной поверхности труб и арматуры из ВЧШГ нашли отражение в более или менее подробном виде.

По международному стандарту ISO 2531 [149] в зависимости от внешних условий эксплуатации трубопроводов из ВЧШГ и с учетом действующих национальных стандартов могут использоваться: защитные наружные покрытия из металлического цинка с защитным слоем в соответствии с ISO 8179-1 [142]; обогащенной цинком (цинкнаполненная) краски с защитным слоем в соответствии с ISO 8179-2 [147]; покрытия из полиуретана, полиэтилена или фиброцементного раствора; липкие полимерные ленты; битумная краска; эпоксидная смола.

В европейском стандарте EN 545 [144] в качестве наружных покрытий указаны: цинковое покрытие с защитным слоем; покрытие толстым слоем цинка с защитным слоем; вставка трубы в полиэтиленовый рукав в дополнение к цинковому покрытию с защитным слоем; экструдированное полиэтиленовое покрытие; экструдированное полипропиленовое покрытие; полиуретановое покрытие; покрытие из це-

ментного раствора, армированного волокном; покрытие липкой лентой. Предусмотрено эпоксидное покрытие концов трубы.

Как в стандартах ISO, так и в европейских стандартах предусмотрены также покрытия наружных поверхностей фитингов и вспомогательной арматуры.

Цинковое покрытие — это покрытие, обладающее протекторными свойствами по отношению к чугунам (и стали). Согласно ISO 8179-1, покрытие из металлического цинка должно наноситься из расчета не менее 130 г/м<sup>2</sup>, на отдельных участках допускается не менее 110 г/м<sup>2</sup>. Наносится напылением на сухую поверхность трубы, на которой не должно быть следов ржавчины, посторонних веществ и загрязнений, препятствующих адгезии покрытия. Покрытие может наноситься на окисленную внешнюю поверхность трубы, очищенную пескоструйной обработкой или загрунтованную.

Цинкнаполненные краски (например, «Zinga») (ISO 8179-2) наносятся кистью или распылителем из расчета не менее 150 г/м<sup>2</sup>, на отдельных участках допускается не менее 130 г/м<sup>2</sup>.

Поверх цинкового покрытия наносится защитный слой битумной краски или совместимой с цинком синтетической смолы толщиной 70 мкм (в отдельных местах 50 мкм).

В ISO 8180 [148] определены характеристики полиэтиленовой пленки (полиэтиленового рукава), используемой для защиты от коррозии трубопроводов из ВЧШГ, проложенных в агрессивных грунтах. Этот материал в форме пленки или рукава надевается на трубы из ВЧШГ на трассе непосредственно перед их укладкой. Толщина рукава должна быть не менее 200 мкм.

Хотя в практике противокоррозионной защиты труб из ВЧШГ этот способ нашел применение, по нашему мнению, перспективнее использовать покрытие, которое имеет хорошую адгезию к защищаемой поверхности. Иначе любой дефект в рукаве приведет к попаданию агрессивной среды непосредственно на трубу. Только наличие под рукавом протекторного защитного цинкового покрытия в таком случае может обеспечить сохранность трубы.

Наиболее детально требования к материалам и защитным наружным покрытиям для труб из ВЧШГ, а также методы испытаний покрытий отражены в немецком стандарте DIN 30 674: часть 1 [27] — полиэтиленовое покрытие; часть 2 [28] — цементное покрытие; часть 3 [29] — цинковое покрытие с защитным слоем; часть 4 [30] — битумные покрытия; часть 5 [31] — полиэтиленовое пленочное покрытие. Покрытия, описанные в частях 1—4, наносят в заводских условиях.

Экструдированное полиэтиленовое покрытие, согласно DIN 30674 часть 1, может применяться на трубах с температурой эксплуатации до 50 °С. Покрытие наносят на окисленную поверхность трубы после удаления ржавчины, загрязнений, масла, жира и влаги. Минимальная



Таблица 3.19. Минимальная толщина полиэтиленового покрытия

| Диаметр условного прохода трубы, мм | Минимальная толщина покрытия, мм |                 |
|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------|
|                                     | нормального типа                 | усиленного типа |
| 100                                 | 1,8                              | 2,5             |
| >100 до 250                         | 2                                | 2,5             |
| >250 до <500                        | 2,2                              | 3               |
| >500 до <800                        | 2,5                              | 3,5             |
| >800                                | 3                                | 3,5             |

Наиболее подробно рекомендуемое применение средств защиты от наружной коррозии подземных трубопроводов из ВЧШГ в зависимости от условий эксплуатации отражено в немецком стандарте DIN 30675, часть 2 [142].

Защитное покрытие выбирается в зависимости от коррозионной агрессивности грунта, определяемой по немецкому стандарту DIN 50929, часть 3. В качестве дополнительного средства рекомендована защитная (или противокоррозионная) постель — равномерно прилегающий со всех сторон к наружной части трубопровода слой грунта категории 1 (1a или 1b), т.е. неагрессивный грунт. Обычно это песчаный грунт или местный грунт, освобожденный от камней (табл. 3.20).

При рассмотрении вопроса о целесообразности защиты от коррозии труб из ВЧШГ при опасном действии блуждающих токов следует различать два случая: трубы изолированы одна от другой; имеется металлическая связь между трубами.

Таблица 3.20. Защитные покрытия для труб из ВЧШГ (DIN 30 675, часть 2)

| Изоляционное покрытие труб                                                                 | Толщина слоя                                                    | Защитная постель | Категория грунта |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------|------------------|
| Полиэтиленовое покрытие (DIN 30 674, часть 1)                                              | 1,8—3 мм                                                        | —                | I, II, III       |
| Цементное покрытие (DIN 30 674, часть 2)                                                   | 5 мм                                                            | —                | I, II, III       |
| Цинковое покрытие с покровным слоем (DIN 30 674, часть 3)                                  | Цинк $\geq 130$ г/м <sup>2</sup> , битум по DIN 30 674, часть 4 | —                | I, II, III       |
| Битумное покрытие (DIN 30 674, часть 4)                                                    | Средняя 0,07 мм, минимальная 0,05 мм                            | —                | I                |
| Изоляция полиэтиленовой пленкой (DIN 30 674, часть 5 с учетом условий DIN 30 674, часть 3) | 0,2 мм                                                          | +                | I, II, III       |

толщина слоя покрытия должна соответствовать значениям, приведенным в табл. 3.19.

Изоляция полиэтиленовой пленкой осуществляется в трассовых условиях. Полиэтиленовое пленочное покрытие наносится в виде рукава, который свободно надевается на трубы и фасонные части, или в виде плоской ленты, навиваемой на трубы и фасонные части. Толщина пленки 200 мкм.

В трубопроводах из ВЧШГ, смонтированных из труб длиной 6 м с резиновыми уплотнениями или манжетами между ними, вероятность опасного действия коррозионных макропар от контакта с посторонним катодом или коррозии под действием блуждающего тока мала. В связи с этим от электрохимической защиты можно отказаться [142].

В случае, когда имеется металлическая связь между трубами, следует применять электрохимическую защиту, если трубопровод из ВЧШГ находится в зоне опасного действия блуждающих токов, как это делается для стальных подземных трубопроводов [17].

При пересечении трубопроводов из ВЧШГ с катоднозащищенными трубопроводами для исключения вредного влияния блуждающих токов важно, чтобы анодные заземления находились как можно дальше от этих мест пересечения. Однако в целом для трубопроводов из ВЧШГ случаи опасного действия блуждающих токов единичны. Наиболее эффективный способ защиты — использование резиновых манжет при соединении труб и нанесение наружного полиэтиленового покрытия [142].

В нашей стране разработка нормативно-технической базы по противокоррозионной защите трубопроводов из ВЧШГ начата на уровне создания отраслевой документации (на заводах-изготовителях труб; на предприятиях, использующих трубы из ВЧШГ). В АКХ им. К.Д. Памфилова также проводятся работы по формированию нормативной базы по защите от коррозии металлических подземных водопроводов из ВЧШГ [70]. Так, в 2004 г. разработаны и зарегистрированы в Госстандарте РФ технические условия «Трубы чугунные с наружным покрытием из экструдированного полиэтилена и внутренним цементно-песчаным покрытием» (ТУ 1461-002-56 804147-04). Согласно этим техническим условиям, конструкция наружного противокоррозионного покрытия включает слой из цинкнаполненной композиции «Zinga», адгезионный термоплавкий слой на основе тризола и покровный слой экструдированного полиэтилена. Покрытие должно наноситься на трубы в базовых условиях.

На основе результатов проведенных исследований приведем рекомендации по типам защитных покрытий для труб из ВЧШГ в зависимости от коррозионной и биокоррозионной агрессивности грунтов, а также опасного влияния блуждающих токов.

Наиболее прогрессивным покрытием является покрытие из экструдированного полиэтилена, нанесенное на трубы по жесткому адгезиву в базовых условиях.

Структура покрытий из экструдированного полиэтилена включает подклеивающий слой (адгезив) и наружный слой.

Основные требования к таким покрытиям усиленного типа соответствуют РД 153-39.4-091—01 и представлены в табл. 3.21.

В грунтах высокой коррозионной агрессивности и в грунтах биокоррозионной агрессивности в местах наиболее ответственного стро-

Таблица 3.21. Основные требования к покрытиям усиленного типа из экструдированного полиэтилена для труб из ВЧШГ

| Показатели                                                                                                                                              | Нормируемые значения |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Адгезия к поверхности трубы, Н/см (кгс/см), не менее                                                                                                    | 35 (3,5)             |
| Адгезия к поверхности трубы после выдержки в воде в течение 1000 ч при 20 °С, Н/см (кгс/см)                                                             | 35(3,5)              |
| Диэлектрическая сплошность покрытия. Отсутствие пробоя при напряжении, кВ/мм, не менее                                                                  | 5                    |
| Прочность при ударе при температурах от — 40 °С до + 40 °С, Дж на мм толщины покрытия, не менее                                                         | 5                    |
| Толщина в зависимости от диаметра труб, мм:                                                                                                             |                      |
| диаметр 100—250                                                                                                                                         | 2,5                  |
| диаметр 300                                                                                                                                             | 3                    |
| Переходное электросопротивление при 20 °С, Ом·м <sup>2</sup> , через 100 суток выдержки в 3 %-м растворе CaCl <sub>2</sub> , не менее Ом·м <sup>2</sup> | 1·10 <sup>9</sup>    |
| Площадь отслаивания покрытия при катодной поляризации при 20 °С, см <sup>2</sup> , не более                                                             | 5                    |

ительства водопровода рекомендуют покрытия на основе экструдированного полиэтилена, нанесенные по слою цинкнаполненной композиции или чистого цинка, обладающего протекторным действием.

Конструкция такого покрытия включает слой из цинкнаполненной композиции (с содержанием цинка не менее 92 %) или чистого цинка, адгезионный термопластичный слой на основе тризола и покровный слой экструдированного полиэтилена.

Покрытие должно наноситься на трубы в базовых условиях на механизированной линии изоляции труб и рекомендуется для подземных водопроводов питьевого, промышленного назначения и канализации с температурой транспортируемого продукта не выше +40 °С.

В грунтах средней коррозионной агрессивности наряду с покрытием весьма усиленного типа на основе экструдированного полиэтилена (двухслойное) допускается применять комбинированное ленточно-полиэтиленовое покрытие и покрытие на основе битумных мастик (последнее для труб из ВЧШГ с раструбной частью).

Для труб из ВЧШГ, монтаж которых в трубопроводы производится методом сварки, рекомендуется комбинированное покрытие на основе полиэтиленовых липких лент и экструдированного полиэтилена.

Характеристика покрытия приведена в табл. 3.22.

На сварных трубопроводах защитное покрытие должно иметь высокую адгезию и устойчивость к катодному отслаиванию в условиях работы установок ЭХЗ. В связи с этим регламентируемый европейским стандартом ЕМ 545 покровный защитный слой из полиэтиленового рукава или из полиэтиленовой пленки в дополнение к цинковому покрытию для городских условий прокладки водопроводов не рекомендуется.

Таблица 3.22. Комбинированное ленточно-полиэтиленовое покрытие усиленного типа для труб из ВЧШГ диаметром 100—300 мм

| Структура покрытия                                                 | Толщина покрытия для труб диаметром, мм |      |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------|
|                                                                    | 100—250                                 | 300  |
| Грунтовочный слой — битумно-полимерная грунтовка НК-50 или П-001   | Расход 80—120 г/м <sup>2</sup>          |      |
| Изолирующий подслоу — липкая полиэтиленовая лента полилен 40-ЛИ-45 | 0,45                                    | 0,45 |
| Защитный слой — экструдированный полиэтилен                        | 2,05                                    | 2,55 |
| Общая толщина                                                      | 2,5                                     | 3    |

Комбинированное ленточно-полиэтиленовое покрытие весьма усиленного типа, должно отвечать требованиям ГОСТа 9.602–89; по показателям адгезии, водостойкости адгезии и стойкости к катодному отслаиванию, предъявляемым к покрытиям из полиэтиленовых липких лент; по ударной прочности, диэлектрическим характеристикам, толщине, предъявляемым к покрытиям из экструдированного полиэтилена.

Нанесение покрытия на чугунные трубы (без раструбной части) следует осуществлять в базовых условиях на механизированной линии изоляции труб.

Для защиты от коррозии труб из ВЧШГ с раструбной частью целесообразно применять покрытие на основе битумных мастик. Конструкция такого покрытия должна состоять из нескольких армированных слоев мастики, нанесенной на трубу по битумному праймеру в соответствии с ГОСТом 9.602–89.

В грунтах с низкой коррозионной агрессивностью для водопроводов, смонтированных из чугунных труб с раструбной частью, допускается применять покрытия из цинкнаполненных композиций или чистого цинка с дополнительной защитой из полиэтиленового рукава или битумного покровного слоя, а также битумное консервационное (в соответствии с ВЕЧ 30674).

Сварные стыки чугунных водопроводов, углы поворота, тройники должны быть изолированы в трассовых условиях по возможности теми же материалами, что и трубопроводы, или другими, по своим защитным свойствам не уступающими покрытию линейной части трубы и сочетающимися с покрытием трубопровода.

Для изоляции сварных стыков и раструбных соединений водопроводов с покрытием из экструдированного полиэтилена наиболее эффективны термоусаживающиеся материалы, в частности отечественные и зарубежные термоусаживающиеся манжеты и термоусаживающиеся ленты, например ленты Донрад-СТ2, Терма-СТ, а также термоусаживающиеся ленты фирмы «Райхем» класса не ниже С50.



Таблица 3.23. Основные характеристики комбинированного ленточно-полиэтиленового покрытия весьма усиленного типа (РД 153-39.04-091-01)

| Показатели                                                                                           | Норма             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Адгезия покрытия к поверхности трубы, Н/см (кгс/см), не менее                                        | 20 (2)            |
| Адгезия покрытия к поверхности трубы после выдержки в воде в течение 1000 ч, Н/см (кгс/см), не менее | 15(1,5)           |
| Диэлектрическая сплошность покрытия. Отсутствие пробоя при напряжении, кВ/мм, не менее               | 5,0               |
| Прочность при ударе, Дж/мм толщины покрытия, не менее                                                | 5,0               |
| Площадь отслаивания покрытия при катодной поляризации при 20 °С, см <sup>2</sup> , не более          | 5,0               |
| Переходное электросопротивление, Ом·м <sup>2</sup> :<br>исходное                                     | 1·10 <sup>8</sup> |
| через 100 суток выдержки в 3 %-ном растворе NaCl                                                     | 1·10 <sup>7</sup> |

Защитное покрытие зоны сварного стыка на основе термоусаживающихся лент должно иметь адгезию к поверхности трубы и к покрытию линейной части трубы, примыкающему к стыку, в соответствии с требованиями ГОСТа 9.602–89 и немецкого стандарта ВГК 30672.

Термоусаживающаяся манжета должна плотно, без гофр и складок облегать изолируемый участок трубопровода с выходом валика расплава адгезионного подслоя ленты из-под манжеты на заводское покрытие.

Сформированное защитное покрытие должно удовлетворять следующим требованиям:

- показатель прочности адгезионной связи сформированного покрытия к металлу и заводскому полиэтиленовому покрытию должен составлять не менее 3,5 кг на 1 см ширины отслаиваемой полосы; иметь величину нахлеста на заводское покрытие не менее 70 мм;
- копировать рельеф изолируемой поверхности сварного стыка без гофр, морщин, протяженных и локальных воздушных включений;
- не иметь проколов, задиров и других сквозных дефектов;
- толщина сформированного покрытия должна быть не менее 1,8 мм.

В условиях, когда технологические приемы нанесения термоусаживающихся лент в трассовых условиях реализовать невозможно, необходимо применять полимерно-битумные ленты типа «ПИРМА» или «ЛИТКОР». Лента представляет собой рулонный двухслойный изоляционный материал, состоящий из полимерной ленты-основы, на одну сторону которой нанесена битумно-полимерная мастика специального состава, благодаря которой покрытие из указанных лент имеет хорошую адгезию не только к праймированной поверхности трубы, но и к примыкающему к стыку покрытию трубопровода.

Сформированное покрытие стыка из полимерно-битумной ленты должно удовлетворять следующим требованиям:

Таблица 3.24. Основные характеристики покрытия на основе битумных мастик весьма усиленного типа

| Показатели                                                                                   | Нормируемые значения |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Адгезия покрытия к поверхности трубы на сдвиг при 20 °С, кгс/см <sup>2</sup> , не менее      | 5                    |
| Диэлектрическая сплошность покрытия, кВ, не менее:<br>для толщины 7,5 мм                     | 30                   |
| для толщины 9 мм                                                                             | 36                   |
| Прочность при ударе, Дж на мм толщины покрытия, не менее                                     | 3                    |
| Переходное электросопротивление, при 20 °С, Ом·м <sup>2</sup> , не менее:<br>исходное        | 2·10 <sup>8</sup>    |
| через 100 суток выдержки в 3 %-ном растворе CaCl                                             | 2·10 <sup>9</sup>    |
| Площадь отслаивания покрытия при катодной поляризации, при 20 °С, см <sup>2</sup> , не более | 5                    |

- иметь величину нахлеста на покрытие трубы не менее 70 мм;
- копировать рельеф изолируемой поверхности без гофр, быть плотным, без пазух и воздушных включений;
- толщина двухслойного покрытия весьма усиленного типа должна быть не менее 4 мм;
- адгезия покрытия из полимерно-битумной ленты к поверхности трубы и к примыкающему покрытию при 20 °С должна составлять не менее 1,5 кгс/см;
- покрытие должно быть сплошным при проверке искровым дефектоскопом при напряжении на щупе 20 кВ.

Для трубопроводов с комбинированным ленточно-полиэтиленовым покрытием материалы и технология изоляции стыков те же, что и для водопроводов с покрытием из экструдированного полиэтилена.

Стыки водопроводов, построенных из труб с мастично-битумным покрытием, необходимо изолировать битумными мастиками или полимерно-битумными лентами.

Полиэтиленовые и поливинилхлоридные липкие ленты «холодного» нанесения для изоляции стыков подземных трубопроводов применять не рекомендуется из-за низкого качества покрытий, формируемых ручным способом в трассовых условиях.

Рекомендуемые АКХ им. К.Д.Памфилова [70] материалы и конструкции защитных покрытий для труб из ВЧШГ в зависимости от коррозионной агрессивности грунтов приведены в табл. 3.25

**Требования к электрохимической защите трубопроводов из ВЧШГ.** Электрохимическая защита (ЭХЗ) от коррозии подземных трубопроводов из ВЧШГ со сварными и фланцевыми соединениями, обеспечивающими непрерывную электрическую связь по металлу, должна вводиться в грунтах высокой коррозионной агрессивности, биокоррозионной аг-

Таблица 3.25. Рекомендуемые материалы и конструкции защитных покрытий для труб из ВЧШГ в зависимости от коррозионной агрессивности грунтов

| Коррозионная агрессивность грунтов    | Покрытие                                                                                           | Структура покрытия                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                       |                                                                                                    |                                                                                                                                                                                   |
| Высокая или высокая + биокоррозионная | Покрытие весьма усиленного типа из экструдированного полиэтилена                                   | Подклеивающий слой (адгезив), наружный слой экструдированного полиэтилена                                                                                                         |
| Высокая или высокая + биокоррозионная | Покрытие весьма усиленного типа, цинк или цинкнаполненная композиция + экструдированный полиэтилен | Слой цинка, адгезионный термоплавкий слой на основе тризолена, наружный слой из экструдированного полиэтилена                                                                     |
| Средняя                               | Покрытие весьма усиленного типа из экструдированного полиэтилена                                   | Подклеивающий слой (адгезив), наружный слой экструдированного полиэтилена                                                                                                         |
| Средняя                               | Ленточно-полиэтиленовое весьма усиленного типа (для труб без раструбной части)                     | Битумно-полимерная грунтовка НК-50 или П-001, изолирующий подслой из липкой полиэтиленовой ленты Полилен 40-ЛИ-45, защитный наружный слой из экструдированного полиэтилена        |
| Средняя                               | Мастичное битумное (для труб с раструбной частью) весьма усиленного типа                           | Грунтовка битумная или битумно-полимерная; мастика битумная (разных марок); стеклохолст; мастика битумная; стеклохолст; мастика битумная; один слой наружной обертки из бумаги    |
| Низкая                                | Цинк + защитный покровный слой                                                                     | Слой цинка (или цинкнаполненной композиции); защитный покровный слой из полиэтиленового рукава или полиэтиленовой пленки (без адгезии к нижнему слою), или защитный битумный слой |
| Низкая                                | Битумное                                                                                           | Битумный консервационный слой                                                                                                                                                     |

рессивности и (или) при опасном действии постоянного блуждающего тока и переменного тока промышленной частоты.

Критерии ЭХЗ трубопроводов из ВЧШГ — поляризационный и суммарный (поляризационный + омическое падение потенциала в

Таблица 3.26. Защитные потенциалы трубопроводов из ВЧШГ относительно насыщенного медно-сульфатного электрода сравнения

| Условия эксплуатации                                                                                                                                                            | Защитный потенциал $U$ , В                              |            |            |                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                 | поляризационный                                         |            | суммарный  |                                                                                                                                   |
|                                                                                                                                                                                 | $U_{\min}$                                              | $U_{\max}$ | $U_{\min}$ | $U_{\max}$                                                                                                                        |
| Грунты высокой коррозионной агрессивности                                                                                                                                       | -0,85                                                   | -1,15      | -0,9       | -2,5 (для трубопроводов с мастичным и ленточным покрытием); -3,5 (для трубопроводов с покрытием из экструдированного полиэтилена) |
| Грунты, обладающие биокоррозионной агрессивностью                                                                                                                               | -0,95                                                   | -1,15      | -1         | -2,5 (для трубопроводов с мастичным и ленточным покрытием); -3,5 (для трубопроводов с покрытием из экструдированного полиэтилена) |
| Грунты высокой коррозионной агрессивности + опасное действие постоянных блуждающих токов                                                                                        | -0,85                                                   | -1,15      | -0,9       | -2,5 (для трубопроводов с мастичным и ленточным покрытием); -3,5 (для трубопроводов с покрытием из экструдированного полиэтилена) |
| Опасное действие блуждающих переменных токов от электрифицированного транспорта, а также переменных токов, индуцированных в водопроводе от высоковольтных линий электропередачи | -0,9                                                    | -1,15      | -0,95      | -2,5 (для трубопроводов с мастичным и ленточным покрытием); -3,5 (для трубопроводов с покрытием из экструдированного полиэтилена) |
| Грунты средней и низкой коррозионной агрессивности + опасное действие постоянных блуждающих токов                                                                               | Отсутствие на водопроводе анодных и знакопеременных зон |            |            |                                                                                                                                   |

грунте) потенциалы в зависимости от опасности коррозии представлены в табл. 3.26.

В зонах наличия блуждающего постоянного тока и переменного тока промышленной частоты при строительстве трубопровода из ВЧШГ с соединениями труб, прерывающими электрическую связь по металлу (резиновые манжеты, кольца), необходима 100 %-ная проверка стыков для того, чтобы убедиться в надежной электрической изоляции каждой трубы от соседних. В таком случае электрохимическая



Таблица 3.27. Классификация методов противокоррозионной защиты трубопроводов из ВЧШГ

| Коррозионная агрессивность грунтов | Биокоррозионная агрессивность грунтов | Опасное действие блуждающих токов | Противокоррозионная защита                                                                    |                                                                                               |                                                                                               |                                        |
|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|                                    |                                       |                                   | при раструбных соединениях труб с использованием резиновых манжет                             | при сварных или фланцевых соединениях труб, обеспечивающих связь по металлу вдоль водопровода | электрохимическая защита                                                                      | электрохимическая защита               |
|                                    |                                       |                                   | тип защитного покрытия                                                                        | тип защитного покрытия                                                                        |                                                                                               |                                        |
| Высокая                            | —                                     | —                                 | 1. Изоляционное всема усиленного типа<br>2. Протекторное + изоляционное всема усиленного типа | Не требуется                                                                                  | 1. Изоляционное всема усиленного типа<br>2. Протекторное + изоляционное всема усиленного типа | Необходима<br>Допускается не применять |
| Высокая                            | +                                     | —                                 | 1. Изоляционное всема усиленного типа<br>2. Протекторное + изоляционное всема усиленного типа | Не требуется                                                                                  | 1. Изоляционное всема усиленного типа<br>2. Протекторное + изоляционное всема усиленного типа | Необходима<br>Допускается не применять |
| Средняя                            | —                                     | —                                 | Изоляционное всема усиленного типа                                                            | Не требуется                                                                                  | Изоляционное всема усиленного типа                                                            | Не требуется                           |
| Низкая                             | —                                     | —                                 | 1. Протекторное (2п) + покровный слой битумное консервационное<br>2. Битумное консервационное | Не требуется                                                                                  | 1. Протекторное (2п) + покровный слой. Битумное консервационное                               | Не требуется                           |
| Любая                              | —(+)                                  | +                                 | 1. Изоляционное всема усиленного типа<br>2. Протекторное + изоляционное всема усиленного типа | Не требуется                                                                                  | Изоляционное всема усиленного типа (без протекторного слоя)                                   | Необходима                             |

защита трубопровода в зоне влияния блуждающих токов не требуется. При невозможности обеспечения надежной электроизоляции между трубами, следует предусмотреть установку перемычек между трубами вдоль всего водопровода и введение электрохимической защиты.

В табл. 3.27 приведена классификация методов противокоррозионной защиты трубопроводов из ВЧШГ.

### 3.8.5. Устройство и особенности электрозащиты трубопроводов Московского водопровода

Электрохимическую защиту трубопроводов городской водопроводной сети Москвы осуществляет специализированное подразделение — Управление «Антикор». Его основные задачи:

- эксплуатация электрозащитных установок и выполнение работ по защите трубопроводов от электрохимической коррозии с применением УКЗ и иного оборудования;
- осуществление технического надзора за строительно-монтажными работами по защите трубопроводов от электрохимической коррозии;
- оценка опасности коррозии подземных стальных трубопроводов, включая электрические измерения в полевых и лабораторных условиях для определения коррозионной агрессивности грунтов по трассе трубопроводов и электрические измерения для определения характера влияния блуждающих токов на трубопроводы;
- обследование и диагностика коррозионного состояния трубопроводов: при их техническом освидетельствовании, при плановых и аварийных раскопках трубопровода (состояние изоляции, наличие коррозионных повреждений на трубопроводе — как сквозных, так и несквозных каверн и язв);
- регистрация и анализ причин коррозионных отказов трубопроводов;
- выдача технических условий на проектирование электрозащиты действующих, реконструируемых и вновь сооружаемых трубопроводов для специализированной проектной организации, имеющей лицензию;
- согласование проектов электрозащиты стальных трубопроводов, согласование и разработка технических заданий, комплексных мероприятий по защите трубопроводов от коррозии;
- участие в пуско-наладке установок электрохимической защиты трубопроводов и проверка их эффективности;
- контроль за состоянием изоляции и сварных швов вновь строящихся, перекладываемых стальных трубопроводов и в случаях аварийных раскопок;
- приемка в эксплуатацию установок электрозащиты;
- ведение и хранение технической документации по защите трубопроводов от коррозии, компьютерная подготовка баз данных по паспортизации и эксплуатации УКЗ и их хранение на электронных носителях;

- организация и осуществление приемки контактных устройств и контрольных пунктов на трубопроводах.

Основным способом противокоррозионной защиты стальных трубопроводов Московского водопровода является изоляция трубопроводов в сочетании с электрохимической защитой. Для стальных трубопроводов городской водопроводной сети Москвы эта проблема весьма актуальна, так как значительная их часть уложена в промышленных зонах, вблизи железных дорог, трамвайных путей, линий метрополитена, т.е. в зоне действия блуждающих токов, вызывающих интенсивный процесс электрохимической коррозии.

Характерным признаком коррозии блуждающими токами тела трубы является язвенный характер повреждений. Сначала появляются каверны, а впоследствии — сквозные отверстия (свищи, язвы). Появление сквозных свищей на стальных трубопроводах — главная причина аварий (с изливом воды) участков труб сетей водоснабжения (около 90 % от общего числа аварий).

На Московском водопроводе в настоящее время находятся в эксплуатации более 1800 установок катодной защиты, в целом они обеспечивают защитой 28 % всех стальных трубопроводов городской водопроводной сети (рис. 3.35).

Сложившееся положение с электрохимической защитой трубопроводов сетей водоснабжения и водоотведения городов РФ, в том числе и г. Москвы, связано с тем, что вплоть до середины 1980-х гг. этой проблеме уделялось недостаточное внимание. Кроме того, долгие годы существовала практика проектирования и строительства средств электрозащиты, основанная на минимизации капитальных затрат, без учета требований надежности и материально-технических возможностей эксплуатирующих предприятий. Это привело к тому, что доля защищенных УКЗ трубопроводов одновременно с вводом их в эксплуатацию и трубопроводов с небольшим сроком укладки (когда еще не развился процесс электрохимической коррозии) весьма мала.

Так, в период массового жилищного строительства в Москве защита трубопроводов от электрохимической коррозии не была предусмотрена одновременно с их прокладкой, что привело к значительному разрыву во времени между сдачей в эксплуатацию трубопроводов системы водоснабжения города (а также стальных трубопроводов напорной канализации) и началом работы средств электрохимической защиты. Кроме того, ранее электрозащита в основном устраивалась на трубопроводах больших диаметров (900—1400 мм), в то время как протяженность защищенных УКЗ трубопроводов малых диаметров (250—300 мм), имеющих наибольшую повреждаемость, была мала.

Эти обстоятельства приводили к значительному числу аварий трубопроводов городской водопроводной сети, связанных с коррозионны-

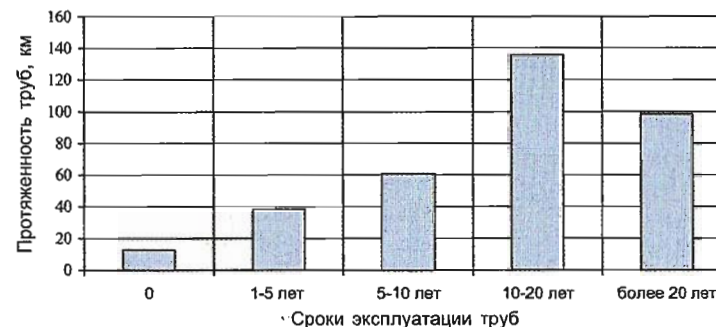


Рис. 3.35. Протяженность стальных трубопроводов Московского водопровода, защищенных УКЗ по интервалам сроков эксплуатации

ми повреждениями участков труб, и как следствие — к снижению их надежности.

Не обеспечивало надежность трубопроводов и то, что электрозащита устраивалась в основном на трубопроводах, проложенных в коррозионно-опасных грунтах и в зонах блуждающих токов и длительное время (более 15 лет) эксплуатируемых без какой-либо защиты от внешней коррозии.

Основная причина неэффективности УКЗ при защите трубопроводов укладки, 1970-х гг., на наш взгляд, — отсутствие изоляции трубопровода и развившийся после 20—25 лет эксплуатации интенсивный процесс коррозии, который уже не остановить путем устройства электрозащиты.

В целом анализ статистических данных по аварийности трубопроводов Московского водопровода показал, что в последние три года средняя интенсивность отказов в год на 1 км трубопроводов, находящихся в зоне действия УКЗ, составляет 0,4 1/год·км, а вне зоны 1,2 1/год·км. По системе стальных трубопроводов Московского водопровода наименьший эффект по снижению числа аварий труб после установки УКЗ имеют трубопроводы укладки 1970—1978 гг. (рис. 3.36).

В результате статистических исследований были получены показатели надежности участков трубопроводов Московского водопровода, (как защищенных от электрокоррозии, так и не защищенных) в распределении по диаметрам и годам укладки труб для всех районов эксплуатации водопроводной сети Московского водопровода. Эти показатели включены в электронную базу данных по эксплуатации УКЗ и трубопроводов, оборудованных системой электрозащиты и являются основой для анализа эффективности электрозащиты и контроля ее эксплуатации. Пример полученных данных для одного из районов эксплуатации водопроводной сети Московского водопровода приведен в табл. 3.28 и 3.29.



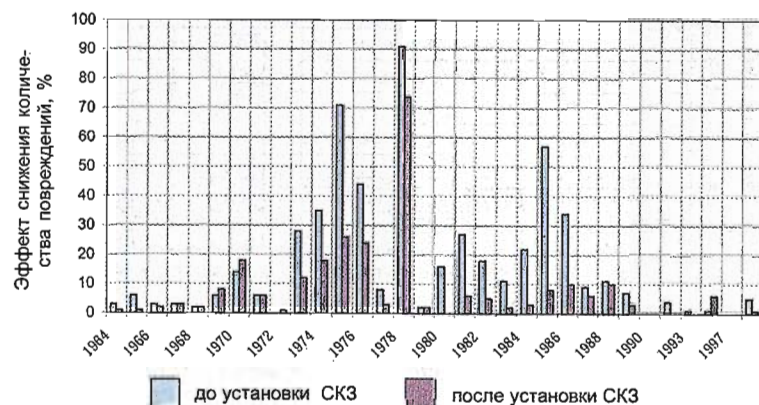


Рис. 3.36. Количество коррозионных повреждений до и после установки УКЗ

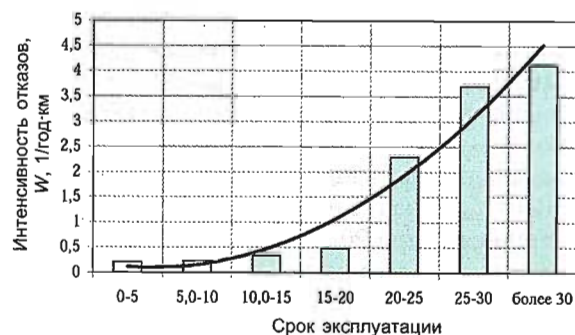


Рис. 3.37. Эмпирическая функция интенсивности отказов стальных трубопроводов Московского водопровода без электрозащиты в распределении по срокам их эксплуатации)

На рис. 3.37 представлена эмпирическая функция интенсивности отказов стальных трубопроводов Московского водопровода, находящихся в зоне действия блуждающих токов и не имеющих электрозащиты (в распределении по срокам их эксплуатации), которая указывает на степенную зависимость интенсивности отказов труб по причине коррозионных повреждений от длительности эксплуатации. Исследования показали, что в условиях Московского водопровода устраивать УКЗ для электрохимической защиты стальных трубопроводов со сроком службы более 10 лет и не имеющих изоляционного покрытия нецелесообразно.

На Московском водопроводе к настоящему времени только 8 % стальных труб защищены от внешней коррозии путем устройства УКЗ одновременно с вводом трубопровода, т.е. в основном для устройства

Таблица 3.28. Показатели надежности защищенных станциями катодной защиты стальных трубопроводов Московского водопровода (РВС № 9) по годам укладки

| Год укладки | Длина защищенных труб, км | Общее количество аварий (до установки УКЗ/после установки УКЗ) | Средняя интенсивность отказов W, 1/год·км (до установки УКЗ/после установки УКЗ) |
|-------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 1951        | 0,6                       | —/1                                                            | —/1,7                                                                            |
| 1962        | 0,6                       | —                                                              | —                                                                                |
| 1963        | 1,2                       | 1/—                                                            | 0,8/—                                                                            |
| 1964        | 3,6                       | 1/1                                                            | 0,3/0,3                                                                          |
| 1           | 2                         | 3                                                              | 4                                                                                |
| 1965        | 1,8                       | —                                                              | —                                                                                |
| 1966        | 1,8                       | 2/—                                                            | 1,1/—                                                                            |
| 1969        | 4,8                       | 6/2                                                            | 1,2/0,4                                                                          |
| 1970        | 5,4                       | —/2                                                            | —/0,4                                                                            |
| 1971        | 5,4                       | 3/6                                                            | 0,6/1,1                                                                          |
| 1972        | 1,8                       | —/1                                                            | —/0,6                                                                            |
| 1973        | 11,4                      | 25/7                                                           | 2,2/0,6                                                                          |
| 1974        | 1,8                       | 1/2                                                            | 0,6/1,1                                                                          |
| 1975        | 7,2                       | 7/5                                                            | 1/0,7                                                                            |
| 1976        | 14,4                      | 33/12                                                          | 2,3/0,8                                                                          |
| 1977        | 7,2                       | 8/1                                                            | 1,1/0,1                                                                          |
| 1978        | 16,2                      | 96/40                                                          | 5,9/2,5                                                                          |
| 1979        | 0,6                       | —/1                                                            | —/1,7                                                                            |
| 1980        | 0,6                       | 1/—                                                            | 1,7/—                                                                            |
| 1981        | 4,2                       | 11/4                                                           | 2,6/1                                                                            |
| 1982        | 2,4                       | 9/—                                                            | 3,8/—                                                                            |
| 1986        | 1,8                       | —/1                                                            | —/0,6                                                                            |
| 1987        | 1,2                       | —                                                              | —                                                                                |
| 1988        | 1,2                       | —                                                              | —                                                                                |
| 1           | 2                         | 3                                                              | 4                                                                                |
| 1989        | 1,2                       | —                                                              | —                                                                                |
| 1992        | 0,6                       | 4/—                                                            | 6,7/—                                                                            |
| 1994        | 0,6                       | —/1                                                            | —/1,6                                                                            |
| 1995        | 0,65                      | 3/1                                                            | 3/0,1                                                                            |
| 1996        | 0,65                      | 2/1                                                            | 2/0,1                                                                            |
| 1997        | 0,67                      | 2/—                                                            | 1,7/—                                                                            |
| 1998        | 0,7                       | —                                                              | —                                                                                |
| 1999        | 0,83                      | —                                                              | —                                                                                |
| Итого       | 107,3                     | 215/89                                                         | 2/0,8                                                                            |

УКЗ приходится выбирать эксплуатируемые трубопроводы и здесь весьма важно с технической и с экономической точек зрения обоснованно определить приоритетные объекты электрозащиты, для которых ожидается эффективное воздействие УКЗ на снижение аварийности трубопроводов.

В этой связи в последние годы план ввода установок катодной защиты основывается (наряду с возможностями материальной базы



Таблица 3.29. Интенсивность отказов защищенных от электрокоррозии стальных трубопроводов Московского водопровода (РВС № 9) по диаметрам труб

| Диаметр труб | Длина, км | Количество аварий на 1 км трубопровода | Длина защищенных УКЗ трубопроводов, км | Средняя интенсивность отказов W, 1/год-км, трубопроводов (до установки УКЗ / после установки УКЗ) | Трубопроводы, защищенные УКЗ, % от общей длины |
|--------------|-----------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 100          | 84,11     | 1,2                                    | —                                      | —                                                                                                 | —                                              |
| 150          | 43,84     | 2,5                                    | —                                      | —                                                                                                 | —                                              |
| 200          | 9,9       | 2,4                                    | —                                      | —                                                                                                 | —                                              |
| 250          | 59,06     | 0,5                                    | 4,8                                    | 0,4/0,6                                                                                           | 8                                              |
| 300          | 139,79    | 0,6                                    | 25,2                                   | 4,2/2,1                                                                                           | 18                                             |
| 400          | 159,38    | 0,4                                    | 30,6                                   | 3,1/0,8                                                                                           | 19,2                                           |
| 500          | 19,75     | 0,6                                    | 4,8                                    | —/0,2                                                                                             | 24,3                                           |
| 600          | 24,34     | 0,5                                    | 4,2                                    | 0,2/0,2                                                                                           | 17,2                                           |
| 800          | 1,7       | —                                      | —                                      | —                                                                                                 | —                                              |
| 900          | 44,15     | 0,1                                    | 13,8                                   | 0,1/0,3                                                                                           | 31,3                                           |
| 1000         | 5,51      | —                                      | 2,4                                    | —                                                                                                 | 43,6                                           |
| 1200         | 28,18     | 0,04                                   | 9                                      | 0,2/—                                                                                             | 31,9                                           |
| 1400         | 54,1      | 0,02                                   | 9                                      | 0,1/0,2                                                                                           | 16,6                                           |
| Итого        | 673,81    | 0,7                                    | 107,3                                  | 2,0/0,8                                                                                           | 15,4                                           |

предприятия) на оценке и учете показателей надежности трубопроводов и технико-экономической целесообразности электрозащиты в каждом конкретном случае. Причем планируется не количество УКЗ, а протяженность трубопроводов, которые необходимо защитить от электрохимической коррозии.

Основными причинами коррозионных разрушений трубопроводов, находящихся в зоне электрозащиты УКЗ, в основном могут являться:

- организационные просчеты, приводящие к значительным разрывам в сроках ввода в эксплуатацию сооружений и включения в работу устройств электрохимической защиты;
- несоблюдение сроков контроля за работой УКЗ;
- недостаточная надежность в работе отдельных узлов устройств электрозащиты;
- недостаточный контроль эффективности защиты;
- слабый контроль изоляции подземных трубопроводов;
- использование устаревшего оборудования (УКЗ, анодные заземлители) с низкими технико-экономическими показателями.

В этой связи целесообразно рассмотреть методы повышения эффективности электрозащиты трубопроводов городской водопроводной сети.

Важной задачей повышения эффективности электрозащиты является использование современных высокоэффективных УКЗ.

Анализ практики эксплуатации различных типов УКЗ показывает,

Таблица 3.30. Сравнительные технические характеристики и типы установок катодной защиты (УКЗ), используемые в МГУП «Мосводоканал»

| Параметр                                                         | СКЗМ   | АРПТ                                                                                                        | ПТА                                                                                 | ОПС                                                                                                                                  | ОПЕ (В-ОПЕ)                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Номинальная выходная активная мощность, кВт                      | 3/5    | 3/5                                                                                                         | 1,6/3/5                                                                             | 3/4,8                                                                                                                                | 3,0/4,8                                                                                                                        |
| Коэффициент полезного действия в номинальном режиме, %, не менее | 73     | 70                                                                                                          | 70                                                                                  | 77/83                                                                                                                                | 75—90                                                                                                                          |
| Напряжение питающей сети, В                                      | 220    | 220                                                                                                         | 220                                                                                 | 220                                                                                                                                  | 220                                                                                                                            |
| Коэффициент мощности в номинальном режиме, не менее              | 0,9    | 0,7                                                                                                         | 0,7                                                                                 | 0,8                                                                                                                                  | 0,85—0,95                                                                                                                      |
| Масса, кг                                                        | 160    | 130/190                                                                                                     | 95/116/180                                                                          | 150/175                                                                                                                              | 108—235                                                                                                                        |
| Режим работы и контролируемые параметры                          | Ручной | Автоматический, поддержание выходного тока, защитного потенциала, выравнивание потенциалов в точках дренажа | Автоматический, поддержание защитного потенциала, выравнивание выходного напряжения | Ручной, регулирование выходного напряжения, автоматический, поддержание разностного защитного потенциала и поляризионного потенциала | Ручной, регулирование выходного напряжения, автоматический, поддержание разности потенциалов, режим неуправляемого выпрямителя |

что наиболее эффективны УКЗ, оборудованные устройством для стабилизации заданной разности потенциалов между защищаемым сооружением и землей.

В качестве выпрямителей в станциях катодной защиты коммунальных водопроводов РФ, в том числе в МГУП «Мосводоканал», используются отечественные преобразователи типа «ПСК» и «ОПС» Гайского завода «Преобразователь», «ПТА» Рязанского завода и «В-ОПЕ» Ставропольского завода «Сигнал». В табл. 3.30 приведены сравни-

тельные характеристики и типы установок катодной защиты, используемые на Московском водопроводе.

Наиболее совершенными и соответствующими уровню мировых стандартов из действующих на установках катодной защиты являются преобразователи типа В-ОПЕ, выпускаемые Ставропольским заводом «Сигнал» и Ставропольским концерном «Энергомера», характеризующиеся высоким КПД и надежностью в эксплуатации.

За рубежом в настоящее время успешно производятся и эксплуатируются высокочастотные катодные станции. Их характерная особенность — высокий КПД и небольшая масса. Следует отметить, что из-за высокого качества изоляции и материала трубопроводов в Западной Европе не выпускаются катодные станции большой мощности (3 кВт и более), которые необходимы для защиты от коррозии отечественных трубопроводов больших диаметров.

С позиции перспективного использования наибольший интерес представляют катодные станции «Минерва-2000» института ВНИИГАЗ и французской фирмы «Газ-де-Франс», высокочастотные преобразователи, Московского завода ВНИИрадиокомпонентов и НПП «ИНЭЛС». УКЗ НПП «ИНЭЛС» имеет КПД 0,93.

Около 70 % затрат на строительство установок катодной защиты приходится на анодное заземление. Анодное заземление — один из важнейших элементов УКЗ, от его правильного выбора и расположения относительно защищаемого сооружения зависят эффективность и надежность действия катодной защиты.

Конструкция заземления должна обеспечивать как необходимое сопротивление растеканию тока и его стабильность, так и долговечность заземления. При выборе типа заземлителя надо учитывать, что расчетный срок службы анодных заземлителей должен быть не менее 10 лет.

Основными материалами для изготовления электродов анодного заземления в нашей стране являются: стальной лом, стальные трубы, уголки, магнетит, чугун с высоким содержанием кремния и хрома, графит и др. Однако такие характеристики перечисленных материалов, как большая удельная масса, хрупкость, ненадежность узла контакта, приводят к увеличению трудоемкости монтажа анодных заземлителей, удорожанию технологического процесса их установки, к необеспечению нормативного срока службы.

Наиболее распространенными анодными заземлениями на сегодняшний день в РФ являются глубинные заземлители из стальных труб Д-273 мм с центральным электродом из угловой стали 100×100×16 мм в коксовой обсыпке. Работают такие заземлители эффективно только при тщательном техническом контроле за монтажом заземлителя со стороны эксплуатационной организации.

Анодные заземления из чугунных труб характеризуются недостаточной надежностью в эксплуатации. Во многих случаях они разруша-

ются преждевременно и наиболее быстро в местах с высоким уровнем грунтовых вод и низким удельным сопротивлением земли. Характерная особенность работы таких заземлений — постепенное и значительное возрастание сопротивления растеканию тока по мере увеличения срока службы, которое необходимо учитывать при их проектировании. К концу срока службы оно возрастает многократно.

Для крупных городов, имеющих густую и разветвленную сеть подземных коммуникаций, целесообразно применять глубинные заземления, занимающие в плане минимальную площадь и обеспечивающие наиболее благоприятное расположение тока на защищаемых сооружениях.

В целях повышения эффективности электрохимической защиты трубопроводов целесообразно использование распределенных анодных заземлений, каждое из которых приближено к участку непосредственной коррозионной опасности на трубопроводе.

По данным испытаний, выполненных в АКХ им. К.Д. Памфилова, протяженные гибкие аноды позволяют реализовать принципиально новую технологию катодной защиты за счет создания электрического поля тока защиты, которое замыкается практически полностью только между анодом и защищаемым сооружением. Такая технология исключает опасность вредного влияния анодов на соседние объекты, предотвращает утечку блуждающих токов с УКЗ и повышает их КПД за счет более равномерного токораспределения вдоль защищаемых сооружений.

Особенно удобно и экономически выгодно (прежде всего из-за резкого сокращения эксплуатационных расходов и исключения при строительстве почти всех земляных работ) использовать протяженные гибкие аноды, прокладываемые в одной траншее с защищаемым трубопроводом при одновременном их строительстве. Основным элементом этого изделия является центральный медный провод, покрытый токопроводящим полимером. Такая конструкция позволяет защитному току воздействовать вдоль анодного кабеля (до 4 км), при этом необходимо его количество пропускается через токопроводящий полимер к защищаемым металлическим сооружениям.

В табл. 3.31 приведены характеристики отечественных и зарубежных анодных заземлений.

В качестве вариантов электрохимической защиты небольших участков трубопроводов целесообразно использовать концентрические протекторы, обеспечивающие защиту наружной поверхности труб. Необходимо подчеркнуть, что стоимость протекторной защиты составляет менее 5 % от стоимости современных станций катодной защиты с внешним питанием.

Затраты труда на эксплуатацию протекторной защиты также в несколько раз меньше, чем на эксплуатацию УКЗ. Протекторы с вентильными устройствами могут защищать также от блуждающих токов при незначительных средних значениях потенциалов (0,3 В). Однако

Таблица 3.31. Характеристика анодных заземлений

| Глубинные анодные заземления   |                                           |                 |                          |                 |                     |
|--------------------------------|-------------------------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|---------------------|
| Показатели                     | Эластомеры ЭР-5 (Россия)                  | АЗМ-3 (Россия)  | Т-05 (ст.трубы) (Россия) | «Лида» (Италия) | «Рургаз» (Германия) |
| Токоотдача, А/м                | 0,3—0,6 (без кокса)<br>0,8—1,6 (с коксом) | 6               | 1                        | 5—10            | 0,5—0,6             |
| Анодное растворение, кг/А·год  | 0,5                                       | 0,4             | 9,2                      | 0,05            | 0,6                 |
| Затраты энергии, кВт/А         | 0,6                                       | —               | —                        | 4,0             | 1,0                 |
| Срок службы, годы              | 20                                        | 20              | 10                       | 60              | 25                  |
| Протяженные анодные заземления |                                           |                 |                          |                 |                     |
| Показатели                     | Эластомеры ЭР-2 (Россия)                  | «Лида» (Италия) | «Анодофлекс» (США)       |                 |                     |
| Токоотдача, А/м                | 50—100                                    | 50—75           | 52                       |                 |                     |
| Анодное растворение, кг/А·год  | 0,5                                       | 0,05            | 0,6                      |                 |                     |
| Затухание тока 1/м             | 0,001                                     | 0,05            | 0,01                     |                 |                     |
| Срок службы, годы              | 20                                        | 60              | 20                       |                 |                     |

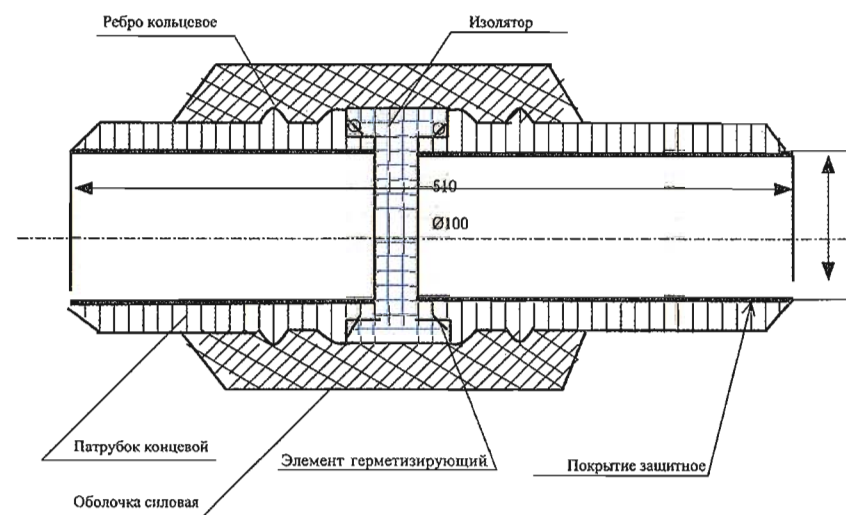
срок службы существующей конструкции протекторной защиты около 5 лет, что в 3—4 раза меньше фактического срока службы УКЗ.

Одним из наиболее актуальных в настоящее время способов повышения эффективности ЭХЗ является размещение электроизолирующих вставок (ИВ), которые должны закладываться в состав проекта электрозащиты. ИВ препятствуют перетеканию защитных токов на другие сооружения.

Изолирующая вставка — это электроизолирующее соединение (элемент катодной защиты), предназначенное для прерывания электрической проводимости трубопровода. На рис.3.38 приведена схема электроизолирующей вставки. Изолирующая вставка представляет собой неразъемный элемент, содержащий два стальных концевых патрубка с размещенным между ними фторопластовым изолятором, шириной около 10 мм, и наружным покрытием из стекловолна. Эта конструкция ОАО «Оргэнергогаз» послужила базовой моделью, на основании которой МГУП «Мосводоканал» разработал конструкцию ИВ с учетом особенностей устройства и эксплуатации стальных трубопроводов Московского водопровода.

Изолирующие вставки не являются самостоятельным средством защиты подземных металлических сооружений от коррозии, и их следует применять, как правило, совместно с устройствами электрохимической защиты для повышения ее эффективности.

Электроизолирующие вставки значительно увеличивают продольное сопротивление трубопроводов. Установкой ИВ достигается электроизоляция трубопроводов от подземных сооружений с низким каче-

Характеристики изолирующей вставки  
(ТУ 1468-028-05015070-99)

|                                         |              |
|-----------------------------------------|--------------|
| Диаметр, d, мм                          | 100          |
| Длина, L, мм                            | 510          |
| Материал                                | каплен-сталь |
| Рабочее давление, P <sub>раб.</sub> МПа | 1,6          |
| Электрическое сопротивление, КОм        | не менее 7   |
| Вид монтажа                             | сварка       |

Рис. 3.38. Электроизолирующая вставка (общий вид и разрез)

ством защитных покрытий, различного рода сосредоточенных заземлений в зданиях и сооружениях. При этом внутренняя поверхность участков трубопроводов, примыкающих к ИВ, должна быть надежно изолирована защитным покрытием на расстоянии до 100 мм.

Важно отметить, что применение изолирующих вставок приводит к снижению величины защитного тока и мощности УКЗ, а также к уве-



личению протяженности защищаемых сооружений и в целом — к значительной экономии средств, затрачиваемых на электрозащиту.

Установкой ИВ достигается электроизоляция трубопроводов от подземных сооружений с низким качеством защитных покрытий, различного рода сосредоточенных заземлений в зданиях и сооружениях. Однако не во всех случаях установка ИВ на подземных трубопроводах дает положительный эффект, поскольку на одной из сторон фланца может возникать анодная зона, т.е. с одного из участков трубы ток может стекать в землю, разрушая трубу.

Для трубопроводов систем водоснабжения в случае установки ИВ анодная зона может возникнуть и на внутренней поверхности трубы, причем плотность тока и характер распределения потенциалов и токов в этой зоне определяются главным образом сопротивлением слоя воды в зоне установки, изолирующей прокладки на фланцевом соединении.

Электросопротивление изолирующего фланцевого соединения на трубопроводах, транспортирующих воду, зависит от внутреннего диаметра трубопровода, длины (толщины) изолирующей прокладки и удельного сопротивления транспортируемой воды. При увеличении диаметра трубопровода сопротивление ИВ резко падает. Может наблюдаться и падение напряжения на фланцевом соединении (до 10 В и более), обусловленное полем блуждающих токов или воздействием на трубопроводах средств электрохимической защиты. Поэтому при отсутствии защитных покрытий на внутренней поверхности трубопроводов возможны значительные утечки тока с анодного участка фланцевого соединения.

Внутренняя поверхность участков трубопроводов, примыкающих к ИВ, должна быть надежно изолирована защитным покрытием на расстоянии до 100 мм. При этом необходимо отметить, что качественное выполнение изоляции трубы на участке установки фланца на сегодняшний день проблематично. Поэтому вместо защитного покрытия целесообразно использовать электрохимическую защиту трубопровода на участке установки ИВ.

Опыт электрозащиты трубопроводов Московского водопровода показал, что установку электроизолирующих вставок следует предусматривать:

- на входе и выходе трубопровода из земли (на участках перехода подземного трубопровода в надземный разрешается вместо установки электроизолирующих соединений применять электрическую изоляцию трубопроводов от опор и конструкций изолирующими прокладками);
- на вводе трубопроводов в здания, где возможен их электрический контакт с землей через заземленные металлические конструкции, инженерные коммуникации здания и нулевой провод электропроводки здания;
- на вводе трубопровода на объект, являющийся источником блуждающих токов;

• для электрической изоляции отдельных участков трубопровода от остального трубопровода.

Сегодня на заводомерных сетях и домовых вводах Московского водопровода установлено более 2000 ИВ диаметром 100 и 150 мм. Опыт наблюдения за установленными вставками показал, что электрическое сопротивление при установке составляет около 4 МОм и после месяца работы устанавливается в пределах 8—10 Ом. Это объясняется созданием проводимости насыщенного водой цементно-песчаного покрытия. Но даже такого сопротивления ИВ вполне достаточно для ее эффективной работы.

В целом опыт эксплуатации системы электрозащиты в МГУП «Мосводоканал» позволил определить основные критерии модернизации и повышения эффективности защиты трубопроводов от электрохимической коррозии:

- использование эффективных и надежных анодных заземлителей из малорастворимых материалов (железкремнистые анодные заземлители, глубинные заземлители из электропроводной резины, протяженные гибкие аноды);
- эксплуатация установок катодной защиты нового поколения, основанных на базе высокочастотных преобразователей, имеющих высокий КПД;
- устройство на вводах водопровода в здание изолирующих соединений (вставок);
- использование протекторной защиты;
- внедрение современных телекоммуникационных средств контроля и управления эксплуатацией системы электрозащиты трубопроводов;
- использование автоматизированной информационно-технической системы контроля эксплуатации системы электрозащиты и эффективности функционирования УКЗ;
- развитие материально-технической базы комплексной специализированной службы по эксплуатации системы электрозащиты;
- использование системы планирования ввода УКЗ, учитывающей показатели надежности трубопроводов, результаты диагностики и технико-экономическую целесообразность электрозащиты в каждом конкретном случае.

Важно ежегодно планировать не количество СКЗ, а протяженность трубопроводов, которые необходимо защищать от электрохимической коррозии.

### 3.8.6. Автоматизированная система контроля эксплуатации системы защиты трубопроводов от электрохимической коррозии

Наряду с необходимостью оптимального увеличения темпов строительства станций катодной защиты (УКЗ), внедрения современного электрозащитного оборудования, важное значение для повышения эф-

фективности системы электрозащиты подземных трубопроводов имеет организация современного уровня управления эксплуатацией.

Одним из основных путей повышения эффективности эксплуатации УКЗ является разработка и использование на практике современных геоинформационных технологий для контроля и управления эксплуатацией системы электрозащиты трубопроводов и внедрение на их основе телеметрических систем управления работой УКЗ.

Для поэтапной реализации этой задачи нами разработана автоматизированная система оперативного контроля эксплуатации системы электрозащиты АИТС «Антикор» [99].

Автоматизированная система оперативного контроля и управления эксплуатацией системы электрозащиты трубопроводов (АИТС «Антикор») включает:

- систему первичных информационных документов — паспортов участков трубопроводов, на которых имела место авария по причине коррозионных повреждений, паспортов УКЗ со сведениями по их характеристике, анодных заземлителей и параметров защиты, содержанию и срокам выполненных профилактических, диагностических и ремонтно-восстановительных работ на УКЗ и т.п.;
- электронные базы данных по эксплуатации и диагностике трубопроводов городской водопроводной сети и УКЗ, включая данные по их отказам и восстановлению;
- информационно-поисковую систему — комплекс программ для ЭВМ по вводу, редактированию, обработке и графическому отображению данных по контролю эксплуатации УКЗ и трубопроводов (программа «УКЗ»), для оценки и прогноза показателей надежности трубопроводов городской водопроводной сети (программа «Надежность»).

На рис. 3.39 приведена структура программного обеспечения АИТС «Антикор».

Графическая информация системой АИТС «Антикор» представляется в виде паспортов аварий трубопроводов по причине коррозионных повреждений, паспортов установок катодной защиты, электронной планшетной карты городской водопроводной сети с возможностью отображения на ней аварийности трубопроводов, месторасположения УКЗ. Система программно формирует и выдает на печать (по конкретному запросу) всю необходимую информацию по характеристике трубопровода и УКЗ, их паспорта и данные по эксплуатации.

Система АИТС «Антикор» дает возможность использовать самую актуальную эксплуатационную информацию в процессе принятия управленческих решений по организации системы электрозащиты и позволяет:

- автоматизировать процесс контроля эффективности эксплуатации УКЗ;

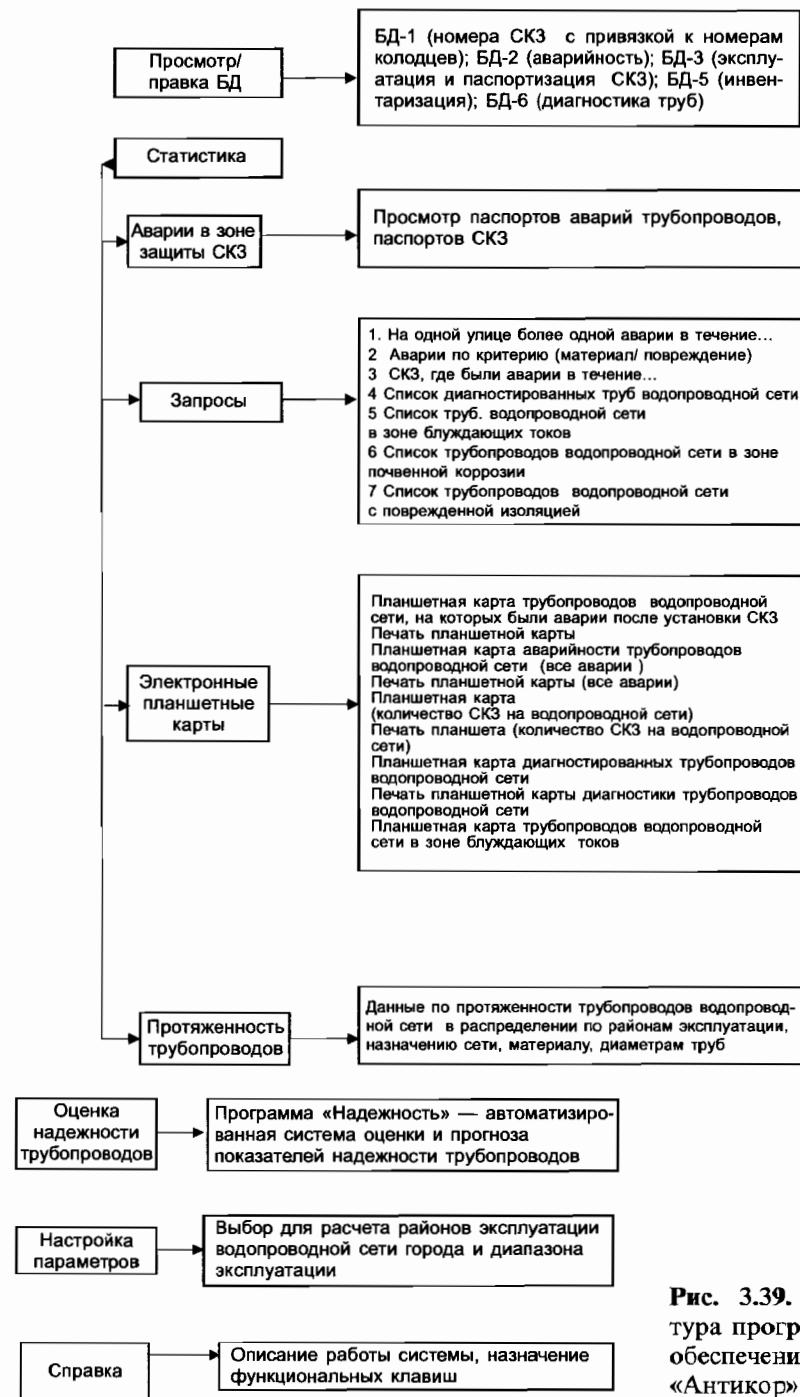


Рис. 3.39. Структура программного обеспечения АИТС «Антикор»

- по конкретным запросам получать информацию по аварийности трубопроводов, как находящихся в зоне защиты УКЗ, так и не оборудованных системой электрозащиты;
- контролировать показатели надежности участков трубопроводов, находящихся в зоне защиты УКЗ;
- автоматизировать поиск объектов электрозащиты с выдачей на печать всей информации по эксплуатации конкретных объектов электрозащиты (списки и паспорта трубопроводов, УКЗ, электронные планшетные карты);
- обновлять электронные базы данных по эксплуатации и паспортизации трубопроводов и УКЗ.

Функционирование системы АИТС-«Антикор» позволяет осуществлять паспортизацию и контроль эффективности работы УКЗ, анализировать причины возникновения аварий трубопроводов в зоне УКЗ по причине коррозионных повреждений.

Однако работа только с базами данных, включающими, например, эксплуатационные данные по инвентаризации и аварийности трубопроводов городской водопроводной сети и паспортные данные по станциям катодной защиты, не позволяет вывести информационное обеспечение процесса контроля и управления эксплуатацией системой электрозащиты трубопроводов на качественно новый уровень — объединить традиционные операции при работе с базами данных, такими, как запрос и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа, которые представляет геоинформационная система.

Традиционными носителями информации о точном местонахождении и взаимном расположении объектов инженерных коммуникаций являются различные схемы, исполнительная документация, картографические планшеты различных масштабов. Дополнительные источники информации — паспорта объектов, эксплуатационные карточки, всевозможные журналы и т.п.

Известно, что все изменения, происходящие с оборудованием инженерных коммуникаций, регистрируются в специальных документах (журналах) и отражаются на графическом материале для последующего использования в процессе эксплуатации.

При традиционной технологии работы с учетной информации, которая всегда состоит из табличной и графической, поиск необходимой информации занимает много времени, так как искать необходимо сразу в нескольких источниках. Существует проблема доступности требуемой информации для эксплуатирующего персонала. При традиционном «бумажном» способе учета невозможно организовать эффективный доступ к информации всех заинтересованных служб предприятия.

В этой связи одной из основных задач автоматизации процесса контроля эксплуатации системы электрозащиты стала разработка те-

матических слоев, содержащих периодически обновляемые сведения о средствах и объектах электрозащиты, данные об авариях трубопроводов. Это наряду с возможностями статистической обработки информации, представляемых ГИС, позволит делать выводы об эффективности электрозащиты и осуществлять выбор приоритетных объектов электрозащиты. При этом радикально снижаются дублирование информации и затраты на актуализацию (обновление) эксплуатационной информации.

Для реализации этих задач разработана унифицированная система формирования и отображения электронных баз данных по эксплуатации системы электрозащиты трубопроводов Московского водопровода с привязкой к базе данных по паспортизации и аварийности трубопроводов Московского водопровода и соответствующее программное обеспечение по геоинформационному отображению сооружений системы электрозащиты трубопроводов.

Программное обеспечение модернизированной системы АИТС — «Антикор» содержит функции и инструменты, необходимые для обеспечения: формирования автоматизированных баз данных по эксплуатации системы электрозащиты трубопроводов; формирования архива данных; расчетных процедур, оперативного поиска, запроса и обработки информации по эксплуатационным характеристикам трубопроводов и станций катодной защиты; формирования и ведения отчетной, оперативной и эксплуатационной документации; хранения, анализа и визуализации картографической и пространственной информации по системе электрозащиты трубопроводов.

Информационное обеспечение ГИС — «Антикор» включает: паспортные и эксплуатационные характеристики станций катодной защиты, паспортные данные участков трубопровода, в том числе эксплуатационные данные по их аварийности; картографический фон (масштаб 1:10000), разрешенный к открытому использованию; общегородской перечень улиц Москвы; справочник состава векторного слоя «Система электрозащиты трубопроводов»; библиотеку используемых графических символов.

Система обеспечивает работу в среде Microsoft Windows 95, Windows 98 или Windows NT 4.0, а также возможность работы в многопользовательском режиме. В качестве инструментального средства ГИС использована специализированная система MapInfo.

Выбор этой системы обусловлен тем, что система «MapInfo» позволяет отображать различные данные, имеющие пространственную привязку. Она относится к классу Desktop GIS.

Отличительная способность «MapInfo» — универсальность. Система дает возможность создавать интегрированные геоинформационные технологии Intergraph и MapInfo для DOS, Windows, Windows NT, UNIX, геоинформационные системы, цифровые картографичес-



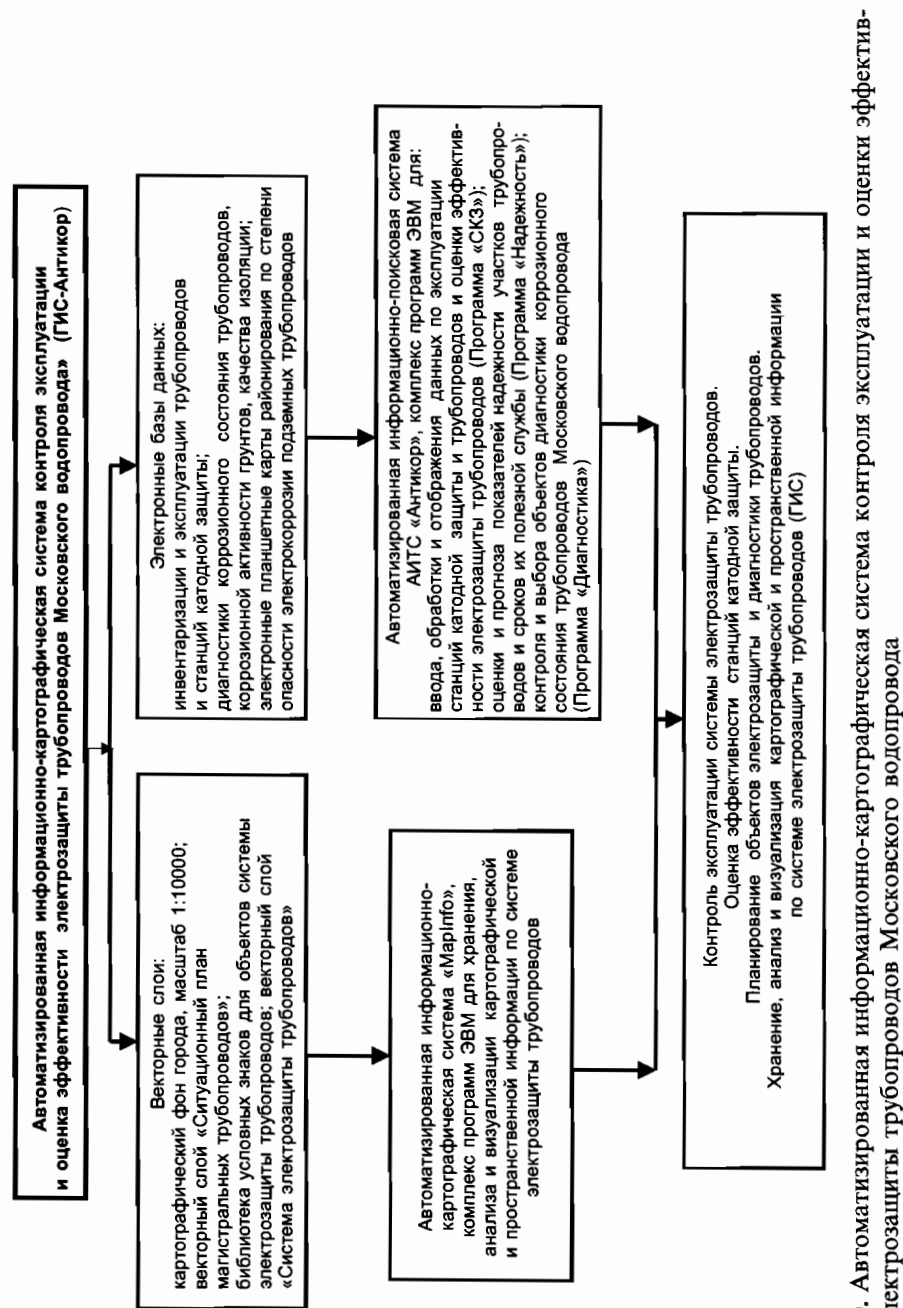


Рис 3.40. Автоматизированная информационно-картографическая система контроля эксплуатации и оценки эффективности электрозащиты трубопроводов Московского водопровода

кие системы, программные и технические средства формирования и анализа геоинформационных баз данных.

В систему заложены следующие возможности:

- методы анализа данных в реляционной базе данных;
- поиск географических объектов;
- методы тематической закрашки карт;
- методы создания и редактирования легенд;
- поддержка большого набора форматов данных;
- доступ к удаленным БД и распределенная обработка данных.

«MapInfo» позволяет получать информацию о местоположении объекта по адресу или имени, находить пересечения улиц, границ, производить автоматическое и интерактивное геокодирование, проставлять на карту объекты из базы данных. Форма представления информации в системе имеет вид таблиц, карт, диаграмм, текстовых справок. Система дает возможность проводить специальный географический анализ и графическое редактирование. При этом система команд и сообщения представляются как на русском языке, так и на других языках. Модули системы включают обработку данных геодезических измерений, векторизацию и архивацию карт, схем, чертежей, преобразования картографических проекций, совмещение пространственных данных.

Возможность компьютерного дизайна и подготовки к изданию разнообразных картографических документов позволяет получать различные технологические решения для территориальных и отраслевых информационных систем. Программные комплексы функционируют на различных платформах. Система «MapInfo» включает специализированный язык программирования MapBasic, позволяющий менять и расширять пользовательский интерфейс системы.

Система дает возможность напрямую использовать данные электронных таблиц типа Excel, Lotus 1-2-3, форматы dBase и т.д.

Структура автоматизированной информационно-картографической системы контроля эксплуатации и оценки эффективности электрозащиты трубопроводов Московского водопровода» приведена на рис. 3.40.

## Глава 4.

# СТРАТЕГИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ОБНОВЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ГОРОДСКОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

### 4.1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТАРЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

В условиях существующего на сегодняшний день износа трубопроводов и оборудования водопроводных сетей большинства городов России, а также ограничения финансовых ресурсов на их реновацию проблема обеспечения их надежности будет обостряться по мере продолжительности эксплуатации.

Выходом из сложившейся ситуации служит разработка и реализация предприятием ВКХ для конкретного города научно-обоснованной, долговременной стратегии восстановления и обновления водопроводной сети с технико-экономическим обоснованием путей обеспечения ее надежности.

Основой стратегии восстановления являются:

- использование автоматизированного информационно-технического обеспечения для регистрации, сбора, хранения и обработки исходных данных по эксплуатации трубопроводов и сооружений на них, создание электронной базы данных (БД) по всем авариям и повреждениям трубопроводов и оборудования сети;

- программное обеспечение для оценки и прогноза показателей надежности и сроков полезной службы труб;

- использование математической модели старения и восстановления трубопроводов для прогноза обновления сети.

Одной из причин снижения надежности трубопроводов городской водопроводной сети является старение трубопроводов в условиях влияния на их техническое состояние и работоспособность многих дестабилизирующих надежность труб факторов и условий прокладки и эксплуатации.

Анализ современных моделей по оценке и прогнозированию отказов (аварий) элементов трубопроводных систем показал, что для решения задач планирования их восстановления наиболее приемлемы:

- статистические модели, учитывающие «возраст» аварий, их количество к определенной дате эксплуатации элементов системы, т.е. моделей, дающих оценку вероятности возникновения аварий;

- физические модели, описывающие процесс изменения технических параметров элементов системы, например уменьшение толщины стенок трубопроводов с течением времени.

Известно, что статистические модели учитывают большее число факторов, чем это имеет место при физическом моделировании [7, 9, 11, 88, 90]. Они позволяют учесть параметры, влияние которых на надежность участка трубопровода мало изучено, и лучше адаптированы к задаче предсказания аварий при условии накопления соответствующих данных за достаточно продолжительный отрезок времени. Такой тип модели и предлагается использовать для планирования восстановления трубопроводов.

Известно, что участки трубопроводов водопроводной сети могут быть восстановлены путем их реновации (санации) или замены (перекладки). Средний возраст труб по системе снижается, в основном когда старые трубы обновляются или когда прокладываются новые трубопроводы.

Однако очевидно, что средний возраст не дает представления о двух главных факторах: во-первых, какие участки по длине находятся в критическом возрасте и, во-вторых, техническое состояние трубопровода следует рассматривать в зависимости от материала труб, качества стыковых соединений, диаметра труб, а также внешних дестабилизирующих факторов, «окружения» трубопровода.

Исследования, проведенные автором и О.Г. Приминим (ГУП «МосводоканалНИИпроект»), показали, что только возраст труб не дает объективного представления о состоянии трубопровода [65, 105].

Трубопровод определенного возраста может иметь различный прогнозируемый остаточный срок службы в зависимости от конкретных условий. Это касается не только так называемого физического старения в виде износа материала, внутренней и внешней коррозии и обрастания, но также и функционального старения, когда пропускная способность трубопровода более не соответствует расходу воды.

Практика эксплуатации показывает, что взаимосвязь между старением и «свищами» или трещинами, которые случаются в первый раз на участке трубопровода, очень слабая. Даже с помощью специальных методов, таких, как методы анализа выживаемости, прогнозирование первой трещины в трубопроводе с помощью так называемой модели пропорционального риска очень неточное [89, 116, 120].

Наши исследования показали, что степень точности прогнозирования значительно повышается, если на участке трубопровода уже несколько раз случались аварии. Тогда вероятность повреждения приближается к пограничной величине с экспоненциальным распределе-

нием временных интервалов, так что поток отказов можно описать как процесс Пуассона [95,96].

Проведенные ранее исследования статистических данных по отказам и восстановлению участков трубопроводов Московского водопровода позволили выяснить, что на величину вероятности отказов участка трубопровода в настоящем влияет количество и частота происшедших на нем аварий (отказов) в прошлом. С точки зрения физики процесса, это можно объяснить развитием процесса коррозии. Для этих участков момент первой аварии по причине свища указывает, как правило, на начало процесса электрохимической коррозии.

Поэтому программа реконструкции трубопроводов должна в первую очередь решать проблему участков труб, на которых ранее произошла авария.

Очевидно, что службе эксплуатации водопроводных сетей необходимо иметь и постоянно обновлять соответствующую информационно-техническую базу данных по эксплуатации трубопроводов, составлять статистику повреждений, по которой можно было бы получить сведения по всей «жизни» трубопровода, чтобы определить концентрацию усилий по ремонту и восстановлению тех участков, где за последние годы наблюдалась наибольшая интенсивность отказов.

Таким образом, именно статистические модели могут стать необходимым инструментом при принятии решений и определении стратегии проведения работ по восстановлению трубопроводов городской водопроводной сети.

Решение, производить ли спонтанный ремонт после появления повреждения — так называемая стратегия пожарной команды — или осуществлять профилактические и целенаправленные меры по восстановлению, является вопросом экономическим. Расходы на аварийный ремонт и расходы на профилактическое восстановление очень отличаются друг от друга. Кроме того, ожидаемый срок службы восстановленного трубопровода может быть также различным. В целом, более дорогой метод обещает более длительный срок эксплуатации.

Нами предлагается использовать математическую модель старения и восстановления трубопроводов, которая позволяет прогнозировать процесс изменения уровня надежности трубопроводов и срок их полезной службы.

Концепция модели основана на вероятностном подходе к процессу старения и восстановления (обновления) трубопроводов, при котором реальный срок эксплуатации трубопровода считается случайной переменной, которая включает среднюю величину и плотность вероятности.

За основу модели была принята модель выживания когорты (поколения), которая является широко распространенным инструментом прогнозирования изменения численности населения на основе статистики смертности и рождаемости [88].

По аналогии с этой моделью старение инженерной инфраструктуры города корреспондируется со «смертью» и ведет к ремонту и восстановлению элементов инфраструктуры.

Применительно к городской водопроводной сети когорты можно рассматривать как типы труб, которые подлежат ремонту и восстановлению в данном году. С течением времени они становятся все старше и достигают конца полезного срока службы, что определяется их возрастными функциями. Общая протяженность труб, выбывающих из эксплуатации, суммируется, и таким образом определяется общая потребность в восстановлении.

Модель предусматривает оценку дифференцированной вероятности «выживания» трубопроводов в зависимости от возраста.

Когортная модель выживания начинается со сбора и обработки статистической информации по инвентаризации и эксплуатации трубопроводов, и с помощью данных по отказам и интенсивности восстановления (обновления) трубопроводов (дифференцированных по видам труб) планируется общий объем их восстановления.

Предварительным условием хорошего прогноза является реальная оценка показателей надежности и параметров функций выживания эксплуатируемых трубопроводов. Различные математические распределения могут считаться функциями выживания или старения [7, 10, 11, 12, 13].

Равномерное распределение по малому или большому интервалу старения, разумеется, нереально — нормальное распределение слишком симметрично. Кроме того, отрицательный или минимальный диапазон эксплуатации будет противоречить диапазону его применения (от  $-\infty$  до  $+\infty$ ). Логарифмически нормальное распределение, естественно, будет смещаться влево в диапазон положительных значений, но анализ показывает, что ожидаемый остаточный срок эксплуатации возрастает с возрастом [13].

Анализ статистических моделей позволил сделать вывод, что наиболее пригодны для описания процесса старения и восстановления трубопроводных систем распределения Вейбулла и Нерца [12, 88, 90]. Анализ возможности практической реализации этих моделей для описания процесса старения трубопроводов показал, что в качестве распределений интервалов их безотказной работы предпочтительно использовать распределение Вейбулла.

Распределение Вейбулла положительно в том, что интенсивность отказов в основном увеличивается с возрастом, затем увеличивается более равномерно и, наконец, асимптотически приближается к пограничной величине  $\omega_0$ . В распределении Вейбулла среднее значение остаточного срока эксплуатации не становится равным нулю при большом возрасте, а остается малой величиной  $1/\omega_0$  лет.

При этом функция распределения  $P(t)$  срока службы трубопровода ассоциируется с плотностью вероятности  $p(t)$  диапазона эксплуатации



$t$  и называется функцией выживания, или функцией надежности. Вероятность мгновенного повреждения, или интенсивность отказов (функция риска),  $\omega(t)$  рассчитывается путем деления  $p(t)$  на  $(1 - P(t))$ .

Если поврежденный элемент восстанавливается, интенсивность отказов идентична интенсивности восстановления (обновления). Таким образом, с помощью функции выживания можно определить условную вероятность полезного срока службы для каждого участка трубопровода, который достиг определенного возраста и превысил его на  $x$  лет.

Среднее значение этой условной плотности вероятности является ожидаемым полезным сроком эксплуатации. Основу модели составляют три математически взаимосвязанные возрастные функции. Они включают экспоненциальное распределение, как особый случай.

#### 1. Функция выживания:

$$P(t) = 1 - \int_0^t a(t) dt = 1 - \int_0^t \omega_0 k t^{k-1} e^{-\omega_0 t} dt = 1 + \int_0^t \omega_0 e^{-\omega_0 t} dt = e^{-\omega_0 t}, \quad (4.1)$$

здесь  $a(t) = \omega_0 k t^{k-1} e^{-\omega_0 t}$  — частота отказов.

#### 2. Функция аварийности (интенсивность отказов/восстановлений):

$$\omega(t) = \frac{a(t)}{P(t)} = \omega_0 k t^{k-1}. \quad (4.2)$$

#### 3. Ожидаемая прогнозируемая продолжительность срока эксплуатации:

$$T(t) = \int_0^\infty e^{-\omega_0 t} dt = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{k} + 1\right)}{\omega_0^k}, \quad (4.3)$$

где  $\Gamma\left(\frac{1}{k} + 1\right)$  — гамма-функция, значения которой табулированы:

$$\Gamma\left(\frac{1}{k} + 1\right) = \int_0^\infty x^k e^{-x} d(x). \quad (4.4)$$

В этих выражениях параметры старения интерпретируются для трубопроводов следующим образом:  $k$  — параметр, определяющий асимметрию и эксцесс распределения. (применительно к трубопроводным системам  $k$  является коэффициентом старения; старения не происходит, если  $k = 0$ );  $\omega_0$  — параметр, определяющий масштаб, в данном случае конечная интенсивность отказов участков трубопроводов или интенсивность их восстановления (обновления).

Среднеквадратическое отклонение времени безотказной работы  $\sigma$  определяется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\int_0^\infty t^2 a(t) \cdot d(t) - T^2} = \sqrt{\int_0^\infty \frac{k}{t} \cdot t^{k+1} \cdot e^{-\omega_0 t} \cdot d(t) - t_0 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right]^2}, \quad (4.5)$$

$$\text{где } t_0 = \frac{1}{\omega_0}, \quad (4.6)$$

Решение интеграла заменой  $t^k = u$  дает выражение для гамма-функции:

$$\int_0^\infty \frac{2}{k} \left(\frac{u}{t_0}\right)^{\frac{2}{k}} \cdot e^{-\frac{u}{t_0}} \cdot d\left(\frac{u}{t_0}\right) = t_0^{\frac{2}{k}} \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right). \quad (4.7)$$

Окончательное выражение для  $\sigma$  будет:

$$\sigma = t_0 \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) \cdot \left[ \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right]^2}. \quad (4.8)$$

Коэффициент вариации распределения  $v$  определяется отношением:

$$v = \frac{\sigma}{T} = \frac{\sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) \cdot \left[ \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right]^2}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)}. \quad (4.9)$$

Из этого выражения следует, что коэффициент вариации является функцией только величины  $k$  и от времени не зависит. Кривая (рис. 4.1), построенная по формуле (4.9), позволяет определить параметр  $k$ , если значение коэффициента  $v$  известно.

Из выражения (4.5) ясно, что при  $k = 1$  распределение Вейбулла превращается в экспоненциальное. Поскольку распределение Вейбулла полностью определяется параметрами  $k$  и  $v$ , оценку возрастных функций следует начинать с их определения.

Исходными данными для определения параметров функции выживания трубопроводов являются полученные в результате статистической обработки значения времени наработки на отказ участков трубопроводов, по которым определяются значения среднего времени безотказной работы  $T$  и его квадратическое отклонение по формулам:

$$T = \frac{\sum t_i}{n}, \quad (4.10)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - T)^2}{(n-1)}}. \quad (4.11)$$

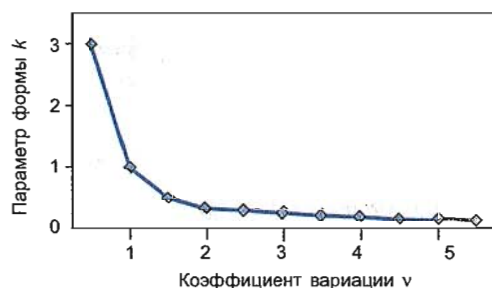


Рис. 4.1. Изменение коэффициента старения распределения Вейбулла ( $k$ ) в зависимости от коэффициента вариации  $v$

По значениям  $T$  и  $\sigma$  определяется коэффициент  $v$  из отношения:

$$v = \frac{T}{\sigma}. \quad (4.12)$$

Далее по рис. 4.1, по известному значению коэффициента вариации  $v$ , находится величина искомого параметра старения распределения Вейбулла —  $k$ .

Второй параметр принятой модели  $\omega_0$  вычисляется по формуле (4.8), в которую подставляются уже известные значения  $T$  и  $k$ . Найденные значения параметров  $k$  и  $\omega_0$  дают возможность интерпретировать функции выживания (надежности) трубопроводов.

Основным условием реализации и использования предлагаемой модели для планирования восстановления и обновления сети является точная инвентаризация системы трубопроводов, дифференцированная в зависимости от типа труб с различными характеристиками старения и условиями прокладки и эксплуатации, а также реальная оценка функции выживания для исследуемого трубопровода на основе обработки статистических данных по его отказам и восстановлению.

На практике потребность в восстановлении трубопроводов не обеспечивается «автоматически» из соотношения возраста и интенсивности отказов конкретного трубопровода, так как всегда существует запас в принятии решения от повреждения до восстановления трубы, не только в отношении времени, но и в отношении вида восстановительных мер.

Так, интенсивность отказов (аварий с раскопкой) с 1985 по 2000 гг. на Московском водопроводе (для стальных труб по исследуемым диаметрам) возрастала с годами, но затем стабилизировалась на относительно постоянном уровне — около 0,62 отказов в год на 1 км в диапазоне возраста труб 15—30 лет. Повышение случаев отказов трубопроводов наблюдается затем на очень старых трубах (рис. 4.2).

Очевидно, что эксплуатационной службе путем проведения профилактических мероприятий, замены или санации наиболее аварийных

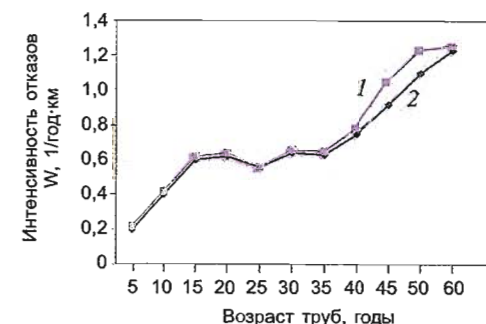


Рис. 4.2. Интенсивность отказов стальных трубопроводов Московского водопровода в зависимости от возраста: 1 — сталь; 2 — чугун

участков трубопроводов удалось стабилизировать уровень надежности трубопроводов в интервале их возраста 15—30 лет.

На рис. 4.3 приведены фактические среднегодовые данные по интенсивности обновления стальных трубопроводов Московского водопровода.

По этим графикам, показывающим прежнюю интенсивность работ по ремонту и восстановлению сети, можно наблюдать тенденцию их развития, которая показывает в данном случае недостаточность объемов работ по обновлению сети. Значительное количество отказов трубопроводов Московского водопровода в последние годы это подтверждает.

Анализ этих графиков позволяет сделать вывод, что следует быть осторожным при использовании для прогноза восстановления (обновления) трубопроводов прошлых интенсивностей обновления. Они отражают политику восстановления, принятую в прошлом и зависящую

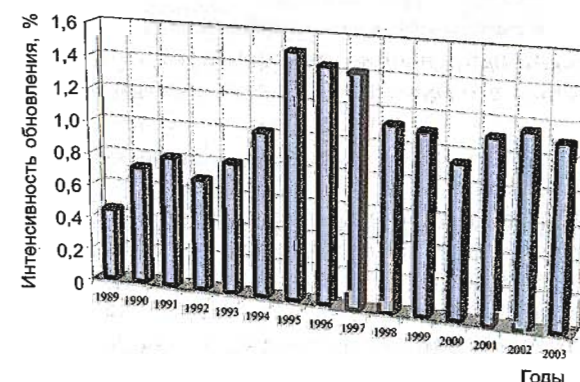


Рис. 4.3. Интенсивность обновления (санация, перекладка) стальных трубопроводов Московского водопровода за 1989—2000 гг.



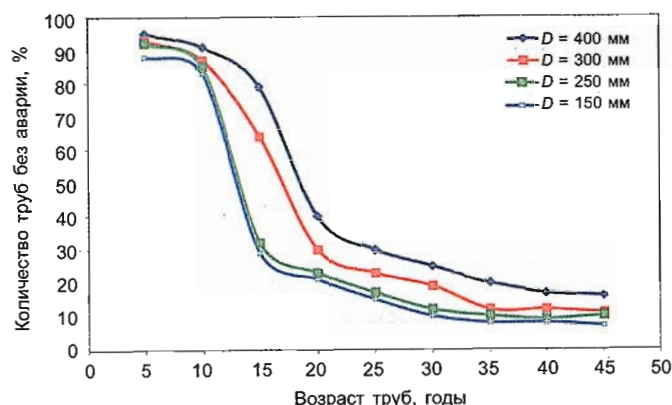


Рис. 4.4. Функции «выживания» стальных трубопроводов Московского водопровода

от бюджета финансирования и материально-технических условий того периода. Учитывая это обстоятельство, был принят другой путь применения модели.

Был определен приблизительный возраст определенного числа труб каждого типа в системе без капитального ремонта и восстановления — только с аварийным ремонтом в случае отказа (аварии) участка трубы. Эти оценки выполнены на основе обработки статистики отказов исследуемых трубопроводов Московского водопровода, а затем модифицированы с использованием принятой модели старения и восстановления трубопроводов в виде функций «выживания».

Пример функций «выживания» стальных трубопроводов выбранных типов труб Московского водопровода приведен на рис. 4.4.

На рис. 4.5 приведен прогноз требуемой интенсивности восстановления (обновления), стальных трубопроводов Московского водопровода, сделанный с использованием принятой модели и исходя из того, что общая потребность в восстановлении и обновлении водопроводной сети города определяется общей протяженностью трубопроводов, чей полезный срок службы заканчивается в конкретно взятом году.

При таком подходе полезный срок службы трубопровода используется для планирования восстановления и обновления сети в том смысле, что он описывает возраст или срок, при наступлении которого трубопровод не обеспечивает требуемого (заданного) уровня надежности и необходимо принимать меры по восстановлению требуемой его работоспособности.

Очевидно, что реализация такого подхода при планировании восстановления и обновления трубопроводов требует анализа как реаль-

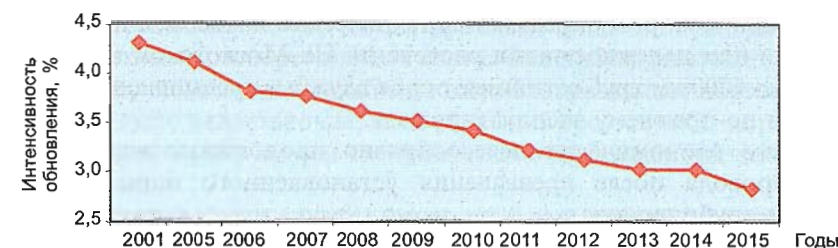


Рис. 4.5. Годовая интенсивность обновления трубопроводов Московского водопровода

ных сроков эксплуатации трубопроводов, так и прогноза вероятных сроков их полезной службы.

Будущая потребность восстановления (обновления) стальных трубопроводов Московского водопровода была смоделирована при следующих исходных параметрах: восстановлению (перекладке, санации) подлежат участки трубопроводов, исчерпавших полезный срок службы, с интенсивностью отказов  $\omega = 2$  1/год·км, требуемый уровень интенсивности отказов:  $\omega = 0,2$  1/год·км. Это значение интенсивности отказов коррелируется с нормативами надежности трубопроводов крупных водоснабжающих предприятий городов Европы.

Расчеты показали, что для Московского водопровода снижение интенсивности отказов трубопроводов до  $\omega = 0,2$  1/год·км приведет к снижению поступления воды в окружающую среду при авариях трубопроводов и скрытых утечках до 2—3 % от среднесуточной подачи воды, что уменьшит суммарный годовой материальный и экологический ущерб в 2,7 раза.

Согласно полученному расчетному прогнозу требуемый объем восстановления стальных трубопроводов Московского водопровода должен составить к 2015 г. 2980 км.

Очевидно, что потребность восстановления трубопроводов в перспективе должна быть намного выше, чем осуществляется сегодня, т.е. необходимо будет наверстывать объем работ по восстановлению и обновлению трубопроводов.

## 4.2. ОЦЕНКА ПОЛЕЗНЫХ СРОКОВ СЛУЖБЫ ТРУБОПРОВОДОВ

В соответствии с установленными нормативами диапазон эксплуатации трубопровода должен зависеть от нормативных сроков службы труб, величин и порядка начисления амортизации, но это не означает, что участок трубопровода нельзя далее использовать. В практике водоканалов большинства городов России участки трубопроводов продолжают находиться в эксплуатации до истечения их технического



диапазона, который определяется техническим износом, а не экономическими или надежными расчетами. На Московском водопроводе около 4000 км труб сети имеют срок службы, превышающий нормы, и по-прежнему эксплуатируются.

Часто экономически целесообразно продолжать эксплуатацию трубопровода после превышения установленного нормами срока службы трубопровода.

Таким образом, очевидно, что в реальных условиях фактический диапазон эксплуатации трубопроводов изменяется в широких пределах, и здесь уже местные условия, материально-технические возможности предприятия ВКХ и владельца городской водопроводной сети, а также технико-экономические расчеты должны определить, продлевать ли диапазон эксплуатации путем интенсивной профилактики и текущих ремонтов или произвести реконструкцию и замену трубопровода.

В принятии такого решения, как показано в п. 4.6, важную роль играют как технический, так и экономический факторы.

Опыт эксплуатации Московского водопровода и проведенные исследования показали, что реальные сроки полезной службы труб весьма отличаются от нормативных, применительно к которым в настоящее время определяются состав и порядок технического обслуживания, ремонта и реконструкции централизованных систем водоснабжения и водоотведения городов РФ.

В Москве есть районы, где стальные трубы приходят в неработоспособное состояние уже через 7–10 лет эксплуатации — Орехово-Борисово, Крылатское, Строгино. Это вызвано тем, что здесь на срок службы трубопроводов влияет множество факторов, дестабилизирующих их надежность и экологическую безопасность и зависящих от условий их строительства и эксплуатации.

Долевое участие каждого фактора в суммарном воздействии может быть различным, установить его в реальных условиях эксплуатации практически очень трудно. Однако сумма обобщенного воздействия позволяет дать обобщенную картину необходимости модернизации городской водопроводной сети как с технических, так и с экономических позиций.

Очевидно, что при учете специфики конкретных условий эксплуатации трубопроводов и при необходимости обеспечения требуемого (заданного) уровня надежности подачи воды фактические затраты на капитальный, текущий ремонт и амортизацию не будут соответствовать нормативным, установленным для усредненных условий эксплуатации.

Поэтому планируемые в настоящее время нормативными документами сроки службы труб и соответствующие им величины амортизационных отчислений носят усредненный характер, недостаточно дифференцированы по областям применения и не отражают существующую практику эксплуатации.

При этом понятно, что любая принятая средняя норма амортизации не адекватна конкретной ситуации. Она либо превышает необходимую в случае, если реальный срок службы превышает нормируемую величину, либо недостаточна, если реальный срок службы короче. И в том, и в другом случае мы сталкиваемся с превышением затрат над требуемыми.

Заниженные сроки службы приводят к завышению амортизационных отчислений и к росту себестоимости продукции (услуг), завышенные сроки службы приводят к снижению отчислений на возобновление основных фондов и к необеспеченности финансирования к моменту их полного износа.

Выходом из сложившейся ситуации может быть применение методов, обеспечивающих адекватную оценку срока полезной службы трубопроводов, ориентированную на учет местных условий эксплуатации, оценку фактических показателей надежности участков трубопроводов, технических и экономических критериев целесообразности дальнейшей эксплуатации.

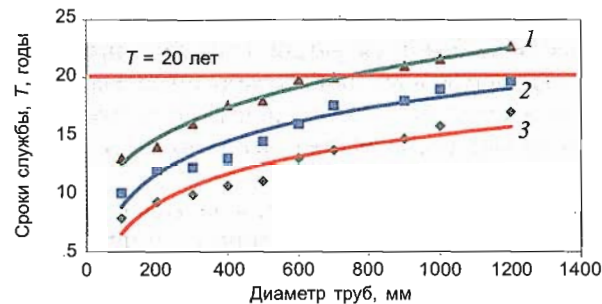
Их решение основано на использовании вышеприведенной математической модели старения и восстановления трубопроводов сетей водоснабжения города, которая позволяет путем оценки параметров функций выживания оценить характер изменения надежности трубопровода и срок полезной службы.

По уравнению (4.1) по заданному (требуемому) уровню надежности трубопроводов, используя полученные путем статистической обработки коэффициенты  $k$  и  $\omega_0$ , можно оценить величины математического ожидания и дисперсии полезного срока службы трубопровода.

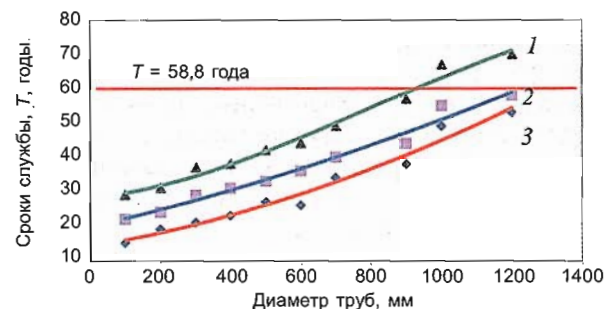
Поскольку процедура адаптации математической модели к реальным условиям эксплуатации требует значительного объема вычислений, использована программа для ЭВМ, алгоритм которой разработан совместно с проф. Д.А. Ярошевским [101]. Программа позволяет по заданному уровню надежности оценить полезный срок службы трубопроводов водопроводной сети города, определенный для реальных условий эксплуатации, и основана на оценке функций выживания трубопроводов.

Подобные расчеты проведены для всех районов водопроводной сети Москвы, что позволило оценить реальные полезные сроки службы трубопроводов Московского водопровода в зависимости от условий их эксплуатации (рис. 4.6, 4.7), а также определить поправочные коэффициенты к нормативным срокам службы труб Московского водопровода.

Такой подход не исключается действующими нормативными документами. Так, в работе [5] указано, что особенности отдельных видов производств, режим эксплуатации машин и оборудования, естественные условия и влияние агрессивной среды, которые вызывают повы-



**Рис. 4.6.** Полезные сроки службы стальных трубопроводов Московского водопровода в зависимости от условий их эксплуатации: 1 — нормальные условия эксплуатации (РВС — 2, 3, 5); 2 — усредненные условия эксплуатации (РВС — 1, 4, 10, 11); 3 — тяжелые условия эксплуатации (РВС — 9, 6, 7, 8)



**Рис. 4.7.** Полезные сроки службы чугунных трубопроводов Московского водопровода в зависимости от условий их эксплуатации: 1 — нормальные условия эксплуатации (РВС — 2, 3, 5, 10); 2 — усредненные условия эксплуатации (РВС — 1, 4, 7, 8, 11); 3 — тяжелые условия эксплуатации (РВС — 9, 6, 7)

шенный или пониженный износ основных фондов, могут учитываться с помощью применения соответствующих поправочных коэффициентов, установленных к нормам амортизационных отчислений.

Расчеты показали, например, что для стальных трубопроводов Московского водопровода, проложенных в районах, где имеет место влияние ряда дестабилизирующих надежность труб факторов, целесообразно ввести понижающий коэффициент к нормативному сроку службы,  $K = 0,65$ . Для районов с благоприятными условиями прокладки, наоборот, следует ввести повышающий коэффициент  $K = 1,2$  (начиная с  $D = 400$  мм).

Наряду с оценкой полезного срока службы трубопровода, являющегося количественной характеристикой уровня надежности его работы, программой предусмотрена оценка экономических критериев рациональной нормы амортизации. Минимальные затраты на поддер-

жание в стабильном состоянии водопроводной сети определяются программным путем методами нелинейного программирования.

Реализация модели позволяет программно формировать данные по срокам полезной службы совокупности трубопроводов данного диаметра и материала для конкретных условий эксплуатации и определить величины амортизационных отчислений, соответствующих этому сроку.

При этом задача может быть решена по трем критериям:

по заданному сроку полезной службы — с целью расчета параметров надежности и экономических показателей трубопроводов;

по требуемому уровню надежности;

по экономическому критерию оптимальности (минимуму затрат на ремонт и реновацию труб при сохранении требуемого уровня надежности).

На данном этапе по аналогии с трубопроводными системами (тепло-газоснабжения) при оценке вероятных сроков полезной службы трубопроводов городской водопроводной сети экспертно принят требуемый (принятый за норматив) уровень надежности подачи воды, соответствующий вероятности безотказной работы трубопровода, равной  $P = 0,9$ .

#### 4.3. СТРАТЕГИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕРВООЧЕРЕДНЫХ ОБЪЕКТОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ГОРОДСКОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

Вышеприведенная модель старения и восстановления трубопроводов позволяет прогнозировать общий объем восстановления (обновления) трубопроводов городской водопроводной сети. Конкретные первоочередные объекты и технология восстановления трубопроводов определяются стратегией восстановления, исходя из учета реальных условий эксплуатации, материально-технических возможностей, оценки и прогноза показателей надежности трубопроводов.

Кроме того, надо иметь в виду, что неудовлетворительное состояние коммунальных трубопроводов большинства городов РФ, ограничение финансовых ресурсов на их реновацию не позволяют в настоящее время обеспечить в полной мере требуемый объем работ по восстановлению и обновлению трубопроводов.

Поэтому в современных условиях эксплуатации трубопроводов чрезвычайно актуальна проблема выбора из общего объема самортизированных трубопроводов первоочередных объектов восстановления. К последним следует отнести объекты, которые имеют наибольший риск аварий и в ближайшее время с экономической и с технической позиций окажутся непригодными для дальнейшего нормального функционирования, т.е. потребуются их восстановление.

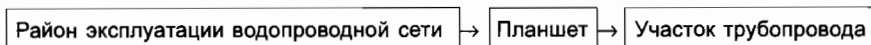
Предлагаемый алгоритм планирования восстановления трубопроводов основан на пошаговом процессе выбора из большого числа потенциальных для реабилитации участков трубопроводов некоторого ограниченного количества первоочередных (приоритетных) и состоит из двух этапов:

- определение потенциальных объектов восстановления на основе количественной оценки показателей надежности трубопроводов и сроков их полезной службы;
- определение приоритетного (первоочередного) объекта (участка трубопровода) восстановления на основе комплексной оценки и ранжирования значительного количества дестабилизирующих и косвенных факторов, влияющих на надежность и экологическую безопасность участков трубопроводов в реальных условиях эксплуатации.

Критериями выбора потенциальных объектов восстановления трубопроводов являются высокая аварийность трубопроводов (интенсивность отказов более двух в год на участке сети, ограниченном двумя колодцами) и окончание полезного срока службы.

При использовании для восстановления трубопроводов бестраншейных технологий (санация) оценивается неэффективность по технико-экономическим, социальным и экологическим факторам, месторасположению трубопровода и его роли в сети — открытой перекладки участка трубопровода.

Выбор потенциальных объектов восстановления городской водопроводной сети проводится в следующей иерархии:



и состоит из последовательной реализации следующих задач:

- формирование и анализ электронной планшетной карты аварийности трубопроводов для выбора района эксплуатации водопроводной сети и планшета с максимальной аварийностью трубопроводов;
- оценка и прогноз показателей надежности и сроков полезной службы трубопроводов;
- формирование списков потенциальных объектов восстановления — участков трубопроводов.

Второй этап заключается в выборе из числа потенциальных объектов восстановления приоритетных (первоочередных) путем оценки влияния на надежность трубопровода значительного количества технико-экономических и дестабилизирующих факторов. Их оценка и ранжирование выполняются по балльной системе на основе распределения по рангам уровня значимости с учетом минимизации ущерба (материального, экологического, социального) в случае аварийной ситуации (отказа участка трубопровода сети городского водопровода) и увеличения срока безаварийной эксплуатации участков водопроводной сети.

Опыт эксплуатации позволил установить, что к факторам влияния на уровень надежности трубопровода и, следовательно, на риск возникновения его отказа могут быть отнесены 11 факторов, ранжированных в следующей последовательности:

- 1-й ранг — наличие защиты от электрокоррозии, (наличие СКЗ), от 400 до 311 баллов;
- 2-й ранг — качественные показатели транспортируемой воды, от 310 до 261 балла;
- 3-й ранг — наличие подземных вод, от 260 до 241 балла;
- 4-й ранг — глубина заложения труб, от 240 до 211 балла;
- 5-й ранг — тип грунта; от 210 до 191 балла;
- 6-й ранг — величина давления воды, от 190 до 171 балла;
- 7-й ранг — интенсивность транспортных и пассажиропотоков, от 170 до 141 балла;
- 8-й ранг — гидравлические характеристики, от 140 до 111 балла;
- 9-й ранг — год укладки трубопровода, от 110 до 101 балла;
- 10-й ранг — плотность населения, от 100 до 11 баллов;
- 11-й ранг — диаметр трубы (толщина стенки), от 10 до 1 балла.

Влияние 11 факторов на базовый (надежность) и определение их приоритетности по балльной системе производится с помощью математической модели (теории графов) посредством составления матриц доминирования, устанавливающих общую связность (т.е. наличие или отсутствие связей вершин графа) всех элементов системы с учетом множества возможных сочленений и выявлением ранга доминирования или значимости.

При этом значимость каждого из 11 описанных факторов определяется количеством связей с подобными ему из числа перечисленных и основным фактором.

На основе установленных связей каждому из принятых в данной модели факторов (теперь элементов матрицы А) присваивается «0» или «1». Цифра «1» означает доминирование одного фактора над другим, а цифра «0» — отсутствие доминирования. В табл. 4.1 представлена математическая запись графа в виде матрицы доминирования А.

Численно степень доминирования факторов, показателей или обстоятельств определяется значимостью одного фактора над другим и определяется рангом, равным сумме элементов строки матрицы А.

Расчет матрицы доминирования А и выявление степени доминирования дестабилизирующих факторов выполняется путем подсчета сумм элементов строк итоговой матрицы в виде численных значений (баллов).

При этом каждый элемент (косвенный фактор) итоговой матрицы после операций суммирования строк приобретает соответствующее его рангу числовое (балльное) значение. Оно рассматривается как верхний предел диапазона изменения соответствующего фактора.



Таблица 4.1. Матрица доминирования А

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1  | 1  | 0  |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 1  | 1  |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 1  | 0  |

Нижним пределом диапазона изменения данного фактора будет верхний предел (значение) следующего по рангу фактора плюс 1 балл.

Таким образом, каждый фактор (показатель, обстоятельство) приобретает соответствующий ранг значимости в замкнутой системе с установленным диапазоном изменения численных значений, что позволяет провести аналогичное внутреннее ранжирование по балльной системе. Приоритетными среди выбранных на первом этапе потенциальных для проведения работ по восстановлению трубопроводов будут считаться участки сети, где суммы баллов составляют максимальные величины.

Данной процедурой завершается второй этап, который позволяет, обобщив всю имеющуюся информацию по технико-экономическим и дестабилизирующим факторам, сузить рамки исходной многофакторной задачи и выделить ограниченное число приоритетных для восстановления (т.е. неблагоприятных в экологическом, техническом, гидравлическом и надежности отношении) участков трубопроводов.

Для практической реализации алгоритма выбора потенциальных и приоритетных (первоочередных) объектов восстановления трубопроводов методами бестраншейных технологий (санации) разработано автоматизированное информационно-техническое обеспечение (система АИТС «Санация»).

#### 4.4. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВЫБОРА ПРИОРИТЕТНЫХ ОБЪЕКТОВ САНАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ

Разработанная система выбора приоритетных объектов санации трубопроводов (АИТС «Санация») является автоматизированным информационно-техническим обеспечением планирования санации трубопроводов и включает:

- электронные базы данных по эксплуатации трубопроводов (до и после санации);

- систему первичных документов (паспорта участков трубопроводов, на которых была авария, паспорта трубопроводов, с санированными участками, паспорта санации, инвентаризационные данные и др.);
- систему автоматизированной статистической обработки эксплуатационной информации для оценки и прогноза показателей надежности и сроков полезной службы участков трубопроводов;
- информационно-поисковую систему выбора потенциальных объектов санации трубопроводов;
- информационно-поисковую систему выбора приоритетных (первоочередных) объектов санации (программа «RANGE»).

Программное обеспечение системы АИТС «Санация» (рис. 4.8) разработано на основе Microsoft Visual FoxPro 3.0 и позволяет:

- по запросам пользователя автоматизировать поиск потенциальных и приоритетных объектов санации (участков трубопроводов);
- организовать паспортизацию санированных участков трубопроводов,
- автоматизировать процесс контроля за эксплуатацией трубопроводов, т.е. по конкретным запросам получать информацию об аварийности трубопроводов как до, так и после проведения работ по их санации, ранжировать трубопроводы по заданным критериям их отбора с выдачей на печать всей информации по эксплуатации трубопроводов (сводных таблиц, паспортов аварий, паспортов санации, электронных планшетных карт и т.п.).

Последовательность работы пользователя для выбора потенциальных и приоритетных объектов санации трубопроводов с использованием системы АИТС «Санация», содержание и графическое отображение полученной информации включают следующее:

1. Вызов главного меню программы АИТС «Санация» и настройку параметров расчета.
2. Активизация режимов позиции главного меню «Планшеты» — формирование для просмотра и распечатка электронной планшетной карты аварийности трубопроводов городской водопроводной сети — выбор района водопроводной сети и планшета с наибольшей аварийностью трубопроводов.
3. Активизация режима «Статистика» и позиции меню «Оценка и прогноз показателей надежности». При этом выполняется расчет показателей надежности трубопроводов проложенных в пределах выбранного РВС (для определенных материалов и диаметров труб). Результаты расчета формируются в графическом виде (см. параграф 1.4) и в виде сводной таблицы.
4. Активизация режима «На одном участке трубопровода более одного отказа в течение года» (критерий выбора числа отказов определяется пользователем), просмотр и анализ списков участков трубопроводов, ранжированных по заданному критерию количества аварий

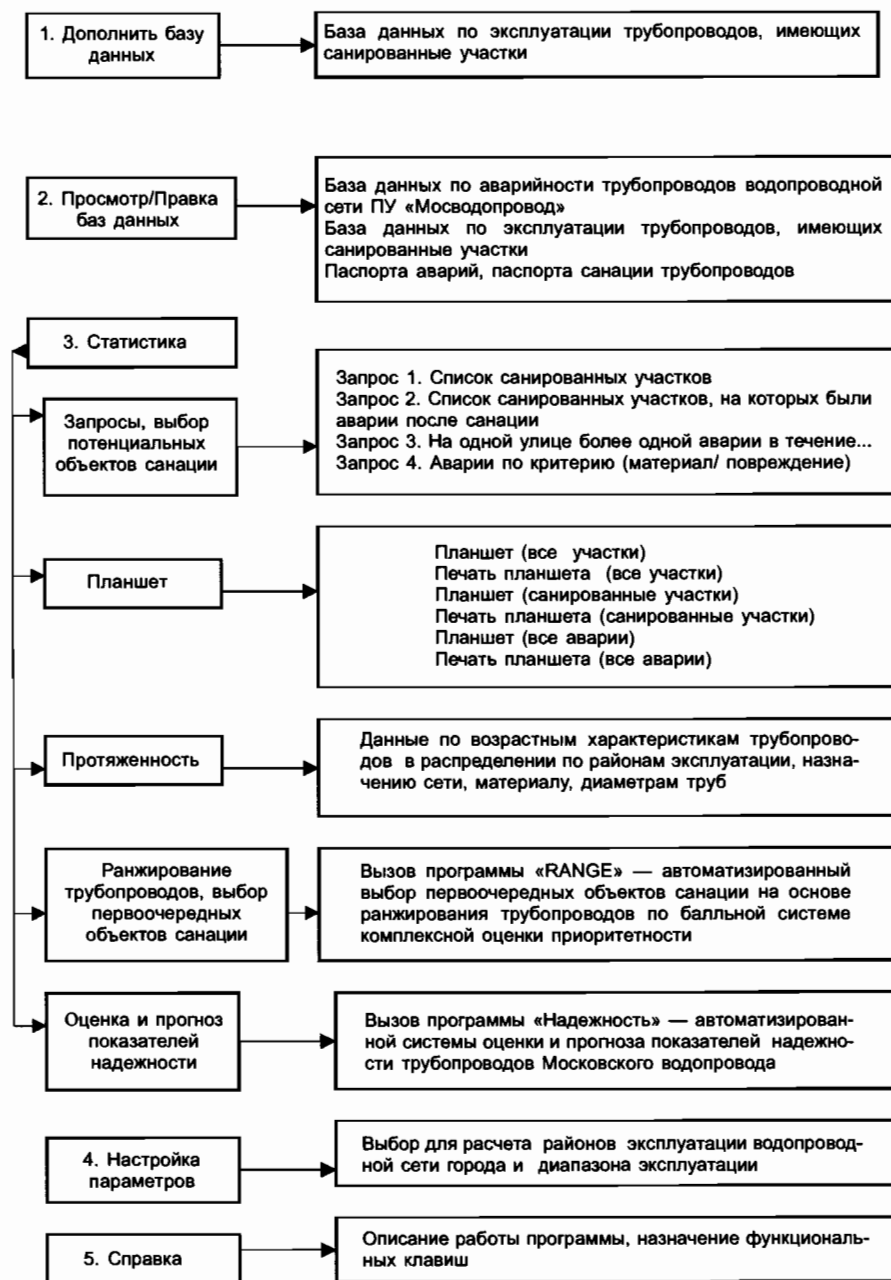


Рис. 4.8. Структура программного обеспечения системы АИТС «Санация»

на трубопроводе, проходящем по одной улице за заданный срок эксплуатации.

5. Распечатка списка трубопроводов — потенциальных объектов санации.

6. Активизация в меню «Статистика» режима «Ранжирование», при котором в появившуюся на экране монитора таблицу построчно вводятся исходные данные для рассматриваемых потенциальных объектов санации — участков водопроводной сети. Ввод информации проводится пользователем путем заполнения «Паспорта ранжирования», куда в определенной последовательности заносятся имеющаяся эксплуатационная информация и другие данные для рассматриваемых участков по 11 позициям.

После заполнения исходной информации по всем рассматриваемым участкам и занесения ее в кодированные строки на экране монитора появляется итоговая таблица ранжирования, анализ которой позволяет выбрать приоритетные объекты восстановления трубопроводов.

Для численного примера использования системы АИТС «Санация» и выбора потенциальных объектов санации трубопроводов Московского водопровода в табл. 4.2 приведены полученные в результате расчета на ЭВМ показатели надежности стальных трубопроводов Московского водопровода с истекшим сроком службы (для всех РВС).

Анализ табл. 4.2 позволил сделать вывод, что критический уровень надежности трубопроводов (наиболее высокая интенсивность отказов — аварий с раскопкой) и, соответственно, наибольший риск возникновения аварий зафиксированы:

- в 6 РВС — для совокупности трубопроводов диаметром 100 и 400 мм,
- в 1 РВС — для трубопроводов диаметром 100, 150 и 200 мм,
- в 10 и 11 РВС для трубопроводов диаметром 100 мм.

Остановимся на задаче выбора потенциальных объектов санации в РВС 1.

При активизации режима меню «Запросы» «На одном участке трубопровода более одной аварии в течение года» и выборе критерия отбора (более двух отказов в течение года на участке, ограниченном двумя колодцами) на экране монитора появляется перечень адресов и список участков трубопроводов 1 РВС с выбранными параметрами.

Анализ этого списка, а также электронной планшетной карты аварийности трубопроводов 1 РВС показал, что наибольшее число отказов (аварий с раскопкой) произошло за рассматриваемый период эксплуатации на стальных трубопроводах сети, проложенных в пределах планшетов 256, 308 333 по Украинскому бульвару, Крымскому валу, Филевскому бульвару и др. (табл. 4.3).

Эти трубопроводы и следует рассматривать как потенциальные объекты санации.

Таблица 4.2. Результаты оценки показателей надежности стальных трубопроводов Московского водопровода

| D,<br>мм | 100 |    | 150  |      | 200 |      | 250  |    | 300  |       | 400 |      | 500  |    | 600  |      |    |      |      |    |      |      |    |      |
|----------|-----|----|------|------|-----|------|------|----|------|-------|-----|------|------|----|------|------|----|------|------|----|------|------|----|------|
|          | W   | P  | W    | P    | W   | P    | W    | P  | W    | P     | W   | P    | W    | P  | W    | P    |    |      |      |    |      |      |    |      |
| РВС      | W   | P  | W    | P    | W   | P    | W    | P  | W    | P     | W   | P    | W    | P  | W    | P    |    |      |      |    |      |      |    |      |
| 1        | 1,4 | 81 | 0,24 | 1,12 | 64  | 0,32 | 2    | 83 | 0,13 | 0,33  | 75  | 0,72 | 0,4  | 64 | 0,67 | 0,5  | 77 | 0,61 | 0,22 | 50 | 0,8  | 0,1  | 29 | 0,9  |
| 2        | 0,4 | 72 | 0,67 | 0,4  | 68  | 0,67 | 0,43 | 85 | 0,65 | 0,27  | 94  | 0,76 | 0,16 | 79 | 0,85 | 0,74 | 60 | 0,48 | 3,66 | 67 | 0,03 | 1,4  | 90 | 0,2  |
| 3        | 0,7 | 83 | 0,5  | 0,45 | 63  | 0,64 | 0,26 | 92 | 0,77 | 0,22  | 93  | 0,8  | 0,08 | 74 | 0,92 | 0,26 | 44 | 0,77 | 0,12 | 60 | 0,89 | 0,1  | 67 | 0,9  |
| 4        | 0,9 | 36 | 0,41 | 0,8  | 21  | 0,45 | 0,22 | 30 | 0,8  | 0,2   | 80  | 0,82 | 0,14 | 29 | 0,87 | 0,75 | 13 | 0,47 | 0,45 | 35 | 0,64 | —    | —  | —    |
| 5        | 0,6 | 57 | 0,55 | 0,33 | 41  | 0,72 | 0,07 | 56 | 0,93 | 0,08  | 88  | 0,92 | 0,08 | 58 | 0,92 | 0,3  | 39 | 0,74 | —    | —  | —    | —    | —  | —    |
| 6        | 1,0 | 29 | 0,37 | 0,36 | 26  | 0,7  | 0,08 | 42 | 0,92 | 0,05  | 68  | 0,95 | 0,11 | 43 | 0,9  | 1,35 | 39 | 0,26 | 0,5  | 52 | 0,61 | 0,2  | 17 | 0,8  |
| 7        | 0,9 | 49 | 0,41 | 0,67 | 41  | 0,5  | 0,8  | 43 | 0,45 | 0,198 | 59  | 0,82 | 0,19 | 39 | 0,83 | 0,29 | 20 | 0,75 | 0,11 | 29 | 0,9  | 0,03 | 11 | 0,97 |
| 8        | 0,9 | 65 | 0,41 | 0,68 | 45  | 0,51 | 0,36 | 67 | 0,7  | 0,08  | 59  | 0,92 | 0,16 | 54 | 0,85 | 0,23 | 22 | 0,79 | 0,83 | 41 | 0,44 | 0,04 | 50 | 0,96 |
| 9        | 0,3 | 71 | 0,74 | 1,1  | 55  | 0,33 | 0,9  | 64 | 0,41 | 0,283 | 61  | 0,75 | 0,13 | 45 | 0,88 | 0,34 | 31 | 0,71 | 0,35 | 38 | 0,7  | 0,1  | 7  | 0,9  |
| 10       | 1,2 | 55 | 0,3  | 0,68 | 33  | 0,51 | 0,25 | 35 | 0,78 | 0,13  | 33  | 0,87 | 0,14 | 45 | 0,87 | 0,15 | 9  | 0,86 | 0,12 | 15 | 0,89 | 0,03 | 17 | 0,9  |
| 11       | 1,0 | 73 | 0,37 | 0,53 | 50  | 0,59 | 0,24 | 88 | 0,77 | 0,2   | 66  | 0,82 | 0,15 | 83 | 0,86 | 0,25 | 61 | 0,78 | 0,28 | 78 | 0,76 | 0,1  | 83 | 0,9  |

Условные обозначения: D — диаметр труб; W — интенсивность отказов, 1/год·км (риск возникновения отказов — аварий с раскопкой); % — процент отказавших участков (аварийность, %); P — уровень надежности.

Условные обозначения: D — диаметр труб; W — интенсивность отказов, 1/год·км (риск возникновения отказов — аварий с раскопкой); % — процент отказавших участков (аварийность, %); P — уровень надежности.

Таблица 4.3. Список адресов участков стальных трубопроводов Московского водопровода — потенциальных объектов санации (РВС № 1)

| Адрес               | Диаметр труб, мм | Номера колодцев | План-шет | Год укладки | Количество отказов (аварий с раскопкой) в год |
|---------------------|------------------|-----------------|----------|-------------|-----------------------------------------------|
| Мосфильмовская, 15  | 300              | 65362—65360     | 374      | 1970        | 2                                             |
| Довженко, 1         | 200              | 63088—63089     | 351      | 1950        | 2                                             |
| Бережковская наб.1. | 300              | 14556—19457     | 329      | 1949        | 2                                             |
| Филевский б-р, 13   | 400              | 82585—82591     | 256      | 1983        | 4                                             |
| Филевский б-р, 13   | 400              | 82585—82591     | 256      | 1983        | 4                                             |
| Филевский б-р, 11   | 600              | 82578—82577     | 257      | 1976        | 2                                             |
| Неглинная, 16       | 300              | 138—139         | 265      | 1950        | 2                                             |
| Крымский вал, 10    | 300              | 64530—64529     | 333      | 1973        | 4                                             |
| Крымский вал, 10    | 300              | 64518—14194     | 333      | 1969        | 4                                             |
| Украинский б-р, 13  | 400              | 7539—8470       | 308      | 1967        | 8                                             |

Дальнейшая задача заключается в выборе среди выявленных на первом этапе приоритетного (первоочередного) объекта санации.

Для этого необходимо активизировать в меню «Статистика» позицию «Ранжирование», т.е. вызвать программу «RANGE», и внести в «Паспорт ранжирования» в определенной последовательности требуемую эксплуатационную информацию и другие данные для рассматриваемых участков по 11 позициям.

После заполнения поступающей информации по всем рассматриваемым участкам и занесения ее в кодированные строки на экране монитора появляется итоговая таблица исходной информации, которая может быть представлена в виде табл. 4.4.

В результате для данного примера в качестве приоритетного для санации признан участок, ограниченный колодцами 7539 и 8470, как участок с максимальным количеством баллов — 2099. Участок расположен на Украинском бульваре, дом 13 (1 РВС, планшет № 308, диаметр стальной трубы 400 мм, укладка 1972 г.). Окончательное решение о необходимости санации принимается специалистами на основе результатов теледиагностики и технико-экономического обоснования целесообразности выполнения работ по восстановлению данного участка трубопровода.

Такая стратегия планирования восстановления трубопроводов, на наш взгляд, является универсальной, позволяет получить всю информацию, необходимую для обоснованного выбора первоочередных объектов восстановления труб, и может быть использована для формирования конкретного плана восстановления трубопроводов городской водопроводной сети.

Система АИТС «Санация» может эффективно использоваться и для контроля за эксплуатацией трубопроводов городской водопро-



водной сети (до и после санации), анализа аварийности и формирования архива эксплуатации. Для этого по запросу пользователя программно формируется для просмотра, анализа и выдачи на печать соответствующая эксплуатационная информация, которая может быть получена как для отдельного РВС, так и для выбранного планшета или трубопровода, а именно:

- база данных по эксплуатации трубопроводов до и после санации;
- паспорта аварий конкретных участков трубопроводов;
- списки участков трубопроводов, ранжированных по выбранным критериям (количество аварий за определенный срок, материал, диаметр труб, год укладки и т.п.);
- результаты оценки и прогноза показателей надежности трубопроводов;
- электронные планшетные карты аварийности трубопроводов и месторасположения санированных участков трубопроводов.

Система АИТС «Санация» внедрена на Московском водопроводе и нормативно закреплена отраслевым документом в виде «Положения о санации трубопроводов водопроводных и водоотводящих сетей» [55].

#### 4.5. МЕТОДИКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ВАРИАНТОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Проведенные совместно с проф. М.А. Сомовым исследования показали, что при выборе вариантов обеспечения надежности трубопроводов в условиях эксплуатации важную роль играют как технические, так и экономические и экологические факторы.

Экономическая целесообразность эксплуатации трубопровода определяется окончанием экономического срока службы, за пределами которого расходы на эксплуатацию участка трубопровода превышают возможные расходы на его реновацию (перекладку или санацию), а уровень надежности не соответствует требуемому или принятому за норматив.

Техническая целесообразность эксплуатации участка трубопровода в его существующем состоянии определяется окончанием технического срока службы, при котором его техническое состояние, прочностные и гидравлические параметры и показатели качества транспортируемой воды являются недостаточными и не соответствуют требуемым или принятым за норматив.

С позиций экологических требований экологическая безопасность трубопроводов рассматривается как условие, при котором в режиме активного функционирования в пределах заданной наработки (нормативного срока службы) не наступят предельные состояния собственно трубопровода и окружающей среды [64, 80].

Таблица 4.4. Кодированная итоговая информация для потенциальных объектов санации трубопроводов

| Балл | № колодезь  | Условия эксплуатации и дестабилизирующие факторы, баллы |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|------|-------------|---------------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
|      |             | 1                                                       | 2а | 2б | 2в | 2г | 2д | 2е | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 2099 | 7539—8470   | 2                                                       | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 | 2 | 4 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1  | 1  |
| 2069 | 6212—7539   | 2                                                       | 2  | 2  | 1  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1  | 1  |
| 2037 | 2113—2888   | 2                                                       | 2  | 2  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  |
| 2024 | 1939—4828   | 2                                                       | 2  | 2  | 1  | 1  | 2  | 2  | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  |
| 2088 | 82596—37197 | 2                                                       | 1  | 1  | 1  | 1  | 2  | 2  | 1 | 1 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  |
| 2043 | 1939—7093   | 2                                                       | 2  | 2  | 1  | 2  | 1  | 1  | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  |
| 2055 | 2888—2232   | 2                                                       | 3  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  |
| 2086 | 64530—64529 | 2                                                       | 1  | 1  | 1  | 2  | 2  | 2  | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1  | 1  |
| 2085 | 88411—24418 | 2                                                       | 1  | 1  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1  | 1  |
| 2094 | 84375—84379 | 2                                                       | 1  | 1  | 1  | 1  | 2  | 2  | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  |

В современных условиях эксплуатации при реализации стратегии восстановления трубопроводов возможны два варианта принятия решения по дальнейшей эксплуатации трубопроводов: первый предусматривает вкладывание дополнительных средств (при старых значениях отчислений на все виды ремонта) на поддержание работоспособности трубопровода при сниженных значениях уровня надежности; второй предусматривает возможность перекладки трубопровода, эксплуатация которого в прежнем виде стала экономически нецелесообразна, или проведение специальных работ по его восстановлению (санации) с целью обеспечения требуемого уровня надежности.

В соответствии с существующими нормативными документами показателем наилучшего варианта является минимум приведенных затрат [47].

$$\Pi_{\text{пр}} = \Pi_c / T_{\text{ок}} + \Pi_{\text{эк}} \rightarrow \text{минимум.} \quad (4.13)$$

Приведенные затраты  $\Pi_{\text{пр}}$  по каждому варианту представляют собой сумму текущих затрат (эксплуатационных расходов  $\Pi_{\text{эк}}$ ) и единовременных затрат (капитальных вложений  $\Pi_c$ ), приведенных к одинаковой размерности в соответствии с нормативной эффективностью капитальных вложений  $E$  или нормативным сроком окупаемости капитальных вложений  $T_{\text{ок}}$ . Для возможности проведения такого сравнения необходимо сопоставление величины приведенных затрат.

При проведении этих расчетов предполагается, что городская водопроводная сеть запроектирована правильно по выбору диаметров труб, т.е. она соответствует оптимальным расходам воды, транспортируемым по рассматриваемым трубопроводам. Отличие расходов от оптимальных будет приводить к увеличению эксплуатационных расходов, что в свою очередь приведет к увеличению составляющих приведенных затрат.

Пологость функционала приведенных расходов в области применения каждого трубопровода рассматриваемых диаметров позволяет с достаточной для практических расчетов точностью пренебречь этим увеличением. Для придания универсальности оценки эффективности того или иного варианта по поддержанию работоспособности городской водопроводной сети (при заданном уровне надежности и соответствующего ему оптимального срока службы трубопроводов) величины, входящие в формулу приведенных затрат, должны быть представлены в аналитическом виде.

Так, стоимость строительства единицы длины трубопровода диаметром  $d$  может быть выражена для расчетов приведенных затрат в аналитическом виде эмпирической формулой:

$$C = a + bd^\alpha. \quad (4.14)$$

где  $a, b$  — коэффициенты, их значения зависят от вида труб, глубины их укладки, вида грунта, наличия грунтовых вод, способа укладки и т.п.

Анализ стоимости трубопроводов показал, что изменение условий строительства в основном сказывается на величине  $a$ , значение коэффициента  $b$  при этом изменяется незначительно. Этот коэффициент зависит главным образом от вида, класса и прочности труб. Для установления указанной зависимости используется единичная стоимость прокладки трубопроводов при существующем уровне цен применительно к местным условиям. Для проведения технико-экономических расчетов удобно, чтобы стоимостные зависимости каждого вида труб всех классов имели постоянный показатель  $\alpha$ . Это упрощает учет стоимости отдельных элементов строительства, а также влияние на нее конкретных условий эксплуатации трубопровода и позволяет учитывать изменение цен на различные виды работ и материалы путем введения соответствующих поправочных коэффициентов.

Кроме того, для удобства проведения расчетов целесообразно, чтобы формула стоимости труб охватывала весь сортамент каждого класса труб. Анализ данных стоимости труб показал, что на современном этапе, несмотря на постоянное изменение цен, показатель степени  $\alpha$  независимо от условий укладки и класса можно принимать постоянным для каждого вида труб. Все изменения, связанные с ценообразованием, можно учитывать путем изменения коэффициентов  $a$  и  $b$ .

Основными составляющими эксплуатационных затрат  $\Pi_{\text{эк}}$ , зависящих от диаметра труб и арматуры, являются расходы  $\Pi_3$  по оплате затрат энергии, вызываемых потерями напора в трубопроводах сети, а также расходы по оплате амортизационных отчислений, капитального и текущего ремонтов  $\Pi_a$ :

$$\Pi_{\text{эк}} = \Pi_3 + \Pi_a. \quad (4.15)$$

Расходы по ремонту (капитальному и текущему) принимаются пропорционально стоимости строительства:

$$\Pi_a = \frac{R_1 + R_2}{100} C, \quad (4.16)$$

где  $R_1$  — сумма амортизационных отчислений и отчислений на капитальный ремонт, % от строительной стоимости;  $R_2$  — отчисления на текущий ремонт сети, % от строительной стоимости. Используя формулу (4.16) величину  $\Pi_a$  можно представить в виде:

$$\Pi_a = \frac{R_1 + R_2}{100} a + \frac{R_1 + R_2}{100} bd^\alpha. \quad (4.17)$$

При известном сроке окупаемости приведенная строительная стоимость составит:

$$\frac{C}{T_{\text{ок}}} = \frac{a}{T_{\text{ок}}} + \frac{b}{T_{\text{ок}}} d^\alpha \quad (4.18)$$

Тогда:

$$\begin{aligned} \Pi_{np} &= \frac{C}{T_{ок}} + \Pi_{эк} = \frac{C}{T_{ок}} + \Pi_{э} + \Pi_a = \\ &= \frac{C}{T_{ок}} + \frac{R_1 + R_2}{T_{ок}} C + \Pi_{э} = C \left( \frac{1}{T_{ок}} + R \right) + \Pi_{э}, \end{aligned} \quad (4.19)$$

где  $R = R_1 + R_2$

Для определения расхода по оплате затрат энергии необходимо знать затраты энергии  $E$ , вызываемые потерями напора на участке городской водопроводной сети. Далее с достаточной для практических целей точностью будем рассматривать каждый участок трубопровода как независимо работающую от всех остальных участков сети линию. Тогда затраты энергии  $E$  в каждой линии составят:

$$E = 10^3 k \frac{q^{(n+1)}}{d^m} = qh, \quad (4.20)$$

где  $q$  — расход, транспортируемый по рассматриваемому участку трубопровода, л/с;  $h$  — потеря напора в этой линии на единицу длины, м:

$$h = k \frac{q^n}{d^m}. \quad (4.21)$$

Средний годовой расход энергии, вызываемый потерями напора на единицу длины рассматриваемого трубопровода, может быть выражен формулой:

$$E_r = \gamma \frac{8760}{102\eta} 10^3 k \frac{q^{(n+1)}}{d^m}, \quad (4.22)$$

здесь  $\gamma$  — коэффициент неравномерности затрат энергии, зависящий от неравномерности водопотребления и режима работы системы подачи и распределения воды в течение года; 8760 — число часов в году (для непрерывно работающего трубопровода); 102 — коэффициент перехода от кгм/с к кВт.;  $\eta$  — КПД насосных агрегатов.

При стоимости электроэнергии  $\sigma$  годовые эксплуатационные затраты будут составлять:

$$\Pi_{эк} = \sigma E_r = \frac{8760}{102} 10^3 \frac{\gamma \sigma k}{\eta} \frac{q^{(n+1)}}{d^m}. \quad (4.23)$$

С учетом вышеизложенного суммарная приведенная годовая стоимость единицы длины трубопровода может быть представлена следующим выражением:

$$\begin{aligned} \Pi_{np} &= \frac{C}{T_{ок}} + \Pi_a + \Pi_{эк} = \frac{C}{T_{ок}} + \left( \frac{R_1 + R_2}{100} \right) \left( a + b d^\alpha \right) + \frac{8760}{102} 10^3 \frac{\gamma \sigma k}{\eta} \frac{q^{(n+1)}}{d^m} = \\ &= \left( \frac{R_1 + R_2}{100} + \frac{1}{T_{ок}} \right) \left( a + b d^\alpha \right) + \frac{8760}{102} 10^3 \frac{\gamma \sigma k}{\eta} \frac{q^{(n+1)}}{d^m}, \end{aligned} \quad (4.24)$$

Как указывалось выше, при расчетах принимается, что на стадии проектирования диаметры труб соответствуют оптимальным расходам. Тогда расходы, транспортируемые по рассматриваемому трубопроводу, соответствуют оптимальным диаметрам, т.е. отвечающих минимуму приведенных затрат. Если приравнять к нулю первую производную  $\Pi_{np}$  по  $d$ , то она оказывается одночленом. Это позволяет не только получить простую формулу оптимального диаметра труб, но и представить переменную (зависящую от диаметра) часть приведенной стоимости (приведенных затрат) также в виде одночлена.

Переменная часть приведенных годовых затрат  $\Pi_{np}$  на единицу длины трубопровода оптимального диаметра, отвечающая их минимуму, может быть представлена выражением:

$$\Pi'_{np} = \frac{8760}{102} 10^3 \frac{\gamma \sigma k}{\eta} \Xi^{\frac{-m}{\alpha+m}} \left( 1 + \frac{m}{\alpha} \right) q^{\frac{\alpha(n+1)}{\alpha+m}}. \quad (4.25)$$

Если принять, что  $\frac{8760}{102} 10^3 \frac{\gamma \sigma}{\eta} = A$ , то

$$\text{То } \Pi'_{np} = A k \Xi^{\frac{-m}{\alpha+m}} \left( 1 + \frac{m}{\alpha} \right) q^{\frac{\alpha(n+1)}{\alpha+m}}, \quad (4.26)$$

где  $\Xi = \frac{m\beta}{ab}$ ,  $\beta = \frac{kA}{\frac{1}{T_{ок}} + \frac{R_1+R_2}{100}}$ .

Полная приведенная стоимость (приведенные затраты) на единицу длины трубопровода оптимального диаметра при транспортировании расхода  $q$  может быть представлена двучленом, в котором первый член постоянная величина:

$$\Pi_{np} = \left( \frac{1}{T_{ок}} + \frac{R_1 + R_2}{100} \right) a + A k \Xi^{\frac{-m}{\alpha+m}} \left( 1 + \frac{m}{\alpha} \right) q^{\frac{\alpha(n+1)}{\alpha+m}}. \quad (4.27)$$

Однако, как указывалось, постоянная часть приведенной стоимости не влияет на величину оптимального диаметра. Поскольку дальнейшая сопоставительная оценка целесообразности осуществления тех или иных мероприятий по повышению надежности трубопровода проводится из условия оптимальности принятых диаметров, то постоянная часть приведенной стоимости может не учитываться. Ее учет необходим, если сравниваются трубы разных видов, имеющих стоимостные зависимости:  $C = a + b d^\alpha$ , отличающиеся как значениями  $\alpha$ , так и  $R_1$  и  $R_2$ .

Если значениям величин, входящих в формулу приведенных затрат, относящихся к трубам с исходными параметрами (уложенными и эксплуатируемыми), присвоить индекс «0», то соотношение переменных составляющих полной стоимости «исходных» трубопроводов и



трубопроводов, восстановленных в том или ином виде, может быть представлено как:

$$\frac{\Pi'_{np.o}}{\Pi'_{np}} = \frac{A_0 k_0 \mathfrak{E}^{\frac{-m_0}{\alpha_0+m_0}} \left(1 + \frac{m_0}{\alpha_0}\right) q^{\frac{\alpha_0(n_0+1)}{\alpha_0+m_0}}}{A k \mathfrak{E}^{\frac{-m}{\alpha+m}} \left(1 + \frac{m}{\alpha}\right) q^{\frac{\alpha(n+1)}{\alpha+m}}}.$$

Тогда соотношение полной приведенной стоимости трубопроводов будет иметь вид:

$$\frac{\Pi_{np.o}}{\Pi_{np.}} = \frac{\left(\frac{1}{T_{ок}} + \frac{R_{I_0} + R_{2_0}}{100}\right) a_0 + \Pi'_{np.o}}{\left(\frac{1}{T_{ок}} + \frac{R_I + R_2}{100}\right) a + \Pi'_{np.}}. \quad (4.28)$$

Это соотношение позволит дать оценку эффективности тех или иных мероприятий по повышению надежности и экологической безопасности трубопроводов в зависимости от условия поставленной задачи, т.е. обладает свойством универсальности. Учитывая, что для сети, подвергающейся той или иной реконструкции, величины  $\gamma, \sigma, \eta$

одинаковы, соотношение  $\frac{\Pi'_{np.o}}{\Pi'_{np.}}$  может быть представлено в виде:

$$\frac{\Pi'_{np.o}}{\Pi'_{np.}} = \frac{k_0 \left(\frac{m_0 \beta_0}{\alpha_0 b_0}\right)^{\frac{-m_0}{\alpha_0+m_0}} \left(1 + \frac{m_0}{\alpha_0}\right) q^{\frac{\alpha_0(n_0+1)}{\alpha_0+m_0}}}{k \left(\frac{m \beta}{\alpha b}\right)^{\frac{-m}{\alpha+m}} \left(1 + \frac{m}{\alpha}\right) q^{\frac{\alpha(n+1)}{\alpha+m}}}. \quad (4.29)$$

Аппроксимируя формулы потерь напора и стоимости трубопроводов, с достаточной для практических целей точностью можно выбрать такие значения  $k$  и  $b$ , при которых  $\alpha = \alpha_0$ ,  $m = m_0$  и  $n = n_0$ . Тогда соотношение (4.29) будет иметь вид:

$$\frac{\Pi_{np.o}}{\Pi_{np.}} = \left(\frac{k_0}{k}\right)^{\frac{\alpha}{\alpha+m}} \left[ \frac{\left(\frac{1}{T_{ок}} + \frac{R_{I_0} + R_{2_0}}{100}\right) b_0}{\left(\frac{1}{T_{ок}} + \frac{R_{I_0} + R_{2_0}}{100}\right) b} \right]^{\frac{m}{\alpha+m}}. \quad (4.30)$$

Очевидно, что момент, с которого можно рассматривать целесообразность проведения мероприятий по обеспечению требуемой надежности трубопровода, отвечает соотношению  $\frac{\Pi_{np.o}}{\Pi_{np.}} = 1$ , т.е.:

$$\left(\frac{k_0}{k}\right)^{\frac{\alpha}{\alpha+m}} \left[ \frac{\left(\frac{1}{T_{ок}} + \frac{R_{I_0} + R_{2_0}}{100}\right) b_0}{\left(\frac{1}{T_{ок}} + \frac{R_{I_0} + R_{2_0}}{100}\right) b} \right]^{\frac{m}{\alpha+m}} = 1. \quad (4.31)$$

Следовательно, осуществление тех или иных мероприятий по обеспечению надежности и экологической безопасности трубопроводов становится экономически целесообразно, если

$$\left(\frac{k_0}{k}\right) > \left[ \frac{\left(\frac{1}{T_{ок}} + \frac{R_{I_0} + R_{2_0}}{100}\right) b_0}{\left(\frac{1}{T_{ок}} + \frac{R_I + R_2}{100}\right) b} \right]. \quad (4.32)$$

Рассмотрение указанного соотношения показывает, как эффективность проведения тех или иных мероприятий по обеспечению требуемой надежности трубопровода в конкретной ситуации зависит от гидравлических и «стоимостных» факторов. Величины, определяющие эти факторы, могут быть изменены путем введения поправочных коэффициентов, учитывающих конкретные условия эксплуатации трубопроводов. С применением этой методики можно решать различные типы задач, связанные с изменением срока службы трубопроводов.

К первому типу задач следует отнести проблему оценки проведения тех или иных мероприятий по обеспечению надежности и экологической безопасности трубопровода, срок службы которого достиг нормативного. В этом случае решается задача целесообразности дальнейшей его эксплуатации без проведения каких-либо восстановительных работ или перекладки «старого» трубопровода на новый. При этом не учитываются требования по обеспечению заданного уровня надежности подачи воды по трубопроводу.

Ко второму виду задач относится проблема оценки проведения тех же мероприятий, но при соблюдении заданного (требуемого) уровня надежности.

Следует отметить, что рассмотрение указанных задач, кроме первой, отличается от реально существующей практики, когда фонд отчислений на все виды, поддерживающий трубопроводы в работоспособном состоянии, реализуется по нормативным положениям. Причем вся сумма отчислений на их проведение обезличена и относится ко всей системе в целом. При этом критерии оценки необходимых затрат на проведение тех или иных работ оцениваются в оперативном порядке по мере возникновения аварий и их интенсивности без учета конк-

ретных условий эксплуатации и строительства и обоснования уровня надежности, а также реального срока службы трубопровода.

При решении задач первого типа необходимо сопоставить затраты, связанные с эксплуатацией существующего трубопровода, со стоимостью строительства и эксплуатации вновь построенного трубопровода [133]. В этой ситуации для первого варианта затрат на новое строительство нет, и поэтому годовая приведенная стоимость равна эксплуатационным затратам:

$$\Pi_{np.o} = \frac{8760}{102} \cdot \frac{\gamma \sigma k_o}{\eta} \cdot \frac{q^{(n+1)}}{d^m} 10^3, \quad (4.33)$$

где  $k_o$  — коэффициент в формуле потерь напора:  $h = k \cdot \frac{q^n}{d^m}$  на момент окончания нормативного срока.

Учитывая, что

$$d_{onm} = \Delta^{\alpha+m} q^{\alpha+m}, \quad (4.34)$$

получим

$$\Pi_{np.o} = Ak \left( 1 + \frac{m}{\alpha} \right) \Delta^{\alpha+m} q^{\alpha+m} \frac{-m}{\alpha(n+1)}. \quad (4.35)$$

Для вновь прокладываемого участка трубопровода переменная часть приведенных годовых затрат  $\Pi'_{np.}$ , как указывалось выше, составит:

$$\Pi'_{np.} = Ak \Delta^{\alpha+m} \left( 1 + \frac{m}{\alpha} \right) q^{\alpha+m} \frac{\alpha(n+1)}{-m}, \quad (4.36)$$

где  $k$  — коэффициент в формуле потерь напора во вновь прокладываемом вместо старого трубопроводе. В приведенных выражениях

$$A = A_o \frac{8760}{102} 10^3 \frac{\gamma \sigma}{\eta}. \quad (4.37)$$

Соотношение величин приведенных затрат имеет вид:

$$\frac{\Pi'_{np.o}}{\Pi'_{np.}} = \left( \frac{\alpha}{\alpha+m} \right) \left( \frac{k_o}{k} \right) \frac{\Delta^{\alpha+m} q^{\alpha+m} \frac{-m}{\alpha(n+1)}}{\Delta^{\alpha+m} q^{\alpha+m} \frac{\alpha(n+1)}{-m}}. \quad (4.38)$$

Здесь, как указывалось ранее

$$\Delta = \frac{m\beta}{\alpha b}; \quad \alpha = \alpha_o, m = m_o, n = n_o.$$

Произведя необходимые преобразования, получим:

$$\frac{\Pi'_{np.o}}{\Pi'_{np.}} = \left( \frac{\alpha}{\alpha+m} \right) \left( \frac{k_o}{k} \right)^{\alpha+m} \left( \frac{b_o}{b} \right)^{\alpha+m} \frac{\left( \frac{1}{T_{ок}} + \frac{R_{10}+R_{20}}{100} \right)^{\frac{m}{\alpha+m}}}{\left( \frac{1}{T_{ок}} + \frac{R_1+R_2}{100} \right)^{\frac{m}{\alpha+m}}}. \quad (4.39)$$

Соотношение величин  $\Pi'_{np.o}$  и  $\Pi_{np.o}$  позволяет судить об эффективности одного из них. Если  $\Pi'_{np.o} = \Pi_{np.o}$ , т.е.  $\frac{\Pi'_{np.o}}{\Pi_{np.}}$ , то должно соблюдаться следующее условие:

$$\left( \frac{\alpha}{\alpha+m} \right)^{\alpha+m} \left( \frac{k_o}{k} \right)^{\alpha} \left( \frac{b_o}{b} \right)^m \frac{\left( \frac{1}{T_{ок}} + \frac{R_o}{100} \right)^m}{\left( \frac{1}{T_{ок}} + \frac{R}{100} \right)^m} = 1, \quad (4.40)$$

где  $R = R_1 + R_2$ .

Если эта величина будет больше единицы, то с точки зрения экономической и технологической целесообразности трубопровод следует переложить, если меньше единицы, то возможна дальнейшая эксплуатация. Значения  $k$  и  $k_o$  берутся на основе фактических данных о гидравлическом сопротивлении труб или опыта эксплуатации рассматриваемой системы трубопроводов городской водопроводной сети.

Коэффициенты  $b_o$  и  $b$  — см. формулу (4.14), описывающую стоимостные зависимости строительства уложенного и вновь строящегося трубопровода. При определении отчислений на амортизацию:  $R_o = R_{1o} + R_{2o}$  необходимо учитывать срок службы.

В первом варианте, предусматривающим нормативный срок службы, стоимость основных производственных фондов теоретически должна быть равна 0. Тогда  $R_o$  не должно оказывать влияние на результаты расчета. В реальной практике плата за эти фонды все равно осуществляется при действующих нормативах отчислений на амортизацию. Что касается отчислений для вновь прокладываемого трубопровода, то они принимаются по действующим нормативам [5].

При решении задач второго вида также можно воспользоваться рассмотренными соотношениями. Отличительной особенностью этого расчета является то, что значения  $R_o$  должны приниматься не по нормативным данным, а в результате оценки полезного срока службы трубопровода, соответствующего фактическому уровню надежности его работы.

При решении задач по выбору метода повышения надежности и экологической безопасности трубопровода, когда срок его эксплуата-

ции меньше нормативного срока, также может возникнуть проблема решения задачи: перекладка трубопровода либо его восстановление.

В этом случае в формулу стоимости (4.14) должен вводиться поправочный (большой 1) коэффициент  $Q$ , учитывающий необходимость проведения этих работ. Этот коэффициент учитывает особенности капитальных вложений при реконструкции объектов и определяется на основе отраслевой методики по составлению технико-экономической части проектов систем водоснабжения [82].

Этой методикой предусматривается учет капиталовложений по новым сооружениям (замена трубопроводов, работы по восстановлению пропускной способности и т.д.), которые дополняют или заменяют «списываемый» трубопровод, а также стоимость «недоамортизируемой» части восстанавливаемого трубопровода, «списываемого» на уничтожение. Его определение не представляет каких-либо затруднений при наличии системы учета технико-экономических показателей трубопроводов городской водопроводной сети. Для оценки экономической целесообразности восстановления пропускной способности трубопровода (например, методом санации) по отношению к его перекладке можно использовать соотношение:

$$\left(\frac{k_o}{k}\right) > \left(\frac{Q \cdot b}{Q_o \cdot b_o}\right)^{\frac{m}{\alpha}} \left[ \frac{\left(\frac{1}{T_{ок}} + \frac{R_1 + R_2}{100}\right)}{\left(\frac{1}{T_{ок}} + \frac{R_{1o} + R_{2o}}{100}\right)} \right]^{\frac{m}{\alpha}}. \quad (4.41)$$

Так как условия, при которых проводятся сопоставление вариантов по данному варианту практически одинаковы, то сомножитель

$$\frac{\left(\frac{1}{T_{ок}} + \frac{R_1 + R_2}{100}\right)}{\left(\frac{1}{T_{ок}} + \frac{R_{1o} + R_{2o}}{100}\right)} = 1.$$

$$\text{Тогда } \left(\frac{k_o}{k}\right)^{\alpha} > \left(\frac{Q \cdot b}{Q_o \cdot b_o}\right)^m. \quad (4.42)$$

В этом соотношении с индексом «о» принят вариант восстановления пропускной способности без перекладки участка трубопровода, а без индекса — восстановление требуемой надежности трубопровода путем его перекладки на новый.

В этом случае, если

$$\left(\frac{k_o}{k}\right)^{\alpha} \cdot \left(\frac{Q \cdot b}{Q_o \cdot b_o}\right)^m > 1, \quad (4.43)$$

то, очевидно, что предпочтительней становится вариант по восстановлению пропускной способности, в противном случае эффективна перекладка трубопровода.

Если оценивается вариант перекладки или восстановления трубопровода по отношению к его существующему состоянию, то необходимо учитывать множитель:

$$\frac{\left(\frac{1}{T_{ок}} + \frac{R_1 + R_2}{100}\right)}{\left(\frac{1}{T_{ок}} + \frac{R_{1o} + R_{2o}}{100}\right)}, \quad (4.44)$$

Значения  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_{1o}$ ,  $R_{2o}$  принимаются в соответствии с вышеописанными рекомендациями.

Решения по указанной методике носят прогнозный характер возможных и целесообразных мероприятий по поддержанию системы трубопроводов в работоспособном состоянии при предъявлении различных требований к надежности их функционирования и могут быть использованы для оценки ориентировочных затрат на проведение тех или иных мероприятий.

Как видно из изложенного, целый ряд показателей, определяющих эффективность работы системы, из-за равнозначности их влияния на работу системы не требует знания их численных величин. Для выполнения расчетов необходима цифровая база фактического состояния гидравлических характеристик трубопроводов, тенденции их изменения в процессе эксплуатации. Поэтому необходимо наладить систематические гидравлические испытания на действующей системе трубопроводов.

Кроме того, необходимо иметь достоверную информацию о стоимости данных трубопроводов и показателях их надежности. Обработка полученной информации позволит получить необходимые зависимости, которые, в зависимости от задач, стоящих перед эксплуатационниками, могут легко корректироваться соответствующими коэффициентами, учитывающими происходящие изменения цен, а также специфические условия строительства и эксплуатации того или иного трубопровода.

Прогностическая основа разработанной методики позволяет представить возможные ситуации экономического «поведения» трубопроводов во времени, оценить очередность проведения тех или иных мероприятий по отдельным районам эксплуатации водопроводной сети города, резервировать материальные и экономические ресурсы на их проведение. Следует отметить, что до тех пор, пока служба эксплуатации будет оценивать проведение тех или иных мероприятий по усредненным показателям, объективное решение принять невозможно.



#### 4.6. РЕГЛАМЕНТАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ К МАТЕРИАЛУ И ТИПАМ ТРУБ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

##### 4.6.1. Стальные и чугунные трубы

На современном этапе реформирования жилищно-коммунального хозяйства городов и населенных пунктов РФ, ужесточения требований к надежности и долговечности трубопроводов инженерных систем жизнеобеспечения весьма актуальны проблемы формирования требований к выбору материала и типа труб применительно к конкретным условиям эксплуатации городских водопроводов.

Анализ технического состояния и надежности трубопроводов централизованных систем водоснабжения большинства городов РФ показывает, что около 60 % трубопроводов хозяйственно-бытового назначения находятся в неудовлетворительном состоянии и требуют перекладки или капитального ремонта. Причины аварий трубопроводов рассмотрены в главе 2, к основным из них следует отнести: значительный износ трубопроводов; неправильный выбор материала труб и класса их прочности, отвечающего фактическим внешним и внутренним нагрузкам, воздействующим на трубопровод; несоблюдение технологии производства работ по укладке и монтажу трубопроводов; отсутствие необходимых мер по защите трубопроводов от агрессивного воздействия внешней и внутренней среды; разрушающие давления, воздействие гидравлических ударов, падение долговременной прочности; несоответствие качества труб требованиям стандартов и т.п.

Анализ закономерности аварийности водопроводных труб показывает, что интенсивность отказов трубопроводов централизованных систем водоснабжения в России более высокая, чем в странах Европы и США. По данным Ассоциации водоснабжения США, во всех населенных пунктах независимо от их размеров более 60 % труб находятся в эксплуатации более 20 лет, а максимальный возраст некоторых водопроводных систем уже превышает 100 лет [119].

Наблюдается также корреляция между количеством абонентов водопровода, с одной стороны, и средним возрастом трубопроводов и количеством аварийных разрушений на них — с другой: в более крупных централизованных системах срок службы труб дольше.

Это объясняется, во-первых, большими инвестициями, выделяемыми муниципалитетами в крупных городах на обслуживание трубопроводных систем, а во-вторых, повышенными гарантированными характеристиками труб в отношении их долговечности. Одной из основных причин этого превышения является переход европейских стран на водопроводные трубы из коррозионно-стойких конструкционных материалов, аварийность на которых значительно ниже, чем на трубах из черных металлов без соответствующей антикоррозионной защиты. В ряде

стран Европы за последние 40 лет, например в Голландии, металлические трубы вытесняются асбестоцементными и поливинилхлоридными, а с 1990-х гг. находят применение и полиэтиленовые трубы. В числе причин долголетия трубопроводов американских водопроводов — обязательное нанесение внутренней изоляции, применение ингибиторов коррозии черных металлов (в 1500 населенных пунктах США практикуется противокоррозионная обработка воды полифосфатами натрия), тщательный контроль режима хлорирования воды и др.

Если в США резкий скачок количества аварий наблюдается при среднем возрасте труб около 70 лет, то в Москве наличие стабильности интенсивности отказов наблюдается первые 5—12 лет.

С 1960-х по 1990-е гг. в строительстве трубопроводов централизованных систем водо- и теплоснабжения городов РФ широкое распространение получили электросварные, горячекатаные и холоднокатаные трубы из нелегированной углеродистой стали, стальные трубы с различным наружным и внутренним покрытием (оцинкованные, с наружным антикоррозионным покрытием, с внутренним эмалированным покрытием), напорные трубы из серого чугуна, трубы из поливинилхлорида. Растет производство и применение отечественных труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ), полиэтиленовых труб.

Практика эксплуатации показала, что качество изготавливаемых в СССР стальных, чугунных, железобетонных и асбестоцементных труб не соответствовало требованиям, которые должны к ним предъявляться при использовании в системах централизованного водоснабжения. Стоимость пластмассовых труб (в основном применялись трубы из ПВХ) по отношению к стоимости труб других видов была выше, изготавливались они в сравнительно небольших объемах и в малом диапазоне сортаментных диаметров, поэтому в системах водоснабжения не находили широкого применения.

В конце 1990-х гг., согласно опубликованным данным, среднее число аварийных повреждений трубопроводов на единицу их длины в России примерно вдвое превышало этот показатель в странах западной и центральной Европы, удельное количество аварий за последнее десятилетие возросло примерно в пять раз [74].

Основной причиной высокой аварийности трубопроводов подземной прокладки является то, что заводы-изготовители чугунных, асбестоцементных, железобетонных, бетонных и других труб из хрупких материалов не гарантируют их долговременной прочности при совместном воздействии изменений внутреннего гидравлического давления и внешней нагрузки.

Повреждаемость стальных трубопроводов подземной прокладки в основном связана с их нестойкостью против внешней и внутренней коррозии. Стальные трубопроводы, не защищенные от коррозии,

сравнительно дешевы. Катастрофические последствия их коррозии проявляются лишь через несколько лет эксплуатации.

Поэтому прокладка стальных трубопроводов и сдача их в эксплуатацию никаких затруднений у строителей не вызывает. Не вызывало больших затрат и устранение повреждений и даже разрывов сварных стыков при продольных деформациях трубопроводов после ввода их в эксплуатацию, связанных с изменениями температуры транспортируемой воды. Поэтому строительные организации стремились заменять на поручаемых им объектах трубы из других материалов стальными трубами.

В связи с необходимостью срочного ввода в эксплуатацию строящихся трубопроводов руководители организаций-заказчиков в ряде случаев поддерживали инициативу строителей, несмотря на опасные последствия коррозии. В результате 15—20 лет подавляющее большинство трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения строилось из стальных труб. К 1990 г. потребление стальных труб в нашей стране достигло астрономической величины — 24 млн т. Это количество превышало потребление стальных труб во всем мире.

В настоящее время срок службы этих стальных трубопроводов 10—15-летней давности прокладки заканчивается и начался их массовый выход из строя.

Трубопроводы из стальных труб с различного рода антикоррозионными покрытиями (оцинкованные, с алюмокерамическими, эмалированными и другими покрытиями) имеют повышенную по сравнению со стальными трубами коррозионную стойкость (до 30 лет). Однако хранение, транспортировка, а также монтажные работы требуют особого обращения с подобными трубами. Сварные соединения из труб с покрытиями требуют также специальных мер защиты от коррозии. Кроме того, различные покрытия, увеличивая коррозионную стойкость стали, одновременно увеличивают стоимость труб.

Основное требование к стальным трубам при новом строительстве и перекладке вышедших из строя трубопроводов — обеспечение их надежной противокоррозионной защиты на расчетный срок эксплуатации.

Опыт эксплуатации и расчеты показывают, что прочность стальных труб при их применении в системах водоснабжения может быть обеспечена. Однако сравнительно высокая деформируемость этих труб, не опасная для них самих, может вызывать повреждение внутренних защитных покрытий и приводить в результате незащищенности от коррозии к повреждениям трубопроводов. Поэтому при выборе толщины стенки труб необходимо учитывать их деформируемость.

Определять толщину стенок труб по условию прочности и сохранению круглой формы (в пределах допусков) можно лишь, если деформация не будет вызывать повреждения защитных покрытий.

Обеспечение надежности защитных покрытий при деформации стальных труб может настолько усложнить конструкцию и технологию нанесения покрытий, что окажется более дешевым перейти на увеличение толщины стенок труб, а это приведет к значительному возрастанию стоимости трубопровода.

Следует отметить, что надежность труб в процессе эксплуатации зависит не только от качества труб, но и от подготовки основания под трубы и уплотнения грунта при засыпке, т.е. соблюдения технологии строительства, что зачастую не соблюдается.

Конкурентом стальных труб в последние годы являются чугунные трубы с шаровидным графитом (ВЧШГ), широко используемые за рубежом и в последние годы в Москве.

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом — особенный и уникальный по своим свойствам материал, сочетающий в себе коррозионную стойкость чугуна и высокие механические свойства, равные свойствам стали Ст. 55 (прочность) или близкие к таковым (пластичность, ударная вязкость). По сравнению со стальными, трубы из ВЧШГ менее подвержены коррозии (см. главу 3), а по пластическим характеристикам приближаются к стальным. Благодаря этому они при повреждениях не разрушаются полностью, как это происходит при повреждениях чугунных труб из серого чугуна.

Союз Германии по водо- и газоснабжению (DVGW) привел статистику повреждений сетей трубопроводов питьевой воды (изучены данные 360 предприятий по водообеспечению) (рис. 4.9).

Первая экспериментальная труба из ВЧШГ была отлита в США в 1948 г., а производство началось в 50-е гг. В нашей стране первые опыты по отливке труб из ВЧШГ центробежным способом в водоохлаждаемые формы проводили на Макеевском труболитейном заводе в 1956 г. Первые удачные опыты по отливке труб из ВЧШГ полунепрерывным способом проведены на Синарском трубном заводе в 1967 г. Позже была отработана технология литья центробежным способом.

В настоящее время на ОАО Липецкий металлургический завод «Свободный сокол» налажен выпуск труб из ВЧШГ с условным диаметром от 100 до 300 мм (центробежное литье), а на ОАО Синарский трубный завод — с диаметром от 100 до 1000 мм (полунепрерывное и центробежное литье).

ВЧШГ отличается от серого чугуна с пластинчатой формой графита тем, что включения графита имеют форму шариков диаметром от 10 до 50 мкм. Это достигается при модифицировании жидкого чугуна магнием, кальцием, редкоземельными металлами или комбинацией этих веществ. Шаровидные включения графита в наименьшей степени ослабляют рабочее сечение отливки и не оказывают сильного надрезающего действия на металлическую основу в отличие от пластинчатого графита; способствуют уменьшению концентрации напря-

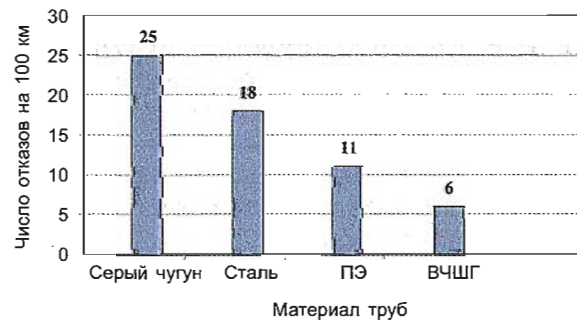


Рис. 4.9. Количество отказов (на 100 км сети) трубопроводов из различных материалов

жений вокруг них. Это исключает риск образования и распространения трещин. Основной металлической матрицей ВЧШГ является феррит (60 — 90 %), остальное — перлит (свободный цементит  $F_3C$  отсутствует). От структуры металлической основы существенно зависят различные физические, прочностные, эксплуатационные и технологические свойства.

Основные требования к трубам из ВЧШГ (их качеству, механической прочности и т.д.) определены международным стандартом ISO 2531 [149]. ОАО Липецкий металлургический завод «Свободный сокол» выпускает трубы согласно ТУ 1461-037-50254094-2000 (табл. 4.5).

По заказу потребителя труба может быть изготовлена любой длины менее 6 м.

Трубы из ВЧШГ по своим механическим свойствам незначительно уступают стальным трубам и превосходят трубы из серого чугуна. Они стойки к пиковым нагрузкам под давлением, грунтовым нагрузкам и подвижке грунта при подземной прокладке, ударным нагрузкам при автомобильных и железнодорожных перевозках, выдерживают знакопеременные нагрузки. Трубы хорошо обрабатываются, могут подвергаться автогенной резке, свариваются между собой и со стальными трубами [86].

Производство труб из ВЧШГ методом центробежного литья позволяет уменьшить толщину стенки трубы и соответственно их массу при сохранении высоких механических характеристик (табл. 4.6).

Толщина стенок труб из ВЧШГ меньше, чем труб из серого чугуна, на 20—50 % в зависимости от диаметра трубы, с увеличением диаметра различие возрастает. В табл. 4.7 сопоставлены некоторые механические свойства ВЧШГ, серого чугуна и углеродистой стали.

Разработаны надежные и удобные типы соединения труб:

1-й — раструбные под универсальное уплотнительное резиновое кольцо, предназначенные для водопроводов с давлением до 1,6 МПа;

Таблица 4.5. Требования к трубам ВЧШГ по ТУ 1461-037-50254094-2000

| Номинальный диаметр $D_n$ , мм                            | $D_n$ , мм                          | $S$ , мм            | $S_1$ , мм | Масса раструба, кг | Масса 1 м трубы без раструба, кг | Масса трубы $L = 6$ м с раструбом и ЦПП, кг |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|------------|--------------------|----------------------------------|---------------------------------------------|
| 100                                                       | 118 <sup>+1,0</sup> <sub>-1,3</sub> | 6 <sup>-1,3</sup>   | 3          | 4,6                | 17,8                             | 111,4                                       |
| 150                                                       | 170 <sup>+1,0</sup> <sub>-1,3</sub> | 6 <sup>-1,3</sup>   | 3          | 7,8                | 26,8                             | 168,6                                       |
| 200                                                       | 222 <sup>+1,0</sup> <sub>-1,8</sub> | 6,3 <sup>-1,5</sup> | 3          | 10,5               | 36,2                             | 227,7                                       |
| 250                                                       | 274 <sup>+1,0</sup> <sub>-2,6</sub> | 6,8 <sup>-1,6</sup> | 3          | 14                 | 47,1                             | 296,6                                       |
| 300                                                       | 326 <sup>+1,0</sup> <sub>-3,3</sub> | 7,2 <sup>-1,6</sup> | 3          | 18                 | 59,2                             | 373,2                                       |
| Допуск на стандартную длину ..... $\pm 30$ мм             |                                     |                     |            |                    |                                  |                                             |
| Стандартная рабочая длина труб ..... 5,6; 5,8; 6 м        |                                     |                     |            |                    |                                  |                                             |
| Гидроиспытание труб ..... 5 МПа (50 кгс/см <sup>2</sup> ) |                                     |                     |            |                    |                                  |                                             |
|                                                           |                                     |                     |            |                    |                                  |                                             |

2-й — усиленные раструбные под двухслойное уплотнительное резиновое кольцо, предназначенные для водопроводов с рабочим давлением до 1,6 МПа;

3-й — фиксированные раструбно-стопорные, типа ВРС Тиро-флекс, под двухслойное уплотнительное резиновое кольцо, предназначенные для водопроводов с давлением до 1,6 МПа согласно ТУ 1461-037-50254094-2000, трубы выпускаются длиной 5,6; 5,8 и 6 м, а также для труб горячего водоснабжения с давлением до 1,6 МПа согласно ТУ 1461-036-50254094-2000, трубы выпускаются длиной 5,6; 5,8 и 6 м;

4-й — безраструбные с литым фланцем на одном конце трубы и приварным фланцем на другом конце трубы, предназначенные для транспортировки различных жидких продуктов с рабочим давлением до 1,6 МПа. Трубы выпускаются согласно ТУ 1461-037-50254094-2000, длиной 5,6; 5,8 и 6 м;

5-й — безраструбные с гладкими концами под сварку, предназначенные для транспортировки различных жидких и газообразных продуктов с давлением до 1,6 МПа, трубы выпускаются согласно ТУ 1461-037-50254094-2000, длиной 5,5 м;



Таблица 4.6. Размеры и масса труб по ТУ 14-154-23-90 ISO 2531

| Требования ISO 2531     |                             |                           | Требования ТУ 14-154-23-90 |                             |                           |                                  |
|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Номинальный диаметр, мм | Наружный диаметр $D_n$ , мм | Толщина стенки $S_1$ , мм | Номинальный диаметр, мм    | Наружный диаметр $D_n$ , мм | Толщина стенки $S_1$ , мм | Масса 1 м трубы без раструба, кг |
| 100                     | 118                         | 6                         | 100                        | 118                         | 6,1                       | 15,54                            |
| 150                     | 170                         | 6                         | 150                        | 170                         | 6,3                       | 23,48                            |
| 200                     | 222                         | 6,3                       | 200                        | 222                         | 6,4                       | 31,41                            |
| 250                     | 274                         | 6,8                       | 250                        | 273                         | 6,8                       | 41,21                            |
| 300                     | 326                         | 7,2                       | 300                        | 325                         | 7,2                       | 52,09                            |

Таблица 4.7. Свойства труб из разных материалов

| Показатель                           | ВЧШГ Липецкого завода «Свободный сокол» | Серый чугун | Углеродистая сталь |
|--------------------------------------|-----------------------------------------|-------------|--------------------|
| Предел прочности при растяжении, МПа | 430—440                                 | 180—250     | 370—450            |
| Предел текучести, МПа                | 310                                     | —           | До 220             |
| Относительное удлинение, %           | 11—12                                   | —           | 23                 |
| Твердость металла, НВ                | 230                                     | 230         | 102—124            |

6-й — металлические оболочки из высокопрочного чугуна с бетонным наполнителем для устройства свай. Применяются для устройства анодных заземлителей катодной защиты трубопроводов, а также для фундаментов и опорных конструкций при строительстве портовых сооружений (терминалов) и усиления слабых агрессивных грунтов.

Для защиты от внешней и внутренней коррозии труб из ВЧШГ используют различного типа покрытия.

Для внутреннего покрытия труб ВЧШГ используется цементно-песчаное покрытие (ЦПП), которое наносится методом центрофугирования. Уникальные свойства этого покрытия состоят в наличии как пассивного, так и активного защитного эффекта.

Пассивный защитный эффект достигается за счет чисто механической изоляции стенки трубы слоем раствора. Эффективность раствора тем больше, чем плотнее структура цемента.

Активный защитный эффект заключается в том, что при гидратации цемента в порах возникает насыщенный раствор гидроксида кальция, рН которого около 12,6. При этих условиях низколегированное железо пассивируется за счет образования субмикроскопического покровного слоя из оксидов железа. Этот чрезвычайно тонкий слой механически изолирован цементным покрытием от протекающей воды, удерживается на месте и предотвращает дальнейшую коррозию металла.

Наряду с антикоррозионным защитным эффектом нанесение покрытия улучшает и гидравлические свойства трубопровода, достига-

Таблица 4.8. Толщина и свойства цементно-песчаного покрытия

| Условный проход $D_p$ , мм | Наружный диаметр $D_n$ и предельные отклонения, мм | Толщина стенки трубы и предельные отклонения $S$ , мм | Толщина цементного покрытия $S_1$ , мм | Масса трубы с внутренним покрытием, с раструбом, 6 м, кг |
|----------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 100                        | 118 <sup>+1,0</sup> <sub>-1,3</sub>                | 6 <sup>-1,3</sup>                                     | 3                                      | 111,4                                                    |
| 150                        | 170 <sup>+1,0</sup> <sub>-1,3</sub>                | 6 <sup>-1,3</sup>                                     | 3                                      | 168,6                                                    |
| 200                        | 222 <sup>+1,0</sup> <sub>-1,8</sub>                | 6,3 <sup>-1,5</sup>                                   | 3                                      | 227,7                                                    |
| 250                        | 274 <sup>+1,0</sup> <sub>-2,6</sub>                | 6,8 <sup>-1,6</sup>                                   | 3                                      | 296,6                                                    |
| 300                        | 326 <sup>+1,0</sup> <sub>-3,3</sub>                | 7,2 <sup>-1,6</sup>                                   | 3                                      | 373,2                                                    |

ется это за счет отсутствия внутренней коррозии и, как следствие, отсутствия отложений на облицованной поверхности трубы, а также за счет образования на поверхности покрытия тонкого гидрофильного (гелиевого) слоя.

Толщина и свойства цементно-песчаного покрытия труб ВЧШГ должны соответствовать требованиям ТУ 1461-037-50254094-2000 (табл. 4.8).

На наружную поверхность труб наносится слой битумного лака по ГОСТу 5631-79, разрешенный Госсанэпиднадзором РФ для применения в качестве наружных покрытий трубопроводов в хозяйственно-питьевом водоснабжении или другой нетоксичный материал, например композитное покрытие металлическим цинком.

В случае агрессивной внешней среды могут использоваться другие покрытия и методы защиты (см. главу 3).

При устройстве сетей водоснабжения из труб ВЧШГ следует предусматривать использование в первую очередь фасонных соединительных частей также из ВЧШГ.

Трубы и фасонные части поставляются потребителям в комплекте с уплотнительными резиновыми кольцами по ТУ 2531 895-00152106-94 «Кольца резиновые для чугунных напорных труб», предназначенными для работы в системах водоснабжения с рабочим давлением до 1,6 МПа, материал которых разрешен Госсанэпид надзором РФ для применения в практике хозяйственно-питьевого водоснабжения. Долговечность герметичности стыкового соединения обеспечивается на срок не менее 50 лет.

Раструбное соединение с применением универсального уплотнительного резинового кольца обеспечивает герметичность при рабочем давлении в трубопроводе до 1,6 МПа и осевом смещении труб до 5°,

что гарантирует работоспособность трубопроводов при оседании грунта и при больших нагрузках, возникающих вследствие проезда тяжеловесного транспорта.

Кроме того, раструбное соединение под резиновое уплотнительное кольцо обладает еще одним преимуществом — скоростью прокладки трубопровода без привлечения рабочих высокой квалификации и без трудоемких ручных работ по рытью прямков и зачеканиванию труб.

Опыт применения в Москве труб из чугуна с шаровидным графитом и внутренним цементно-песчаным покрытием подтвердил их хорошее качество и устойчивость к коррозии [95].

Трубы из ВЧШГ могут укладываться непосредственно в грунт на глубину до 8 — 15 м ( $D_y = 100—300$  мм соответственно). Раструбное соединение труб с резиновой манжетой допускает осевое смещение до  $5^\circ$  относительно горизонтальной оси трубопровода без потери герметичности соединения при рабочем давлении  $16 \text{ кг/см}^2$ .

Трубы из ВЧШГ надежно выдерживают ударные нагрузки при резком изменении давления в трубопроводе, а также при перемещении почвы в результате оседания, землетрясений и морозов. Они активно сопротивляются электрической коррозии, поскольку электрическое сопротивление ВЧШГ при температуре  $20^\circ\text{C}$  в 3,6—4,8 раза больше, чем стали, а стыки уплотнены непроводящими резиновыми манжетами. Ударная вязкость труб из ВЧШГ остается неизменной в интервале температур от 0 до  $-60^\circ\text{C}$ , т.е. порог хладоломкости наступает после достижения температуры ниже  $-60^\circ\text{C}$ .

При прокладке и долгосрочной эксплуатации трубопроводов из ВЧШГ (70 лет и более) достигается трех-четырёхкратная экономия денежных средств по сравнению с затратами на прокладку и эксплуатацию стальных трубопроводов. Разработана и серийно освоена технология сварки труб из ВЧШГ как между собой, так и со стальными изделиями. В промышленных масштабах освоен выпуск литых и сварных фасонных частей трубопроводов из ВЧШГ.

По действующим в России нормам «жесткие» трубы — чугунные, бетонные, железобетонные и керамические — должны рассчитываться на совместное воздействие внешней нагрузки и внутреннего давления. Так они рассчитываются и за рубежом. Различие заключается лишь в том, что за рубежом они рассчитываются на разрушающую нагрузку, определяемую умножением расчетной приведенной нагрузки на коэффициент запаса (2—2,5), а в России — на приведенную нагрузку, причем допустимое напряжение в материале стенок труб принимается не выше того предела, при котором происходит разрушение труб. Для чугунных труб это соответствует коэффициенту запаса (используемому за рубежом при расчете труб на прочность) около 2—2,5, для керамических труб — 3—3,5.

Эта методика расчета, разработанная кафедрой строительной ме-

ханики МИСИ (проф. Г.К. Клейн) совместно с ГНЦ НИИ ВОДГЕО, была проверена и подтверждена экспериментально [52].

Эксперименты по проверке прочности чугунных труб были проведены в МИСИ с началом массового производства чугунных труб со стыковыми соединениями на резиновых уплотнителях, герметичность которых обеспечивается практически при любом давлении, которое могут выдерживать чугунные трубы.

Стальные трубы выдерживают практически неограниченное число циклов изменения нагрузки. Трубы из чугуна с шаровидным графитом занимают промежуточное положение между стальными трубами и трубами из обычного чугуна. Задачей их испытаний на долговременную прочность является определение предела безопасного повышения расчетной прочности труб при циклической комбинированной нагрузке, позволяющего гарантировать допустимые предельные напряжения в материале труб при комбинированном воздействии изменяющихся внешней нагрузки и внутреннего давления и не допускать его превышения при заводских испытаниях труб и испытаниях трубопроводов при сдаче их в эксплуатацию.

Как указывалось, чугун с шаровидным графитом по своим прочностным и деформативным показателям значительно лучше обычного чугуна. Однако стенки этих труб имеют значительно меньшую толщину и поэтому при прочих равных условиях они работают при больших напряжениях.

Существенное значение имеет и то, что при воздействии внешней нагрузки напряжение в материале труб пропорционально не толщине стенки (как это происходит при воздействии внутреннего давления), а квадрату толщины.

В настоящее время для городских водопроводных сетей более острыми являются вопросы, связанные с обеспечением долговременной прочности труб, безотказности действия трубопроводной арматуры и эффективности работы насосного оборудования.

Вопросы долговременной прочности труб как сравнительно новые в действующем СНиП 2.04.02–84 не рассмотрены с достаточной полнотой. Проекты новых нормативных документов и регламентов предусматривают нормативный срок службы трубопроводов подземной прокладки, как правило, не менее 50 лет.

Снижение прочности подземных трубопроводов систем водоснабжения в процессе их эксплуатации вызывается тем, что трубы работают при совместном воздействии непрерывно изменяющегося (с различными частотами и амплитудами) внутреннего давления, медленно изменяющегося давления грунта засыпки и временной транспортной нагрузки. Комбинация этих воздействий может приводить к накопленным напряжениям в материале труб, ускоряющим проявление усталостных явлений.

Поэтому при пересмотре стандартов на изготовление труб необходимо включить в них требование о проведении циклических испытаний на совместное воздействие внутреннего гидравлического давления и внешней нагрузки. (В Своде правил по проектированию и монтажу подземных трубопроводов водоснабжения с использованием труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (СП 40-106-2002) включено требование о необходимости расчетов на совместное воздействие расчетного внутреннего гидравлического давления и внешней нагрузки.)

В отечественной и зарубежной литературе нет конкретных данных о снижении прочности труб вследствие усталостных явлений. Имеются лишь упоминания об увеличении повреждаемости чугунных труб под воздействием транспортных нагрузок. Случаи повреждения стальных трубопроводов в результате усталостных явлений не отмечались. Их аварии вызываются в основном коррозионными повреждениями, а также возрастанием напряжения при температурных изменениях. Однако опыт показывает, что при многократных нагружениях усталостные явления наблюдаются и в нехрупких материалах.

Обеспечение надежной работы подземных трубопроводов систем водоснабжения в течение не менее 50 лет является непростой задачей, ее нельзя решить простым декларированием высокого качества труб, изготовители которых обязывают потребителей выполнять неконкретно сформулированные условия.

В первую очередь это относится к транспортированию труб. Нельзя требовать соблюдения «установленных правил», не приводя этих правил или не делая ссылку на их опубликованный текст. При перевозке водным или железнодорожным транспортом они должны быть не просто согласованы с транспортными организациями, но и приняты ими к обязательному выполнению.

Прием труб от поставщика и сдача потребителям должны оформляться документально. При этом должен быть обеспечен контроль транспортировки труб, чтобы они не получили скрытых повреждений. Должен быть также установлен порядок оформления документации, подтверждающей, что трубы не повреждены при хранении заказчиком и строительной организацией, а также в процессе выполнения строительно-монтажных работ.

Необходимо обеспечить контроль за подготовкой основания под трубы и уплотнением грунта засыпки. Выполнение этих требований устранит причины участвовавших в последнее время «провалов» проезжей части и тротуаров, при которых неизбежны не только разрушения подземных коммуникаций, но и другие аварии, вызывающие катастрофические последствия. Эти требования могут и должны выполняться силами и средствами строительных организаций. Необходим лишь контроль за правильным использованием труб.

Важно отметить, что расчетная долговременная прочность труб должна гарантироваться заводом-изготовителем. При этом гарантии должны быть не декларативно-рекламными, а юридически оформленными обязательствами по возмещению убытков, которые могут быть вызваны аварийными повреждениями.

Гарантии должны основываться на определении фактической прочности труб или образцов-отрезков при их однократном нагружении (до их разрушения) и при сравнительно небольшом количестве циклов воздействия различных видов нагружений, а также теоретически обоснованном прогнозе усталостных явлений при длительном воздействии изменений совместно действующих сочетаний различных нагрузок.

Поскольку расхождение между прогнозируемыми и фактическими показателями долговременной прочности труб практически неизбежны, а при этом возможно существенное влияние различных случайных факторов, то заводы-изготовители должны ограничивать свои обязательства некоторым обоснованным «запасом». Он должен быть достаточным для ограничения разумными пределами затрат завода по возмещению потребителям ущерба от возможных аварий, но в то же время не допускать такого снижения прочности труб, при котором они оказываются неконкурентоспособными.

При использовании стальных труб основное внимание должно быть уделено их гарантированной защите от внешней и внутренней коррозии [52].

СНиП 2.04.02-84 ограничивал требования к внутренним защитным покрытиям лишь их санитарно-гигиенической оценкой и не требовал от них эффективной защиты труб от коррозии и предотвращения значительного возрастания гидравлического сопротивления труб в результате образования отложений на их внутренней поверхности. По этому же принципу следует сформировать нормативы на изготовление и применение трубопроводной арматуры [49].

#### 4.6.2. Пластмассовые трубы

В практике строительства водопроводных систем как за рубежом, так и в РФ все больше применяют трубы из полимерных материалов. Для изготовления этих труб используются полиэтилен, поливинилхлорид и хлорированный поливинилхлорид, пластмассы на основе акрилонитрилбутадиенстирола, фторполимеры и стеклопластики. В системах водоснабжения наружной прокладки находят применение трубы из поливинилхлорида, полиэтилена и стеклопластика [84].

Трубопроводы из полиэтиленовых труб обладают как достоинствами, так и недостатками. Достоинства трубопроводов: полное отсутствие коррозии и зарастания внутритрубного пространства, малая



масса, технологичность монтажа, значительный срок службы при правильной эксплуатации.

В отечественной практике опыт применения труб из полимерных материалов при прокладке трубопроводов наружных систем централизованного водоснабжения среднего и большого диаметра еще недостаточен. Их использование сдерживали: малая номенклатура диаметров труб, низкие значения допустимого рабочего давления, неопределенность гарантированного срока службы, отсутствие срока эксплуатации и строительства и ряд других причин.

Применение пластмассовых трубопроводов в системах внешнего водоснабжения определяется СНиП 2.04.02–84. Этими нормами установлено, что свободный напор в системе не должен превышать 0,6 МПа.

Требования к качеству труб, предусматриваемые нормативными документами, с одной стороны, во многих случаях едины для всех пластмассовых труб, что обусловлено специфическими свойствами полимерных материалов (например, ярко выраженной временной зависимостью прочности), а с другой — различны в зависимости от применяемого полимера и назначения труб. Все это значительно усложняет их использование в системах наружного водоснабжения. Есть неопределенность и в стоимостных соотношениях пластмассовых труб по отношению к другим видам труб при учете временного фактора их службы.

Винилхлорид, на основе которого производится ПВХ, был впервые получен в 1860 г. И хотя ПВХ был известен уже с 1872 г., его промышленное использование для производства труб началось лишь в начале 1930-х гг. Полиэтилен был впервые получен в начале 1930-х гг., а производство труб из него началось в середине 1940-х гг. Первый стандарт на трубы из ПВХ выпущен в 1942 г. в Германии, а на полиэтиленовые трубы — в 1953 г. в Великобритании.

Полипропиленовые трубы находят применение с середины 1950-х гг. В Скандинавии трубы из ПВХ и ПП начали использоваться в середине 1950-х гг. Здесь Северный стандарт на напорные трубы из ПВХ и ПЭ действовал с начала 1960-х гг. Впервые пластмассовые трубы для подземных трубопроводов были применены в Германии и Голландии. В Скандинавии трубы из ПВХ и ПЭ для подземных трубопроводов стали применяться с конца 1960-х гг., а трубы из ПП — с конца 1970-х гг. [84].

Основным сырьем для получения пластмасс являются нефть или природный газ. При производстве ПВХ или ПЭ исходным материалом служит этилен, а при производстве ПП — пропилен. Этилен и пропилен экстрагируют из этана или получают из газа пропана методом крекинга. ПВХ получают в процессе реакции между этиленом и газообразным хлором, в результате которой образуются винилхлорид и хлористый водород. Винилхлорид затем полимеризуется в ПВХ. В ходе полимеризации молекулы этилена или пропилена преобразуются соответственно в молекулы полиэтилена или полипропилена.

В зависимости от строения и свойств пластмассы можно разделить на две группы: термопластики и термореактивные пластики.

Пластмассы, образованные из линейных или разветвленных молекулярных цепочек, называются термопластиками. Термопластики размягчаются при нагревании и могут формоваться в расплавленном состоянии. У большинства применяемых для производства труб термопластиков размягчение начинается при относительно низкой температуре (60–120 °С). Это означает, что для труб из термопластика могут потребоваться температурные ограничения в определенных условиях применения.

Термопластики содержат, кроме полимеров (молекулярных цепочек), также незначительное количество добавок, в качестве которых наиболее часто применяются стабилизаторы, смазочные вещества, красители, наполнители, добавки, повышающие динамическую прочность.

Из всех термопластиков наиболее широко для производства труб используются три материала — ПВХ, ПЭ и ПП. Так как ПВХ содержит хлорид, при производстве этого материала требуется небольшое количество этилена, что делает получение ПВХ относительно более дешевым по сравнению с получением ПЭ и ПП. Трубы из ПВХ применяются для всех типов напорных и самотечных трубопроводов, в качестве защитных футляров для электрических и телекоммуникационных кабелей, дренажных линий, а также производственных технологических трубопроводов, температура среды в которых не превышает +45 °С.

Трубы из ПП производятся как из однородного полимера, так и из смеси полимеров ПП + ПЭ (сополимера; небольшая добавка ПЭ используется для придания материалу большей твердости). Трубы из ПП применяются главным образом для внутренних канализационных сетей, подземных канализационных трубопроводов и технологических производственных трубопроводов.

Полиэтиленовые трубы могут быть также из полиэтилена пространственной структуры, и тогда их обозначают как ПЭХ-трубы. Они используются главным образом для подачи воды в водопроводных сетях, обогрева полов и поверхности земли, а также в системах центрального отопления в трубопроводах с низкой температурой воды.

Пластмассовые трубы производятся в основном экструзионным методом, методом центробежного литья или намоткой.

Трубы из термореактивных пластмасс изготавливаются в основном методом центробежного литья, намоткой или перекрестной намоткой. При центробежном литье связующий материал (полиэфиры), возможный наполнитель (песок) и армирующий материал (стекловолокно) впрыскиваются в быстровращающуюся форму. Закалка ускоряется циркуляцией горячего воздуха.

Характерная черта пластмассовых труб — их долговременная прочность зависит от напряжения. Обычно для пластмассовых труб прини-

мают такое допустимое напряжение, которое соответствует примерно половине величины прочности при длительности нагрузки в течение 50—100 лет. Это означает, что при кратковременных нагрузках будет примерно четырехкратный запас прочности. Значения запаса прочности также зависят от вида материалов пластмассовых труб. Для назначения параметров труб применяются два расчетных критерия: допустимое напряжение  $\sigma_{\text{доп}}$  и допустимая линейная деформация  $\epsilon_{\text{доп}}$ .

У всех пластмассовых материалов снижается прочность на растяжение при повышении температуры. Обычно пластмассовые трубы рассчитываются исходя из прочности материала при температуре +20 °С. Если температура ниже этого значения, то прочность материала повышается. Это повышение прочности, как правило, не учитывается при назначении параметров трубопровода, но сам факт повышения прочности увеличивает коэффициент ее запаса для труб.

Пластмассовые материалы имеют хорошие теплоизоляционные свойства. Тем не менее для прокладываемых в земле сетей теплоизоляционные свойства грунта зачастую более значимы, чем теплоизоляционные свойства самой трубы. В то же время в случае применения толстостенных пластмассовых труб их теплоизоляционные свойства могут быть значительными.

Ультрафиолетовое облучение ускоряет процесс старения большинства пластмассовых труб. Так, воздействие солнечного света может вызвать изменение цвета труб или ухудшить их динамическую прочность. Для защиты пластмассовых материалов от разрушающего воздействия ультрафиолетового облучения в них добавляют пигменты или ультрафиолетовые стабилизаторы.

Пластмассовые трубы при складировании не должны подвергаться длительному солнечному освещению. Пластмассовые материалы различаются по своей чувствительности к ультрафиолетовому облучению, и, следовательно, существуют индивидуальные различия в том, как долго тот или иной материал может быть подвергнут воздействию солнечного света.

Соединения труб могут осуществляться различными способами. Некоторые типы стыковых соединений передают усилия в продольном направлении, тогда как другие, например резиновые муфты, не способны к передаче растягивающих усилий. При переходе от участка пластмассовых труб со стыковыми соединениями, способными передавать растягивающие усилия к участку с соединениями, которые не могут их воспринимать, соединение в этой точке должно быть фиксирующим, иначе возникает опасность, что оно в этом месте разойдется, когда трубопровод начнет функционировать.

Деформация трубы зависит прежде всего от качества выполнения работ по прокладке трубопровода. Правильное выполнение строительно-монтажных работ имеет также важное значение для предотв-

ращения возможных просадок в будущем, и потому строительно-монтажные работы оказывают определяющее влияние на качественные характеристики построенного трубопровода.

Независимо от материала применяемых труб, строительно-монтажные работы в значительной мере определяют величину напряжений, которым трубы подвергнутся в будущем. В этой связи нельзя не подчеркнуть еще раз необходимость тщательного и качественного проведения процесса строительно-монтажных работ.

Рассмотрим некоторые аспекты, связанные с применением пластмассовых труб для наружных систем водоснабжения.

Трубы из полимерных материалов обладают рядом свойств, выгодно отличающих их от труб из традиционных материалов. Они не подвержены электрохимической коррозии. Потери напора на трение в них приблизительно на 30 % меньше, чем в металлических трубах. На внутренней поверхности этих труб практически не образуются отложения, а следовательно, не происходит увеличения потерь напора во времени. Гидравлический удар, возникающий в трубопроводах из пластмассовых труб, значительно слабее из-за более низкого модуля упругости материала. Они легче металлических и других неметаллических труб. Вероятность разрушения пластмассового трубопровода при замерзании в нем воды достаточно мала.

В России имеется опыт проектирования, строительства и последующей эксплуатации водопроводных систем (питьевого и технического водопровода) в основном для небольших городов и населенных пунктов с использованием пластмассовых труб.

Опыт строительства и эксплуатации сетей водоснабжения, выполненных из пластмассовых труб, имеется в ряде городов Московской области: Красногорске, Можайске, Одинцово, Подольске, Щелкове. Как правило, строительство пластмассовых трубопроводов осуществлялось для замены изношенных стальных труб. Срок эксплуатации систем водоснабжения из пластмассовых труб в разных городах составляет от 1 года до 10 лет; диаметр трубопроводов 100—1000 мм, трубы в основном отечественного производства из ПЭ и ПВХ.

Следует отметить, что в отечественной литературе опыт эксплуатации наружных водопроводных сетей из пластмасс представлен весьма скудно, во многом со ссылками на зарубежный опыт и номенклатуру выпускаемых пластмассовых труб, соединительных элементов и других изделий, необходимых для монтажа и эксплуатации трубопроводов. Интенсивно развивается лишь одно направление по использованию пластмассовых труб и изделий — бестраншейные методы восстановления и санации систем водоснабжения и водоотведения с применением полимерных изделий и материалов.

Во многом это объясняется широкой информацией об этих методах, их экологичности, надежности, экономичности и оперативности,

по сравнению с классическими методами, связанными с земляными работами по ликвидации аварийных ситуаций на инженерных коммуникациях, что приводит к длительному нарушению нормальных условий функционирования систем инфраструктуры в городах (особенно крупных) с интенсивными транспортными потоками.

Для наружных и внутренних сетей водоснабжения применяют пластмассовые напорные трубы из полиэтилена низкой плотности (ПНП) и полиэтилена высокой плотности (ПВП) по ГОСТу 18599–83.

Наиболее полный ряд наружных диаметров (10–1200 мм) представлен этим ГОСТом на трубы из полиэтилена высокой плотности (полиэтилен низкого давления). Выпуск труб из полиэтилена низкой плотности (полиэтилен высокого давления) предусматривается в диапазоне диаметров 10–160 мм. Указанные трубы изготавливают четырех типов: Л, ЧЛ, Ч и Т на рабочее давление соответственно 0,25; 0,4; 0,6 и 1 МПа. Эти значения давления принимают из условия предполагаемого срока службы не менее 50 лет при температуре воды 20 °С.

Трубы напорные из непластифицированного поливинилхлорида (ПВХ) выпускают по ТУ 6-19-231–83. Их изготавливают четырех классов: СЛ, С, Т и ОТ на давление соответственно 0,4; 0,6; 1 и 1,6 МПа в диапазоне диаметров 10–315 мм. Трубы поставляют со следующими конструктивными исполнениями концов: без раструбов, с раструбами для клеевого соединения, с раструбами для соединения с помощью резиновых уплотнительных колец.

Для систем водоснабжения могут также применяться напорные полипропиленовые трубы, выпускаемые по ТУ 38-102-100–76, диаметром 32–200 мм на рабочее давление до 1 МПа.

Обобщая несомненные достоинства и возможные перспективы использования пластмассовых труб в системах наружного водоснабжения городов РФ, учитывая предложения и требования ряда организаций и предприятий, лоббирующих широкое использование пластмассовых труб в системе питьевого водоснабжения столицы РФ, считаем необходимым отметить следующее.

1. В России отсутствует опыт широкого использования пластмассовых труб отечественного производства для систем централизованного (наружного) питьевого водоснабжения. Они не обеспечивают в полной мере сортаментный диапазон и диапазон рабочих давлений, имеющих место в системе подачи и распределения воды. Отсутствует требуемый ассортимент отечественных фасонных частей и надежной сварочной техники.

Стоимость качественных импортных пластмассовых труб и оборудования высока, требования технологического регламента строительно-монтажных работ и эксплуатации не соответствуют материально-техническим возможностям эксплуатирующего предприятия и реальным условиям эксплуатации водопроводных сетей.

2. По отечественным технологиям эти трубы изготавливаются в основном из термопластов, хотя в большинстве стран Европы их изготовление осуществляется из «сшитого» или «сетчатого» полиэтилена, имеющего в несколько раз лучшие характеристики: долговременная прочность, замедленное старение, химическая и абразивная стойкость и др.

3. Пластмассовые трубы не обладают жесткостью, т.е. высокой сопротивляемостью раздавливанию, и имеют большой коэффициент линейного расширения. Повышенные внешние нагрузки на гибкую трубу приводят к ее деформации и увеличению овальности поперечного сечения трубы.

4. Практически невозможно смоделировать поведение пластмассовой трубы с учетом изменения внешнего и внутреннего давлений в условиях резкого перепада температуры грунта, что характерно для климатической зоны Москвы.

5. Техническая база и условия прокладки пластмассовых труб за рубежом резко отличаются от РФ. Для условий эксплуатации трубопроводов в Москве характерна необходимость выполнения строительно-монтажных работ по прокладке и перекладке труб в зимнее время. Необходимо разработать специальный регламент выполнения этих работ в зимнее время.

Однако известно, что с понижением температуры пластические свойства пластмассовых труб ухудшаются, поэтому должны соблюдаться повышенные требования по транспортировке, разгрузке, хранению, монтажу и сварке труб. Так, при использовании импортных пластмассовых труб техническими условиями устанавливается необходимость их теплоизоляции дорогостоящим листовым ячеистым стиролом.

6. Технические условия на использование импортных пластмассовых труб в подавляющем большинстве регламентируют их монтаж при температуре не выше –5 °С.

7. На большинстве городских водопроводов в России (в том числе в Москве) в основном установлена отечественная запорная арматура (затворы, поворотные затворы), которая не всегда обеспечивает полное перекрытие воды, что ставит под сомнение возможность проведения качественных сварочных работ, особенно при отрицательных температурах воздуха.

8. Прокладка полиэтиленовых труб требует производства большого, длительного и дорогостоящего объема подготовительных работ, выполнение которых в условиях плотной городской застройки Москвы и большого насыщения подземного пространства инженерными коммуникациями очень затруднительно и приведет к значительному удорожанию строительно-монтажных работ.

Так, европейские технические условия по прокладке пластмассовых труб регламентируют использование для обсыпки трубы не выну-



тый грунт, а специально подготовленный песок или гравий с размером фракций 22 мм или щебень с размером фракций 4—22 мм.

9. Для труб, используемых в системах питьевого водоснабжения, чрезвычайно важно гарантированное сохранение в течение длительного времени их прочностных характеристик, долговечности и обеспечение требуемого качества транспортируемой воды. Таких данных и такого опыта в РФ нет, и как себя поведут пластмассовые трубы через 20—30 лет эксплуатации не ясно. Смоделировать же изменение показателей долговечности пластмассовых труб, их физико-химических свойств, несущей способности и влияние старения труб на прочностные показатели и качество транспортируемой воды в трубах (где идет полимеризация во времени) невозможно.

Несущая способность пластмассовых труб, т.е. их длительная прочность и деформация ползучести, в настоящее время может быть определена только эмпирически, посредством проведения долговременных стендовых испытаний. Однако при таких испытаниях чрезвычайно трудно имитировать реальные условия эксплуатации труб.

Полиэтиленовые трубы должны иметь гладкие наружную и внутреннюю поверхности. Допускаются незначительные продольные полосы и волнистость, не выводящие толщину стенки трубы за пределы допускаемых отклонений. На наружной, внутренней и торцевой поверхностях труб не допускаются вздутия, трещины, раковины, посторонние включения, видимые без увеличительных приборов. Материал полиэтиленовых труб должен отвечать требованиям табл. 4.9.

Для соединения полиэтиленовых труб между собой, а также с соединительными деталями используются муфты с закладными электронагревателями отечественного производства (ТУ 2291-00203536-96).

Для стыковочных узлов могут использоваться соединительные детали по ТУ 6-19-218-86 «Детали соединительные из полиэтилена низкого давления сварные и гнутые для напорных труб», ТУ 6-49-22-90 «Детали соединительные из полиэтилена низкого давления для напорных труб», ТУ 2248-032-00203536-96 «Детали соединительные с удлиненными хвостовиками», ТУ 6-19-359-97 «Детали соединительные из полиэтилена для газопроводов», которые предназначены для систем хозяйственно-питьевого водоснабжения при температуре воды до +30 °С.

Соединение полиэтиленовых труб сваркой производится двумя способами: встык или с помощью муфт с закладными электроспиральями (терморезисторная сварка).

Сварочные работы должны производиться при температуре окружающего воздуха не ниже — 5 °С. Выполнение сварочных работ при более низких температурах воздуха следует проводить в утепленных (охлаждаемых) укрытиях (палатки, шатры и т.п.) с обеспечением плюсовых температур в месте сварки.

Таблица 4.9. Показатели материала полиэтиленовых труб (полиэтилен базовых марок (ГОСТ 18599-2001))

| Показатель                                                                     | ПЭ-80 | ПЭ-100 |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|
| Плотность при 23 °С, кг/м <sup>3</sup> , не менее                              | 930   | 945    |
| Показатель текучести расплава при 190 °С, г/10 мин при нагрузке 50 Н, не менее | 0,2   | 1,2    |
| Разброс показателей текучести расплава в пределах партии, %                    | 20    |        |
| Предел текучести при растяжении, МПа, не менее                                 | 16,7  | 21     |

В системах централизованного питьевого водоснабжения могут применяться лишь те трубы из полимерных материалов, которые обеспечивают сохранение качества воды в соответствии с ГОСТом 2874-82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством» и имеют гигиенический сертификат Госстандарта РФ. Однако исследований по анализу санитарной надежности пластмассовых трубопроводов, эксплуатируемых длительное время в условиях РФ, нет.

Что касается сравнения прочностных характеристик полиэтиленовых труб и труб из ВЧШГ, то у труб ВЧШГ предел прочности в 24 раза выше, чем у полиэтиленовых. Допустимое гидростатическое давление труб из ВЧШГ в 6,1 раз выше, чем у полиэтиленовых. Способность выдерживать долговременную нагрузку у труб из ВЧШГ выше в 82 раза.

В этой связи на сегодняшний день для широкомасштабного использования пластмассовых труб в системе наружного водоснабжения Москвы нет достаточных обоснований и материально-технических возможностей. Следует отметить, что и развитые страны Европы (Германия, Франция и др.) в системах наружного водоснабжения также применяют трубы из высокопрочного чугуна с защитным покрытием.

Вместе с тем автор не отвергает перспективного применения пластмассовых труб для систем наружного водоснабжения. Но при этом необходимо тщательно изучать возможности их оптимального применения с учетом особенностей их строительства и эксплуатации для системы питьевого водоснабжения Москвы, собирать данные по их надежности и долговечности, способствовать развитию отечественной технической и нормативной базы использования пластмассовых труб.

#### 4.6.3. Асбестоцементные трубы

Асбестоцементные трубы, названные при организации их производства в 1920-х гг. «этернитовыми», т.е. «вечными», успешно применяются за рубежом для строительства напорных трубопроводов подачи воды.

В нашей стране имеется ряд надежно работающих асбестоцементных напорных трубопроводов как систем водоснабжения, так и систем орошаемого земледелия. Асбестоцементные трубы — коррозион-

но стойкие, обеспечивают высокую пропускную способность, технология их изготовления может строго контролироваться и обеспечивать стабильное качество труб.

Действующий в России стандарт на асбестоцементные трубы не содержит требований, выполнение которых необходимо для обеспечения долговременной прочности труб при их использовании для строительства трубопроводов подземной прокладки. Отсутствие нормативных показателей прочности труб при многократном воздействии внутреннего гидравлического давления и внешней нагрузки привело к тому, что трубопроводы из асбестоцементных труб прокладывались без расчетов на прочность, что влекло за собой как необоснованное повышение стоимости строительства при выборе классов труб с «запасом», так и многочисленные аварии при использовании недостаточно прочных труб.

Необходимы исследования прочностных характеристик асбестоцементных труб. До завершения исследований и внесения в соответствии с их результатами необходимых дополнений и изменений в новый государственный стандарт следует установить, что при выборе класса труб, который производится при проектировании трубопровода с учетом условий эксплуатации, пределы долговременной прочности труб при многократном изменении внутреннего гидравлического давления и внешней нагрузки должны приниматься равными 50 % пределов прочности труб при разрыве, раздавливании и изгибе, определяемым при проведении испытаний образцов в соответствии с требованиями ГОСТа 539–80 и ГОСТ 11310. Это позволит учесть в первом приближении снижение предела прочности труб при реальных условиях их работы в напорных трубопроводах систем водоснабжения, водоотведения и мелиорации.

Как уже указывалось, фактическое снижение прочности труб зависит от структуры материала труб, определяемой регламентом на их изготовление. Поскольку регламенты не стандартизированы, то фактическое снижение прочности труб на различных заводах будет отличаться от указанного среднего показателя.

Поэтому следует рекомендовать заводам-изготовителям в первую очередь, до проведения исследований при взаимодействии различных сочетаний нагрузок, провести определение снижения прочности труб при многократных нагружениях каждым из видов нагружений в отдельности, проводимых при приемке изготовленных труб. Если результаты будут существенно отличаться от «среднего» показателя снижения прочности (50 %), то заводам-изготовителям следует сообщать об этом покупателям труб.

При проведении мероприятий по повышению качества асбестоцементных труб и разработке новых стандартов следует рассмотреть вопрос о целесообразности повышения прочности материала труб до уров-

ня, рекомендуемого ISO, чтобы снизить опасность повреждений труб при транспортировании, хранении и перемещениях в процессе строительства систем водоснабжения и водоотведения. Государственным стандартом следует регламентировать не только их изготовление, но и применение в системах водоподачи. Учитывая сравнительно невысокую прочность асбестоцемента (по сравнению с чугуном и сталью), в этом комплексном стандарте особое внимание следует уделить предотвращению повреждений труб в процессе транспортирования и укладки, а также подготовке основания под трубы и уплотнению грунта засыпки. Следует также предусмотреть совершенствование стыковых соединений, в частности использование запорных колец, предотвращающих выдавливание резиновых уплотнителей. Поскольку сами трубы являются очень долговечными и при их использовании срок службы трубопроводов подземной прокладки может быть не менее 50 лет, то следует предусмотреть меры по увеличению срока службы резиновых уплотнителей. Это позволит увеличить производство напорных асбестоцементных труб в России и обеспечить их эффективное использование.

#### 4.6.4. Требования к выбору материала труб городской водопроводной сети Москвы

На основании проведенных исследований и особенностей прокладки и эксплуатации трубопроводов городской водопроводной сети в Москве сформированы требования к выбору материала труб для условий прокладки и эксплуатации.

1. Выбор материала, класса прочности и диаметров труб для систем водоснабжения осуществляется на основании технико-экономического и статического расчетов, данных об агрессивности грунта и транспортируемой воды, условий работы трубопроводов при последующей эксплуатации и требований к качеству воды. Выбор материала труб должен проводиться в комплексе с решением вопроса о противокоррозионных мероприятиях — тип изоляционного защитного покрытия и необходимость применения электрохимической защиты.

2. Материал и тип труб городской водопроводной сети должен выбираться таким образом, чтобы суммарное воздействие внутреннего гидравлического давления и внешней нагрузки не вызывало бы напряжения, превышающего допустимое для данного класса труб.

3. Для водоводов и магистралей городской водопроводной сети срок службы труб без их замены должен составлять не менее 50 лет.

4. Гидравлическое сопротивление труб в течение срока службы должно оставаться стабильным. Расчетное значение гидравлического сопротивления вновь прокладываемых трубопроводов должно устанавливаться в соответствии с паспортными данными поставляемых труб.

5. Технические условия на водоснабжение, выдаваемые МГУП «Мосводоканал», регламентируют отказ от использования при строи-

тельстве городской водопроводной сети стальных труб диаметром до 300 мм включительно и обеспечивают преимущественное применение труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ) с внутренним цементно-песчаным покрытием и оцинкованной наружной поверхностью, усиленной полиэтиленовой изоляцией. Приоритет выбора труб из ВЧШГ основан на их высоких эксплуатационных качествах, надежности, многолетнем положительном опыте их использования в РФ и за рубежом.

6. Технические требования на трубы из ВЧШГ, внутреннее цементно-песчаное покрытие, наружное антикоррозионное покрытие, резиновые кольца, размеры, допуски, механические свойства, методы испытания, указания по эксплуатации изложены в Технических условиях (ТУ 1461-037-50 254 094-2000) «Трубы чугунные напорные высокопрочные».

7. На участках трубопроводов, проложенных в пучинистых и слабонесущих грунтах, на подрабатываемых территориях, а также в зонах с карстовыми явлениями предпочтительно применение стальных труб (с учетом некоторых более высоких механических характеристик этих труб).

Стальные трубы допускается использовать при диаметре выше 400 мм и только с обязательной их защитой от внешней и внутренней коррозии. В соответствии с ГОСТ 9.602-89 и РД 153-39.4-091-01 для стальных труб регламентировано обязательное применение изоляционного покрытия весьма усиленного типа, наносимого в заводских или базовых условиях.

8. Для новой прокладки (перекладки) и санации трубопроводов городской водопроводной сети при соответствующем обосновании могут быть использованы полиэтиленовые трубы на рабочее давление от 1 до 1,6 МПа по ГОСТу 18599-2001 (ПЭ 80 SDR 9, 11 и 13,6 и ПЭ 100 SDR 11, 13,6 и 17).

## Глава 5.

# УПРАВЛЕНИЕ ПОТЕРЯМИ ВОДЫ В ГОРОДСКОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ И ПУТИ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В МОСКВЕ

## 5.1. ПРОБЛЕМА УТЕЧЕК И НЕУЧТЕННЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ В ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ ГОРОДОВ РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

Сегодня во всем мире растет потребление воды и уменьшаются имеющиеся водные ресурсы. Потери воды в водопроводной сети — постоянная «головная боль» специалистов, занимающихся эксплуатацией.

В России потери воды в трубопроводной сети достигают значительных величин. По данным НИИ КВОВ им. К.Д. Памфилова, в жилищном фонде потери составляли в 1985 г., в среднем по России, 21 % от общего водопотребления. По данным Всемирного банка, который производил оценку потерь воды во многих российских городах в 1998—2003 гг., уровень потерь составляет от 15 до 40 %.

Для понимания структуры потерь воды в системах водоснабжения используется различная терминология, в том числе «неучтенные расходы», «непроданная вода», «непроизводительные потери» и «утечки воды».

В прошлом, по данным Госкомстата РСФСР, неучтенные расходы и утечки воды составляли в среднем по организациям ВКХ РФ 6—8 % от уровня водоподачи в сеть. Этот показатель служил в качестве своеобразного норматива, хотя опыт организаций ВКХ и зарубежные данные показывают, что при надлежаще организованном учете расходов воды обеспечить поддержание этого показателя на столь низком уровне практически невозможно [37, 41].

В настоящее время расчет этого показателя (составляющего в среднем по стране 7—8 % общей подачи воды в сеть) не базируется на каких-либо научно обоснованных рекомендациях, не учитывает реальных условий функционирования конкретных систем — уровня оснащения измерительными приборами, сроков службы сетей и сооружений, объемов аварийно-восстановительных работ и планово-предупредительных ремонтов. В то же время имеются зарубежные данные о том, что при хорошем уровне эксплуатации систем водоснабжения объем воды, оплаченной всеми потребителями, составляет 80—90 %



подачи и дальнейшее увеличение этого объема практически невозможно (т.е. наименьший возможный уровень неучтенных расходов и потеря воды составляет  $\approx 8\text{—}10\%$ ) [119].

В этой связи очевидно, что выход на директивно планируемый показатель  $6\text{—}8\%$  возможен был только при отсутствии удовлетворительного учета подачи и реализации воды и свидетельствует не о действительных достижениях в сокращении потерь воды, а о недостатках учета. Организации ВКХ, где учет подачи и реализации воды поставлен удовлетворительно, не могли выполнить установленные в прошлом задания по этому показателю и значительно превышали его. К тому же директивные органы необоснованно требовали от организации ВКХ исключения из этого показателя ряда составляющих расходов, необходимых для обеспечения нормальной эксплуатации систем водоснабжения, что также занижало его уровень.

Так, в инструкции Госкомстата России по составлению статистической отчетности о работе водопроводов (отдельной водопроводной сети) [30] было указано: «2.15. По строке 23 показывается утечка и неучтенный расход воды за год. Утечка воды происходит при транспортировке воды к потребителям вследствие неисправности труб водопроводной сети, их соединений, запорной арматуры, гидрантов, а также аварий на сети. Неучтенный расход включает использование воды на тушение пожаров, на учебные цели по тушению пожаров. Размер утечки и неучтенного расхода определяется как разность между количеством воды, поданной в сеть, и количеством воды, отпущенной всем потребителям».

Как следует из этого текста, «Утечка воды» выделена из «неучтенного расхода воды», что в принципе неправильно, так как то и другое — это потери воды, поданной в сеть. Кроме того, в неучтенный расход воды не включены потери воды из водопроводной сети в результате расходования этой воды на различные собственные нужды организации ВКХ, необходимые для обеспечения нормальной эксплуатации системы водоснабжения. К ним относятся расходы на технологические нужды ряда сооружений и оборудования, на производственные нужды объектов вспомогательного назначения (котельные, гаражи, водомерные мастерские и др.), а также на хозяйственно-питьевые нужды всего персонала организации ВКХ и др.

Эти расходы воды должны быть отнесены к неучтенным, даже если они определены с помощью приборов учета, поскольку непосредственно не оплачиваются абонентами, но являются неизбежными при эксплуатации и, следовательно, должны быть учтены при калькулировании себестоимости воды и формировании тарифов на питьевую воду.

В результате такого положения величина утечки и неучтенного расхода воды, указываемая в сборниках статистической отчетности Госкомстата России, не отражает фактического значения этого показателя.

Очевидно также, что в статистическом показателе занижена и величина утечки воды, являющаяся его составной частью. Об этом свидетельствует тот факт, что водопроводные сети подавляющего большинства организаций ВКХ находятся в крайне неудовлетворительном состоянии. Так, по данным Госстроя России, около  $30\%$  коммунальной сети нуждается в замене, а число аварий по сети за год превысило 66 тыс., т.е. на 1 км приходилось 0,68 аварий, что в несколько раз превышает аналогичные показатели в экономически развитых зарубежных странах.

Следовательно, утечки воды из водопроводной сети у отечественных организаций ВКХ должны быть выше, чем у зарубежных, где они обычно находятся в пределах  $10\text{—}15\%$  от объема поданной в сеть воды. Если же этот показатель отнести к объемам воды, поданной в сеть, как это принято в большинстве стран мира, то его величина станет равной соответственно  $13,2\%$ , что явно занижено.

Теоретически показатель «неучтенные расходы воды» должен отражать (и соответственно в него должны включаться в качестве составляющих) неоплачиваемые, но необходимые технологические расходы, обеспечивающие нормальную эксплуатацию и хозяйственно-финансовую деятельность организации ВКХ, т.е. те расходы, которые технически неизбежны. За них потребитель должен заплатить.

Исходя из этого, в состав неучтенных расходов воды следует включить:

- расходы воды на технологические и собственные нужды организации ВКХ;
- расходы воды на противопожарные нужды;
- расходы воды на нужды абонентов, не имеющих приборов учета, использованной сверх установленных для этих абонентов нормативов водопотребления;
- расходы воды на нужды городского хозяйства населенного пункта, израсходованной без регистрации приборами учета;
- утечки воды при авариях и повреждениях трубопроводов и арматуры;
- скрытые утечки воды.

Такая структура не исчерпывает весь спектр неучтенных расходов. Например, не включать хищения воды в структуру неучтенных расходов воды совершенно недопустимо, если считать справедливыми вышеизложенные критерии обеспечения нормальной эксплуатации систем водоснабжения и хозяйственно-финансовой деятельности организации ВКХ.

Перечисленные расходы воды, включаемые в структуру неучтенных расходов в качестве обязательных, представляют собой полезные расходы, которые, однако, не оплачиваются непосредственно потребителями и учет которых представляет технически сложную и дорогостоящую задачу, не всегда экономически выгодную.

Очевидно, что если размер технологических, производственных и хозяйственно-бытовых расходов организаций ВКХ может быть четко рассчитан, исходя из утвержденных норм и единиц потребления воды, то нормирование расходов воды, связанных с авариями и повреждениями на трубопроводах и арматуре, представляет собой намного более сложную задачу.

Существует ряд временно действующих факторов, определяющих высокий уровень потерь воды в водопроводной сети большинства городов России. Это — высокое давление, большая амплитуда его колебания в течение суток, гидравлические удары, недостаточный объем резервуаров, недостаточность средств управления потоками, неудовлетворительная обеспеченность ресурсами на ремонтно-эксплуатационные нужды, отсутствие надежных приборов для своевременного обнаружения утечек воды.

В то же время потери в сетях снижаются за счет постоянного осуществления планово-предупредительных ремонтов, обновления и реконструкции сетей, изменении их схем, сокращения сроков ремонтов, своевременного обнаружения, локализации и ликвидации аварий, оптимизации режимов работы сетей в отношении напоров и др. Совместное действие факторов, увеличивающих и снижающих величину потерь воды, определяет фактический уровень потерь воды в водораспределительных системах.

По мнению большинства специалистов [40], в сумме неучтенных расходов на долю утечек приходится незначительная величина, а ее уменьшение ниже 5 % от суммарной подачи водопровода технически невозможно и экономически невыгодно.

Разработанная в НИИ КВОВ методика оценки водопотребления получила дальнейшее развитие в работе [31], которая широко использовалась организациями ВКХ как для обоснования норм водопотребления в жилищном фонде, так и для оценки размера утечек воды из водопроводной сети.

Для оценки скрытых утечек воды из сети микрорайонов города предложен балансовый метод, основанный на определении и сравнении объемов воды, подаваемой в сеть микрорайона, и объемов воды, зарегистрированных приборами учета у потребителей. При этом измерения осуществляют в периоды минимального водопотребления, т.е. в ночные часы, и для тех суток, когда на сети микрорайона не происходит аварий и нет расхода воды на противопожарные нужды и промывку сети [40, 41].

Метод апробирован в ряде городов. Так, по инициативе НИИ КВОВ Московским гидромелиоративным институтом с участием водоканалов городов Ленинградской области в течение ряда лет проводились исследования по выполнению и оценке скрытых утечек воды в производственных условиях. Их результаты показали, что величина

скрытых утечек воды составляет 16—20 % от подачи воды в сеть в ночное время.

Следует отметить разработанную учеными С.-Петербурга методику определения объемов нереализованной воды в системе централизованного питьевого водоснабжения городов и ее использование на примере системы подачи и распределения воды С.-Петербурга [43].

В методике приводятся: порядок расчета для определения неучтенных расходов и потерь воды в системе коммунальных водопроводов; порядок определения мест повреждений и утечек на водопроводной сети; порядок определения объемов скрытых утечек воды на водопроводной сети. Кроме того, в методике рекомендуются нормы естественной убыли воды, приводятся фактические уровни водопотребления в жилом фонде С.-Петербурга и нормативы удельного водопотребления.

Разработанная методика базируется на анализе технического состояния водопроводной сети С.-Петербурга. На основании собранных данных и проведенных измерений выполнена оценка фактических неучтенных расходов и потерь воды.

Отличительной особенностью этой работы является то, что оценка потерь и расходов воды на собственные нужды проводилась как экспериментально, так и с привлечением статистических методов. Практически совпадающие, полученные различными методами результаты свидетельствуют о близости измеренных и рассчитанных величин неучтенных расходов и потерь воды к фактическим.

В последние годы вопросам оценки и нормирования неучтенных расходов воды в системах коммунального водоснабжения России уделяется все большее внимание как со стороны научных, проектных, так и производственных организаций, что указывает на значимость данной проблемы для всех водоканалов без исключения.

Очевидно, что неучтенные расходы воды в стоимостном выражении следует включать в состав затрат при калькулировании себестоимости воды. Вместе с тем, учитывая, что это приводит к росту себестоимости, а следовательно, и тарифов на воду, необходимо сочетать работы по выполнению достоверной оценки и нормированию неучтенных расходов воды с разработкой и осуществлением соответствующих мероприятий по их стабилизации и снижению.

Из-за сложившихся условий определения неучтенных расходов воды в организациях ВКХ их службы не всегда готовы к предоставлению информации в полном объеме, поэтому вначале отдельные расчеты могут быть основаны на опытных данных или на результатах, полученных в аналогичных условиях в другой организации ВКХ.

В дальнейшем необходимо создавать банк данных по составляющим неучтенных расходов воды за ряд лет. Эти материалы позволяют уточнить оценку и нормирование неучтенных расходов воды и будут

служить основанием для разработки организационно-технических мероприятий по обеспечению их рационального уровня.

В экономически развитых зарубежных странах проблема выявления оценки и снижения неучтенных расходов воды на водопроводной сети также всегда была в центре внимания предприятий водоснабжения.

Решению различных аспектов этой проблемы посвящены многие исследования и разработки, а также практическая деятельность организаций водоснабжения. Результаты этих работ широко представлены в технической литературе, анализ которой показывает, что особое внимание за рубежом уделяют вопросам контроля утечек из водопроводной сети. Об этом свидетельствует и тот факт, что эти вопросы неоднократно рассматривались на конгрессах и конференциях Международной ассоциации водоснабжения (МАВ), а на 17-м Конгрессе МАВ этому был посвящен генеральный доклад с участием специалистов из десяти стран.

Как показали результаты анкетного опроса стран-членов МАВ, в ряде крупных зарубежных городов величина неучтенных расходов воды находится в пределах 15—18 % объема воды, подаваемой в водопроводную сеть, что сопоставимо с отечественными данными, полученными в результате исследований НИИ КВОВ [21].

По опытным данным Лондонского водопровода, основной причиной утечек воды из водопроводной сети являются повреждения труб, число которых возрастает с уменьшением диаметра трубопровода. На трубопроводах средних и больших диаметров основной причиной утечек воды являются продольные трещины, обусловленные давлением грунта. Кроме того, установлено, что при резких изменениях температуры воздуха и воды количество повреждений труб существенно увеличивается [133].

За рубежом число повреждений на трубопроводах повсеместно учитывают в единицах на 1 км протяженности в год. Для труб из серого чугуна этот показатель составил в Лондоне 0,16, в Швеции — 0,1, в Дании — 0,19, в ФРГ — 0,22. Для труб из ковкого чугуна этот показатель обычно значительно ниже и составляет 0,02—0,04, а для стальных труб — 0,1—0,5 [117].

Согласно зарубежной статистике, отмечено следующее распределение случаев повреждений на трубопроводах и арматуре, в % общего числа повреждений [22]:

|                            |      |
|----------------------------|------|
| Дефекты гидрантов.....     | 46,1 |
| Разрывы труб.....          | 18,9 |
| Трещины труб.....          | 6,3  |
| Свищи коррозионные.....    | 5,5  |
| Дефекты задвижек.....      | 14,1 |
| Дефекты присоединений..... | 3,9  |
| Прочие повреждения.....    | 5,2  |

Таблица 5.1. Данные расчетов неучтенных расходов в системах водоснабжения городов мира

| Город          | Протяженность сети, км | Удельное водопотребление, л/сут·чел |                     |                      | Удельные потери воды в расчете     |                    |                                     |
|----------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|
|                |                        | общее                               | только на население | % от суточной подачи | на 1 км протяженности сети, м³/сут | на 1 жителя, л/сут | % от удельного расхода на население |
| Амстердам      | 1926                   | 204                                 | 100                 | 49                   | 26,3                               | 40                 | 40                                  |
| Антверпен      | 1900                   | 329                                 | 85                  | 26                   | 27,9                               | 53                 | 62                                  |
| Барселона      | 3160                   | 290                                 | —                   | —                    | 66                                 | 70                 | —                                   |
| Брюссель       | 4500                   | 309                                 | 201                 | 65                   | 10,6                               | 46                 | 23                                  |
| Будапешт       | 4100                   | 416                                 | 190                 | 45                   | 26,9                               | 50                 | 26                                  |
| Вена           | 3145                   | 280                                 | 154                 | 55                   | 18,5                               | 36                 | 23                                  |
| Копенгаген     | 855                    | 294                                 | 164                 | 56                   | 11,6                               | 22                 | 13                                  |
| Лиссабон       | 1108                   | 220                                 | 100                 | 45                   | 103                                | 57                 | 57                                  |
| Лондон         | 16000                  | 337                                 | —                   | —                    | —                                  | 12                 | 34                                  |
| Мюнхен         | 2302                   | 285                                 | 185                 | 65                   | 18,2                               | 30                 | 16                                  |
| Рим            | 3700                   | 391                                 | 274                 | 70                   | 93                                 | 115                | 40                                  |
| Роттердам      | 2400                   | 250                                 | 100                 | 40                   | 13,7                               | 25                 | 25                                  |
| София          | 2580                   | 485                                 | 267                 | 55                   | 37,7                               | 80                 | 29                                  |
| Стокгольм      | 1710                   | 428                                 | 214                 | 50                   | 47,4                               | 90                 | 42                                  |
| Хельсинки      | 950                    | 390                                 | 211                 | 54                   | 20                                 | 40                 | 19                                  |
| Цюрих          | 1000                   | 455                                 | 236                 | 52                   | 19,9                               | 30                 | 13                                  |
| Киото          | 330                    | 253                                 | 143                 | 57                   | 33,6                               | 56                 | 39                                  |
| Токио          | 17600                  | 496                                 | 321                 | 65                   | 60,4                               | 100                | 31                                  |
| Бразилиа       | 3000                   | 998                                 | 678                 | 68                   | 120                                | 400                | 59                                  |
| Рио-де-Жанейро | 6400                   | 564                                 | 490                 | 87                   | 111                                | 169                | 34                                  |

В разных городах величины как утечек, так и неучтенных расходов воды в целом существенно различаются в зависимости от уровня оснащённости систем водоснабжения приборами учета расходования воды, материала трубопроводов и срока их службы, степени автоматизации работы водопроводной сети с использованием компьютерной техники, наличия современной аппаратуры для диагностики состояния трубопроводов и др. (табл. 5.1).

Немецкие специалисты считают, что утечка воды из водопроводной сети должна быть в пределах 1,5 м³/(ч·км). Это существенно ниже, чем на большинстве водопроводов других стран, и объясняется весьма высокими требованиями к качеству строительства и используемыми строительными материалами при возведении трубопроводов. Необходимо отметить, что в Германии 56 % общей протяженности сети выполнено из чугунных труб, 26 % — из пластмассовых, 10 % — из асбестоцементных и только 6 % — из стальных труб с внутренней облицовкой. Без облицовки уложено 30 % чугунных труб, срок службы ко-



торых превышает 50 лет. Средний же срок службы чугунных труб равен 40—60 годам, и возобновляются они в размере 1 % ежегодно [123].

Таким образом, очевидно, что данные о повреждениях и утечке воды из водопроводной сети городов Германии относятся к сети, находящейся, безусловно, в лучшем состоянии по сравнению с водопроводными сетями в большинстве российских городов.

Расчетные расходы воды на пожаротушение в странах Западной Европы зависят от допустимого уровня риска пожара. Этот уровень определяется плотностью и этажностью застройки и наличием на городской территории пожароопасных производств.

В Нидерландах, например, в зависимости от уровня риска принимают расход воды на пожар от 60 до 360 м<sup>3</sup>/ч, в Швейцарии — от 54 до 216 м<sup>3</sup>/ч, в ФРГ — 192 м<sup>3</sup>/ч или более. Расчетная продолжительность пожара — 2 часа, расход воды из одного гидранта 60 — 75 м<sup>3</sup>/ч.

В США в зависимости от крупности городов расход воды на пожаротушение колеблется от 227 до 2725 м<sup>3</sup>/ч при расчетной продолжительности тушения 4—10 ч. Расход воды из одного гидранта 2×60 м<sup>3</sup>/ч [112]. Эти расходы существенно выше, чем действующие в России нормативы пожаротушения.

В сфере мероприятий по снижению неучтенных расходов воды основные усилия зарубежных организаций водоснабжения связаны с контролем утечек воды из водопроводной сети. В Великобритании, например, используют следующие методы такого контроля:

- 1) пассивный контроль, т.е. ликвидация тех утечек воды, которые выходят на поверхность земли;
- 2) регулярное прослушивание арматуры в колодцах с помощью акустических приборов, осуществляемое обычно один раз в год;
- 3) измерение расходов воды, поступающей в район города, насчитывающий до 5 тыс. владений. Измерение осуществляют с помощью расходомеров, устанавливаемых в узловых точках сети района. Считывание показаний расходомеров производят еженедельно или ежемесячно;
- 4) измерение с использованием ночных расходов воды, поступающей в микрорайон города с числом владений от 500 до 1000. При наличии резкого увеличения показаний микрорайон подвергается тщательному обследованию.

Отмечается, что в большинстве случаев суммарные затраты на контроль утечек из водопроводной сети с учетом стоимости потерянной воды становятся минимальными при использовании 3-го метода, т.е. при осуществлении регулярных измерений расходов воды по районам города [123].

Методы 2-й и 3-й особенно необходимы для контроля скрытых утечек воды. При этом следует отметить, что в настоящее время водопроводные предприятия за рубежом полностью оснащены самоходными телевизионными устройствами для обследования состояния внут-

ренних поверхностей трубопроводов и электронно-акустическими приборами с корреляторами, установленными в специализированных автомобилях, что позволяет успешно осуществлять поиск и локализацию скрытых утечек.

В Великобритании, Франции, США и других странах для снижения потерь воды широко применяют зонирование сети с установкой редукционных и противоударных клапанов, насосы с регулируемым числом оборотов и телемеханический контроль давления в диктующих точках сети [131].

В Испании считают, что путем секционирования водопроводной сети и телеконтроля можно выявить от 1,4 до 5 % утечек, а путем контроля давления воды в сети — обеспечить дальнейшее снижение потерь воды в размере 1,3 %, всего от 2,7 до 6,3 % поданной в сеть воды [132].

В результате выполнения этих и других мероприятий в большинстве развитых зарубежных стран добиваются значительного снижения неучтенных расходов и утечек воды.

**Сравнение потерь воды.** Международная водная ассоциация (МВА) провела стандартизацию методов определения и выражения общих потерь воды и поддержала практику Великобритании относительно постоянного учета и предварительного определения компонент потерь воды в единицах объема за год (или за день) перед выполнением каких-либо сравнений.

**Водный баланс — методология Великобритании.** Потери воды могут быть определены путем составления *водного баланса*. Он основан на оценке или учете произведенной, импортированной, экспортированной, потребленной и потерянной воды — вычисления должны привести к балансу. Большинство компаний в состоянии выполнить оценку производства, импорта, экспорта и потребления, но лишь немногие способны оценивать другие компоненты. Вычисление водного баланса дает информацию о том, сколько воды потеряно за счет утечек из сети («реальные» утечки) и сколько — за счет «видимых» или нефизических потерь.

В 1994 г. в отчете о контроле утечек, составленном Национальной инициативой по работе с утечками определена терминология для компонент «входа в водопроводную систему» (произведенная вода), которая стала национальным стандартом Великобритании и основой для вычисления водного баланса.

Подача в водопроводную распределительную систему (DI) описывается формулами:

$$DI = WP + WI - WE; DI = WD + DL + DOU,$$

где WP — произведенная вода; WI — импортированная вода; WE — экспортированная вода; WD — доставленная потребителю вода; DL — потери водопроводной системы; DOU — использование на нужды эксплуатации в водопроводной системе.

«Доставленная вода» есть объем, достигший границы зоны потребителя, включает учтенное и неучтенное потребление, неучтенные потери в потребительских трубах и малые потери от легального и нелегального потребления из гидрантов. «Потери водопроводной системы» включают все потери питьевой воды между водопроводными станциями и границей улицы. «Потери в потребительских трубах» являются утечками из частных труб потребителей после точки доставки. Поскольку не все домовладения Великобритании имеют водосчетчики, то потребление, включая утечки из потребительских труб, подлежит оценке. Нормативные органы поощряли водопроводные компании к внедрению более «устойчивых» механизмов для оценки неучтенных компонент поставленной воды для достижения большей точности потерь в потребительских трубах.

**Международный стандарт МВА.** Вследствие широкого разнообразия форматов и определений, используемых для вычисления водного баланса в международной практике (зачастую внутри одной и той же страны), возникла насущная необходимость для введения общей международной терминологии. Изучив практический опыт множества стран, рабочая группа МВА по потерям воды и эксплуатационным показателям недавно создала «наилучший в практике» стандартный подход к вычислению водного баланса, включая определение всех используемых терминов.

Сокращенные определения принципиальных компонент водного баланса МВА приведены в табл. 5.2.

- Входной объем системы — это годовой входной объем этой части водопроводной системы.
- Санкционированное потребление — это годовой объем учтенной и/или неучтенной воды, отобранный зарегистрированными потребителями, поставщиками воды и иными лицами, явно или косвенно уполномоченными на это. Оно включает экспортированную воду, а также утечки и переполнения после точки водосчетчика потребителя.
- Бездоходная вода (NRW) — это разность между входным объемом системы и оплаченным санкционированным потреблением. NRW состоит из неоплаченного санкционированного потребления (как правило, малая компонента водного баланса) и потерь воды.
- Потери воды равны разности входного объема системы и санкционированного потребления и включают видимые потери и реальные потери.
- Видимые потери состоят из несанкционированного потребления и всех видов погрешности учета.
- Реальными потерями называется ежегодный объем воды, теряемой через все виды утечек, разрывов и переполнений магистральных трубопроводов, резервуаров чистой воды и потребительских соединений вплоть до точки водосчетчика потребителя.

Таблица 5.2. Стандартный международный водный баланс и терминология МВА

|                                                         |                               |                                          |                                                                    |                        |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Входной объем системы (с поправкой на известные ошибки) | Санкционированное потребление | Оплаченное санкционированное потребление | Оплаченное учтенное потребление (включая экспортированную воду)    | Доходная вода          |
|                                                         |                               |                                          | Оплаченное неучтенное потребление                                  |                        |
|                                                         | Потери воды                   | Видимые потери                           | Неоплаченное учтенное потребление                                  | Бездоходная вода (NRW) |
|                                                         |                               |                                          | Неоплаченное неучтенное потребление                                |                        |
|                                                         | Реальные потери               | Реальные потери                          | Несанкционированное потребление                                    |                        |
|                                                         |                               |                                          | Неточность водосчетчика потребителя                                |                        |
|                                                         |                               |                                          | Утечки на магистральных и/или распределительных водопроводах       |                        |
|                                                         |                               |                                          | Утечки и переполнение резервуаров предприятия                      |                        |
|                                                         |                               |                                          | Утечки на потребительских трубах до точки водосчетчика потребителя |                        |

Перед любой попыткой вычисления показателей эффективности следует определить компоненты водного баланса в виде объемов. Следует также попытаться разделить бездоходную воду на компоненты — неоплаченное санкционированное потребление, видимые потери и реальные потери.

Стандарт водного баланса МВА получил быстрое международное признание и уже был адаптирован или продвигается национальными организациями Австралии, Германии, Мальты, Новой Зеландии, Южной Африки и США, а также отдельными предприятиями или консультантами в Бразилии, Канаде, Малайзии, Скандинавских странах и Великобритании.

Как правило, переопределение компонент любого «национального» или «местного» водного баланса перед вычислением годового объема потерь и «наилучших практических» показателей эффективности в соответствии со стандартным подходом МВА выполняется дос-

таточно просто. Поэтому при введении или пересмотре национального стандарта, как в Германии, стандартный подход МВА должен быть рассмотрен в первую очередь.

Все компоненты водного баланса и показатели эффективности, выведенные из них, могут искажаться вследствие погрешности исходных данных. В соответствии с этим новые прикладные методы широко применяют программное обеспечение с использованием 95 % доверительного интервала для всех элементов входных данных и с автоматическим вычислением 95 % доверительного интервала для компонент NRW и показателей эффективности.

**Бездоходная вода (неоплаченная вода).** Объем бездоходной воды вычисляется путем вычитания объема компонент оплаченного санкционированного потребления из входного объема системы. Процедура получения остатка вычисления водного баланса для компонента бездоходной воды состоит из оценки неоплаченного санкционированного потребления и видимых потерь, после чего они вычитаются из объема NRW для получения реальных потерь.

Вследствие слишком широкого толкования термина «неплатежи за воду» (UFW) в мире рабочая группа МВА не рекомендует использовать этот термин. Если же термин UFW все-таки используется, его следует определять и вычислять таким же образом, как «бездоходную воду».

**Неоплаченное санкционированное потребление.** Санкционированное потребление, согласно терминологии МВА, включает такие пункты, как пожаротушение и учения пожарных, промывка магистральных трубопроводов и коллекторов, очистка резервуаров питьевой воды, заполнение водой цистерн, вода, отобранная из гидрантов, мойка улиц, полив муниципальных садов, общественные фонтаны, защита от замерзания, вода для нужд строительства и т.п. Оно может быть оплаченным или неоплаченным, учтенным или неучтенным согласно местной практике.

Неоплаченное санкционированное потребление, как правило, является лишь малой компонентой водного баланса (менее 1 % от входного объема системы). Насколько возможно, этот объем должен быть учтен. В других ситуациях простые методы документирования и оценки такого использования воды показывают, что объем неоплаченного санкционированного потребления является необоснованно высоким и может быть снижен до небольших годовых объемов без ущерба для эффективности сети и качества обслуживания потребителей.

**Видимые потери.** Видимые потери включают несанкционированное потребление (хищение и незаконное использование) и ошибки учета. Вычисление этих объемов основывается, прежде всего, на структурированных выборочных тестах, или они оцениваются по жесткой местной процедуре (которая должна быть определена для целей аудита).

При выражении в процентах от входного объема системы видимые потери могут меняться от значений, близких к нулю, до 10 % для систем прямого давления и даже больше для систем с потребительскими резервуарами питьевой воды. Соответственно этому каждое коммунальное предприятие должно пытаться оценивать и контролировать компоненты видимых потерь в своей собственной системе.

**Несанкционированное потребление.** Несанкционированное потребление в большей или меньшей степени имеет место в большинстве водопроводных систем мира, но в разумно управляемых системах оно не превышает 1 % от входного объема. Так в Англии и Уэльсе оно оценивается как 0,36 % входного объема системы.

Эта компонента видимых потерь, как правило, связана со злоупотреблением пожарными гидрантами и пожарными отводами, а также с незаконными присоединениями. Такое злоупотребление может быть легко обнаружено простым учетом или контролем давления для обычно неучитываемого обслуживания пожарных служб.

Проверка на возможность наличия незаконного подключения обычно начинается с идентификации потребителей с необычно малым расходом воды.

В США аудиторская процедура рекомендует решать вопросы несанкционированного потребления посредством «хорошей процедуры ведения расчетов».

**Оценка ошибок учета.** Перед началом вычисления водного баланса желательно устранить все известные ошибки входного объема системы. Это не только обосновывает абсолютную необходимость регулярных проверок точности водосчетчиков на входе в систему, но и позволит добиться того, что единственной компонентой ошибочного учета в объеме видимых потерь будут погрешности учета водосчетчиков потребителей, что позволит более просто интерпретировать вычисленный объем.

Ошибки водосчетчиков потребителей включают:

- случайные ошибки, обусловленные процедурами расчетов — разности между данными, считанными с водосчетчика на входе и с водосчетчиков потребителей, ошибки при считывании показаний водосчетчиков, некорректная оценка остановленных водосчетчиков, регулировка под исходные показания водосчетчика, неправильные вычисления, ошибки в компьютерных программах и т.д.;

- систематические ошибки вследствие заниженной регистрации или завышенной регистрации на потребительских водосчетчиках.

Систематическая заниженная или завышенная регистрация на потребительских водосчетчиках зависит от многих факторов, например от типа и класса водосчетчика, метода монтажа, качества воды, непрерывности подачи воды, среднего срока службы водосчетчика и присутствия (или отсутствия) резервуаров питьевой воды в собственности.



**Контроль ошибок водосчетчиков потребителей.** Многие компьютеризованные системы ведения расчетов, к сожалению, не предназначены для эффективного поиска технических данных для изучения и вычисления потерь воды. Улучшенное взаимодействие между расчетными и эксплуатационными подразделениями коммунального предприятия может минимизировать подобные проблемы. Если в системе ведения расчетов есть резервные «поля», то использование ссылок глобальной системы позиционирования (GPS) для местоположения каждого водосчетчика потребителя в некоторых ситуациях дает способ сопоставления индивидуальных водосчетчиков индивидуальным секторам. Технология географической информационной системы (GIS) также позволяет связать каждый водосчетчик потребителя с потребительским отводом.

Выбор типа и класса потребительского водосчетчика (от А до D) может быть ограничен соображениями качества воды, а также техническими и экономическими причинами. Экономичная политика замены водосчетчиков в жилых домах основана на программах выборочного тестирования, которые, как правило, дают период замены между 5 и 10 годами. Коммерческие водосчетчики с несоответствующими рабочими параметрами могут вести к существенному занижению регистрируемого потребления, поэтому в каждой отдельной ситуации следует проверить, нет ли более подходящих водосчетчиков для данного конкретного случая (путем выполняемого от случая к случаю контроля частоты потребления и диапазона его величин).

При тестировании образцов водосчетчиков потребителей на точность показаний ошибка, как правило, выражается в процентах от зарегистрированного учтенного потребления. Там, где потребители обслуживаются из резервуаров, установленных на крыше, возможность заниженной регистрации водосчетчиком потребителя возрастает многократно, поскольку большая часть потребляемой воды проходит через водосчетчик с расходом меньше минимального значения  $Q_{\min}$ , заданного для водосчетчика.

**Реальные потери.** Несмотря на то что всегда нужно стремиться свести водный баланс, полагаться только на водный баланс при оценке реальных потерь не следует.

- Оценка реальных потерь будет затруднена суммарными ошибками других компонент баланса.

- Водный баланс, как правило, покрывает ретроспективный период продолжительностью 12 месяцев, так что его ценность в качестве «системы раннего предупреждения» для идентификации новых несообщенных утечек и разрывов весьма ограничена, поэтому для сокращения их продолжительности требуется активный контроль за утечками.

- Водный баланс не позволяет идентифицировать отдельные компоненты реальных потерь, а также определить их влияние на алгоритмы работы коммунального предприятия.

## 5.2. СТРУКТУРА ПОТЕРЬ И НЕУЧТЕННЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ

При производстве и использовании любого вида продукции неизбежны определенные потери как сырья, так и самой продукции. Подобно этому производство и транспортирование питьевой воды до потребителя сопровождается потерями как исходной воды (сырье), так и воды питьевого качества.

В промышленности для производства той или иной продукции на каждом этапе существуют нормативы потерь сырья, материалов, регламентированы методики их расчета. Для производства питьевой воды таких утвержденных нормативов не существует.

Потребность в воде в России долгое время определялась по высоким нормативам. В результате в отдельных городах возникал дефицит воды. В Москве дефицита воды не было, а до 1985 г потребление воды ежегодно возрастало на 2—3 %. Политика государства была направлена на увеличение объемов производства воды, порой без учета экологических последствий для окружающей среды.

Вода всегда имела низкую стоимость и, по существу, не являлась товаром. Вместе с тем во многих отраслях народного хозяйства, особенно в жилищном хозяйстве, вода расходуется нерационально. Большая часть воды теряется в системах коммунального водоснабжения.

Для оценки функционирования системы водоснабжения одним из основных показателей является ее эффективность. В настоящее время проходит немало дискуссий, что понимать под термином *эффективность*, «неучтенные потери» или «непроданную воду». Каковы критерии экономически оправданных потерь воды? По экономическим оценкам, система является эффективной, если достигнуто оптимальное соотношение между совокупными затратами и экономическим результатом. Вместе с тем экономика исследует проблемы эффективного использования ограниченных природных ресурсов или управление ими с целью достижения максимального удовлетворения материальных потребностей человека.

Потребность в воде для потребителей определяется различными факторами, из которых основными являются: уклад жизни, привычки потребителя, оборудование квартир ванными, туалетами и другой арматурой; плотность заселения (количество жителей на единицу площади); климатические и метеорологические факторы (уровень осадков, температура, влажность); уровень развития канализации; потребность промышленных предприятий и общественных учреждений в воде; потребность садовых культур в поливе; ценообразование за поставку воды; потребность в воде для тушения пожаров и т.д.

При определении потребности в воде необходимо учитывать и утечки в сети, вероятные размеры которых должны быть использованы при проектировании и строительстве системы водоснабжения.

До недавнего времени в большинстве стран мира потери воды оценивались в процентах от общего объема подачи воды. Однако многие страны и организации возражают против использования процентных величин для сравнения эффективности реальных потерь. Так Англия, Уэльс, Германия, Южная Африка, Мальта приняли специальное решение не использовать в будущем проценты для оценки потерь воды.

Базовым оперативным показателем для реальных утечек является определение потерь воды в литрах на потребительский отвод в день и на давление 1 м вод. ст.

В России, как и в большинстве других стран, используется метод оценки потерь воды в процентах от общего объема подачи воды в город.

Известно, что эффективно работающая система водоснабжения должна иметь систему управления всеми компонентами потерь воды. Управление потерями воды представляет собой целенаправленное воздействие человека на основные элементы системы водоснабжения с целью доставки питьевой воды потребителю с минимальными издержками и включает функции управления системой с учетом анализа и прогноза водопотребления.

Прежде чем перейти к оценке и анализу потерь, необходимо дать определение, что же понимается под потерями воды. Под термином «общие потери водных ресурсов при эксплуатации водохозяйственных систем» следует понимать разницу между количеством воды, забираемой из источников водоснабжения, и объемом воды, реализованной потребителям.

Общие потери воды включают потери на технологические нужды, которые состоят из потерь воды (сырья) при добыче, производстве и транспортировке к потребителю, потери у потребителя и *неоплаченная вода*. Технологические потери, как правило, учитываются в себестоимости продукции и имеют нормативную величину, они хорошо известны специалистам, легко контролируются и управление ими не представляет особых сложностей.

Потери у потребителя также надо рассматривать как потери, несмотря на то, что они оплачены, но при низкой стоимости воды они практически не сокращаются.

Основными причинами потерь у потребителя (*оплаченная вода*) являются утечки через санитарно-технические приборы, слив горячей воды из-за низкой температуры, высокое давление у крана потребителя и низкая стоимость воды.

Неоплаченная вода представляет собой разницу между общим объемом произведенной воды водопроводными станциями и объемом воды, реализованной по счетчикам, установленным у потребителей.

Неоплаченная вода включает следующие компоненты потерь:

расход воды на собственные нужды предприятия ВКХ (промывка резервуаров, сетей и др.;

расход воды на противопожарные нужды;

видимые утечки из водопроводных сетей (утечки из колодцев; утечки воды при авариях и повреждениях трубопроводов и арматуры);

скрытые утечки из водопроводных сетей — разновидность утечек воды, не обнаруживаемых при внешнем осмотре водопроводной сети и емкостных сооружений;

очевидные потери воды, связанные с незаконными присоединениями (хищение воды);

расход воды, не учитываемый водосчетчиками вследствие недостаточной чувствительности и погрешностей средств измерения;

расход воды на нужды городского хозяйства, не предъявляемые к оплате потребителями по решению местных органов власти.

Разовое определение всех видов потерь воды, включая утечки воды из сети, непосредственно на водопроводах невозможно, учитывая непрерывный цикл производства и потребления воды. Кроме того, этот подход не позволяет получить достоверные данные об их дальнейшем уровне, так как при таком определении случайные, нехарактерные значения имеют большую вероятность.

Поэтому единственно правильным в научно-методическом отношении способом оценки потерь воды для конкретной системы водоснабжения является применение расчетных методов, базирующихся на вероятностно-статистических оценках, в основу которых положены накопленные за длительные периоды наблюдений данные о фактических расходах воды и фактические показатели надежности элементов системы.

При таком подходе значения как общих потерь воды в целом, так и отдельных их составляющих получают в вероятностной форме с требуемой достоверностью. Общая величина потерь воды выражается в процентах от среднесуточной подачи воды.

Но не все потери являются результатом слабой инфраструктуры и протекающих труб. Потери в сети и чрезмерное использование воды или злоупотребления ею зачастую являются результатами проведения местными органами власти политики установления низких тарифов и отсутствия нормальной системы учета холодной и горячей воды. Эти потери и перерасход воды, как правило, могут быть снижены за счет внедрения системы управления водопотребления, а также реализации программы по модернизации водопроводной сети.

Все это вместе создает возможность разрабатывать стратегию снижения потерь и факторов, влияющих на них.

Утечки воды из сети определяются числом отказов в работе сети, т.е. числом аварий и повреждений в расчете на 1 км протяженности сети в год, а также временем их устранения.

Допустимая величина утечки воды из емкостных сооружений, согласно СНиП 3.05.04—85, равна 3 л/сут на 1 м смоченной поверхности.

Этим же СНиП определен порядок осуществления промывки и дезинфекции емкостных сооружений и трубопроводов и таким образом установлены соответствующие нормативы неучтенных расходов. Так, для емкостных сооружений объемом 100 м<sup>3</sup> дезинфекция должна осуществляться орошением хлорной водой из расчета 0,3—0,5 л/м. Дезинфекция трубопроводов осуществляется заполнением их хлорной водой с последующим сбросом хлорной воды и промывкой водопроводной водой, пока содержание активного хлора в воде не снизится до 0,3—0,5 мг/л.

Профилактическую промывку, по СНиП 3.05.04—85, следует осуществлять гидропневматическим (водовоздушным) или гидромеханическим способами. В первом случае скорость движения водовоздушной смеси (воздуха — не менее 50 % расходов воды) должна быть 2—3 м/с, во втором — скорость движения снаряда должна быть 0,3—1 м/с.

Расходы воды на чистку, промывку и дезинфекцию емкостных сооружений и трубопроводов относятся к технологическим расходам. К этой же категории потерь воды относятся и расходы воды, необходимые для эксплуатации сооружений и оборудования, если эта вода расходуется из городской водопроводной сети, например для промывки барабанных сетчатых фильтров, смыва пены и осадка со стенок фильтровальных сооружений при их промывке, приготовления растворов реагентов. Нормируемые значения этих расходов определяются по СНиП 2.04.02—84 [80].

Расходы воды на производственные нужды вспомогательных цехов и подразделений (собственные котельные, компрессорные воздухоудельные станции, производственные базы и др.) нормируются по данным проектов этих объектов и фактически определяются по показаниям водосчетчиков.

Расходы воды на собственные хозяйственно-питьевые нужды персонала организации ВКХ нормируются согласно СНиП 2.04.01—85, а их фактические значения определяются по показаниям водосчетчиков.

В структуру расходов на нужды городского хозяйства включаются только те расходы, которые не оплачиваются потребителями по решению местных органов власти. Совершенно очевидно, что неоплаченная вода непосредственно отражается на себестоимости воды, и чем выше ее расход, тем выше себестоимость. Поэтому управленческие решения по борьбе с утечками могут реально снизить объем потерь, не влияя на эффективность работы или стандарт обслуживания потребителей. Оценка потерь производится по водному балансу.

По мере старения системы водоснабжения возникают новые утечки и аварийные повреждения (отказы), поэтому в МГУП «Мосводоканал» создана система по контролю и управлению реальными потерями, которая включает:

- оценку и анализ утечек и неоплаченной воды;
- контроль за скрытыми утечками и их локализацию;

управление давлением в водопроводной сети (цель — увеличение и уменьшение давления, не допуская резких скачков);

управление капитальными вложениями (инвестициями) для оценки величины потерь воды;

контроль надежности и управление эксплуатацией сети, стратегическое планирование работ по модернизации водопроводной сети.

### 5.3. ОЦЕНКА УТЕЧЕК И СКРЫТЫХ ПОТЕРЬ ВОДЫ (на примере Московского водопровода)

Основные потери воды связаны с ее утечкой (изливом в землю) при повреждениях и авариях участков трубопроводов и оборудования сети. На Московском водопроводе постоянно проводятся исследования по оценке потерь воды при авариях и повреждениях трубопроводов и арматуры.

Расход воды, вытекающей из  $i$ -го отверстия в трубах или арматуре при аварии или повреждении участка трубопровода или оборудования, можно определить из выражения:

$$q_i^y = 3600\mu_i\omega_i\sqrt{2gH_i}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5.1)$$

где  $\mu_i$  — коэффициент расхода, 0,6;  $\omega_i$  — площадь живого сечения  $i$ -го отверстия, м<sup>2</sup>;  $g$  — ускорение силы тяжести, 9,81 м/с<sup>2</sup>;  $H_i$  — средний напор воды в трубопроводе на поврежденном участке, м вод. ст.

При этом объем воды  $Q_i^y$ , м<sup>3</sup>, вытекшей за расчетный период  $t$ , ч, из  $i$ -го отверстия, составит:

$$Q_i^y = 9600t_i\omega_i\sqrt{H_i}. \quad (5.2)$$

Продолжительность утечки следует принимать от момента ее обнаружения до отключения поврежденного участка или ликвидации повреждения трубопровода. Поскольку начало утечки, особенно при небольших расходах воды, определить практически невозможно, при расчетах принимают средние значения времени восстановления, исходя из опыта эксплуатации и обработки результатов статистических данных по отказам и восстановлениям участков трубопроводов и оборудования.

Продолжительность утечки принимают от момента ее обнаружения до отключения поврежденного участка или заделки отверстия трубопровода. Поскольку начало утечки, особенно при небольших расходах воды, определить практически невозможно, при оценке принимают средние значения  $t_i$ .

Обработка статистических данных по оценке среднего времени локализации повреждений и аварий (с изливом воды) на Московском водопроводе показала, что с вероятностью 0,95 оно составляет 3 ч.

Средний напор в сети в последние годы — 32 м, диаметр сквозных



Таблица 5.3. Характеристика аварий и повреждений трубопроводов и оборудования городской водопроводной сети Москвы

| Повреждения в колодцах с изливом воды     | Повреждения трубопровода в земле          |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 2003                                      | 2003                                      |
| 2002                                      | 2002                                      |
| Увеличение (+), уменьшение (–)            | Увеличение (+), уменьшение (–)            |
| Повреждения в колодцах, всего             | Повреждения в земле, всего                |
| 2815                                      | 4624                                      |
| 3713                                      | 5099                                      |
| –898                                      | –475                                      |
| в том числе по основным видам повреждений | в том числе по основным видам повреждений |
| Разгерметизация раструбного соединения    | Разгерметизация раструбного соединения    |
| 812                                       | 563                                       |
| 1107                                      | 695                                       |
| –295                                      | –132                                      |
| Свищевые повреждения                      | Свищевые повреждения                      |
| 620                                       | 2783                                      |
| 1380                                      | 3210                                      |
| –760                                      | –427                                      |
| Течь между фланцами                       | Перелом труб                              |
| 417                                       | 1060                                      |
| 771                                       | 1034                                      |
| –354                                      | 26                                        |
| Течь сальников                            | Расстройство сварных швов                 |
| 154                                       | 41                                        |
| 253                                       | 26                                        |
| –99                                       | 15                                        |

проржавлений (свищей) — около 40 мм, средний размер трещин — 1×40 мм. Средневзвешенный диаметр чугунных труб — 226 мм, стальных — 390 мм.

Площадь живого сечения отверстия  $\omega_i$  измеряют при вскрытии поврежденного участка, например наложением миллиметровки на отверстие, однако не во всех случаях это возможно. Тогда для различных видов повреждений используют средние величины, исходя из опыта эксплуатации.

При повреждениях стенок трубопроводов, нарушениях стыковых соединений трубопроводов, поломках запорно-регулирующей арматуры, обратных клапанов, фланцев принимают следующие средние значения площади живого сечения характерного повреждения:

$$\omega_i = 0,0002 \text{ м}^2,$$

$$\text{при трещинах в трубопроводах } \omega_i = 0,0002 \text{ м}^2,$$

$$\text{при переломах труб } \omega_i = 0,03 \text{ м}^2.$$

Таблица 5.4. Потери воды при авариях на участках трубопроводов и оборудования городской водопроводной сети

| Характер повреждения                            | Площадь живого сечения аварийного повреждения*, $\omega_i$ , м <sup>2</sup> | Расход воды на одну аварию, $q_{ав}$ , м <sup>3</sup> | Количество повреждений и аварий трубопроводов, $n$ по годам эксплуатации |        | Общий расход воды при авариях и повреждениях трубопроводов, $Q$ , м <sup>3</sup> /г |           |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|                                                 |                                                                             |                                                       | 2002                                                                     | 2003   | 2002                                                                                | 2003      |
| Свищевые                                        | 0,0002                                                                      | 32,44                                                 | 4590                                                                     | 3403   | 148899,6                                                                            | 110393    |
| Трещины                                         | 0,0002                                                                      | 32,44                                                 | 34                                                                       | 23     | 1102,0                                                                              | 746,12    |
| Расстройство стыковых соединений                | 0,0002                                                                      | 32,44                                                 | 1828                                                                     | 1416   | 59300                                                                               | 45935     |
| Течи во фланцах и сальниках                     | 0,0002                                                                      | 32,44                                                 | 1024                                                                     | 571    | 33218,56                                                                            | 18523     |
| Перелом труб                                    | 0,03                                                                        | 1477,44                                               | 1034                                                                     | 1060   | 1527672,9                                                                           | 1566086,4 |
| Всего за год                                    |                                                                             |                                                       | 10151                                                                    | 9844   | 1770193                                                                             | 1741683,5 |
| В среднем за сутки                              |                                                                             |                                                       | —                                                                        | —      | 4849,84                                                                             | 4771,7    |
| Среднесуточная подача воды, тыс. м <sup>3</sup> |                                                                             |                                                       | 5066,2                                                                   | 4971,2 | —                                                                                   | —         |
| Суточная подача, %                              |                                                                             |                                                       | —                                                                        | —      | 0,095                                                                               | 0,096     |

\* Методика НИИ КВОВ и опыт эксплуатации.

Принимая среднее время локализаций аварий (3 ч) и средний напор в сети (32 м вод. ст.), можно трансформировать формулу для определения объема утечки воды (на одну аварию, повреждение, связанные со свищами, трещинами труб, расстройством стыковых соединений, течью во фланцах, сальниках):

$$Q_i^y = \omega_i 0,6 \cdot 3 \cdot 3600 \sqrt{2_i} \cdot 9,81 \cdot 32 = 162200 \omega_i. \quad (5.3)$$

Объем утечки воды при переломе и разрыве труб определяется по той же формуле (5.1), но средний напор воды в трубопроводе на поврежденном участке следует принимать равным средней глубине заложения с учетом давления на излив воды в грунт. Таким образом, получим:

$$Q_i^y = \omega_i 0,6 \cdot 3 \cdot 3600 \sqrt{2_i} \cdot 9,81 \cdot 3 = 49248 \omega_i. \quad (5.4)$$

Приведем численную характеристику аварий и повреждений трубопроводов городской водопроводной сети Москвы за 2002—2003 гг. (табл. 5.3).

Результаты расчета потерь воды при авариях трубопроводов и оборудования городской водопроводной сети Москвы приведены в табл. 5.4.

В среднем за два года объем воды (утечки), теряемый при авариях, составляет 0,095 % среднесуточной подачи воды.

Важной частью объема неоплаченной воды являются *скрытые утечки* из трубопроводов. Огромное число стыков стальных и чугунных труб в сети, в каждом из которых в принципе возможно появление течи, наличие свищей из-за внутренней или внешней коррозии, предопределяет возможность появления мелких течей, существование которых невозможно зачастую определить внешним осмотром трасс трубопроводов. Эти течи могут существовать длительное время до тех пор, пока они не приведут к аварии и будут устранены. Причины, вызывающие скрытые утечки воды, весьма разнообразны:

- недостаточно высокое качество выполнения строительно-монтажных работ, в том числе нарушение проектной глубины укладки труб, приводящее к замерзанию воды зимой;
- повышенные напоры в сети и их резкое колебание;
- старение материала труб;
- разрушение труб под действием коррозии (внутренней и наружной);
- грунтовые условия (наличие подземных вод и глубина их залегания);
- движение грунтов и их осадки вследствие температурных изменений и т.п.

Обнаружение скрытых утечек представляет собой сложную и трудоемкую техническую проблему. Анализ различных патентов в данной области показал, что основным методом здесь основан на улавливании шумов, распространяющихся в земле вдоль трубопровода. Источником этих шумов является течь воды из поврежденного трубопровода.

Выпускаемые за рубежом индивидуальные средства обнаружения мест скрытых утечек состоят из датчика (течеискателя), измерительного прибора (фиксирующего уровень шума) и слухового прибора (динамические наушники) для прослушивания проходчиком, передвигающимся по трассе трубопровода.

Положительный опыт работы с аналогичными приборами фирмы «Себа Динатроник» имеется на Московском водопроводе.

Метод определения мест утечек, основанный на использовании корреляторов, позволяет в значительной мере повысить эффективность работ по обнаружению мест повреждения трубопроводов. Так, с помощью коррелятора удастся выявить и локализовать скрытые утечки с точностью до 0,5 м. Подобная точность достигается в 93 случаях из 100.

Принцип корреляционного метода обнаружения мест скрытых утечек заключается в следующем: вытекающая из напорной магистрали вода создает характерный шум, который распространяется по трубе в обоих направлениях от места утечки; уровень шума в значительной степени зависит от размера трубы, характера повреждения и напора, но скорость распространения при этом остается постоянной.

Датчики, установленные на расстоянии 200—250 м один от другого с обеих сторон от предполагаемого места утечки, улавливают этот

шум и преобразуют его в электрические сигналы. Один сигнал задерживается во времени и коррелируется со вторым. Максимальная корреляция двух сигналов регистрируется на самописце в виде характерного амплитудного пика.

Время задержки, которое обуславливает появление этого всплеска, фиксируется на градуированной ленте самописца. Взаимная корреляция позволяет снизить до минимума влияние посторонних шумов, в связи с чем выявление мест утечки воды может производиться в условиях очень высокого уровня шумового фона, что является одним из достоинств этого метода.

Используемые Московским водопроводом акустические корреляторы «DF-5000» фирмы «Метравиб» (Франция), «Local 100/3» фирмы «Фэст» (ФРГ) и «LC-2100» фирмы «Фуджи Теком» (Япония) и комплекс оборудования «Себа Динатроник» (ФРГ) для обнаружения наличия и мест утечек в трубопроводной сети основаны на указанном выше методе акустической корреляции.

В настоящее время в МГУП «Мосводоканал» собран обширный материал о состоянии трубопроводной сети города, позволяющий определить фактическую величину скрытых утечек воды и разработать рекомендации по их сокращению.

Машина по обнаружению скрытых утечек позволяет обследовать в год примерно 100—120 км сетей. По всем обнаруженным утечкам в районы водопроводной сети передаются заявки на их ликвидацию. Следует отметить, что обнаруживаются и течи из фланцев задвижек и их сальниковых уплотнителей в многочисленных колодцах и камерах на сети.

Указанное оборудование предназначено для выполнения двух видов работ — обнаружения скрытой утечки на участке трубопровода между двумя секционными задвижками с установлением величины утечки по показаниям имеющегося в машине расходомера, а также для определения места скрытой утечки.

Для оценки скрытых утечек на Московском водопроводе в последние годы были проведены экспериментальные исследования на водопроводной сети ряда микрорайонов города. При этом измерения осуществлялись в периоды минимального водопотребления, т.е. в ночные часы, и для тех суток, когда в сети микрорайона не было аварий и вода не расходовалась на противопожарные нужды и промывку сети [77].

Результаты исследований по выявлению величины скрытых утечек для обследованных стальных труб Московского водопровода со сроком службы более 30 лет показали, что среднее значение расхода воды при скрытых утечках 15,5 м<sup>3</sup>/ч, а удельная суточная утечка — 78,3 м<sup>3</sup>/сут·км [71].

При сроке эксплуатации труб от 20 до 30 лет этот показатель равен 30 м<sup>3</sup>/сут·км, а для труб, эксплуатируемых не более 20 лет, —

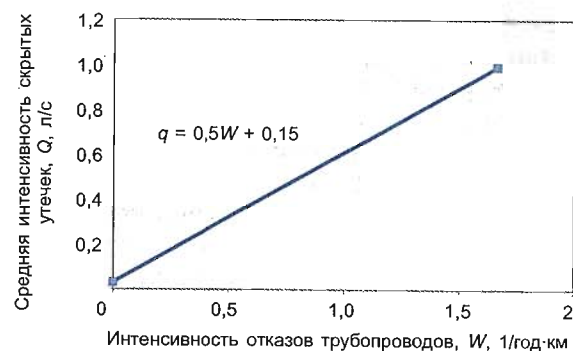


Рис. 5.1. Изменение потерь воды за счет скрытых утечек в трубопроводах с изменением интенсивности их отказов

8,4 м<sup>3</sup>/сут·км. Последнее значение весьма близко к зарубежным данным (5—10 м<sup>3</sup>/сут·км).

Интересно отметить, что для чугунных труб характерно обратное положение: для старых труб, проложенных до 1960 г., удельная величина скрытых утечек составляет 18 м<sup>3</sup>/сут·км, а для труб, уложенных в 1970—1980 гг., она возрастает до 41 м<sup>3</sup>/сут·км, что свидетельствует о снижении качества строительства трубопроводов в период массового жилищного строительства в Москве.

При проведении исследований по определению скрытых утечек была отмечена качественная связь размеров утечки с такими факторами, как материал труб, их диаметр и срок службы. Была предпринята попытка отыскать фактор, который совокупно учитывает действие этих факторов и может быть легко определен по эксплуатационным данным. Таким фактором оказался параметр, характеризующий надежность трубопроводов.

Обработка результатов проведенных исследований на участках водопроводной сети по определению наличия и величины скрытых утечек для условий Москвы позволили выявить их связь с интенсивностью отказов (аварий с раскопкой)  $W$  участков трубопроводов. Установлено, что скрытые утечки из сети пропорциональны числу отказов в работе сети, т.е. числу аварий и повреждений, в расчете на 1 км протяженности сети в год.

На рис. 5.1. показана динамика потерь воды за счет скрытых утечек с изменением интенсивности их отказов  $W$ . Из графика видно, что разнообразные по происхождению данные о скрытых утечках удовлетворительно аппроксимируются функцией:

$$Q_{cp} = 0,5W + 0,15, \quad (5.5.)$$

где  $Q_{cp}$  — средняя интенсивность скрытых утечек для существующей сети трубопроводов, л/с/км.

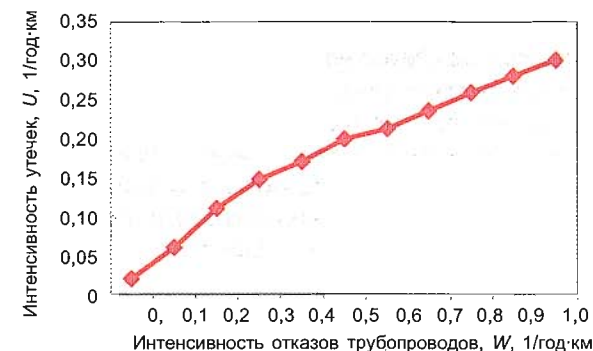


Рис. 5.2. Взаимосвязь между интенсивностью появления утечек и интенсивностью отказов трубопроводов

На рис. 5.2 показана взаимосвязь между интенсивностью появления утечек  $U$ , определяемой как удельное число утечек на 1 км сети, и интенсивностью отказов трубопроводов. Приведенные графики позволяют определить вероятную общую величину скрытых утечек по водопроводной сети города Москвы. Результаты расчета приведены в табл. 5.5.

В системе Московского водопровода осуществляется планомерная работа по предупреждению, поиску и устранению утечек.

Инвестиции по предупреждению утечек составляют 152,3 млн руб. в год (по итогам работы за 2003 г.), или 49 % от стоимости работ по эксплуатации водопроводной сети. При этом инвестиции на поиск утечек составляют 8,5 млн руб., на управление давлением, зонирование сети и телеметрию — 8,1 млн руб.

Таблица 5.5. Расчет объема скрытых утечек на водопроводной сети

| Год  | Длина сети, км | Общее число аварий с раскопкой | $W$ , 1/год·км | $U$ , 1/год·км | $N_{ум} = UL$ | $Q_{ум,ср}$ , м <sup>3</sup> /ч | $Q_{yr} = N_{ум}Q_{ум,ср}$ , м <sup>3</sup> /сут | $Q_{ср,сут}$ , тыс. м <sup>3</sup> /сут | К, % |
|------|----------------|--------------------------------|----------------|----------------|---------------|---------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|------|
| 1998 | 9215,98        | 4546                           | 0,49           | 0,17           | 1566          | 9,37                            | 352162                                           | 6494,5                                  | 5,42 |
| 1999 | 9304,61        | 4313                           | 0,51           | 0,18           | 1674          | 9,64                            | 387296                                           | 6231,6                                  | 6,21 |
| 2000 | 9427,51        | 4693                           | 0,50           | 0,16           | 1508          | 9,37                            | 339190                                           | 5902,1                                  | 5,74 |
| 2001 | 9541,44        | 4734                           | 0,50           | 0,17           | 1622          | 9,17                            | 356970                                           | 5204,9                                  | 6,9  |
| 2002 | 9781,46        | 5099                           | 0,52           | 0,17           | 1663          | 6,8                             | 266506                                           | 4832,1                                  | 5,5  |
| 2003 | 9905,65        | 4624                           | 0,47           | 0,16           | 1585          | 7,3                             | 277692                                           | 4970,3                                  | 5,6  |
| 2004 | 10051,9        | 4016                           | 0,40           | 0,13           | 1307          | 9                               | 282312                                           | 5068,5                                  | 5,6  |

Условные обозначения:  $W$  — интенсивность отказов трубопроводов;  $U$  — интенсивность утечек;  $N_{ум}$  — количество скрытых утечек;  $Q_{ум,ср}$  — величина скрытых утечек;  $Q_{yr}$  — общий объем скрытых утечек;  $Q_{ср,сут}$  — среднесуточная подача воды в сеть; К — объем скрытых утечек в % от среднесуточной подачи воды.



Анализ работы по борьбе с утечками позволяет сделать вывод о том, что предупреждение утечек является самой большой статьей затрат в себестоимости эксплуатации сети, и эти затраты будут расти.

**Экономический уровень утечек.** Для каждой водопроводной системы существует уровень утечек, ниже которого дальнейшие вложения инвестиций в снижение издержек являются неэкономичными. Другими словами, стоимость сэкономленной воды меньше, чем расходы на дальнейшее снижение утечек. Это так называемый экономичный уровень утечек (ЭУУ).

О разработке теории экономичного уровня утечек сегодня написано много статей и высказано большое количество точек зрения. Вот некоторые из них.

1. Не существует единственного экономичного уровня утечек. Его значения меняются в зависимости от сезона года, температуры воды, условий прокладки трубопроводов, оснащения бригад и т.д.

2. Общество всегда будет интересоваться наличием утечек, стоимостью воды, контролем за работой водохозяйственных компаний. В любом случае общественность должна владеть информацией о работе системы.

3. Стоимость воды возрастает при ее нехватке во время маловодного года (засухи) и снижается при ее изобилии. Эксплуатационные затраты могут меняться в зависимости от качества воды в водоисточниках и введения новых стандартов качества.

4. Новые технологии обнаружения утечек могут повысить эффективность работы по обнаружению утечек. Значение экономичного уровня утечек зависит от методов обнаружения утечек и от плановости проведения работ.

5. Объемы инвестиций в предупреждении утечек (управление давлением, учет воды у потребителей, телеметрия и др.) существенно изменяют ЭУУ.

6. Если снижение потерь воды довольно существенно, то может отпасть необходимость строительства новых водоочистных станций. При этом достигается значительный экономический эффект. (Подобных примеров в Москве много, многие насосные станции остановлены.) Во всех странах бывшего «Варшавского договора» произошло существенное снижение потребления воды. В большинстве случаев это связывают с приходом частных операторов. На самом деле, это происходит потому, что частный оператор внедряет программу по сокращению утечек. Так, в Варшаве, Праге, Бухаресте и Берлине в первоочередном порядке выполнены работы по сокращению утечек и одновременно увеличены тарифы. В результате удельное водопотребление сократилось до 180—200 л/чел. в сутки и вместо дефицита появился избыток воды.

В качестве стратегии контроля и снижения утечек следует выделить несколько ключевых этапов:

- понимание важности выполнения работ по снижению утечек всем персоналом водопроводной компании (подбор и подготовка персонала);
- количественная оценка величины утечек и постановка ясных целей (например, снижение утечек на 20 % в течение 5 лет);
- определение финансовых потребностей (инвестиций), финансирование может быть обеспечено за счет повышения платы потребителей, бюджетных инвестиций;
- проведение мониторинга по поддержанию размеров утечек на достигнутом уровне.

Стандартных подходов и методов не существует. Стратегия должна подбираться под каждое водопроводное предприятие индивидуально. В Москве разработанная стратегия снижения утечек реализуется уже более 15 лет.

#### 5.4. НЕОПЛАЧЕННАЯ ВОДА ВСЛЕДСТВИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

В процессе эксплуатации систем подачи и распределения воды у потребителей могут наблюдаться неточности учета воды приборами измерений.

Заниженный учет потребления может быть вызван заниженными показаниями водосчетчиков (погрешность средств измерений), низким качеством водосчетчиков (выход из строя), неадекватной процедурой снятия показаний водосчетчиков, низким уровнем эксплуатации водосчетчиков (несвоевременная замена), хищением воды в узлах учета через обводные линии, использованием морально устаревших водосчетчиков.

В системе Московского водопровода ведется систематическая работа по контролю за работой водосчетчиков.

На водопроводных станциях измерения подачи воды осуществляются ультразвуковыми расходомерами. Двухканальные микропроцессорные ультразвуковые счетчики воды — расходомеры — UFC-002R установлены на всех водопроводных станциях, имеют погрешность измерения от  $\pm 1,5$ —2,5 %. У потребителей установлены механические водосчетчики завода «Водоприбор» марок: ВКОС, ВМХ, ВМГ, ВСХ и др. Общее количество водопроводных вводов и количество установленных на них водосчетчиков составляет 33366 шт. Из этого количества 55 % водосчетчиков турбинного типа и 45 % — крыльчатых. Из-за неравномерного потребления воды используются водосчетчики комбинированного типа ВМК-50/20.

При проведении контрольных калибровок на сертифицированных стендах было определено, что при работе водосчетчиков в основном режиме, от номинального до переходного расхода, погрешность находится в допустимом пределе ( $\pm 2$  %). При этом нужно отметить, что на минимальных расходах наблюдалось превышение погрешности после эксплу-

атации прибора более чем за два года. Это явление происходило за счет известковых и железистых отложений на вращающиеся механизмы, после установки магнитных фильтров состояние улучшилось.

Эксплуатация водосчетчиков организована в специализированном подразделении «Мосводосбыт». Количество счетчиков, снятых с линии как неработающие, составляет 3,5—3,9 %.

Традиционно для оценки точности водосчетчиков используются значения погрешности измерения расходов воды от минимального до максимального, измеряемого счетчиком. Эти погрешности (их допустимые значения) приводятся в паспортах счетчиков и находятся в диапазоне  $\pm 5\%$  или  $\pm 2\%$  (для современных конструкций счетчиков по ГОСТу Р50193.1-92 и ГОСТу Р50601-92).

Достоверную оценку погрешности измерения водопотребления при существующем парке счетчиков оценить в настоящее время чрезвычайно сложно из-за отсутствия фактических данных о погрешности измерения эксплуатационных счетчиков. Анализ данных о количестве и нагрузке эксплуатируемых счетчиков позволяет сделать вывод, что значительная часть водосчетчиков работает с нагрузками, ниже рекомендуемых. Так, из 10073 крыльчатых счетчиков 6726 (67 %) работает при нагрузке ниже номинальной, а из 7832 турбинных счетчиков — 1064 (13,6 %).

Более 10 % реализуемой воды фиксируются показаниями счетчиков, работающими в интервале измерений от минимального до переходного расхода.

Специалистами МГУП «Мосводоканал» совместно с ГУП «МосводоканалНИИпроект» было обследовано 20 жилых микрорайонов, где установлены водосчетчики на каждом отдельно стоящем здании и на основном водосчетчике. Анализ расхода воды в этих районах показал, что разница между показаниями основного водосчетчика и суммой показаний водосчетчиков колеблется от 10 до 15 %.

В среднем недоучет воды по представленным данным составляет 2,44 %, что может служить оценочной величиной недоучета воды у потребителей. Недоучет воды водосчетчиками связан также и с тем обстоятельством, что в определенные моменты (особенно в периоды минимального водопотребления) фактические расходы ниже порога чувствительности водосчетчиков. Исследования в этой области необходимо продолжать, учитывая изменение парка водосчетчиков.

## 5.5. КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЕМ В ГОРОДСКОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

Управление давлением в водопроводной сети города является одним из важнейших способов сокращения водопотребления и утечек. Водопроводная сеть очень чувствительна к колебаниям давления, особенно во время пуска и остановки насосов на водопроводных станциях.

Функционирование водопроводной сети Московского водопровода осуществляется за счет поддержания требуемого давления на основе:

- составления ежесуточного прогноза водопотребления города и выбора на его основе экономичных режимов работы насосных станций 2-го и 3-го подъемов;
- снижения избыточного давления в сети с помощью зонирования и установки регуляторов давления;
- установки преобразователей частоты тока для оптимизации работы водопроводной сети. В настоящее время на насосных станциях Московского водопровода установлено около 150 преобразователей частоты тока (за счет работы этих приборов экономия электроэнергии составляет более 20 млн кВт·ч в год);
- создания гидравлической модели системы подачи и распределения воды и использования ее при оптимизации режимов.

Решение задач эффективного управления для таких масштабных, сложных систем водоснабжения, как в Москве, невозможно без оперативного контроля, основанного на применении глобальной информационно-измерительной системы, организованной на базе современной компьютерной техники. С этой целью в МГУП «Мосводоканал» создана и эффективно работает автоматизированная информационно-графическая система «Анализ режимов работы системы водоснабжения» (ИГС «Anwater»), частью которой является автоматизированный пакет «Прогноз».

Эта программа, используя накопленную за 20 лет статистическую информацию о подаче воды водопроводными станциями, объеме перекачиваемой воды регулирующими узлами, тенденции изменения водопотребления города в зависимости от различных факторов, позволяет получать прогноз водопотребления города на год, месяц, сутки и, наконец, на каждый час.

Персонал Главного диспетчерского пункта, обрабатывая эту информацию, составляет наиболее рациональный режим работы насосных станций 1-го, 2-го и 3-го подъемов на заданный период времени, вследствие чего снижаются избыточные напоры в городе.

Анализ показывает, что в результате работы по управлению давлением в городской водопроводной сети Москвы удалось добиться продления срока службы распределительной сети, снижения интенсивности аварий и повреждений трубопроводов и, соответственно, расхода воды на утечки, уменьшения частоты новых аварий и повреждений труб на потребительских отводах.

На Московском водопроводе в последние годы эффективно проводятся работы по зонированию распределительной сети города. В 1997 г. были начаты работы по снижению и стабилизации давления в распределительной сети крупного микрорайона Теплый Стан с использованием для этих целей регуляторов давления с мембранным

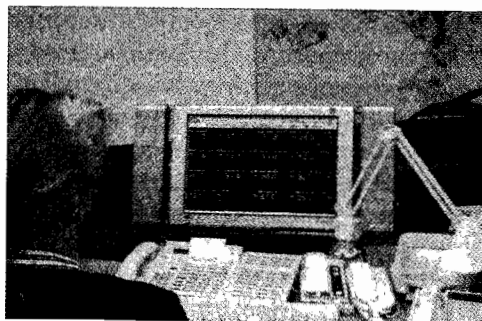


Рис. 5.3. Рабочее место инженера ГДП МГУП «Мосводоканал»

приводом. Применение арматуры данного типа в системах водоснабжения позволило обеспечить требуемые гидродинамические параметры подаваемой воды, стабилизировать давление, расход и, в конечном итоге, существенно снизить стоимость подачи воды потребителю и повысить надежность работы системы городского водопровода.

Снижение давления в зоне регулирования на 35 % уменьшило статическую и динамическую нагрузку на все элементы распределительной сети, и, как следствие, сократилось число аварий, связанных с повышенным давлением.

К настоящему времени в Москве действуют уже 9 зон регулирования сетевого давления, в которых используются 35 регуляторов давления калибром 150—200 мм. Планируется введение в действие двух зон, а к 2010 г. — еще восемь зон регулирования с установкой около 50 регуляторов давления.

В среднем установка регуляторов давления в зоне позволяет снизить свободный напор на 30—50 %, а потери воды — на 25—40 %.

Главный диспетчерский пункт (ГДП) МГУП «Мосводоканал» осуществляет мониторинг давления в городской водопроводной сети с привязкой к конкретным магистральным трубопроводам, карте города и плано-высотным отметкам (рис. 5.3).

Из 126 точек контроля давления 48 являются диктующими. Для каждой точки заданы предельные рабочие значения давления «уставки» для дневного и ночного режимов (рис. 5.4).

Данная автоматизированная система контроля состоит из следующих основных элементов:

- 126 датчиков давления, установленных на водопроводной сети, в характерных точках рельефа местности города, вблизи магистралей, а также на напорных коллекторах насосных станций (в системе используются как отечественные датчики типа МТ100, так и импортные аналоги);
- прямые телефонные кабели передачи данных общей протяженностью около 2,5 тыс. км;

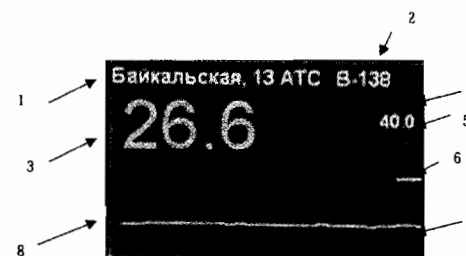


Рис. 5.4. Окно отображения информации, поступающей от точек давления на мониторы дежурной смены ГДП МГП «Мосводоканал»: 1 — адрес и место расположения датчика давления; 2 — зона влияния водопроводной станции, в которой установлен датчик (В — Восточная водопроводная станция); 3 — текущее значение давления в точке, м вод. ст.; 4 — значение верхнего рабочего предела давления «уставки»; 5 — значение нижней рабочей «уставки»; 6 — граница верхней уставки; 7 — граница нижней «уставки»; 8 — динамический график мгновенного изменения давления в диктующей точке

- электронная система отображения поступающей от датчиков информации, установленная на компьютерах дежурной смены ГДП МГП «Мосводоканал» (вся информация с датчиков отображается в реальном режиме времени);

- электронная база данных, в которой хранится вся информация за несколько лет о давлении в точках с интервалом в минуту (из базы можно получить отчет в табличном и графическом виде за любой промежуток времени);

- программа «Надежность».

Переход от дневного режима к ночному происходит в автоматическом режиме, а переход критических диапазонов сопровождается световой индикацией. Определение предельных значений для каждой точки проведено на основе накопленных статистических данных и опыта эксплуатации.

Количество и адреса точек корректируются исходя из необходимости получения информации о городских напорах.

В результате выполненной работы по определению диктующих точек телеметрии для водопроводных станций и регулирующих узлов уже в 1985 г. среднегодовой напор города понизился на 4 м вод. ст. и составляет в последние годы 32—34 м вод. ст.

Определение рабочих значений напоров («уставок») для каждой точки проводится на основе накопленных статистических данных и опыта эксплуатации.

Однако существующая система не позволяла определять место повреждения трубопроводов с достаточной точностью и в кратчайшие сроки. Для выполнения этой работы требовался большой опыт рабо-



ты персонала, связанный с анализом следующих факторов при резком падении давления в той или иной точке давления:

- динамика водопотребления предыдущих суток (или близких периодов), связанная с отбором воды постоянными и временными потребителями;
- учет работы основных насосных агрегатов, в том числе включение и отключение насосов;
- изменение режима работы насосов крупных центральных тепловых пунктов (ЦТП);
- отбор воды из сети пожарными командами, связанный с тушением пожаров;
- плановые переключения сетей и водоводов с изменением потоков воды и давления;
- выявление точек, в которых падение давления было максимальным;
- возможные неисправности датчиков давления и т.д.

В связи с этим назрела необходимость создания (на базе существующей) эффективной автоматизированной системы, которая бы позволила в течение 1—2 минут после резкого падения давления в конкретной точке города проанализировать все необходимые факторы и с достаточной степенью точности (300—500 м) определить район предполагаемой аварии.

В этой связи существующая система была значительно модернизирована за счет внедрения в нее следующих дополнительных функций: введены дополнительные «уставки» для аварийных режимов (значения для «уставок» принимались на основе анализа статистических данных за несколько лет);

предусмотрена система сигнализации, учитывающая основные определяющие факторы (период падения давления; динамика падения давления в сравнении с предыдущими сутками, часами; неисправности датчиков давления и т.д.)

предусмотрена возможность автоматической сортировки точек давления по различным параметрам (интенсивность, амплитуда падения давления, зона влияния, период выхода значений давления за аварийный предел и др.)

предусмотрен ряд сервисных возможностей (создание необходимых отчетов, пользовательские настройки и др.).

В настоящее время система находится в опытной эксплуатации. Порядок работы и необходимость внедрения системы продемонстрируем на примере аварии трубопровода, произошедшей 29 февраля 2004 г. по адресу: ул. Серпуховский вал, 35. В 21.14 на мониторах дежурной смены ГДП было замечено значительное снижение давления во многих диктующих точках южной части города. Проведенный анализ показал (табл. 5.6), что наиболее характерным было падение давления в следующих точках: ул. Шаболовка, Ленинский пр-т, ул. Трофимова (рис. 5.5).

Таблица 5.6. Характеристика давлений в диктующих точках трубопровода на ул. Серпуховской вал, 35

| Время достижения аварийного предела | Адрес диктующей точки | Зона влияния, в которой расположена точка | Текущее давление в точке, м вод.ст. | Максимальное или минимальное давление при прохождении аварийного предела, м вод.ст. | Давление в точке за 5 мин до достижения аварийного предела, м вод.ст. | Разница колонок $\Delta = 7-6$ |
|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 13—14                               | Шаболовка, 56         | PBC                                       | 11,2                                | 10,9                                                                                | 56,2                                                                  | 45,3                           |
| 13—14                               | Ленинский пр., 37а    | PBC                                       | 39,6                                | 39,1                                                                                | 51,8                                                                  | 12,7                           |
| 13—15                               | Трофимова, 6          | ZBC                                       | 39                                  | 38,8                                                                                | 46,5                                                                  | 7,7                            |

Наибольшая амплитуда снижения давления отмечена в точке 1 на ул. Шаболовка (45 м вод. ст.). Исходя из полученных данных и анализа вышеуказанных факторов, был определен район возможной аварии. На выполнение перечисленных операций потребовалось некоторое время, и к этому моменту, в 21.43 в диспетчерскую МГУП «Мосводоканал» поступило сообщение о сильном изливе воды по ул. Серпуховский вал, 35. На место были направлены аварийные бригады. Необходимо отметить, что, несмотря на значительный излив воды в довольно людном месте, сообщение об аварии поступило в диспетчерскую службу МГУП «Мосводоканал» только через 30 минут.

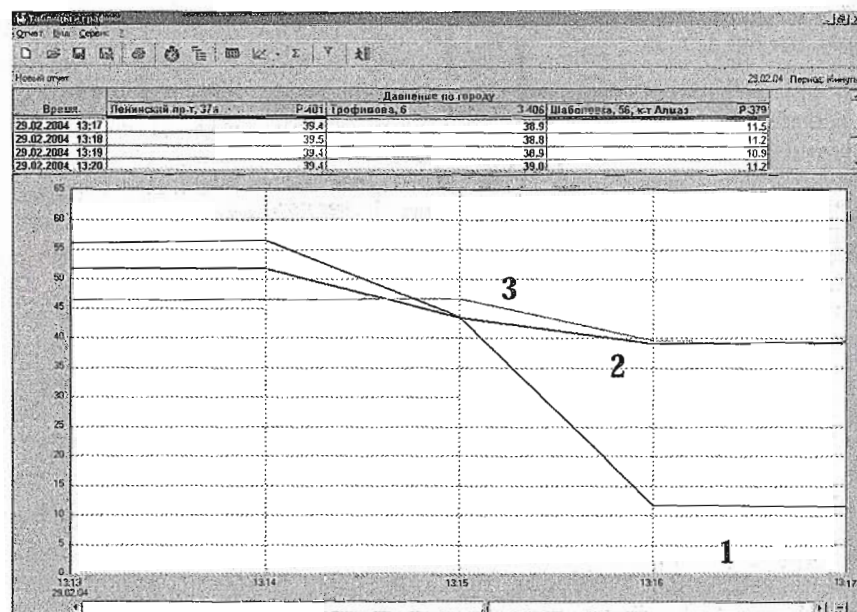
Порядок работы автоматизированной системы «Предупреждения аварийных ситуаций» следующий.

При достижении аварийного предела в точке давления на дисплее панорамы «Диктующие точки» появляется кнопка «Авария» с анимационным эффектом и раздается звуковой сигнал. При нажатии на эту кнопку активизируется интерактивная таблица, в которой в реальном режиме времени отображаются все точки, в которых значения давления превысили аварийный предел.

Полученные данные накладываются на карту города и привязываются к конкретным магистральным трубопроводам, программа анализирует все необходимые факторы (интенсивность, амплитуду изменения давления, период выхода давления за аварийный предел, динамику изменения давления в точках за прошлые дни и т.д.) и определяет район аварии (рис. 5.6).

На всю эту операцию уходит около 2 мин. После чего диспетчер ГДП немедленно направляет аварийную бригаду на место излива.

В дальнейшем планируется совместить эту систему с геоинформационной системой Mike Net (гидравлическая модель системы водо-



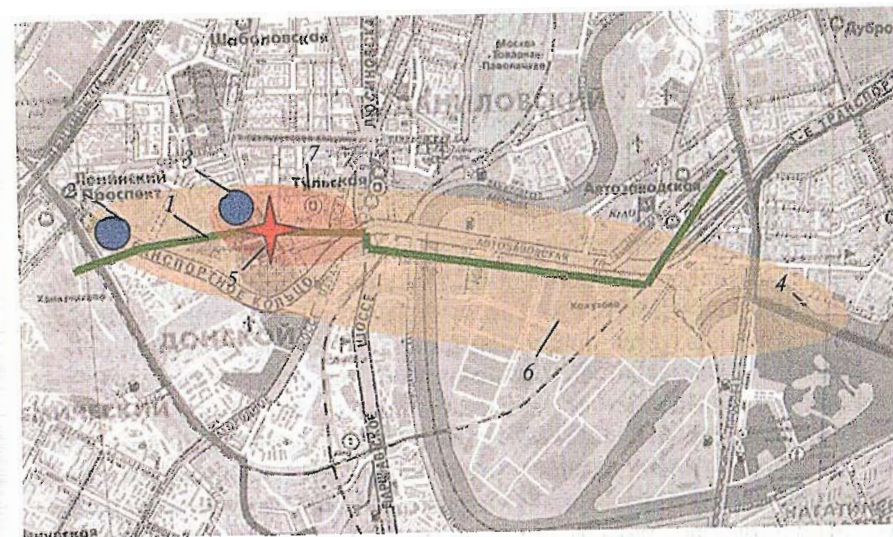
**Рис. 5.5.** График изменения давления в диктующих точках города во время повреждения трубопровода  $D_y = 900$  мм по ул. Серпуховский вал, 35 (29.02.2004): 1 — ул. Шаболовка; 2 — Ленинский проспект; 3 — ул. Трофимова

снабжения города Москвы) для получения более точной информации о месте аварии.

Таким образом, новая автоматизированная система «Предупреждение аварийных ситуаций» позволяет:

- в автоматическом режиме получать оперативные сведения о возникновении аварийной ситуации;
- определять географическое месторасположение возможного повреждения трубопровода;
- оперативно направлять аварийные бригады МГУП «Мосводоканал» на место аварии;
- минимизировать размер возможного экологического и экономического ущерба.

В МГУП «Мосводоканал» функционирует также автоматизированная информационная система для анализа работы водопроводной сети Москвы. База данных содержит в электронном виде информацию о структуре магистральных и квартальных сетей, месторасположении элементов регулирования, диаметре и длине участков сети, величине узловых отборов, номерах водопроводных вводов и геодезических отметок.



**Рис. 5.6.** Схема места аварии по ул. Серпуховский вал, 35 с привязкой к карте города: 1 — Юго-Восточная магистраль  $D_y = 900$  мм; 2 — диктующая точка Ленинский проспект; 3 — диктующая точка ул. Шаболовка; 4 — диктующая точка ул. Трофимова; 5 — место повреждения трубопровода (29.02.2004); 6 — район аварии без учета амплитуды падения давления в точках; 7 — район аварии с учетом всех основных факторов

Расчеты, выполненные с использованием автоматизированной информационной системы и гидравлической модели, позволяют проводить анализ работы городской водопроводной сети при различных режимах водопотребления.

Результаты этого анализа позволяют:

- определять области избыточных давлений;
- определять зоны возможного изменения потоков (или скоростей) при аварийных и плановых отключениях участков водоводов;
- включать в планы промывки участки сети, работающие с малыми скоростями;
- определять застойные участки с целью проведения дополнительного контроля качества воды;
- проводить мероприятия по нормализации работы магистральной и квартальной сети в отдельных районах города.

**Контроль свободных напоров в сети.** Среднедневной свободный городской напор определяется два раза в год по результатам измерений более чем в 1000 колодцах. Эта работа проводится районами водопроводной сети при весеннем и осеннем обходах пожарных гидрантов.



Полученная информация обрабатывается по зонам влияния водопроводных станций, а затем и по городу в целом, определяются среднесуточные городские напоры. По результатам манометрической съемки выпускается карта свободных напоров.

Данные о свободных напорах внесены в компьютер. Одновременно с этим в компьютер введены геодезические отметки земли колодцев. Анализ полученной информации позволяет: выявить существующие неисправности арматуры, определить фактическое сопротивление трубопроводов и откорректировать значение среднесуточного свободного напора как по зонам влияния, так и по городу в целом. Вся информация используется при создании математической модели сети.

Ежегодно в период с апреля по октябрь проводятся измерения гидравлических характеристик водоводов и магистралей. Измерения гидравлических характеристик по водоводам и магистралям (напор, пьезометр, расход, скорость и направление потока) проводятся в 398 камерах. Измерения проводятся планомерно по нарядам-заказам, подготовленным для каждого водовода и магистрали. В них указаны даты измерений и режимы работы водопроводных станций или регулирующих узлов.

По результатам измерений в конце года составляется сводная ведомость гидравлических параметров водоводов и магистралей и выпускается карта скоростей, расходов, пьезометров и напоров воды в трубопроводах Москвы. Количество пунктов измерения корректируется за счет ввода в эксплуатацию новых водоводов и магистралей в Москве и на резервных территориях, а также на существующих водоводах и магистралях, где ранее измерения не производились.

В зимний период, когда погодные условия не позволяют проводить работы на водоводах и магистралях, группа гидроизмерений Центра диагностики МГУП «Мосводоканал» выполняет работы по сбору информации о суточных напорах по 322 контрольным адресам. Это осуществляется путем установки на водопроводных вводах самопишущих манометров с последующим снятием суточных диаграмм. Количество контрольных адресов увеличивается за счет установки их в новых строящихся микрорайонах Москвы и на резервных территориях.

В 1999 г. Московским водоканалом приобретен и внедрен в эксплуатацию автономный комплекс измерения расхода и давления воды, состоящий из ультразвукового расходомера «Контролотрон» (США) и самопишущего манометра «Фуджи Теком» (Япония).

Комплекс измеряет и записывает в память значения расхода, скорости и давления в автономном режиме в течение суток и более. Результаты измерений используются при выборе оптимальных режимов работы водопроводных сооружений, идентификации расчетной схемы водоснабжения города с использованием математической модели, при плановых и аварийных отключениях участков трубопроводов.

## 5.6. РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В ГОРОДЕ И ПУТИ СОКРАЩЕНИЯ ПОТЕРЬ ВОДЫ В ЖИЛОМ СЕКТОРЕ

Перерасход питьевой воды в Москве все больше и больше привлекает внимание общественности. Население города получает достоверную информацию об объемах реального потребления воды каждым жителем.

Удельное водопотребление в Москве за последние 10 лет значительно сократилось и составляло 360 л. на человека в сутки в 2004 г. Это достаточно большое потребление при гигиенической потребности 130—150 л/чел. в сутки.

Это говорит о том, что в самой системе водоснабжения «заложен» потенциальный резерв воды. Использование этого резерва позволит в значительной степени сократить издержки производства на подготовку питьевой воды и в то же время пересмотреть техническую политику в области проектирования и строительства водопроводных сооружений. Существующие водораспределительные сети планировались исходя из постоянного роста объемов водопотребления. Поэтому в настоящее время в условиях реального сокращения объемов диаметры сетей и магистралей оказались завышенными, скорость движения воды сократилась в отдельных районах города до 0,1—0,2 м/с. Многие насосные станции и регулирующие узлы не работают и находятся в горячем резерве (насосные станции Бауманская, на проспекте Мира и Кунцевская выключены из работы).

По генеральной схеме развития водоснабжения Москвы (1975) прогнозировалось достижение уровня 320 л на человека в сутки. Такой показатель удельного водопотребления может быть достигнут за счет рационального использования водных ресурсов и сокращения потерь воды в системе водоснабжения, в частности в системе подачи и распределения воды.

Под потенциальным резервом воды в системе водоснабжения города рассматривается разница между возможным объемом подачи воды в город, обеспечиваемом производственной мощностью существующей системы водоподдачи, и фактическим объемом потребляемой воды. Создание резерва такого рода позволяет решить ряд задач, направленных на повышение надежности водообеспечения, основными из которых являются:

- сокращение водоотбора из источников водоснабжения, позволяющее эксплуатировать их в более экологически щадящем режиме;
- возможное увеличение времени пребывания воды на очистных сооружениях, что влечет за собой улучшение качества питьевой воды;
- сокращение объемов сточных вод, поступающих в систему водоотведения города.
- повышение оперативной готовности системы водоснабжения к



работе в условиях чрезвычайных ситуаций в городе и на водоисточниках (включая маловодье).

Прогноз реализации принципов потенциального резервирования в системе водоснабжения города произведен путем обработки данных по водопотреблению Москвы за статистически значимый период.

Анализ динамики водопотребления Москвы за последние 30 лет показал, что до 1985 г. наблюдался практически линейный закон увеличения подачи воды в город. При сохранении этой закономерности в 2000 г. водоподача достигла бы уровня 8 млн м<sup>3</sup> воды в сутки.

За счет реализации в 1985—1989 гг. мероприятий Целевой комплексной программы «Экономия, рациональное использование водных ресурсов в Москве и повышение надежности ее водообеспечения на период до 2010 г.» удалось стабилизировать водопотребление на уровне 6,2 млн м<sup>3</sup> в сутки. При сохранении этой тенденции к 2010 г. водоподача составила бы около 7 млн м<sup>3</sup> в сутки.

Реализация в МГУП «Мосводоканал» мероприятий по контролю водопотребления и масштабное внедрение водосберегающей арматуры на фоне частичного сокращения производства и услуг коммунально-бытового сектора привели к очередному снижению водоподачи. Расчеты показали, что при сохранении этой тенденции к 2010 г. подача воды составит менее 4 млн м<sup>3</sup> в сутки, т.е. на уровне 1980 г. (в 2004 г. среднесуточное потребление составило 4,831 тыс. м<sup>3</sup>).

Очевидно, что при производственных мощностях Московского водопровода около 7 млн м<sup>3</sup> воды в сутки резерв водоснабжения уже в настоящее время составляет 2 млн м<sup>3</sup> воды в сутки, а к 2010 г. достигнет 3 млн м<sup>3</sup> в сутки и более.

Согласно принятой концепции, экономия и рациональное использование воды в жилом секторе возможны только за счет снижения потерь воды и использования домовых и квартирных приборов учета воды для оплаты расходов за водопотребление.

Общую структуру расходования воды по Москве можно определить путем усреднения выборочных данных о структуре водопотребления в трех различающихся по этажности застройки группах абонентов: малоэтажный фонд (до 5—6 этажей); смешанный фонд; многоэтажный фонд (14—16 этажей). Анализ выборочных данных по трем названным группам показал, что соотношение между ними — 70, 60 и 33 %, т.е. коррелируется с характеристикой современного жилищного фонда Москвы.

Исследования показали, что усредненная структура расходования воды непосредственно в квартирах следующая, л/сут·чел.:

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| общее удельное водопотребление .....         | 360 |
| в том числе:                                 |     |
| условно полезное потребление .....           | 200 |
| утечки воды через неисправную арматуру ..... | 80  |

|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| нерациональные расходы из-за избыточных напоров воды .....                               | 40  |
| нерациональные сливы горячей воды<br>(из-за недостаточной температуры) .....             | 9,0 |
| нерациональные сливы холодной воды, запасаемой<br>в предвидении возможных перебоев ..... | 10  |

Приведенная структура основана на следующих предпосылках: ночное удельное водопотребление (мера утечек воды) 6 л/ч·чел. и среднее эффективное давление воды 0,5 МПа (50 м вод.ст.). Условно полезное водопотребление определено при снижении упомянутых показателей до реально достижимого уровня: 2 л/ч·чел. и 0,26 МПа (26 м вод. ст.).

Усредненная структура условно полезного водопотребления, л/сут·чел.:

|                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| общее условно полезное водопотребление .....                                                  | 200 |
| в том числе:                                                                                  |     |
| питье и приготовление пищи .....                                                              | 5   |
| личная гигиена .....                                                                          | 10  |
| ванна, душ .....                                                                              | 40  |
| мойка посуды .....                                                                            | 20  |
| стирка белья .....                                                                            | 40  |
| смыв унитаза .....                                                                            | 30  |
| уборка, полив цветов и пр. ....                                                               | 5   |
| нерациональные расходы из-за несовершенства<br>арматуры и неэкономного отношения к воде ..... | 50  |

Установлено, что удельный расход воды на человека существенно увеличивается с ростом давления за счет возрастания главным образом утечек. Слагаемые структуры водопотребления, не зависящие от давления, при 0,52 МПа составляют 52 % общего водопотребления, т.е. 48 % потерь воды является следствием избыточного давления, в то время как потери из-за несовершенства арматуры при этом давлении — всего 9 % (при нормативном давлении перед прибором потери, связанные с несовершенством арматуры, составляют 18 %).

Детальная разбивка потерь и непроизводительных расходов воды произведена пропорционально теоретическим величинам (л/сут·чел.).

Структура величины утечек и непроизводительных расходов воды, л/сут·чел.:

|                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| хозяйственно-питьевая потребность .....                                                                   | 135 |
| потери .....                                                                                              | 190 |
| в том числе:                                                                                              |     |
| нерациональные расходы воды .....                                                                         | 90  |
| Вследствие:                                                                                               |     |
| неэкономного отношения к воде .....                                                                       | 5   |
| несовершенства конструкций водоразборной арматуры .....                                                   | 20  |
| несовершенства проектных решений водопровода<br>(избыточное давление перед водоразборной арматурой) ..... | 45  |

Таблица 5.7. Последовательность и оценка мероприятий по экономии воды в жилом секторе

| Наименование работ                                                                                                                            | Экономия воды * |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Снижение давления в системе до требуемых значений путем:                                                                                      |                 |
| налаживания регуляторов давления                                                                                                              | 30/295          |
| налаживания автоматики насосов регуляторов частоты тока                                                                                       | 30/295          |
| налаживания водопровода горячей воды                                                                                                          | 9/286           |
| Профилактика внутреннего водопровода путем ликвидации утечек через:                                                                           |                 |
| поплавковые клапаны                                                                                                                           | 21/265          |
| смесители                                                                                                                                     | 16/240          |
| Нормализация давления во внутреннем водопроводе путем:                                                                                        |                 |
| диафрагмирования сети                                                                                                                         | 5/235           |
| модернизации водоразборной арматуры                                                                                                           | 10/225          |
| установки регуляторов давления на вводах в здания                                                                                             | 50/175          |
| зонирования водопроводных сетей:                                                                                                              |                 |
| в новом строительстве                                                                                                                         | 50/175          |
| в сложившейся застройке                                                                                                                       | 50/175          |
| Применение водосберегающей арматуры:                                                                                                          |                 |
| квартирных регуляторов давления                                                                                                               | 25/150          |
| поплавковых клапанов повышенной надежности                                                                                                    | 10/140          |
| вентильных головок с керамическими шайбами                                                                                                    | 5/135           |
| смесителей с керамическими шайбами                                                                                                            | 5/135           |
| полуавтоматической арматуры                                                                                                                   | 15/130          |
| автоматической арматуры                                                                                                                       | 10/120          |
| * Удельный суточный расход, л/сут·чел. В числителе указана экономия воды при требуемом уровне эксплуатации, в знаменателе — при существующем. |                 |

|                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| отклонения эксплуатационных параметров от расчетных .....                            | 10  |
| в том числе:                                                                         |     |
| понижение температуры (сливы воды) .....                                             | 9   |
| снижение надежности подачи воды (разлив воды в емкости и последующий сброс ее) ..... | 1   |
| утечки из водоразборной арматуры .....                                               | 100 |
| вследствие:                                                                          |     |
| недостаточной надежности, износа и несвоевременного ремонта:                         |     |
| смесителей .....                                                                     | 10  |
| поплавковых клапанов .....                                                           | 18  |
| спускных клапанов смывных бачков .....                                               | 2   |
| повышенного давления перед негерметичными:                                           |     |
| смесителями .....                                                                    | 10  |
| поплавковыми клапанами .....                                                         | 60  |

Установлено, что структура водопотребления в микрорайоне (на вводе) составляет для Москвы 380 л/сут·чел. при следующем распределении потребления:

325 л/сут·чел. — в жилых домах (на основании экспертных оценок);  
 25 л/сут·чел. — потери в микрорайонных сетях холодного и горячего водоснабжения; в связи с большим разбросом данных (10—70 л/сут·чел.) приняты как половина от общих утечек из трубопроводов;  
 20 л/сут·чел. — водопотребление зданий культурно-бытового назначения;  
 10 л/сут·чел. — расходы на собственные нужды при эксплуатации зданий.

Резерв водопотребления в жилом доме оценивается как разница между фактическим водопотреблением и потребностью в воде, это предел экономии воды, к которому следует стремиться, но реализовать его полностью можно только при значительных затратах, направленных на создание условий водопотребления, исключающих все потери воды.

Резерв водопотребления в конкретном здании зависит от сложившихся условий эксплуатации, срока эксплуатации здания, качества водоразборной арматуры и давления во внутреннем водопроводе.

Проведенные исследования показали, что для средних условий водопотребления в Москве резерв водопотребления в жилом доме можно оценить в 225 л/сут·чел., как разность между сложившимся водопотреблением (360 л/сут·чел.) и научно-обоснованной хозяйственно-питьевой потребностью (135 л/сут·чел.). На основании анализа возможных сроков реализации отдельных мероприятий и анализа структуры водопотребления рекомендована последовательность реализации технических мероприятий по экономии воды в жилом секторе (табл. 5.7).

## 5.7. СОСТОЯНИЕ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ УЧЕТА ПОДАЧИ ВОДЫ В УСЛОВИЯХ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОЙ РЕФОРМЫ В РОССИИ

Сегодня очевидно, что основные задачи реформы жилищно-коммунального хозяйства не могут быть решены без массовой установки и использования счетчиков холодной и горячей воды. В Москве эти проблемы решаются уже в течение ряда лет, но существующая схема управления ресурсоснабжением жилых зданий, сформированная в 1990-е гг. без учета необходимости измерения фактического водопотребления общедомовыми и квартирными счетчиками горячей и холодной воды, не позволяет сделать счетчики необходимыми и эффективными для всех участников процессов водоснабжения. В настоящее время без изменения схемы управления и ответственности за ресурсоснабжение жилых зданий массовая установка счетчиков воды недостаточна эффективна.

При сложившейся системе управления ЦТП и микрорайонные сети находятся в хозяйственном ведении различных организаций — Мостеплоэнерго, Мосгортепло, Теплоремонтналадка, Опора-2, Мосводоканал (у последнего — только сети систем холодного водоснабжения и канализации, кроме того, Мосводоканал оплачивает обслуживание части оборудования ЦТП — насосов для холодной воды). Собственником ЦТП, а также всех сетей в микрорайонах является субъект РФ — город Москва. Эксплуатация самих жилых зданий, находящихся в общей долевой собственности физических и юридических лиц (включая и город), обеспечивается управляющими компаниями (далее — УК) — в основном дирекциями единого заказчика (ДЕЗ). Часть зданий в Москве (их число постоянно увеличивается) имеет встроенные индивидуальные тепловые пункты (ИТП), которые непосредственно (по независимой схеме) подключены к городским сетям производителей энергоресурсов. Строительство зданий с ИТП — общепризнанное, наиболее перспективное направление развития инженерных систем, так как в этом случае обеспечивается более гибкое регулирование параметров ресурсов, а также исключаются потери воды в сетях горячего водоснабжения микрорайонов, т.е. достигается существенное энергосбережение.

В таких системах существенно меньше проблем с установкой и использованием приборов учета ресурсов, легче устанавливается ответственность за их качество, здесь проще организовать начисления платежей за ресурсы и сбор оплаты.

Сложившаяся система управления ресурсоснабжением жилых зданий (рис. 5.6) имеет ряд принципиальных недостатков, главным из которых следует считать то, что подготовленная на ЦТП горячая вода не является самостоятельным ресурсом, ее потребление не оплачивается по показаниям счетчиков (общедомовых и квартирных). Мосводоканал вынужден начислять платежи за воду для ДЕЗ по показаниям счетчиков холодной воды, а платежи за воду, которая поступает в водонагреватели для приготовления горячей воды, начислять расчетным путем, распределяя эту воду пропорционально показаниям счетчиков холодной воды.

При этом фактические потери воды в сетях горячего водоснабжения остаются неизвестными, соответствующие нормативы потерь не разработаны и не утверждены, все эти потери оплачиваются УК и потребителями.

Взимание платы за горячую воду как самостоятельный вид ресурсов не производится, несмотря на то, что тариф на горячую воду (руб./м<sup>3</sup>) утверждается РЭК Москвы начиная с 2001 г. В настоящее время цена горячей воды для населения составляет 23,85 руб./м<sup>3</sup> при стоимости холодной воды (с учетом стоимости водоотведения) — 5,86 руб./м<sup>3</sup>. Единая ответственность за все показатели качества горячей воды в Москве не предусмотрена.

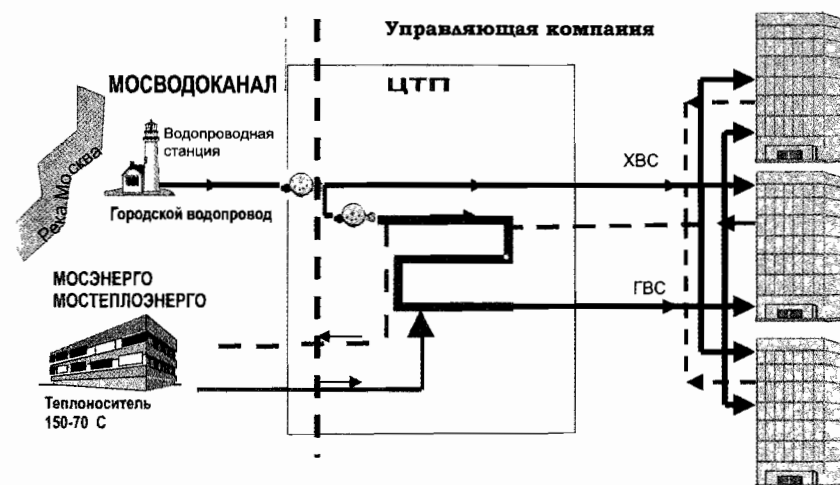


Рис. 5.6. Сложившаяся схема ресурсоснабжения жилых домов в г. Москве

В существующей системе управления отсутствует мотивация для ресурсосбережения — доходы ресурсоснабжающих организаций не увеличиваются при снижении потребления тепла, горячей и холодной воды; доходы УК никак не зависят от объемов потребления ресурсов, так как они не получают плату за тепло и воду от населения; население оплачивает расчетное, а не фактическое потребление ресурсов. Результатом этого является избыточное потребление горячей воды — соотношение потребления горячей и холодной воды (по данным мониторинга на многих ЦТП) — составляет 1:1, хотя при качественном горячем водоснабжении, т.е. при выполнении требований по температуре горячей воды у потребителей и отсутствии ее утечек в трубопроводах микрорайонных сетей, это соотношение должно составлять 0,8:1,2.

С 1997 г. Мосводоканал приступил к установке общедомовых приборов учета холодной воды на каждый жилой дом и в ЦТП перед водонагревателем. За этот период в жилых зданиях было установлено более 13 тыс. приборов учета холодной воды, перед водонагревателями — 5,4 тыс. приборов учета воды. Кроме этого, к 2004 г. в Москве установлено более 580 тыс. квартирных приборов учета, однако из-за отсутствия нормативно-правовой базы расчеты по ним не производились.

Вопросы оплаты за фактическое водопотребление по установленным общедомовым и квартирным приборам учета воды требовали неотложного решения на уровне Правительства Москвы. В связи с выходом Постановления Правительства Москвы от 10.02.04 г. № 77 «О мерах по улучшению системы учета водопотребления и совершенствования расчетов за холодную, горячую воду и тепловую энергию в жи-



лых зданиях и объектах социальной сферы г. Москвы» ситуация должна существенно измениться.

В текущем году начался новый этап в проведении жилищно-коммунальной реформы в нашем городе — переход на расчеты с населением за фактическое потребление холодной и горячей воды исходя из показаний приборов учета.

Указанное постановление направлено на стимулирование экономики энергоресурсов населением, организациями социальной сферы и другими потребителями. Оно регламентирует переход на расчеты с населением от нормативной ставки к фактическому водопотреблению и содержит следующие основные положения по совершенствованию системы учета водопотребления.

1. К сентябрю 2005 г. во всех жилых зданиях города должны быть установлены общедомовые приборы учета холодной и горячей воды и тепловой энергии. Общедомовые приборы учета воды — приборы учета, установленные на вводах систем горячего и холодного водоснабжения в жилое здание.

Это непростая задача. Во-первых, решение этой задачи должно осуществляться с учетом перекладки транзитных трубопроводов для того, чтобы каждый жилой дом имел свой «самостоятельный» узел учета холодной и горячей воды. При этом по состоянию на 1 февраля 2005 г. в жилых домах осталось проложить 135 км транзитных трубопроводов холодной воды, горячей — в два раза больше. Но в течение 2—3 лет эта задача вполне выполнима, и она принесет наибольшую достоверность в систему учета ресурсов.

Ремонт, обслуживание и проверка общедомовых и квартирных приборов учета холодной и горячей воды производится исполнителем (организацией, управляющей жилищным фондом) по договору со специализированной организацией, имеющей лицензию на ремонт указанных приборов (общедомовых приборов учета воды, находящихся на балансе поставщиков — по договору с поставщиком-балансодержателем).

В Постановлении приведены требования к организациям, которые могут быть допущены к конкурсу на выполнение работ по технической эксплуатации установленных в жилых домах г. Москвы приборов учета воды и тепловой энергии, и регламент выбора водосчетчиков.

Для установки в жилищном фонде допускаются приборы учета воды из числа внесенных в Государственный реестр средств измерений Госстандарта РФ. Выбор номинального расхода и калибра (диаметра) счетчиков воды, а также других параметров приборов учета воды необходимо производить в соответствии с требованиями СНиП 2.04.01—85 «Внутренний водопровод и канализация зданий», технической документации (паспортов) приборов.

2. В состав услуг, оказываемых потребителям, введена новая услуга — «горячая вода».

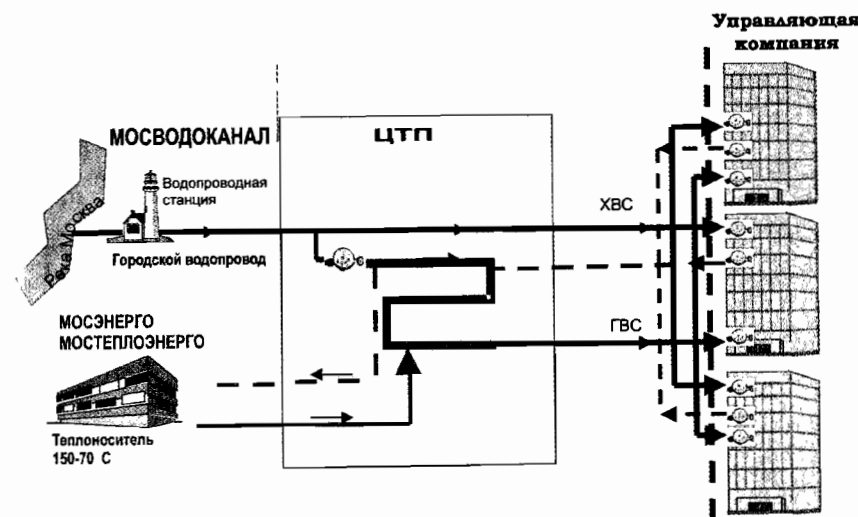


Рис. 5.7. Схема учета водопотребления при полном оснащении дома приборами учета воды (домовыми и квартирными)

Установлено, что производителями и поставщиками горячей воды в г. Москве являются теплоснабжающие предприятия. Они закупают у МГУП «Мосводоканал» воду, подогревают ее и доводят до дома. Теплоснабжающие организации несут всю ответственность за параметры подачи и качество горячей воды.

Утвержден временный (до утверждения в установленном порядке) норматив потерь воды на сетях горячего водоснабжения в размере 1 % от показаний приборов учета воды, установленных в ЦТП перед бойлером.

3. Меняется система учета энергоресурсов и порядок взаиморасчетов за услуги холодного, горячего водоснабжения и водоотведения.

На рис. 5.7 приведена новая схема учета водопотребления при полном оснащении дома приборами учета воды (домовыми и квартирными).

Теплоснабжающие организации должны рассчитываться с Мосводоканалом за отпуск воды для нужд горячего водоснабжения по показаниям приборов учета воды, установленных перед водонагревателями в ЦТП.

Жилищные организации должны рассчитываться с МГУП «Мосводоканал» за отпуск холодной воды по показаниям общедомовых приборов учета холодной воды, за сброс сточных вод по сумме показаний приборов учета холодной и горячей воды, с теплоснабжающими организациями за отпуск горячей воды по показаниям общедомовых приборов учета горячей воды.

Для осуществления контроля за потребляемыми ресурсами и возможности своевременных начислений жителям за услуги холодного,

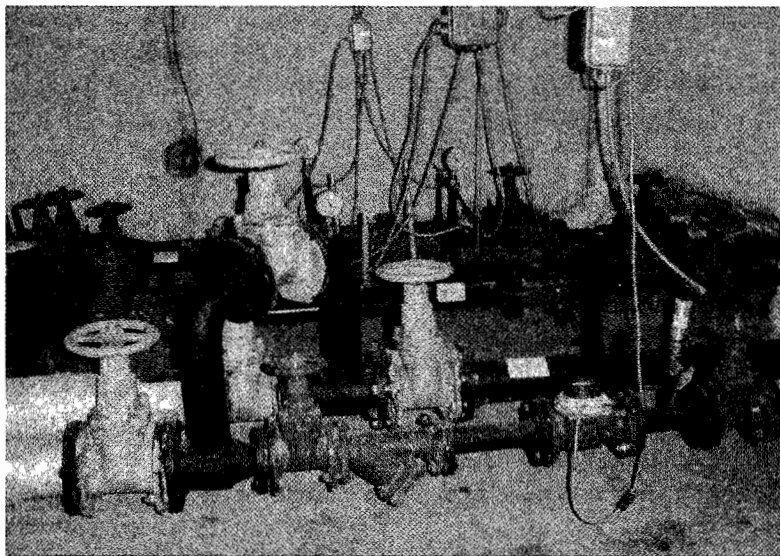


Рис. 5.8. Узел комплексного учета энергоресурсов в ДЕЗ «Восточное Измайлово»

горячего водоснабжения и отопления через единые информационно-расчетные центры (ЕИРЦ) было принято решение о необходимости передачи информации со всех устанавливаемых приборов учета с помощью автоматизированной системы в объединенные диспетчерские пункты (ОДС) и ЕИРЦ.

На практике автоматизированные системы сбора и передачи информации уже действовали в некоторых районах Москвы (ДЕЗ «Измайлово», ДЕЗ «Преображенское» и другие районы).

На рис. 5.8 изображен узел комплексного учета водоресурсов в ДЕЗ «Восточное Измайлово». Информация (расход холодной и горячей воды, давление в сетях, температура) от приборов учета, установленных на этом узле, выводится на компьютеры ОДС и ЕИРЦ.

Однако в городе отсутствовала единая концепция использования автоматизированной системы учета потребления водоресурсов и передачи информации в ОДС и ЕИРЦ. В настоящее время разработаны и Общие требования к автоматизированной системе учета потребления и перечень параметров водоресурсов, выводимых на мониторы, установленные в ОДС и ЕИРЦ.

Реализация вышеперечисленных мероприятий предоставит возможность всем жителям города оплачивать фактически потребленные объемы воды, что в итоге должно привести к экономному потреблению питьевой воды и доведению удельного водопотребления до уровня европейских городов.

## 5.8. ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОРОДСКОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ СОКРАЩЕНИЯ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

В последние годы проблему обеспечения требуемой надежности и эффективности функционирования городской водопроводной сети Москвы, как и ряда других крупных городов РФ, существенно осложняет процесс сокращения водопотребления в городе.

Развитие системы водоснабжения Москвы долгие годы осуществлялось за счет дополнительного привлечения водных ресурсов, увеличения мощностей водопроводных станций, строительства завышенных магистральных сетей (из-за формального обоснования возможно большего финансирования из средств госбюджета).

Принятый в 1975 г. Генеральный план развития г. Москвы был ориентирован на экстенсивный путь развития водоснабжения. Генеральная схема не предусматривала рационального использования водных ресурсов и применения водосберегающих технологий. В свою очередь, экономический механизм водопользования, действующий и до настоящего времени, не стимулировал водосберегающие мероприятия и экономное отношение к воде.

Сложившаяся схема городской водопроводной сети формировалась из учета прогнозируемого к 2000 г. водопотребления — 8070 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Однако перемены в годы перестройки коснулись не только внешнего облика города, но и его внутренних, невидимых параметров. В частности, это касается водоснабжения города и в первую очередь изменения уровня водопотребления. Известно, что до 1985 г. рост населения в Москве сопровождался увеличением подачи воды в город. С 1990 г., увеличение численности населения Москвы практически прекратилось, а подача воды продолжала расти. Пик водопотребления произошел в 1995 г., с этого года и до настоящего времени происходит снижение подачи воды в город. К 2000 г. разница между фактическим водопотреблением и прогнозируемым Генеральной схемой развития системы водоснабжения г. Москвы 1974 г. составила 2839,7 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Снижение водопотребления в городе выявило ряд существенных проблем, которые нужно устранить в процессе эксплуатации: уменьшение скоростей движения воды, сокращение кратности обмена воды, изменение качества воды в трубопроводах, ухудшение гидравлического режима работы водопроводной сети, снижение эффективности работы насосных станций (уменьшение КПД).

К объективным причинам сложившейся в последние годы тенденции к значительному уменьшению водопотребления в г. Москве следует отнести:

- снижение производства в промышленности города, закрытие ряда крупных нерентабельных предприятий;

- строительство водооборотных систем и внедрение водосберегающих мероприятий на промышленных предприятиях (особенно частных и коммерческих);
- внедрение концепции экономии и рационального использования водных ресурсов;
- изменение градостроительной политики развития города и области;
- снижение водопотребления в жилом и коммунально-бытовом секторе (наладка оборудования в центральных тепловых пунктах, установка водосберегающей арматуры и водосчетчиков в жилых зданиях, контроль за утечками в сети).

Вместе с тем существующее состояние водопотребления позволяет сделать краткосрочный прогноз на ближайшее время до 2010 г. Во-первых, динамика снижения потребления воды будет продолжаться до 2006 г. в пределах 0,5—1,8 % от годовой потребности. Во-вторых, в 2006—2008 гг. ожидается стабилизация потребления и только же в 2008 г. произойдет рост потребления воды.

В связи с ежегодным строительством жилья в больших объемах, потребность в воде будет увеличиваться (ежегодно вводится 5 млн м<sup>2</sup> площади), но не настолько, чтобы потребовать увеличения подачи воды. В самой системе водоснабжения есть внутренний «потенциальный резерв» (225 л/чел.-сут., который обеспечит дополнительное потребление воды. Другими словами, из природных источников потребление воды не увеличится.

Вместе с тем тарифная политика, проводимая в городе сегодня, направлена на ликвидацию «перекрестного» субсидирования к 1 января 2008 г. С этого момента тарифы будут изменяться только в пределах инфляции.

Одна из основных проблем — это уменьшение скорости движения воды в сети и кратности обмена воды. Протяженность распределительной сети города в последние годы неуклонно росла и составляет в настоящее время около 85 % от общей протяженности трубопроводов.

Для обеспечения надежности водоснабжения в соответствии с директивами Генсхемы 1974 г. увеличивался и объем резервуарного парка регулирующих узлов, расположенных в черте города. К 2001 г. суммарный объем трубопроводов и резервуарного парка составил 3270,1 тыс. м<sup>3</sup>, или 63,1 % от среднесуточной подачи воды 5178,2 тыс. м<sup>3</sup>.

Важным критерием оценки качества функционирования водопроводной сети является кратность обмена воды, которая выражается соотношением среднесуточного водопотребления к суммарному объему трубопроводов и резервуаров чистой воды. Так, в 1976 г. кратность обмена воды составляла 2,93, а к 2001 г. эта цифра снизилась до 1,58 (рис. 5.9).

Следует отметить, что расчет диаметров трубопроводов распределительной сети города, основная доля которых приходится на заводо-

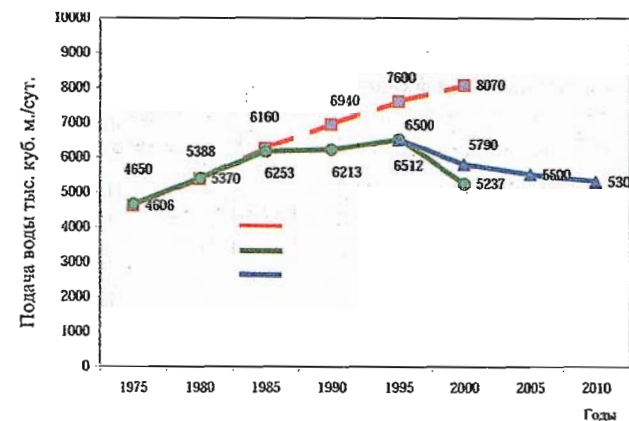


Рис. 5.9. Изменение кратности обмена воды в трубопроводах Московского водопровода

мерные сети, выполнялся из учета установленного Генеральной схемой 1974 г. общего удельного хозяйственно-бытового водопотребления более 500 л чел./сут. и обеспечения наружного пожаротушения — 100 л/с. Фактически же гидравлические расчеты, выполненные на ЭВМ с использованием математической модели для водопроводной сети ряда микрорайонов Москвы, показали наличие низких скоростей движения воды по трубопроводам в течение суток, в основном, от 0,01—0,2 и реже 0,3 м/сек.

Расчеты совпали с данными натурных измерений скоростей. Для магистральной водопроводной сети города также отмечено увеличение количества трубопроводов, работающих со скоростью 0,2—0,5 м/с, что также подтвердилось (табл. 5.8) ежегодными данными натурных измерений.

В настоящее время, согласно утвержденным Правительством Москвы «Нормам и правилам проектирования планировки и застройки Москвы» удельное водопотребление принято в размере 370 л/сут на человека. Проведенные гидравлические расчеты распределительной сети на примере одного из новых микрорайонов г. Москвы показали, что при снижении расчетного значения удельного водопотребления до 370 л/сут на человека скорости движения воды в распределительной сети даже с учетом расходов на пожаротушение в часы максимального водопотребления составляют от 0,04 до 0,53 м/с для диаметра трубопровода 300 мм.

Очевидно, что снижение среднесуточной подачи воды, рост емкости трубопроводов и резервуаров питьевой воды регулирующих узлов привели к целому ряду технических проблем, в первую очередь к снижению скоростей воды, образованию застойных зон, ухудшению ре-



Таблица 5.8. Результаты замеров скоростей движения воды в магистральной сети города

| Скорость движения воды, м/сек | % от общего количества измерений (360 пунктов) |       |      |      |                  |                  |
|-------------------------------|------------------------------------------------|-------|------|------|------------------|------------------|
|                               | 1994                                           | 1999  | 2000 | 2001 | Анализ 1994—2000 | Анализ 2000—2001 |
| 0,003—0,2                     | 4,84                                           | 12,09 | 15,6 | 26,3 | +10,76           | +10,7            |
| 0,2—0,3                       | 13,23                                          | 16,76 | 17,2 | 13,2 | +3,97            | —4,0             |
| 0,3—0,5                       | 19,03                                          | 22,8  | 24,2 | 24,4 | +5,17            | +0,2             |
| 0,5—0,8                       | 27,1                                           | 20,87 | 22,2 | 22,7 | —4,90            | +0,5             |
| 0,8—1                         | 10                                             | 9,07  | 6,7  | 7,2  | —3,30            | +0,5             |
| 1,0—1,2                       | 4,19                                           | 4,95  | 3,6  | 2,5  | —0,59            | —5               |
| >1,2                          | 5,16                                           | 2,2   | 1,1  | 3,7  | —4,06            | +2,6             |

жима обмена воды, изменению качества воды в распределительной сети. Это в значительной степени осложнило и привело к удорожанию эксплуатации распределительной сети.

В сложившейся ситуации, на наш взгляд, необходимо выполнение следующих мероприятий.

1. Во изменение существующих нормативов о проектировании объединенной хозяйственно-питьевой и противопожарной систем водоснабжения норму расхода воды на наружное пожаротушение следует принимать не в целом по городу, а с учетом фактического количества жителей, проживающих в микрорайоне.

2. Учитывая реальную тенденцию к дальнейшему снижению удельного водопотребления (до 190 л/сут.чел. к 2015 г.), при разработке проектов развития сети города следует закладывать в расчеты при определении нагрузок сети 70 % расхода воды на хозяйственно-питьевые нужды в часы максимального водопотребления плюс уменьшенный норматив наружного и внутреннего пожаротушения. При этом схема гидравлического расчета распределительной сети микрорайона должна быть строго увязана с архитектурно-планировочными решениями.

3. Отменить принятую в МГСН 1.01.98 нормативную величину минимального диаметра уличной водопроводной сети — 300 мм. Диаметр трубопровода уличной водопроводной сети следует принимать из расчета обеспечения экономически наимыгоднейшей или максимально допустимой при пожаре скорости движения воды — 2, 5 м/с при обеспечении требуемого свободного напора не ниже 10 м вод. ст. в диктующей точке сети. (В настоящее время нормы МГСН 1.01.98 регламентируют нормативное значение минимального диаметра уличной водопроводной сети — 300 мм).

При этом при застройке новых микрорайонов или реконструкции существующих целесообразно использовать сеть искусственных и естественных водоисточников, а также систему технического водопровода для нужд пожаротушения, городскую сеть использовать как резерв.

4. В проектах и технико-экономическом обосновании развития районов города необходимо предусматривать устройство выпусков на сетях, используя их в дальнейшем при проведении промывок участков трубопроводов с малыми скоростями, особенно в летний период для поддержания требуемой величины остаточного хлора на сетях. Кроме того, следует предусматривать специальные устройства для ввода оборудования для локального обеззараживания воды, прочистки трубопроводов, особенно в тупиковых участках.

Для уменьшения негативного влияния снижения водопотребления в городе на функционирование сети, ее технико-экономические показатели и санитарную надежность в МГУП «Мосводоканал» используется математическая модель сети. Ее реализация с использованием разработанного программного обеспечения позволяет:

- реально оценить и прогнозировать гидравлический режим работы системы подачи и распределения города — выбирать оптимальные режимы совместной работы сети и водопитателей;
- обоснованно проектировать сети трубопроводов питьевой воды реконструированных и новых районов города;
- установить «слабые» с точки зрения санитарной надежности участки трубопроводов, оптимизировать контроль качества воды, планировать места, периодичность и продолжительность промывки и дезинфекции трубопроводов;
- определить нефункциональные участки трубопроводов для их закрытия (или резервирования);
- управлять потокораспределением для улучшения гидравлических характеристик распределительной сети.

Проведенные гидравлические расчеты с использованием математического моделирования работы сети ряда районов города подтвердили ее эффективность и позволили сократить число участков сети с малыми скоростями и застойные зоны.

Следствие вышеназванных мероприятий — уменьшение расчетных диаметров трубопроводов, приближение к экономически наимыгоднейшим скоростям движения воды, повышение санитарной надежности трубопроводов сети.

В условиях снижения водопотребления в городе, старения сети и снижения уровня ее надежности необходимо особое внимание уделить планированию эксплуатации сети, оптимизации восстановления и обновления трубопроводов. Основу решения этой проблемы составляют оценка и анализ фактического уровня надежности городской водопроводной сети.

Как было сказано в главе 3, для решения этой задачи на Московском водопроводе эффективно используется автоматизированная система учета аварий и повреждений трубопроводов и оборудования на сети, функционируют электронные базы данных по паспортизации и

эксплуатации трубопроводов, разработаны алгоритм и программное обеспечение оценки и прогноза показателей надежности трубопроводов. Это позволяет проводить с использованием ЭВМ обширные статистические исследования трубопроводов и оборудования водопроводной сети Москвы в различных условиях эксплуатации, определить факторы, формирующие изменение показателей надежности и риск отказов трубопроводов.

На основе построенных математических моделей старения и восстановления трубопроводов и выбора приоритетных объектов их реновации разработаны и внедрены в МГУП «Мосводоканал» автоматизированные информационно-технические системы (АИТС): «Надежность «Санация», «Антикор». Системы используются для оценки и анализа надежности трубопроводов сетей водоснабжения города, планирования восстановления трубопроводов, контроля и управления их эксплуатацией.

Внедрение на Московском водопроводе новых подходов к учету фактора снижения объема водопотребления в городе и автоматизированных информационно-технических систем позволяет оптимизировать функционирование сети, обеспечить контроль эксплуатации и надежности сети, обоснованно планировать восстановление и обновление трубопроводов.

### Выводы

1. Экономическая целесообразность сокращения потерь воды состоит в уменьшении объемов изъятия воды из природных источников и, соответственно, уменьшении сбросов сточной воды в водоем после станции аэрации, что, несомненно, приведет к сокращению издержек при производстве воды.

2. Кроме технических решений, направленных на реализацию управления потерями воды, необходимо проведение государственной политики по совершенствованию водного законодательства в вопросах регулирования платы за изъятие воды и сброса в окружающую среду, регулирования тарифов для сокращения издержек производства в водохозяйственных организациях при производстве питьевой воды, привлечения инвестиций в коммунальное хозяйство для сокращения потерь в распределительных сетях и снижения нагрузок на окружающую среду.

3. Сегодня основным индикатором эффективности для системы водоснабжения воды является объем неоплаченной воды в процентах от общего объема подачи. Другого, более универсального инструмента для оценки деятельности предприятий водохозяйственного комплекса нет, пока не будет завершена работа по полному учету воды в инженерных сетях.

4. В России управление потерями привлекает повышенное внимание со стороны общественности, особенно потому, что показатели неоплаченной воды во многих городах варьируют от 10 до 50 %. При этом в разряд неоплаченной воды относят воду, которая израсходована потребителями, но не учтена водосчетчиками из-за их отсутствия, поэтому такой способ оценки потерь дает недостоверные результаты.

Кроме того, долгое время считалось и считается, что работа по уменьшению размера неоплаченной воды ниже 10 % экономически невыгодна. Трудность точного определения «потерь» воды в процентах связана, прежде всего, с тем, что вода, подаваемая в сеть, регистрируется по показаниям расходомеров на насосных станциях, а проданная (реализованная) вода вычисляется по сумме оплаченных счетов. В связи с тем, что снятие показаний счетчиков и оплата счетов производятся не одновременно, возможен небаланс. Неоплаченную воду необходимо разделять на компоненты для подробного анализа.

5. В качестве перспективных методов определения эффективности управления потерями следует рассмотреть потери воды в кубометрах на километр трубопроводов или в литрах на потребительский отвод в день на метр давления. Поскольку большинство распределительных сетей в Москве имеет плотность отводов более 20 на 1 км трубопровода, то термин «потребительский отвод» должен стать доминирующим. После завершения крупномасштабных работ в Москве по установке водосчетчиков на холодную и горячую воду в каждом микрорайоне необходимо оценивать потери воды по данному методу.

## Глава 6.

# СОВРЕМЕННЫЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ СИСТЕМАМИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

### 6.1. НЕОБХОДИМОСТЬ РЕФОРМИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМ ХОЗЯЙСТВОМ

В настоящее время экономическая ситуация в России характеризуется растущей потребностью инвестиций в развитие коммунального хозяйства, с одной стороны, и сокращением государственного финансирования и уменьшением собственных финансовых возможностей коммунальных предприятий, — с другой. В то же время состояние большинства инженерных систем жизнеобеспечения городов РФ (в том числе и систем водоснабжения и водоотведения) требует для поддержания их надежности и повышения эффективности эксплуатации привлечения значительных финансовых ресурсов.

В современных условиях государственные предприятия водопроводно-канализационного хозяйства испытывают определенные трудности. Устаревшее оборудование, низкий уровень технического обслуживания и недостаточно квалифицированный персонал — все это приводит к снижению надежности работы, ухудшению качества очистки воды. Особую тревогу вызывает состояние трубопроводов. По данным Госстроя, инвестиции на строительство водопроводных сетей сократились в 5,6 раза, канализационных — в 3,9 раза по сравнению с 1990 г. Неучтенные потери составляют 30 % всей произведенной воды. Износ основных фондов, по оценке экспертов, превышает 60 %. Планово-предупредительный ремонт сооружений уступил место аварийно-восстановительным работам. Наблюдаются частые перебои водоснабжения, при этом уровень водопотребления по международным стандартам остается непомерно высоким, что связано с существенными потерями воды.

Проблемы водопроводно-канализационного хозяйства должны решаться в рамках проводимой в Российской Федерации реформы жилищно-коммунального хозяйства. В то же время следует иметь в виду

его существенные отличия от других отраслей как по стране в целом, так и по Москве в частности:

- естественная монополия и невозможность создания в большинстве случаев конкуренции производителей;
- потребление происходит практически одновременно с производством или с небольшим отрывом от него во времени, откуда невозможность накопления продукции и неравномерность объемов производства;
- вода — это ресурс для выживания человека, в большинстве регионов дефицит воды нарастает, вода безальтернативна (ее невозможно заменить другим продуктом или услугой);
- обслуживание своими силами сложной системы водохранилищ и каналов на территории трех субъектов федерации;
- важнейшая экологическая роль систем сбора транспортировки и очистки сточных вод и поэтому не случайно, что в мировой практике приватизированных водопроводов значительно больше приватизированных систем канализации;
- высокий удельный вес постоянных расходов на содержание инфраструктуры; так в МГУП «Мосводоканал» условно постоянные расходы в составе себестоимости превышают 70 % и только менее 30 % составляют расходы, зависящие от объемов производства;
- сравнительно небольшая разница в уровне потребления богатыми и бедными слоями населения, что диктует необходимость жесткого регулирования и контроля тарифов, и связанный с этим большой разрыв в соотношении затрат и цены в странах с переходной экономикой. Коэффициент соотношения затрат и цен в водном секторе составляет около 0,3, в газовом — 0,8 и в связи — 1,6. Значение меньше единицы показывает, что инвестор не может добиться окупаемости затрат без получения субсидий.

На этом фоне активно обсуждается, а в некоторых городах России уже наметилась тенденция по приватизации государственных предприятий водопроводно-канализационного хозяйства, которая, по мнению ее сторонников, мгновенно изменит ситуацию.

Прежде чем вносить конкретные предложения, целесообразно проанализировать формы управления водопроводно-канализационным хозяйством в экономически развитых странах и опыт его приватизации в странах с переходной экономикой.

### 6.2. ФОРМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДОПРОВОДНО-КАНАЛИЗАЦИОННЫМ ХОЗЯЙСТВОМ В ЭКОНОМИЧЕСКИ РАЗВИТЫХ СТРАНАХ

Для оценки возможности и масштабов реформирования управления централизованными системами водоснабжения и водоотведения



проведем анализ современных подходов и опыта в этой области в развитых странах Запада. (При анализе зарубежного опыта автор использует терминологию, применяемую в соответствующих странах.)

Наиболее типичными являются французская и английская модели управления.

Франция выработала свою собственную модель, которая утвердилась после Второй мировой войны на волне стремительной урбанизации, происходившей в стране.

Основные аспекты данной модели — самокупаемость и партнерство государственного и частного сектора. *Необходимое условие партнерства — заключение контракта.* Качество услуг и эффективность предприятия во многом зависят от условий договора и их выполнения.

Коммуны могут осуществлять непосредственное управление предприятиями водоснабжения или привлекать к участию в управлении водоснабжением специализированные предприятия. В этом случае говорят о делегировании прав. Чаще всего контракты заключают в виде концессии или аренды. При концессии предприятие финансирует и возводит своими силами необходимые сооружения. Затем оно обеспечивает эксплуатацию и получает прибыль от продажи воды по оговоренной в контракте цене. При сдаче в аренду строительство сооружений выполняют и финансируют местные органы власти, после чего они передают эти сооружения предприятию (эксплуатационной организации). Эксплуатационное предприятие получает прибыль в виде той части стоимости воды, которая складывается из эксплуатационных расходов. Оставшаяся часть стоимости поступает в распоряжение местных властей и направляется ими на возмещение капитальных вложений.

В случае аренды финансируемые местными властями сооружения остаются их собственностью, в случае концессии эти сооружения возвращаются местным властям в соответствии с контрактом.

Существует еще одна форма договора — делегированное управление. Согласно этой форме, в контракте оговаривается, что местные власти остаются владельцами сооружений и в той или иной степени несут ответственность за их эксплуатацию. Объем этой ответственности определяется условиями договора.

Во Франции более 60 % коммун предпочитают делегировать права на управление водоснабжением. Местные власти пользуются: услугами специалистов во всех вопросах управления водоснабжения (гидрологии, биологии, физиологии, эпидемиологии, химии, физики и т.д.) современными достижениями в области ноу-хау, автоматики, информационного обеспечения, телевидения; апробированными методами управления и организации производства; результатами глубоких исследований и разработок, которые сделали французскую технологию обработки воды одной из самых передовых в мире.

Кроме этого, согласно условиям договора о делегировании коммунальных своих прав на управление водоснабжением, предприятия представляют в распоряжение коммун свои мощные финансовые возможности. В этом заключается одно из главных преимуществ делегированного управления, когда в условиях строго нормированных бюджетных средств появляется возможность привлекать частные финансовые ресурсы.

Таким образом, французская модель основана на главенствующем положении местных органов власти.

Теперь об английской модели управления в коммунальном хозяйстве. До 1974 г. водоснабжение и канализация в Англии находились в ведении местных органов власти. В 1974 г. прошла коренная реорганизация отрасли. Все службы водоснабжения и канализации были централизованы и перешли в подчинение 10 региональных Водных управлений, руководимых правительством страны.

В связи с экономическими проблемами в Англии возникли осложнения с инвестициями, в результате чего питьевая вода во многих районах Англии по своему качеству не отвечала стандартам Европейского сообщества; кроме того, свыше 20 % установленного оборудования на сооружениях канализации не отвечало современным требованиям.

Созданные государственные структуры управления водным хозяйством не смогли кардинально изменить ситуацию даже при широкой поддержке правительства.

В 1989 г. правительство Англии провело приватизацию централизованных систем и сооружений водоснабжения и канализации. Раньше в Управлениях водоснабжения государственного сектора правительство само устанавливало, финансировало (или не финансировало) стандарты и контролировало их соблюдение, поэтому редко удавалось соблюдать эти стандарты.

В новой приватизированной модели деятельность частных компаний подлежит строгому контролю со стороны правительства Англии, которое устанавливает стандарты водообеспечения, утверждает и контролирует тарифы. Это осуществляется Офисом воды (OFFWAT) — правительственным органом, не входящим ни в одно из министерств. Офис воды утверждает тарифы для каждой компании на перспективу. Так в 2004 г. утверждены тарифы до 2010 г. При утверждении тарифов проводится детальный экономический анализ затрат, при этом имитируется процесс конкуренции и в результате более эффективно работающая компания получает поощрительные тарифы. Офис воды нормирует и контролирует и другие важные показатели работы, в частности в 2004 г. утверждены нормативы утечки воды по каждой компании до 2019 г.

При этом независимые органы проверяют выполнение стандартов, а частные компании финансируют и внедряют стандарты.

Вместе с тем необходимо заметить, что, прежде чем компании были приватизированы, для них были определены инвестиции, необходимые в ближайшие 10 лет.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что французская и английская модели управления водопроводно-канализационными предприятиями имеют ряд общих свойств и некоторые различия.

1. В обеих моделях присутствует конкуренция: в английской она более ярко выражена; во французской модели конкуренция проявляется на двух этапах — при продлении контрактов и при борьбе за право управления муниципальным предприятием.

2. Собственность во французской модели может быть муниципальной, частной и смешанной. В английской модели собственность частная.

3. Контроль за деятельностью предприятия-концессионера во французской модели в отношении цен и расходов носит общий доверительный характер, а в английской — детальный, жесткий.

4. И в том и в другом случае все частные фирмы заинтересованы снижать издержки производства и зарабатывать прибыль (сокращение численности персонала, внедрение средств автоматизации, компьютерных технологий).

5. В области менеджмента — и в той и в другой модели управление персоналом осуществляется более эффективно, чем в государственном предприятии (более дифференцированный подход при начислении зарплаты и т.д.).

6. Привлечение частных инвестиций — важнейший инструмент повышения качества питьевой воды и очистки сточных вод; в обеих моделях инвестиции осуществляются с надежной, но отсроченной доходностью, так как срок банковских кредитов, как правило, короче срока окупаемости проекта.

7. Наличие рисков (финансовых, юридических, эксплуатационных).

Опыт Англии и Франции широко использовался при реформировании и приватизации водного хозяйства в ряде европейских стран. В Германии процесс широкой приватизации водного хозяйства, особенно в крупных городах, начался в 1990 гг. Но и сейчас в ряде мегаполисов сохраняется муниципальная форма собственности. Так, в одном из крупнейших городов страны, во Франкфурте-на-Майне водное хозяйство управляется многоотраслевым холдингом «Stadtwerke Frankfurt am Main Holding GmbH», полностью принадлежащим городу. Широкое распространение в Германии получила форма участия частного капитала, подобная «BOOT», которая там называется «производственная модель» (Betriebsmodell), при которой по договору с городом инвестор за свои деньги строит объекты инфраструктуры и эксплуатирует их в период окупаемости инвестиций.

Таблица 6.1. Численность работников компании «Berliner Wasserbetriebe» в 1998—2003 гг.

| Годы                | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|
| Инженеры и служащие | 3385 | 3383 | 3343 | 3091 | 2961 | 2920 |
| Рабочие             | 3080 | 2935 | 2834 | 2614 | 2462 | 2394 |
| Всего               | 6465 | 6318 | 6177 | 5705 | 5423 | 5314 |

Модель «BOOT» (в переводе с английского означает *строить, владеть, эксплуатировать, передавать*) широко применяется в международной практике.

Для нас представляет интерес опыт реформирования управления водным хозяйством столицы Германии Берлина. Создание объединенной городской структуры «Berliner Wasserbetriebe» на базе двух отдельных подразделений, существовавших в Западной и Восточной частях города, произошло в 1992 г. А в 1994 г. оно было преобразовано в самостоятельное городское предприятие на основе публичного права. Частичная приватизация предприятия (как ее называют немцы) произошла в 1999 г. При этом доля 50,1 % осталась в собственности города (земли Берлин), а 49,9 % приобрел консорциум, в который входят французская компания «Veolia» и английский концерн «RWE». При этом предприятие осталось юридическим лицом по публичному праву.

Партнеры могли оказать большую поддержку и передавать свой богатейший опыт, принимая во внимание более чем вековую деятельность в отрасли компании «Veolia» концерна «RWE», который владеет крупнейшей английской водной компанией «Thames Water». Можно привести некоторые данные, характеризующие положительные результаты приватизации.

За счет улучшения организации труда, внедрения передовой техники и технологии, использования новых форм стимулирования работников в компании происходит систематическое снижение численности работников, несмотря на увеличение объемов работ (табл. 6.1).

При этом удалось улучшить качественный состав персонала, увеличить оплату труда (заработная плата инженеров и служащих выросла на 56,9 %, рабочих — на 40,3 %), ввести повышенные годовые премии для отличившихся сотрудников, расширить возможности для обеспечения социальных нужд работников.

Анализируя опыт отдельных развитых стран, следует иметь в виду и быстро развивающуюся глобализацию водного рынка. С учетом его чрезвычайной важности, огромных масштабов и быстрых темпов развития воду называют «Голубым золотом». Ключевую роль на этом рынке занимают крупнейшие международные корпорации, такие, как «Veolia», «Suez», «Bougees», «RWE» и др. Единый для всех крупней-

ших корпораций план заключается в том, чтобы стать транснациональными поставщиками коммунальных услуг.

В то же время следует отметить, что, наряду с широкой приватизацией водного хозяйства в Англии, Франции и в Германии, в ряде развитых стран сохраняется муниципальная собственность. В Европе это характерно для скандинавских стран (Норвегия, Швеция). В большинстве крупных городов США водопроводно-канализационное хозяйство является общественной собственностью. Так, в Нью-Йорке снабжение водой осуществляет Департамент защиты окружающей среды, в составе которого работают следующие бюро и офисы:

Бюро обслуживания потребителей (собирает плату за воду и услуги канализации с жителей города и муниципалитетов вне границ города; устанавливает водосчетчики, проверяет точность водосчетчиков перед их установкой частными компаниями; управляет программами экономии воды);

Бюро инжиниринга в области защиты окружающей среды (планирование, проектирование и строительство важнейших объектов, обеспечивающих улучшение качества подаваемой в город воды и состояния нью-йоркской гавани и протекающих рек);

Офис заключения контрактов на поставки материалов и оборудования;

Бюро обработки сточных вод;

Бюро по эксплуатации водопровода и канализации (эксплуатация и содержание сетей водопровода и канализации; утверждает и контролирует работы по присоединениям; согласовывает и инспектирует строительство всех городских объектов, которые могут оказать воздействие на водопроводную или канализационную систему города);

Бюро водоснабжения (управляет, эксплуатирует и защищает систему подачи воды в город);

Департамент по работе с потребителями, его деятельность регулируется законом об общественном обслуживании.

В настоящее время водоснабжение во многих странах управляется общественным сектором, т.е. государственными или муниципальными предприятиями, например в США 85 % — общественным сектором, 15 % — частным, в странах ЕС 30 % — общественным и лишь 20 % — частным сектором.

Следует отметить, что приватизация не является доминирующей моделью в Европе, за исключением Англии и Франции и на 35 % в Испании.

Таким образом, можно констатировать, что и в экономических развитых странах наряду с эффективно работающими частными компаниями продолжают успешно эксплуатировать сооружения водопроводно-канализационного хозяйства структуры, основанные на общественной собственности.

### 6.3. ОПЫТ ПРИВАТИЗАЦИИ ВОДОПРОВОДНО-КАНАЛИЗАЦИОННОГО ХОЗЯЙСТВА В СТРАНАХ С ПЕРЕХОДНОЙ ЭКОНОМИКОЙ

Особо остро стоит вопрос реформирования и обеспечения нормального развития водного хозяйства в развивающихся странах и странах с переходной экономикой. Годовые потребности в инвестициях в данном секторе в этих странах составляют 80 млрд долл. в мировом масштабе, и эта сумма в ближайшие 20—25 лет увеличится более чем в два раза. Для реализации этих потребностей предпринимаются меры по максимально возможному использованию всех доступных источников финансирования, в том числе по линии национальных правительств, международных финансовых организаций (МФО), доноров, а также национальных и международных частных компаний (частного сектора).

Для стран Европы и Центральной Азии характерен целый ряд специфических проблем, включая износ стареющей инфраструктуры из-за отсутствия обслуживания, что приводит к высоким потерям и растущей нехватке чистой воды, в малых городах и в сельской местности, все более частым перебоям в обслуживании и удорожанию услуг для потребителей.

Можно привести несколько примеров участия частных компаний в водном хозяйстве стран с переходной экономикой.

**Контракт компании «АСЕА» (Италия) на управление Ереванским водопроводом.** Ключевые проблемы, с которыми компании пришлось столкнуться с самого начала, — это 7-часовой график подачи воды, несоответствие контракта на управление нормативным актам, задолженность по зарплате, собираемость платежей на уровне 12 % и нереальные сроки представления заявок.

«АСЕА» провела масштабную реорганизацию предприятия и за три года сумела добиться снижения энергозатрат на 20 %, обеспечения подачи воды до 13 ч в сутки и повышения собираемости платежей до 54 %!

В то же время, по мнению местных властей, в деятельности компании имеется много недостатков: увеличилось количество жалоб населения на плохое водоснабжение; компания не сделала серьезных инвестиций в ремонт и восстановление водопроводных сетей.

**Трансформация государственного предприятия на примере Лейпцига.** До 1990 г. водопроводно-канализационное хозяйство Лейпцига управлялось государственной компанией с раздутыми штатами и субсидируемыми водными тарифами как для предприятий, так и для населения. Такая система не позволяла покрывать даже половину производственных расходов. Городом были заключены два концессионных договора на эксплуатацию и обслуживание с новым предприятием



«KWL». Были изменены системы ценообразования, выставления счетов и сбора платежей.

Для повышения эффективности были осуществлены необходимые инвестиции, внедрена организационная структура, основанная на бизнес-процессах, задействован внешний опыт и проведена оптимизация системы управленческой информации с помощью SAP, GIS и ISU. Был реализован комплексный подход, основанный на анализе соотношения затрат и прибыли и включающий в себя элементы сравнительного анализа на базе контрольных показателей.

В результате потребление воды сократилось с 200 до 90 л на человека в день, объемы неучтенной воды снизились примерно на 18 %, расширилась территория обслуживания.

**Опыт компании «Veolia Water» (Франция) в странах с переходной экономикой.** Компания «Veolia Water» создана на базе основанной еще в 1853 г. «Compagnie Generale des Eaux» (CGE). С 1880 г. она расширяет свою активность за пределами Франции, действуя в Италии, Турции и Португалии. В настоящее время компания признана первой в мире по оказанию услуг в области производства и распределения питьевой воды и отвода и очистки сточных вод. Эти услуги она оказывает 110 млн. человек и 40 тыс. промышленных предприятий в 56 странах мира. Компания работает в Париже, Лионе, Марселе, Оклахоме, Гонолулу, Берлине, Будапеште, Бухаресте, Шанхае, Сеуле и др.

Компания «Veolia Water» имеет успешный опыт реализации проектов в Чешской республике, Венгрии и Румынии, однако столкнулась с рядом проблем в Турции (Чесме), Казахстане и Грузии (Тбилиси).

В Турции, во-первых, слишком продолжительным оказался переговорный период — контракт был подписан только в марте 2003 г., т.е. через три года после тендера. На согласования и встречи с участием Всемирного банка, владельца и «Veolia Water» потребовалось чрезвычайно много времени. Во-вторых, состояние инфраструктуры оказалось значительно хуже первоначально заявленного. В-третьих, при строительстве были допущены конструктивные просчеты и, судя по всему, не обеспечен должный контроль.

В Казахстане основная проблема была связана со структурой тарифов. На момент подписания контракта он составлял 0,08 долл. США за 1 м<sup>3</sup>, однако в ближайшие пять лет его, скорее всего, необходимо увеличить в два раза.

В наиболее полном виде идея приватизации водопроводно-канализационного хозяйства в странах с переходной экономикой реализована в Чешской республике, где удалось совместить богатый многолетний опыт компании «Veolia Water» и надлежащий контроль со стороны государства. Правовой основой регулирования деятельности отрасли в Чехии является «Закон о водопроводах и канализациях» 274/2001. Закон определяет взаимоотношения, возникающие при

развитии, строительстве и эксплуатации водопроводов и канализации общественного пользования, присоединений к ним, и полномочия органов местного самоуправления и государственной власти в этой области.

В результате приватизации в настоящее время «Veolia Water» принадлежит 40 % водохозяйственного рынка Чехии, она обслуживает 3,4 млн жителей, годовой оборот в 2002 г. превысил 400 млн долл. В составе компании на территории республики действует «Veolia Water Prague», которой принадлежит 100 % предприятия «Правский водопровод и канализация» («ПВК»), и «Veolia Water Чешская республика», которая действует в других регионах страны.

«ПВК», являясь частной компанией, регулярно проводит обследование удовлетворенности потребителей. Так, по итогам 2003 г. были опрошены 248 клиентов, разбитых на три группы — владельцы собственных домов, управляющие домами и оптовые потребители. Дали оценку «удовлетворены» или «очень удовлетворены» 87 %. Качество воды как хорошее или очень хорошее оценили 83 % клиентов.

Таким образом, можно отметить как серьезные успехи приватизации в странах с переходной экономикой, так и примеры неудачных решений и возникающих проблем.

После аргентинского кризиса, вызвавшего резкую девальвацию песо, и других финансовых потрясений частные инвесторы переориентировали свою стратегию на менее рискованные страны и проекты и требуют от доноров и Международных финансовых организаций (МФО) принятия на себя всех рисков, не имеющих прямого отношения к производственной деятельности, включая валютные риски, риски, связанные с государственным регулированием, риск неплатежей, региональные риски и риск недоступности услуг. В свою очередь МФО и доноры не готовы принимать на себя все эти риски за частный сектор и заявляют о переходе к избирательному подходу при определении стран для предоставления поддержки проектам частного сектора.

Операторы частного сектора считают концессии в странах Европы и центральной Азии весьма маловероятными и проявляют очень ограниченный интерес даже к договорам аренды. Наиболее надежным способом выхода на новые рынки сейчас считаются контракты на управление, и доноры, включая Всемирный банк, будут продолжать поддерживать использование таких схем там, где это возможно.

Опыт участия частного сектора в странах с переходной экономикой свидетельствует о нескольких уроках. С одной стороны, эти проекты были весьма успешными и помогли превратить водоканалы в динамичные коммерческие предприятия с более эффективным управлением, обучением персонала и передачей технологий при усилении ориентации на клиента и снижении потерь. С другой стороны, имеется и отрицательный опыт. Так, участие частного сектора не привело к су-

публичному увеличению притока капитала и новых вложений в инфраструктуру, а водоотведение в большинстве указанных стран до сих пор игнорируется частным сектором. Кроме того, широкая общественность часто относится к участию частного сектора без энтузиазма. Факторы, которые могли бы улучшить имидж частного сектора, включают, в частности, прозрачность конкурсных процедур, участие частного сектора в общественной жизни и продуманные стратегии сокращения персонала.

Большинство стран уже не ставят вопрос о привлечении частных инвестиций, перенеся акцент на привлечение двустороннего и многостороннего сотрудничества, что приводит нас к контрактам на управление и арендным договорам. Контракты на управление в их исходном виде имеют свои преимущества и недостатки. С одной стороны, они позволяют оператору участвовать в процессе без инвестиций и обеспечивают подход, основанный на конечных результатах работы. С другой стороны, контракты на управление не дают контроля над местными сотрудниками, предусматривают серьезные ограничения в отношении прочего персонала, а условия зачастую слишком жесткие и не учитывают местную специфику. Задачи оператора в этом новом контексте включают в себя: оптимизацию инвестиций, совершенствование производственной деятельности, стимулирование процесса привлечения местного и международного финансирования, отказ от прежней роли основного инвестора. Роль же доноров будет заключаться в выборе стран, где возможны проекты государственно-частного партнерства.

**Итоги анализа зарубежного опыта.** Подводя итоги анализа зарубежного опыта, следует отметить следующее.

Государственное управление в секторе водного хозяйства имеет ряд преимуществ: права собственности на активы принадлежат местным властям; государственный сектор способен работать не менее эффективно и прибыльно, чем частный; государственное управление позволяет в большей степени учитывать социальные аспекты; прибыль реинвестируется в производство; обеспечивается более тесное взаимодействие между предприятием и потребителями.

Вместе с тем имеются и недостатки: риск политического вмешательства, негибкая система найма работников.

В то же время передача услуг водоснабжения и водоотведения в частный сектор также имеет определенные преимущества: новые технологии внедряются быстрее и легче; обеспечивается больший простор для изменений и инноваций; упрощаются процедуры найма; обслуживание осуществляется на конкурентной основе. А к недостаткам частного сектора можно отнести: узкий подход к оценке результатов (только на основе экономических показателей); быстрый уход в случае невыполнения поставленных финансовых целей; вероятность час-

тых изменений в составе владельцев; тенденцию к монополизации, которая может свести на нет конкуренцию.

Таким образом, обе системы способны функционировать эффективно и рентабельно, в связи с чем чрезвычайно важно разработать конкретные модели управления, чтобы обе системы могли сосуществовать в конкурентных условиях. При этом результаты их работы необходимо оценивать с учетом как экономических, так и социальных критериев.

#### 6.4. МОДЕЛИ РЕФОРМИРОВАНИЯ ВОДОПРОВОДНО-КАНАЛИЗАЦИОННОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИИ

Решения о целесообразности преобразования предприятий водного хозяйства путем приватизации или совершенствования управления им при сохранении государственной формы собственности следует принимать в каждом городе, в каждом регионе применительно к конкретным местным условиям.

Автор хотел бы предложить, исходя из зарубежного опыта, наиболее приемлемые для экономических условий России модели реформирования водопроводно-канализационного хозяйства с привлечением частного сектора:

- контракты на сервисное обслуживание,
- контракты на делегированное управление,
- договор об аренде,
- концессия,

- контракты на финансирование, строительство и эксплуатацию с передачей прав собственности («BOOT» или «BOT»).

*Контракты на сервисное обслуживание* предполагают выполнение таких услуг, как техническое обслуживание, ремонтные работы, снятие показаний водомерных счетчиков, выставление счетов клиентам, сбор платежей и т.д. Местные власти остаются владельцами сооружений, несут коммерческий риск и обеспечивают финансирование объекта. Срок подобных контрактов 1—2 года.

*По контрактам на делегированное управление* государственные органы передают частным компаниям ответственность в области эксплуатации и технического обслуживания объекта. При этом коммерческий риск и финансовая ответственность сохраняются за государственными органами, а оплата услуг частных фирм осуществляется исходя из фиксированных ставок и премии в зависимости от полученных результатов. Такие контракты обычно заключаются на срок 3—7 лет.

*По договору об аренде* государственные органы передают частной компании в аренду принадлежащие им сооружения. Государственные органы несут расходы по строительству и расширению коммунальных объектов, а все эксплуатационные затраты берет на себя арендатор,

Таблица 6.2. Характеристика форм управления городским хозяйством

| Тип контракта                      | Собственник активов | Эксплуатация и техническое обслуживание | Инвестиции      | Коммерческий риск               | Срок, годы |
|------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------|
| Контракт на сервисное обслуживание | Государство         | Государственное и частное               | Государственные | Государственный                 | 1—2        |
| Контракт на управление             | Государство         | Частное                                 | Государственные | Государственный                 | 3—7        |
| Договор об аренде                  | Государство         | Частное                                 | Государственные | Разделен между обеими сторонами | 5—10       |
| Концессия                          | Государство         | Частное                                 | Частные         | Частный                         | 20—30      |
| Контракт типа «BOOT»               | Частный инвестор    | Частное                                 | Частные         | Частный                         | 10—30      |

который несет ответственность за эксплуатацию, техническое обслуживание и управление системой.

Услуги частной компании оплачиваются непосредственно потребителями. За аренду объекта частная фирма платит муниципалитету арендную плату, так как он остается единственным владельцем основных фондов и продолжает нести ответственность за их обновление и расширение. Передача в аренду обычно осуществляется на срок 5—10 (до 20) лет.

*Концессия* является классической формой делегированного управления. Сторона, предоставляющая концессию, поручает концессионеру управление коммунальной службой и обеспечение ее функционирования за свой счет и на свой страх и риск взамен права на взимание платы с потребителей. Концессионер финансирует инвестиции, включая расширение объемов услуг, и обеспечивает работу коммунальной службы и ее техническое обслуживание.

По истечении срока концессии объект передается властям безвозмездно и в рабочем состоянии. Объекты никогда не являются собственностью концессионера, и даже в ходе строительства они являются собственностью предоставивших концессию властей. Контракты концессии обычно заключаются на длительный срок 20—30 лет.

*Контракты на строительство и эксплуатацию с последующей передачей прав собственности («BOOT» или «BOT»)*. При таких контрактах частная фирма финансирует, строит, владеет и эксплуатирует новый объект. Затем по прошествии определенного времени объект пе-

редается в государственную собственность (в установленный срок должны быть покрыты все произведенные компанией инвестиции и обеспечена прибыль инвесторов).

В табл. 6.2 приведены основные формы организации управления и распределение ответственности между государственным и частным сектором.

### 6.5. ОПЫТ МГУП «МОСВОДОКАНАЛ» ПО РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ КОНТРАКТОВ И НАПРАВЛЕНИЯ ЕГО ДАЛЬНЕЙШЕГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Исходя из анализа зарубежного опыта инвестирования и управления водными компаниями, Мосводоканалом были разработаны и представлены в Правительство Москвы предложения по привлечению иностранных инвестиций для строительства водопроводно-канализационных сооружений.

Не секрет, что главными препятствиями для притока инвестиций в российскую экономику являются политические риски, сложность и запутанность существующей налоговой системы, высокие доходность государственных бумаг и ставка рефинансирования ЦБ, а следовательно дорогие кредиты российских инвестиционных институтов, организационные факторы и разразившийся в 1998 г. финансовый кризис.

Кроме того, специфика инвестирования в объекты коммунального хозяйства состоит в том, что они хотя и надежны, но не относятся к быстро окупаемым проектам.

Несмотря на это, высокий авторитет Правительства Москвы и Мосводоканала позволяют на приемлемых условиях привлекать инвестиции, используя различные способы: межгосударственное кредитование, инвестирование с использованием моделей «BOOT», смешанное финансирование.

В настоящее время в Мосводоканале находятся в стадии развития и реализации шесть инвестиционных проектов с привлечением внебюджетного и частного капитала, общий объем вложений по которым составляет около 500 млн долл.

Одним из таких успешно реализованных проектов является строительство и эксплуатация станции очистки сточных вод «Южное Бутово» по модели «BOOT» (рис. 6.1).

Решение о строительстве этой станции было принято в соответствии с Генеральной схемой развития канализации до 2010 г., разработанной НИПИ Генплана г. Москвы. Концепция, лежащая в основе Генеральной схемы, предусматривает частичную децентрализацию очистных сооружений Москвы и переход к строительству станций ма-



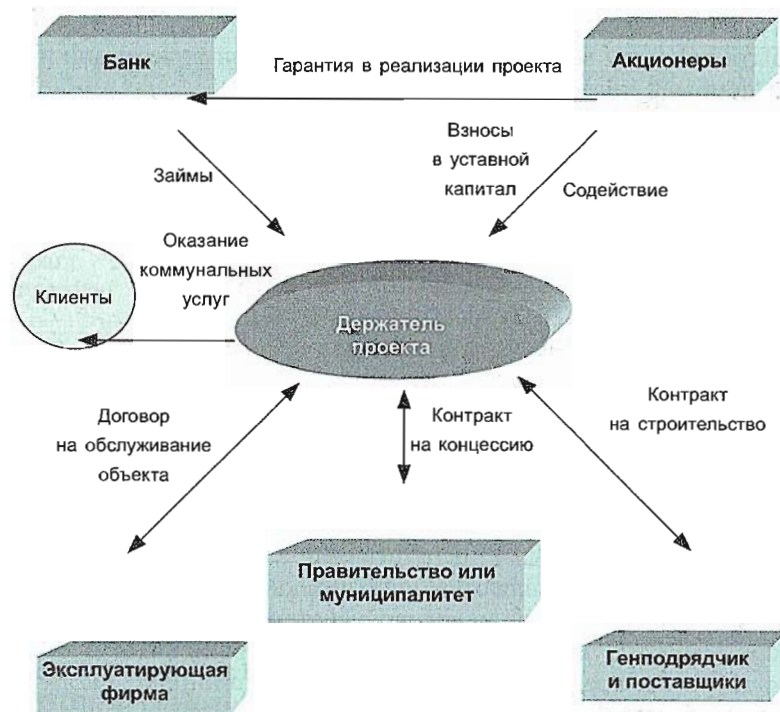


Рис. 6.1. Классическая схема «BOOT»

лой производительности на присоединенных территориях за пределами МКАД и на территории ЛПЗП. Децентрализация должна разгрузить перегруженную систему канализации Москвы и уменьшить затраты на переброску сточных вод на крупные станции.

Станция очистки сточных вод «Южное Бутово» производительностью 80 тыс.м<sup>3</sup>/сут рассчитана на прием хозяйственно-бытовых сточных вод от прилегающих к станции микрорайонов многоэтажной и коттеджной застройки Южного Бутово, а также других рядом расположенных районов Москвы.

Классическая схема «BOOT» обеспечивает сооружение объектов инженерной инфраструктуры за счет привлечения частных инвестиций с возмещением расходов инвестора в течение длительного срока эксплуатации построенного объекта (10—25 лет). Возврат инвестиций и получение соответствующей прибыли инвестором осуществляется через реализацию производимой предприятием продукции или услуг.

Эта схема основывается на соглашении с правительством города или муниципалитетом. Держатель проекта — он же инвестор, использует собственные средства, сформированные за счет взносов акционе-

ров в уставный капитал, и кредиты банков и строит объект инженерной инфраструктуры. Обслуживание объекта в период эксплуатации может быть поручено держателем проекта специально созданной эксплуатирующей компанией. Погашение кредитов банков и выплаты дивидендов акционерам держателя проекта обеспечиваются за счет доходов от реализации продукции или услуг. По истечении срока действия соглашения по «BOOT» объект передается городу.

В настоящее время в РФ отсутствует специальное законодательство, регламентирующее использование модели «BOOT», но финансово-правовая схема с использованием принципов этой модели вполне реализуема в условиях действующего в России законодательства. Однако в связи с объективными особенностями сложившейся на сегодня в городском хозяйстве ситуации (отсутствие возможности заложить в тарифы на услуги водоснабжения и водоотведения инвестиционную составляющую из-за низкой платежеспособности потребителей) была использована не классическая, а модифицированная схема, при которой возмещение инвестиционных затрат фирме-инвестору производится из бюджета города за счет лимитов капитальных вложений, а эксплуатационных издержек — за счет тарифов (рис. 6.2).

Расскажем подробнее об этапах реализации проекта строительства и эксплуатации станции «Южное Бутово».

В 1996 г. конкурсной комиссией, созданной по решению Правительства Москвы, был проведен открытый международный тендер по строительству станции на условиях «BOOT». Критериями выбора фирмы были:

- использование новейших технологий очистки сточных вод,
- наиболее выгодные финансовые условия строительства и последующей эксплуатации станции,
- минимальные сроки строительства.

В конце 1996 г. между Правительством Москвы и фирмой-победителем был заключен Генеральный договор о строительстве, финансировании и эксплуатации станции по модели «BOOT», имеющий форму рамочного соглашения и определяющий основные аспекты реализации модели в действующих в РФ условиях. Генеральным договором были зафиксированы предельная инвестиционная стоимость, процентная ставка, сроки и график строительства.

В целях реализации проекта фирма создала в Германии дочернее общество «Проектгезельшафт Зюд Бутово» — на схеме — Держатель проекта.

Держатель проекта выступил получателем банковского кредита под гарантии Земли Северный Рейн-Вестфалия и заказчиком на строительство станции. При этом привлечение подрядных организаций осуществлялось на конкурсной основе (победили в основном российские строительные организации — около 80 % от объемов



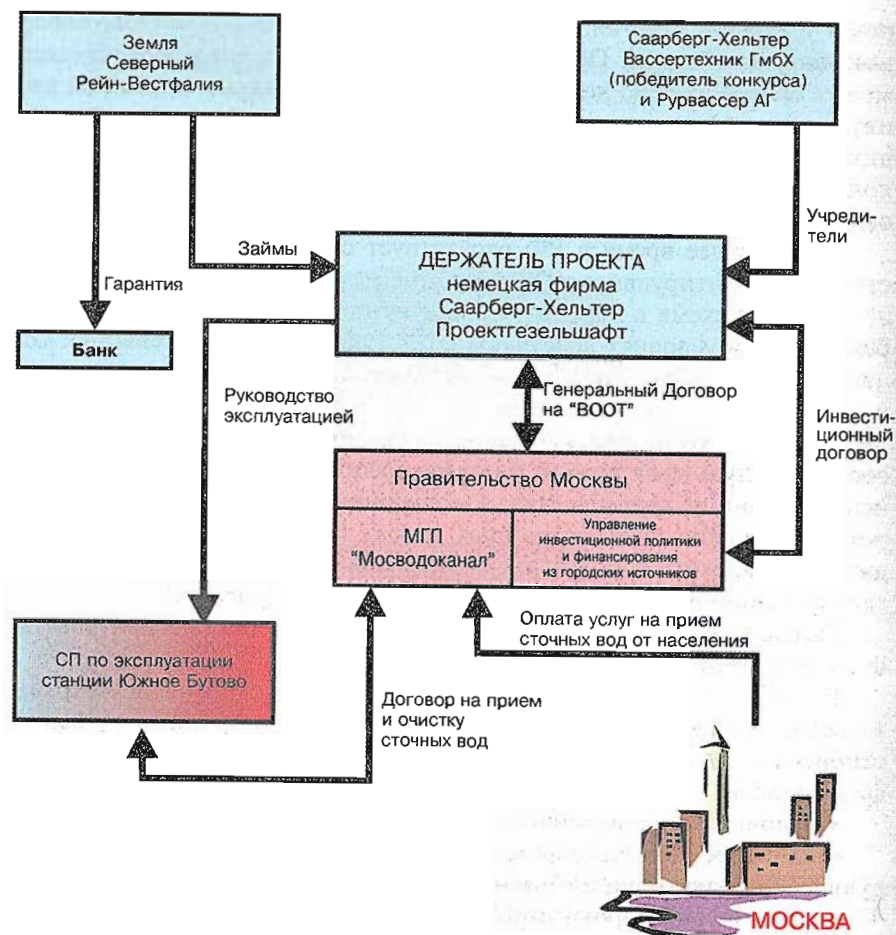


Рис. 6.2. Финансово-правовая схема реализации проекта строительства станции очистки сточных вод «Южное Бутово» по модели «BOOT»

СМР, значительную часть подряда получила московская фирма «Трансгидрострой»).

Взаимоотношения между Держателем проекта и Правительством Москвы в части строительства, финансирования и рефинансирования станции были определены инвестиционным договором, который подписали Правительство Москвы и Держатель проекта.

Правительством Москвы были выполнены все необходимые условия для обеспечения финансирования немецкими банками: предоставлена гарантия возврата инвестиций; оформлена лицензия Централь-

ного банка РФ на право осуществления платежей по инвестиционному договору в иностранной валюте; инвестиционный договор в соответствии с законом г. Москвы внесен в Единый реестр долговых обязательств Правительства Москвы.

В декабре 1998 г. было завершено строительство станции и право собственности на станцию закреплено за иностранным юридическим лицом — Держателем проекта.

Правительство Москвы в соответствии с условиями инвестиционного договора в течение 12,5 лет после пуска станции в эксплуатацию (1999—2011) компенсирует Держателю проекта затраты, связанные с финансированием строительства станции, после чего станция перейдет в собственность Правительства Москвы. Ежегодная сумма платежей включает погашение основного долга и выплату процентов.

Для обеспечения профессиональной эксплуатации станции Держатель проекта и Мосводоканал создали совместное предприятие ЗАО «СТАЭР», которому собственник станции (Держатель проекта) на основании агентского договора поручил эксплуатацию построенных сооружений. ЗАО «СТАЭР» были оформлены все необходимые для осуществления эксплуатации станции на территории РФ лицензии и разрешения.

По отдельному договору с Мосводоканалом совместное предприятие осуществляет бесперебойный прием и очистку сточных вод. Оплата услуг ЗАО «СТАЭР» производится Мосводоканалом по двухставочному тарифу, состоящему из двух частей ежегодного фиксированного платежа, предназначенного для покрытия условно постоянных затрат на эксплуатацию станции, и переменного платежа в зависимости от объемов очистки сточных вод.

Передача станции в собственность Правительства Москвы должна произойти в 2011 г. в полностью функциональном состоянии.

Для контроля за состоянием станции и обновлением оборудования создана наблюдательная комиссия, в состав которой вошли представители Правительства Москвы и Мосводоканала.

В настоящее время проект успешно реализуется, однако хотелось бы обратить внимание на ряд проблем, возникших из-за отсутствия в РФ концессионного и несовершенства налогового законодательства.

Согласно действующему законодательству РФ, из бюджета Москвы как источник выплаты доходов иностранному юридическому лицу, следует перечислять в бюджет налоги с доходов данного юридического лица — нерезидента (НДС и налог на доходы) при каждом перечислении платежа инвестору. Из-за отсутствия специального законодательства возможны различные подходы к вопросу налогообложения по данному проекту. Такими вариантами в зависимости от того, как будут классифицированы платежи по инвестиционному договору налоговыми органами, являются:

- 1) классификация всей суммы платежей как аванса или предоплаты, так как переход права собственности на станцию происходит после оплаты ее стоимости;
- 2) классификация платы по процентам как прибыли фирмы от отчуждения имущества на территории РФ;
- 3) классификация платы по процентам как процентного дохода от долговых обязательств.

На наш взгляд, наиболее правильным является 3-й вариант, при котором в соответствии с действующим между Россией и Германией соглашением об избежании двойного налогообложения налог на доходы не взимается, а НДС в размере 18 % начисляется на разницу между полной суммой оплаты и фактическими инвестициями, т.е. на сумму выплачиваемых процентов за рассрочку.

Отработанная на примере станции очистки сточных вод «Южное Бутово» модель «ВООТ» получила дальнейшее развитие в ходе российско-немецкого сотрудничества. В 1998 г. был подписан аналогичный инвестиционный договор на завершение строительства 4-й очереди очистных сооружений в Зеленограде. Ввод в эксплуатацию в январе 2001 г. новой станции производительностью 140 тыс.м<sup>3</sup>/сут позволил частично разгрузить Северную систему канализования Москвы и открыть дополнительные возможности жилищного строительства в этой части города.

Кроме того, в августе 2003 г. Правительством Москвы и фирмой «ВТЕ Вассертехник ГмбХ» подписан договор о реализации проекта финансирования, строительства и эксплуатации Юго-Западной водопроводной станции (ЮЗВС) производительностью 250 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

В этом проекте в целях оптимизации налоговых платежей, возникающих при погашении Правительством Москвы инвестиций, схема «ВООТ» была усовершенствована: в период эксплуатации объекта Правительство Москвы будет выкупать не имущество (основные фонды ЮЗВС), а акции собственника водопроводной станции. По действующему законодательству операции с ценными бумагами налогами не облагаются, в результате значительно минимизируется стоимость реализации проекта.

Авторитет Правительства Москвы среди деловых кругов, его гарантии своевременной выплаты инвестиций позволили в короткое время создать и реализовать модель финансирования, в которой основное финансовое бремя по развитию канализации в Москве на первом этапе ложится на городской бюджет, т.е. на налогоплательщиков, а в дальнейшем — после погашения инвестиционных затрат — полностью на потребителей. Такая нестандартная модель развития водопроводно-канализационного хозяйства с полным успехом может найти применение в российских регионах.

## 6.6. НОВЫЕ ФОРМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УСЛУГ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ И ПОВЫШЕНИЯ ИМИДЖА ПРЕДПРИЯТИЯ ВКХ

В середине 1990-х гг. МГУП «Мосводоканал» поставил задачи по улучшению организации своей работы, совершенствованию предоставляемых услуг водоснабжения и канализации и повышению имиджа на предприятиях ВКХ.

Для этого представители предприятия ознакомились со структурой родственных нашему предприятию российских и европейских фирм и обратили внимание на развитое направление в деятельности фирм, связанное с приемом и обслуживанием клиентов. Хороший опыт было решено перенять. Ведь работа с клиентами является важным фактором, влияющим на имидж фирмы. Сотрудничество фирмы с клиентами основывается на уважительном, доброжелательном и внимательном отношении, выполнении своих обязательств, компетентности при решении различных вопросов. Предприятие оказывает клиенту высококачественную услугу, а клиент в свою очередь ее оплачивает. Для укрепления такого взаимовыгодного сотрудничества между предприятием и клиентами было принято решение изменить подход к проблемам наших клиентов, относиться к ним более внимательно и тактично, чем было раньше, по возможности оказывать поддержку и помощь, стараться взглянуть на возникшие проблемы с их стороны.

В настоящее время понятие «работа с клиентами» включает не только телефонные разговоры, обмен письмами и встречи. МГУП «Мосводоканал» информирует своих клиентов о происходящих изменениях в своей работе в выступлениях руководителей по радио, на телевидении, в печати.

Для ознакомления с работой подразделений предприятия клиентам предлагаются информационные буклеты: «Откуда берется вода?» — кратко рассказывается об источниках водоснабжения г.Москвы и о пути воды до крана потребителя; «Что такое канализация?» — с краткой доступной обычному читателю информацией о об отводе сточных вод от потребителей и ее очистке. Для детей выпускается серия детских энциклопедий: «Водопровод от А до Я», «Вторая жизнь воды», «Москва-река». Прочитав их, дети могут узнать, откуда к нам поступает вода, как ее очищают, как мы возвращаем воду обратно в реку и т.д.

Для того чтобы нашим абонентам было проще и быстрее разобраться в счетах за услуги водоснабжения и канализации, проводится работа по усовершенствованию формы счета. С 2001 г. счет стал выпускаться на цветной бумаге, и в начале года по этому поводу мы получали восторженные отклики от наших абонентов.

Для снижения неоправданно высокого расхода воды в жилом секторе города проводятся мероприятия по двум направлениям: наладка



и реконструкция ЦТП; модернизация санитарно-технического оборудования в квартирах жилых домов.

С целью уменьшить количество претензий в адрес МГУП «Мосводоканал» со стороны ДЕЗ по вопросу длительных сроков ликвидации аварий на сетях водопровода в Управлении «Мосводосбыт» была создана мобильная группа, которая координирует работу организаций, принимающих участие в обнаружении аварийных участков, и определяет объемы утечек воды.

Управление «Мосводосбыт» заключает от имени предприятия договора на отпуск воды и прием сточных вод со всеми организациями, учреждениями и предприятиями, расположенными на территории Москвы, пользующимися московской питьевой водой и сбрасывающими в московские канализационные сети свои сточные воды. До 2003 г. такие договоры заключались в трех подразделениях Управления, располагавшихся в разных концах Москвы. В настоящее время в Управлении организован Договорный отдел, занимающийся заключением договоров со всеми потребителями городской питьевой воды, который располагается в здании Единой приемной (Служба по работе с клиентами). Клиенту достаточно прийти в этот отдел, сдать документы и в установленный срок здесь же получить готовый договор.

Для организации работ, связанных с получением платежей за пользование водой и канализацией, с 1995 г. в Управлении «Мосводосбыт» существует отдел, который контролирует своевременное поступление доходов. В обязанности отдела с начала его работы входили: проведение встреч с абонентами-неплательщиками и организация процедуры отключения абонентов от системы водоснабжения или канализации за неуплату. Такая политика далеко не всегда приводила к желаемому результату, так как многие организации просто нельзя отключать, а если истребование долгов проходило в судебном порядке и суд удовлетворял иск, не всегда удавалось получить истребованную сумму. Поэтому было принято решение о налаживании контактов с вышестоящими организациями, министерствами и префектурами округов, чтобы совместными усилиями решать задачу своевременной оплаты за услуги водоснабжения и канализации.

Таким образом, благодаря проводимой политике в 2002 г. было получено средств за услуги водоснабжения и канализации на 26 % больше, чем в 1998 г. в сопоставимых ценах.

В целях повышения эффективности функционирования системы городского управления по ряду направлений, упрощения механизмов взаимодействия населения Москвы, предприятий и организаций с органами исполнительной власти в отдельных сферах и отраслях городского хозяйства Правительство Москвы в 2003 г. постановило ввести в городе режим «одного окна».

«Служба одного окна» определена в рамках Службы по работе с клиентами, которая осуществляет свою деятельность с 1 января 1999 г. Служба по работе с клиентами была создана для упрощения схемы взаимодействия клиентов с подразделениями МГУП «Мосводоканал». До создания такой службы в центральное здание МГУП «Мосводоканал» приходило более 400 человек. Клиент должен посетить несколько кабинетов, и все равно ему не всегда удавалось решить свои вопросы. Клиент уходил из Мосводоканала усталым и недовольным.

В связи с этим в Службе организована работа по приему документов на оформление технических условий и выдачи готовых заключений по оформлению договоров на отпуск воды и прием сточных вод. Клиент обращается с запросом в Службу и здесь же получает ответ. Такой порядок позволяет сократить до минимума хождение клиента по кабинетам, тем более что абсолютное большинство запросов при обращении связано с получением технических условий и заключением договоров.

С 1999 по 2003 г. в Службу обратились более 350 тыс. клиентов. Ежегодно в телефонную справочную обращаются более 80 тыс. человек, и с каждым годом количество телефонных обращений возрастает. В среднем за 1 день в 2000 г. поступало 267 обращений, в 2001 г. — 324, а в 2002—2003 гг. количество обращений составило 350 ежедневно. В 90 % обращений операторы могут дать квалифицированный ответ без переадресации клиента.

С 1999 г. Службой по работе с клиентами проводятся социологические опросы абонентов Мосводоканала и жителей Москвы через Всероссийский центр изучения общественного мнения (ВЦИОМ). Согласно данным опроса количество абонентов, предпочитающих выяснять свои вопросы по телефону составляет 79 % опрошенных. Поэтому можно с уверенностью сказать, что телефонная информационно-справочная группа квалифицированно отвечает на поставленные вопросы.

В настоящее время происходит расширение функций информационно-справочной группы. В 2004 г. по единому многоканальному телефону 742-96-96 организован центральный прием обращений, связанных с аварийными ситуациями в водопроводном хозяйстве Москвы. По этому телефону может позвонить любая организация или житель Москвы и оставить свои заявки в случаях выбивания и неподачи воды, подтопления сооружений и повреждения колодцев. Сотрудник группы принимает такое заявление и по компьютерной связи направляет его в ГДП и район водопроводной сети для дальнейшей работы. На сегодняшний день все районы водопроводной сети полностью освобождены от приема аварийных заявок. В 2005 г. предполагается перевести на единый справочный телефон прием заявлений, поступающих в настоящее время в диспетчерскую.

Проведен опрос и по главным направлениям нашей деятельности, таким, как качество питьевой воды. Степень удовлетворенности качеством воды: удовлетворяет — 60 %, скорее не удовлетворяет — 28 %, совершенно не удовлетворяет 5 %, затруднились с ответом — 7 %. При опросе об установке в квартирах счетчиков холодной и горячей воды 38 % населения ответили положительно, 45 % — отрицательно.

Служба по работе с клиентами — молодая служба, но она уже доказала свою состоятельность, серьезность и необходимость для совершенствования работы с клиентами Мосводоканала. Сотрудники службы стараются исключить из практики работы переадресацию клиентов, давать вежливые, исчерпывающие и квалифицированные ответы на вопросы.

### 6.7. ПУТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ВОДОПРОВОДНО-КАНАЛИЗАЦИОННОГО ХОЗЯЙСТВА КРУПНЫХ ГОРОДОВ РОССИИ

Исходя из анализа зарубежного опыта управления водными компаниями и руководствуясь задачами реформирования отрасли, разработаны предложения по *возможным* моделям преобразования муниципальных предприятий водного хозяйства крупных городов России.

Основные проблемы, существующие в настоящее время в условиях государственного управления предприятиями: недостаточное бюджетное финансирование; ограниченные возможности по привлечению инвестиций; невысокая надежность водопроводных и канализационных сетей; избыточность персонала и его незаинтересованность в экономии воды и материальных ресурсов; недостаточное количество приборов по учету и контролю водопотребления, что приводит к потере части дохода; отсутствие эффективной системы тарифного регулирования.

Кроме этого, в условиях возрастающих требований к охране окружающей среды, ограничения финансовых ресурсов на реновацию сетей, «выживание» муниципальных предприятий в сложившейся структуре их управления и организации становится сложной задачей.

В связи с тем, что водопровод и канализация каждого крупного города России представляют собой уникальную технологическую систему и сложную организационную структуру, предлагается для каждого города разрабатывать индивидуальную модель реформирования предприятия и системы регулирования и контроля за его деятельностью со стороны города. При ее разработке мы учитывали как преимущества частного инвестора, среди которых следует выделить большие возможности использования современных технологий, меньшие издержки производства, гибкое использование персонала, его профессиональное обучение с учетом передового опыта. При этом мы не должны забывать о риске создания частной монополии, пренебрегающей

интересами города и возможно ставящей под вопрос равноправный доступ широких масс потребителей.

Результаты работы водоканалов в большей степени зависят от качества управления, чем от формы собственности. Государственные коммунальные предприятия как минимум не менее конкурентоспособны, чем частные. Они в большей степени ориентированы на интересы региона, обеспечивая дополнительный положительный эффект, например за счет создания новых рабочих мест на местном рынке.

Учитывая вышесказанное, мы полагаем, что не следует торопиться с приватизацией. Прежде должна быть создана законодательная и нормативная база, только она может придать ей политическую надежность и вселить необходимую уверенность во всех участников процесса. Особенно следует избегать поспешности при принятии решения, политизированности и давления со стороны монополистов. Мировой опыт подтверждает, что компании, принадлежащие государству, могут работать не менее эффективно, чем частные.

Основной целью преобразования является создание условий для повышения эффективности работы системы, привлечения значительных инвестиций для финансирования проектов, направленных на повышение надежности водопроводных и канализационных сооружений, экономию водных ресурсов и экологической безопасности гидротехнических объектов при сохранении государственного управления и контроля.

Концепция преобразования включает два основных аспекта: проведение институциональных преобразований и изменение системы ценообразования и финансирования.

Возможные институциональные преобразования состоят из двух этапов.

На первом этапе осуществляется преобразование муниципального предприятия в открытое акционерное общество и закрепление 100 % акций в собственности города. Второй этап — продажа 49 % акций на открытом фондовом рынке с проведением конкурса, при этом 51 % акций сохраняется в собственности города.

Целесообразность такого поэтапного подхода может быть прослежена на опыте других городов.

Власти испанского города Ла-Корунья решили организовать городское водоснабжение через компанию «EMALCSA», которая обслуживает 350 тыс. потребителей, полностью принадлежит городскому совету и как общество с ограниченной ответственностью регулируется коммерческим правом. Городской совет назначает членов совета директоров, а они, в свою очередь, — генерального управляющего. Персонал состоит из негосударственных работников, набираемых на конкурсной основе. Государственный контроль осуществляется муниципальными органами и финансовым судом, а частный контроль обеспечивается не-



зависимыми аудиторами, налоговой службой и публикацией годовой финансовой отчетности. Источники финансирования предприятия включают в себя собственные доходы, субсидии (при этом городской совет никаких субсидий не предоставляет) и кредиты, привлекаемые для финансирования инвестиций. Водные тарифы обеспечивают полное возмещение затрат (в соответствии с требованиями ЕС). Внутренний контроль осуществляется за счет сравнительного анализа результатов работы и опросов общественного мнения. Предприятие демонстрирует в целом хорошие технические и финансовые показатели.

В Швеции широко распространена практика преобразования муниципальных предприятий в акционерные общества, при этом городу принадлежит 100 % акций. До 1991 г. водопровод и канализация Стокгольма являлись таким акционерным обществом. В 1991 г. почти все муниципальные акционерные компании, полностью принадлежащие городу, были объединены в одну материнскую компанию «Stockholms Stadshus AB». И сейчас в стокгольмском водохозяйственном акционерном обществе «Stockholm Vatten AB» городу принадлежит 7 % акций, 91 % принадлежит «Stockholms Stadshus AB» и 2 % — коммуна, обслуживаемым столичным водопроводом.

В городе Брауншвейге (Германия) водоснабжающие и энергетические службы были преобразованы в акционерное общество со стопроцентным городским участием, а затем городской совет, накопив полезный опыт партнерских отношений, принял решение о продаже 74,9 % акций компании «Veolia Water Deutschland», оставив за городом 25,1 %. Инвестиции в приобретение акций составят 370 млн евро при годовом обороте компании 350 млн евро.

Значительный интерес представляет в этом плане опыт реформирования водного хозяйства Австралийского союза. Исторически при формировании федерации вода осталась в юрисдикции штатов и в каждом штате развилась собственная форма управления водным сектором. В результате возникло более 800 управляющих структур на уровне штатов, крупных городов и муниципалитетов. Широкое реформирование водного хозяйства началось в начале 1990 гг. Масштабы и темп реформ были различными в каждом штате.

Федеральное правительство Австралии задает направление реформ, используя экономические стимулы. Ключевым аспектом институционального и правового реформирования были, скорее, коммерциализация и корпоризация (преобразование в акционерное общество), чем приватизация. Под коммерциализацией подразумеваются небольшие изменения в собственности, но освоение практики методов управления частного бизнеса.

Корпоризация — это серьезные структурные и организационные преобразования государственного предприятия в подобие частной компании. Австралийские эксперты считают, что управление водным

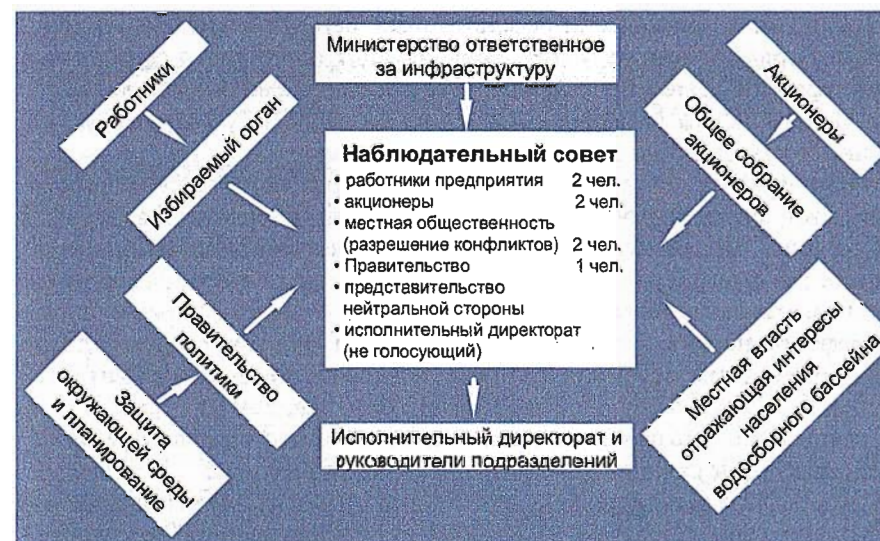


Рис. 6.3. Примерная схема управления водным предприятием в Австралии

предприятием должно отличаться от стандартной схемы управления частной компанией. В разработанной ими схеме (рис. 6.3) сделана попытка учесть все связи и зависимости, которые, по мнению авторов, следует учитывать при организации управления предприятием и регулировании его деятельности. Наблюдательный совет такого предприятия должен включать в себя представителей акционеров, государственных органов, местных властей, экологов и работников предприятия. И не случайно они даже вводят в употребление термин «полуприватизированное» предприятие.

Таким образом, приведенные примеры показывают возможность и целесообразность постепенного перехода от сложившихся методов управления водным предприятием к рыночным методам с использованием опыта, накопленного в частном секторе экономики.

Предлагаемое поэтапное реформирование российских предприятий водного хозяйства придаст им большую хозяйственную самостоятельность, позволит повысить инвестиционную привлекательность, сохранив при этом профессиональную команду работников и накопленный ею опыт. И в то же время обеспечит правопреемство и, самое главное, даст возможность городу направлять деятельность хозяйства в интересах всех слоев населения.

Другим важным аспектом в деле преобразования предприятий водного хозяйства является реформирование системы тарифного регулирования. Анализ зарубежного опыта показывает, что одним из важных моментов при проведении реформ является выбор и законодательное



закрепление экономически обоснованных методов определения тарифов и порядок их пересмотра, позволяющих государству эффективно регулировать деятельность компаний, как естественных монополий.

Предлагаемая программа реформы тарифов на услуги водоснабжения и канализации должна предусматривать:

- программу поэтапного прекращения перекрестного субсидирования между различными группами потребителей, выравнивание тарифов по группам потребителей. Сохранение субсидирования и неполное отражение в тарифах затрат на эксплуатацию, содержание и развитие системы искажает в глазах населения стоимость воды и тем самым снижает эффективность работы по ее сбережению. При этом, конечно, должны адресно решаться вопросы помощи малообеспеченным слоям населения, как это делается во Франции, Чили и ряде других стран;

- прекращение практики предоставления льгот по оплате услуг водоснабжения и канализации отдельным предприятиям;

- тарифное регулирование необходимо проводить на основании Федерального закона, исходя из экономически обоснованной себестоимости услуг и рентабельности, обеспечивающей устойчивую работу компании, возможность осуществления капитальных вложений с учетом интересов потребителей. При этом процесс формирования тарифов должен быть открытым, а процедура их утверждения — прозрачной.

Важным элементом совершенствования управления может стать значительное расширение использования сервисных контрактов. Уже в настоящее время в Москве целый ряд работ по обслуживанию сетей водопровода и канализации выполняется по контрактам специализированными фирмами (санация, защита от коррозии и др.). Целесообразно рассмотреть вопрос о более широком использовании сервисных контрактов в обслуживании сетей с использованием опыта Парижа. Следует также переходить к сервисному обслуживанию оборудования и сооружений очистных и насосных станций вместо выполнения этих работ силами собственных вспомогательных цехов.

Предлагаемые преобразования основаны на использовании положительного опыта, накопленного в других странах, и собственного опыта применения рыночных механизмов в практике эксплуатации и развития системы. Их реализация обеспечит: повышение эффективности и качества, снижение расходов на содержание системы; создание устойчивой финансовой базы, обеспечивающей покрытие затрат на эксплуатацию, техническое обслуживание и осуществление необходимых инвестиций, использование системы стимулов для экономии воды потребителями и повышения эффективности работы водоканала.

## Глава 7.

# ИНВЕСТИЦИОННАЯ И ИННОВАЦИОННАЯ ПОЛИТИКА В ОБЛАСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В ходе дискуссии о путях реформирования коммунального хозяйства в России затрагиваются самые широкие вопросы, начиная от законодательства, которое в основном несовершенно, и кончая решениями местных органов власти, которые порой не отвечают современным требованиям развития водоснабжающих компаний.

Однако давайте отойдем от принятых стереотипов мышления и постараемся взглянуть на проблемы водопроводно-канализационного хозяйства со стороны тех, кто эксплуатирует эти системы. Все ли мы сами сделали для того, чтобы изменения, которые нам очень нужны, стали достижимыми? Готовы ли мы сами к быстро изменяющемуся миру, к прогрессивным изменениям, которые стоят на повестке дня?

Все мы испытываем определенное давление, исходящее от ускоренных экономических и технических изменений, от рыночных отношений, вошедших в нашу жизнь, от растущей глобализации, от радикальных перестроек структур. «Человеческие» возможности не всегда успевают за этими процессами. Но мы должны понять, что замедления экономических процессов не будет, что нам нужно уметь преодолевать связанные с этим колебания и кризисы, если мы не хотим окататься сами в водоворот изменений.

Все ли мы готовы к изменениям? Наверное, нет! Среди предприятий, занимающихся эксплуатацией водопроводно-канализационного хозяйства, немало передовых с хорошим уровнем менеджмента и руководителей, готовыми к изменениям. Однако неясность результатов, боязнь потерять работу или принять на себя решение о кардинальных изменениях всегда требуют продуманных решений.

В настоящее время практически все предприятия водного хозяйства стоят перед проблемой модификации существующих организационных структур.

Основными причинами необходимости совершенствования структуры являются: технологические инновации; давление издержек; изменившиеся условия на рынке; новые стратегические направления и цели; появление конкурентов в области водного сектора.

При этом следует понимать, что у всех предприятий есть один общий «знаменатель» — всем нужна поддержка или консультация извне, как поступить в данной ситуации, какое принять решение, чтобы это соответствовало духу времени.

Мы стоим на позиции необходимости выбора и реализации стратегии инновационного прорыва — создания принципиально новых конкурентоспособных технологий. При этом необходимо создать максимально благоприятный инновационный климат для притока частных отечественных и иностранных инвестиций.

В современном мире инвестиции в инфраструктуру водоснабжения и канализации огромны. По оценкам Международного банка реконструкции и развития (МБРР), в следующие 10 лет в мировое водное хозяйство должно быть инвестировано 600 млрд долл. США.

Сегодня, по оценке Международной финансовой корпорации, каждый год инвестируется в системы водоснабжения и канализации 30 млрд долл. США. Недостаток — 75 % средств. По оценкам Европейского союза 2005—2010 гг. в водное хозяйство должно быть инвестировано около 240 млрд долл.

В России подробных данных об объемах инвестиций в водное хозяйство нет. Есть лишь отдельные данные по городам.

В Москве для дальнейшей модернизации водопроводно-канализационного хозяйства необходимо увеличить инвестиции в 2,5—3 раза.

На совместном заседании Совета безопасности и Президиума Госсовета РФ 24 февраля 2004 г. было отмечено, что инновационный прорыв для современной России — это реальное слагаемое быстрой модернизации страны, путь повышения качества жизни людей и конкурентоспособности экономики, что инновационная политика должна быть одним из самых приоритетных национальных проектов и поэтому перед запуском должна быть хорошо проработана.

В России технологически деградированы основные фонды в результате сокращения в 5 раз общего объема инвестиций. Предельного уровня достиг физический износ машин и оборудования. В 1999 г. он составил по промышленности 68 %, сельскому хозяйству — 67 %, по транспорту — 57 %. С помощью физически и морально устаревших фондов невозможно производить конкурентоспособную продукцию.

Инновации в ЖКХ — одна из самых сложных социально-экономических проблем, модернизация которой крайне необходима, так как комфортность проживания людей зависит от функционирования этой системы. Износ сетей и оборудования, как уже отмечалось, составляет более 60 %. Здесь сконцентрированы основные фонды на сумму 6200 млрд руб. (200 млрд долл.), 24 % всех основных фондов страны.

Между тем объем инвестиций в эту отрасль составил в 2002 г. 209 млрд руб. (6,7 млрд долл.) — всего 3,4 % стоимости основных фондов. Модернизация ЖКХ на прежней технологической базе невозможна,



Рис. 7.1. Объем инвестиций на восстановление городской водопроводной сети Москвы

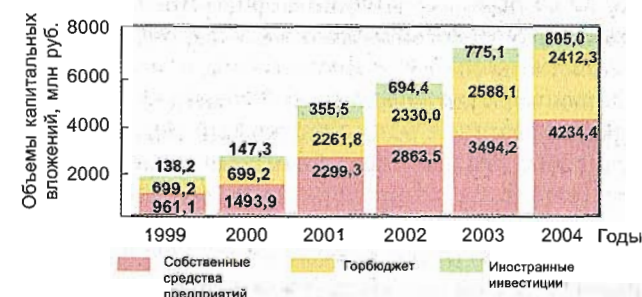


Рис. 7.2. Инвестиции на развитие водопроводно-канализационного хозяйства России

для этого не хватает ресурсов, оборудование не выпускается. В Москве создан механизм модернизации водопроводно-канализационного хозяйства при значительной государственной поддержке (со стороны города). Так, только на модернизацию городской водопроводной сети Москвы из горбюджета планируется выделить в 2005 г. более 569 млн руб. (рис. 7.1).

Объем общих инвестиций практически не сокращается. Соотношение между инвестициями бюджетными и собственными источниками практически пятьдесят на пятьдесят, при этом доля иностранных инвестиций выросла с 7,7 % в 1999 г. до 10,8 % в 2004 г. (рис. 7.2). Объем инвестиций от стоимости основных фондов составил в 2004 г. 10 %.

Техническая политика в области инвестиций направлена на разработку новых технологий и их внедрение. В Москве с привлечением ведущих специалистов страны (Московский институт теплотехники) разработан, изготовлен и испытан в производственных условиях на



Восточной водопроводной станции опытно-промышленный образец озонаторной установки производительностью 25 кг в час. Технические характеристики этого озонатора соответствуют уровню известных аналогов («Трейдгаз», Франция). Созданы технологии по восстановлению пропускной способности трубопроводов (см. главу 3), образцы современной арматуры изготовлены на российских заводах.

Необходимо отметить творческую инициативу специалистов при разработке природоохранных технологий, обеспечивающих удаление осадка сточных вод из Марьинского парка путем создания природоохранных комплексов на новых площадках. Для сокращения капиталовложений и сроков строительства жилых домов на бывших иловых картах в Марьино было принято новое для России решение о строительстве завода по механическому обезвоживанию осадка с мембранными фильтр-прессами и полигона для депонирования обезвоженного осадка. Это позволило в кратчайшие сроки произвести работу по утилизации осадка и осуществить жилищное строительство в объеме 6,2 млн м<sup>2</sup>. Специалисты МГУП «Мосводоканал» получили за эту работу премию Правительства Российской Федерации.

В Москве реализован еще один уникальный инновационный проект по утилизации снега на специальных снегосплавных камерах (ССП), расположенных на канализационных каналах и коллекторах. Сущность данного проекта состоит в том, что снег, убираемый с городских магистралей, вывозится самосвалами на ССП и сбрасывается в приемные камеры, в которых за счет кинетической энергии движения и температуры сточной воды (18 °С) происходит плавление снега и транспортировка талых вод на очистные сооружения. В настоящее время в городе функционирует 29 снегосплавных камер.

Творческий потенциал специалистов Мосводоканала огромен. Мобилизация их интеллектуальных возможностей, благодаря их объединению в небольшие группы (кружки качества), «мозговой штурм» позволили разработать и создать новые образцы техники, новые технические и технологические решения. За последние 5 лет в Мосводоканале подано 43 заявки на изобретения и полезные модели. Получено 6 патентов на изобретения и 29 патентов — на полезные модели.

В отсутствие концессионного законодательства на предприятии разработана организационно-правовая форма участия иностранного капитала для строительства объектов канализации, водопровода и природоохранных комплексов.

Если говорить об инновациях в секторе водного хозяйства, то среди них необходимо выделить новые, обеспечивающие устойчивое развитие, пересмотр существующих правил и определяющие современные подходы при: определении потребности в воде; децентрализации систем водоснабжения и канализации; применении новой санитарно-технической арматуры в бытовом секторе; управлении водными ресурса-

ми и совместном использовании поверхностных и подземных вод; вовлечении клиентов в сферу совершенствования услуг водоснабжения; использовании мембранных технологий для очистки питьевой воды (строительство ЮЗВС); модернизации водопроводной сети с использованием современных видов оборудования; конкуренции в водном секторе; определении источников инвестиций в водоснабжение.

Сегодня, как никогда, остро встал вопрос о пересмотре концептуальных положений о потребности в воде. Системы водоснабжения в нашей стране обычно рассчитывались исходя из определения режима максимального водопотребления в сутки. По результатам этих расчетов производился выбор параметров всех элементов системы.

Все виды использования воды исходили из однократного пользования водой с последующей очисткой на сооружениях канализации и сбросом в водоем. Система рассматривалась как система расхода. Другими словами, системы водоснабжения построены на подачу определенного объема воды без учета спроса на питьевую воду.

При совершенствовании технологии очистки воды, применении новых средств автоматизации и современной арматуры, использовании новых санитарно-технических приборов у потребителей можно значительно снизить расход воды без потерь каких-либо удобств.

Поэтому стратегию планирования, ориентированную до сих пор на предложение, следует дополнить компонентой, ориентированной на спрос. При этом благодаря гибкой политике можно добиться экономического преимущества в пользу потребителей, связанного с сокращением сбросов сточных вод.

Сегодня назрела реальная необходимость замены «существующих правил», т.е. систему водоснабжения не стоит рассматривать только со стороны водных компаний — производителей воды, необходимо реально учитывать мнение потребителей с учетом количества и качества подаваемой воды. При такой ситуации создается возможность управления потребностью (спросом) в воде (подробно об управлении давлением, утечками см. главу 6).

Существенное значение при определении новых подходов играет децентрализация систем водоснабжения. (Это в определенной мере относится и к децентрализации канализования.)

Сегодня специалисты все больше признают, что во многих централизованных системах оптимальная пространственная протяженность сетей превышена и что в определенных случаях децентрализованные и малопротяженные системы с экономической и экологической точек зрения могут быть выгодны.

По старым нормативным документам реализовать экономический эффект масштаба можно было с помощью принятых очистных блоков мощностью 150—500 тыс.м<sup>3</sup> в сутки и более. Насосные станции проектировались и строились, как правило, мощностью 100, 150,



250, 300, 500 тыс.м<sup>3</sup> в сутки. Такие объекты «легко» проектировались, на них при соответствующем обосновании получали лимиты капитальных вложений. Но основным недостатком были сроки строительства. Например, насосная станция 1-го подъема на Рублевской водопроводной станции строилась более 15 лет и была введена в действие лишь в 2003 г., после личного вмешательства мэра Москвы Ю.М. Лужкова. При этом оборудование настолько устаревало, что его приходилось менять несколько раз, стоимость строительства необоснованно увеличивалась.

В настоящее время исследования, проведенные в МГУП «Мосводоканал», показали, что системы водоснабжения и канализации города требуют дальнейшей децентрализации. Объективными предпосылками необходимости децентрализации являются: возникновение критических ситуаций, связанных с выходом отдельных элементов из строя (потеря работоспособности); проведение работ по реконструкции с технической модернизацией оборудования; внедрение инновационных технологий, обеспечивающих изменение существующих схем очистки питьевой и сточной воды (озонсорбция, обеззараживание сточных вод с использованием ультрафиолетового облучения и т.д.); устройство резервных сооружений водопровода и канализации; повышение экологической безопасности объектов; выполнение требований по повышению устойчивости к террористическим актам.

Для реализации указанной задачи по разукрупнению систем водоснабжения и канализации Правительство Москвы приняло специальное решение по данному вопросу, в котором определены конкретные мероприятия: строительство локальных очистных сооружений по очистке сточных вод (построена станция аэрации в Южном Бутово, мощностью 80 тыс.м<sup>3</sup>/сут с привлечением иностранных инвестиций); строительство нового блока для очистки сточных вод на Люберецкой станции аэрации; создание системы резервного водоснабжения с учетом привлечения подземных вод.

Мы считаем целесообразным в системе водоснабжения и канализации г. Москвы не использовать на очистных сооружениях модули мощностью более 200—250 тыс.м<sup>3</sup>/сут, насосные станции по канализации не проектировать на объем перекачки более 100 тыс.м<sup>3</sup>/сут, при реконструкции трубопроводов приоритетными считать бестраншейные способы восстановления и т.д.

Для насосных канализационных станций очень важно использовать систему резервирования совместно с напорными трубопроводами. При этом основным элементом в этой системе является строительство аварийно-регулирующих резервуаров. Аварийно-регулирующие резервуары исключают сброс сточной воды в водоемы в период возможных остановок работы насосных станций, например при отключении электроэнергии. В Москве построены уже пять подобных соору-

жений. Стоимость строительства достаточно высока и составляет, в среднем, от 96 млн руб. до 511 млн руб.

Эти мероприятия в первую очередь направлены на обеспечение экологической безопасности системы водоотведения города, в том числе и при возможных авариях на внешних системах энергоснабжения. О важности их реализации говорит и следующий факт. В мае 2005 г. произошло каскадное отключение трансформаторных подстанций линий электропередачи и электростанций. В результате этого полностью было прекращено энергоснабжение Западной водопроводной станции, Коньковского, Кузьминского и Орехово-Борисовского регулирующих узлов.

Водоснабжение города частично было нарушено, особенно в районе Коньковского узла (Ясенево, Коньково, Теплый стан), где было понижено давление до 15—20 м вод. столба. Вода доходила только до 3—4 этажей зданий.

В результате аварии была нарушена и работа канализации г.Москвы: произошло прекращение перекачки сточных вод на 43 канализационных насосных станциях, а также прекратилась работа Курьяновской и Люберецкой станций аэрации на 5 и 8 часов. Во избежание нанесения ущерба окружающей среде и затопления насосных станций было принято решение об открытии аварийных выпусков, после использования аккумулирующей емкости резервуаров и коллекторов. Общий сброс сточной воды в р. Москву составил 10—12 тыс. м<sup>3</sup>.

Энергокризис позволил по-другому взглянуть на проблему повышения надежности канализационных и водопроводных станций.

К ним следует отнести:

- создание независимых от Энергетической компании источников энергоснабжения (строительство тепловых электростанций, мини-ТЭС, на биогазе) на Курьяновской и Люберецкой станциях аэрации, что позволит обеспечить 70 % потребления электроэнергии;

- строительство и установка дизельных электростанций мощностью 1—2 МВт;

дополнительное строительство аварийных резервуаров (25—50 % от суточной производительности) в системе канализации. В настоящее время система канализации имеет аккумулирующую емкость порядка 2,4 млн м<sup>3</sup>, или 40 % от суточной производительности,

- установка погружных насосов непосредственно на канализационных насосных станциях параллельно работающим центробежным насосам во избежание затопления станции сточными водами.

Эти меры позволят избежать нанесения ущерба окружающей среде и человеку при возникновении аварий на системе энергоснабжения.

Теперь о планах по развитию системы водоснабжения города Москвы.

Генеральный план развития Москвы 1971 г. был ориентирован на

экстенсивный путь развития в области водоснабжения и канализации. В качестве примера следует привести рост объемов по увеличению мощности водопроводных станций — в среднем каждые 10 лет вводились мощности на 400—500 тыс.м<sup>3</sup>/сутки по питьевой воде и по канализации. При этом удельное водопотребление составляло 400—500 л/сут на человека. Здесь необходимо отметить тот факт, что были созданы уникальные системы промышленного водоснабжения мощностью 680 тыс м<sup>3</sup>/сутки.

В ходе реализации новых планов по развитию водоснабжения фактически за 1985—2004 гг., достигнуто сокращение водопотребления на 25 %, и эта тенденция сохраняется в 2005 г. Учитывая реальную динамику изменения водопотребления, силами НИиПИ Генплана г. Москвы при участии МГУП «Мосводоканал» разработаны Генеральные схемы водоснабжения и канализации на период до 2020 г. В основу указанных схем заложена концепция защиты здоровья населения, свободного доступа потребителей к безопасному водоснабжению, обеспечение экологической безопасности водопользования.

Точные знания потребности питьевой воды всегда приводили к реальным необходимым объемам инвестиций в систему водоснабжения. Но что практически никогда не учитывалось при проектировании и строительстве систем водоснабжения, так это развитие бытовой техники для использования в домашнем хозяйстве. По существу, количество бытовой техники не всегда удовлетворяло потребности человека, раньше было трудно купить в свободной продаже стиральную машину, посудомоечную машину или хорошую санитарно-техническую арматуру. В результате бытовое потребление воды увеличивалось.

В промышленности внедрялись системы оборотного водоснабжения, питьевая вода заменялась доочищенными сточными водами и технической водой. В Москве была построена мощная система доочистки сточных вод. Покажем, как влияют инновации на сокращение потребности в воде. Прежде всего необходимо отметить, что бытовое потребление воды резко сокращается за счет использования современных стиральных машин.

Так, если в середине 1980-х гг. стиральные машины расходовали от 100 до 120 л в минуту на одну стирку, то в современных моделях расход составляет при 40—60 °С 39 и 72 л на стирку. Соответственно в моечных машинах расход воды сократился до 15 л на один процесс мойки. Сокращение потребления воды ведет к снижению затрат на энергию, так как нужно нагревать меньше воды.

Другой пример. В зависимости от конструкции и оснащения расход воды в санитарно-технической арматуре умывальников и душа может значительно колебаться. Так, арматура с двумя кранами и смесителем для раздельного регулирования холодной и горячей воды уже устарела из-за продолжительного регулирования. Вряд ли кто-либо

при пользовании этой арматурой попытается отключить ее во время намыливания или мытья головы. Эту арматуру в Европе активно заменяют современными одноходовыми. Воду одним движением вентиля можно отключить и вновь включить без изменения температуры.

Многие виды современной арматуры имеют встроенный ограничитель подачи воды, который снижает расход воды без потери комфорта до 6 л в минуту. Экономии до 50 % можно добиться при пользовании душем с термостатом. У высококачественных термостатов температура регулируется строго по градусам.

Новое сокращение расхода воды и быструю амортизацию приносит новая бесконтактная санитарно-техническая арматура, которая устанавливается в административных и общественных учреждениях. По инициативе специалистов МГУП «Мосводоканал» принято решение об установке антивандальной бесконтактной арматуры в московских школах. Практика эксплуатации показала, что экономия воды в этих зданиях достигает 30—40 %.

В Австралии, например, с 1 января 2005 г. вводится впервые в мире обязательная маркировка с указанием эффективности шести устройств: стиральных и посудомоечных машин, туалетов, душевых насадок, запорных кранов и писсуаров.

Во многих странах довольно широко реализуется идеология использования дождевой воды, например для полива сада или территории двора или для смыва в туалетах. Особенно широко дождевая вода применяется в Германии. Германия, богатая водными ресурсами, полностью обеспеченная питьевой водой, вместе с тем активно употребляет дождевую воду взамен питьевой. Причина — рост экологического сознания, желание многих людей ответственно и экономно обходиться с природными ресурсами.

В России об использовании дождевой и технической воды в бытовом секторе говорится много, особенно учеными-экологами. Но на практике, к сожалению, эти технологии практически не внедряются.

В России до настоящего времени не разработаны общие принципы привлечения инвестиций для финансирования проектов по водоснабжению.

Как правило, для модернизации систем водоснабжения используются бюджетные средства субъектов РФ и гранты европейских государств для изучения систем водоснабжения небольших городов. Бюджетные средства РФ привлечь достаточно сложно, и их объемы не превышают 30—50 млн рублей для одного проекта. Субъекты РФ выделяют бюджетные средства в небольших объемах исходя из возможностей региональных бюджетов. Обратимся к международному опыту.

Во многих странах традиционными инвесторами являются федеральное правительство и муниципалитеты. Государственное финансирование (без какого-либо возврата) становится обременительным для

государственного бюджета из-за роста потребности в финансировании и все более сильной конкуренции в борьбе за государственные средства. В таких условиях необходимы новые формы и источники финансирования. Как необходимое условие, в качестве критерия контроля при использовании нового метода анализа инвестиций в водные хозяйства должна приниматься экономическая и финансовая устойчивость каждого проекта, в противном случае альтернативные источники финансирования будут недоступными.

Проекты по модернизации инфраструктуры систем водоснабжения должны быть привлекательными для инвесторов.

На привлечение альтернативных источников финансирования влияют два фактора: чтобы иметь доступ к мировым финансовым рынкам, подход к новому проекту должен базироваться на анализе рентабельности инвестиций; каждый проект должен тщательно исследоваться на предмет выбора оператора (государственный против частного, монополист против товарищества и т.д.).

Источник финансирования должен базироваться на принципе: доходы от инвестиций должны компенсировать инвестируемый капитал. Это позволяет привлекать больше разных участников проекта (коммерческие банки, банки развития, фонды, предприниматели, государственные органы и т.д.), что очень важно для соответствующего разделения рисков.

Банки развития обычно финансируют проекты инфраструктур с помощью долгосрочных кредитов с процентными ставками по кредитам рыночными или ниже рыночных. Эти проекты должны быть экономически и финансово устойчивыми. Если какое-либо из этих условий не выполняется, то эти банки обычно оказывают техническую поддержку для их внедрения.

Только Международный банк развития и реконструкции (МБРР) имеет специальную программу для инвестирования в инфраструктуры водоснабжения и канализации. Программа развития систем водоснабжения и канализации проводится в рамках международного сотрудничества с МБРР, ООН и 15 двухсторонними агентствами, специально образованными для присуждения ссуд на строительство объектов водоснабжения и канализации.

Азиатский банк развития, Межамериканский банк развития, Европейский инвестиционный банк, Европейский банк реконструкции и развития оказали значительную финансовую помощь для строительства инфраструктур. Только в 1997 г. Азиатский банк развития предоставил кредиты на сумму более 9 млрд долл. США.

Кроме банковских кредитов используются некоторые инфраструктурные фонды, которые созданы для финансовой поддержки подобных проектов. Эти фонды используются на тех же самых принципах, что и кредиты, предоставляемые банками развития.

Опыт реализации крупных проектов в области водоснабжения и канализации показывает, что, несмотря на то, что они являются капиталоемкими, они практически всегда являются выгодными для инвесторов. В России еще предстоит создать рынок капитала для инвестирования в водные объекты, а чтобы этот процесс не затягивался в поисках и привлечении капитала, можно уже сегодня использовать опыт международных институтов.

Роль государства при развитии стратегии инвестиций в водоснабжение должна сводиться к определению целевых показателей деятельности для этой отрасли, для этого следует создать юридическую структуру и управлять стимулирующими мерами для эффективного руководства. Главная задача государства — заставить государственные, частные и имеющие смешанную собственность коммунальные предприятия работать по рыночным правилам, соблюдая при этом дисциплину рынка и одновременно соответствуя важным экономическим и социальным критериям. Это означает — создание стимулов для эффективного руководства предприятиями, контроль тарифной политики, разработку планов развития, определение стандартов качества воды, мониторинг хозяйственных показателей и ряд других возможных действий.

Роль государства заключается в определении «правил игры» и контроля за работой по этим правилам.



## Глава 8.

### ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ МОСКВЫ ЗА СЧЕТ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Анализ санитарной и технологической надежности системы водообеспечения Москвы позволил установить, что существующие поверхностные источники водоснабжения характеризуются достаточной ресурсной обеспеченностью (запас воды — 0,49—0,79 км<sup>3</sup> в годы 97—95 %-ной обеспеченности). Однако они слабо защищены от загрязняющих веществ, поступающих через водную и почвенно-водную среду. Кроме того, поверхностный водоисточник полностью незащищен от загрязняющих веществ, поступающих из воздушной среды.

При ухудшении качества воды в водохранилищах и русловых трактах на очистных сооружениях водопроводных станций возникают технологические проблемы водоподготовки, решение которых особенно осложнено при большом расходе потребляемой воды. В этой связи очевидно, что при организации водоснабжения городов необходимо оценивать надежность водообеспечения не только по объему местных и привлеченных водных ресурсов, но и по риску ее нарушения вследствие негативного изменения качества воды.

Для решения проблемы надежного обеспечения городов водой в заданном количестве и установленного качества требуется значительный объем информации о состоянии водных объектов. Для ее получения необходима научно обоснованная система сбора, обработки и анализа гидрологических данных.

В МГУП «Мосводоканал» разработана концепция организации мониторинга р. Москвы, которая базируется на существующей системе контроля состояния водных объектов, учете новых требований к составу контролируемых характеристик стока и качества воды, создании сети автоматизированных станций, осуществляющих непрерывное наблюдение за состоянием водоисточника.

Надежность системы водоснабжения города зависит от надежности ее отдельных элементов (сооружений) и качества их функционирования, т.е. надежности всей «цепочки» водопроводных сооружений. Особая роль здесь принадлежит источникам водоснабжения.

В этой связи в МГУП «Мосводоканал» проводятся работы по анализу влияния источников водоснабжения города на надежность системы водоснабжения Москвы. Исследования показали, что основным путем повышения надежности водообеспечения столицы России — Москвы является совместное использование поверхностных и подземных источников.

Существующая система водоснабжения Москвы базируется на двух поверхностных водоисточниках — р. Волги и р. Москвы и их притоках. Реки Волга и Москва зарегулированы сложной системой водохранилищ и гидротехнических сооружений. Долгое время они обеспечивали достаточную степень надежности водообеспечения столицы.

Тенденция использования исключительно поверхностных вод для водообеспечения Москвы устойчиво существовала до середины 1980-х гг., когда после аварии на Чернобыльской АЭС с особой остротой возникли проблемы повышения надежности централизованных систем водоснабжения.

Потребовался даже специальный государственный стандарт по проблеме питьевого водоснабжения для населения ГОСТ Р 22.6.01—95 «Безопасность в чрезвычайных условиях. Защита систем хозяйственно-питьевого водоснабжения. Общие требования» сформулированы жесткие требования к системам, базирующимся на поверхностных водоисточниках: «...минимальная доля подземных вод в общем объеме водоснабжения города должна быть достаточной, чтобы иметь возможность обеспечивать бесперебойную подачу воды населению» и «...отказ от использования наличных ресурсов подземных вод для нужд систем хозяйственно-питьевого водоснабжения должен быть всесторонне обоснован».

Кроме того, увеличивающиеся в последнее десятилетие экологические, техногенные нагрузки на зоны формирования качества воды поверхностных источников водоснабжения в свою очередь потребовали реализации проблемы повышения надежности системы водообеспечения города. Анализ существующей системы водообеспечения Москвы, с точки зрения ее санитарной и технологической надежности, позволяет нам отметить следующие проблемы:

- существующие поверхностные источники водоснабжения характеризуются недостаточной ресурсной обеспеченностью, особенно в маловодные годы, слабой защищенностью от загрязняющих веществ, поступающих через водную и почвенно-водную среду; водоисточник полностью незащищен от загрязняющих веществ, поступающих из воздушной среды;

- инерционность Москворецкого водоисточника невелика, и время доступа загрязняющих веществ до водозаборов не позволяет сколько-нибудь существенно изменить технологию очистки воды при аварийных ситуациях;

- технология очистки воды недостаточно совершенна и в условиях

техногенных аварий не способна обеспечить обработку расчетного расхода воды;

- недостаточные резервы мощности сооружений и запасы очищенной воды;
- отсутствует резервный источник водоснабжения, способный обеспечить централизованную подачу воды в город, хотя бы при ограниченном ее потреблении на период продолжительных аварийных ситуаций.

Сам факт наличия одного незащищенного в санитарно-экологическом отношении поверхностного источника водоснабжения столь крупного города, расположенного в регионе с напряженной социально-демографической и экологической обстановкой, является единичным в мировой практике водообеспечения крупных городов.

Таким образом, в настоящее время в целом по региону возникла необходимость организации объединенной системы водоснабжения Московского мегаполиса с использованием подземных вод, комплексно решающей вопросы повышения надежности водоснабжения и улучшения качества воды, подаваемой населению. Это позволит объединить финансовые, материальные и инженерно-технические ресурсы Московского региона и создать гибкую систему управления эксплуатацией подземных вод.

Использование подземных вод непосредственно на территории Москвы для хозяйственно-питьевого водоснабжения в связи с невозможностью создания зон санитарной охраны практически исключено.

В то же время в окрестностях Москвы, в радиусе 70–80 км, имеющиеся ресурсы подземных вод практически освоены или зарезервированы для водоснабжения ближнего Подмоскovie. Поэтому для водоснабжения Москвы без ущерба для других потребителей могут быть задействованы крупные месторождения подземных вод, расположенные в периферийных зонах Московской области, где в настоящее время они эксплуатируются в весьма незначительных масштабах.

В 1988 г. при непосредственном участии автора была разработана Целевая комплексная программа по экономии и рациональному использованию воды в Москве на период до 2000 г., одним из основополагающих положений которой стало создание резервного источника водоснабжения с использованием подземных вод.

Для развития программы в 1992–1994 гг. разработана схема объединенной системы водоснабжения Москвы и Московской области (рис. 8.1) с использованием подземных вод, в составе которой предполагается задействовать подземные воды Московского артезианского бассейна в количестве 2,6 млн м<sup>3</sup>/сут.

Повышение надежности системы водоснабжения Москвы и Московской области обеспечивается за счет:

- поэтапного ввода в систему водоснабжения города подземных вод, защищенных в санитарно-экологическом отношении, что позво-

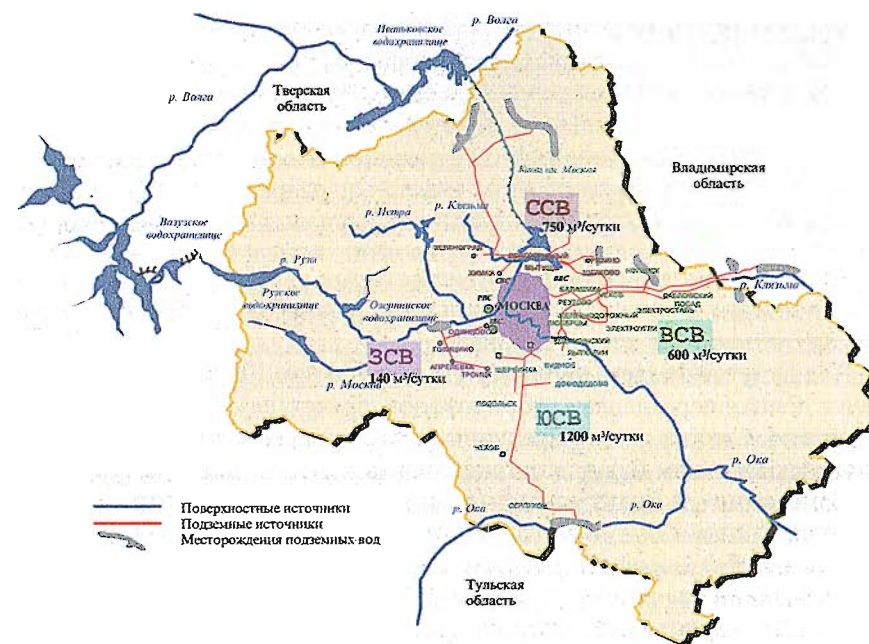


Рис. 8.1. Объединенная система водоснабжения Москвы и Московской области из поверхностных и подземных источников

лит сократить нагрузку на существующие водопроводные станции и провести их модернизацию; общий объем подземных вод составит 25–30 % от общего объема подачи воды;

- снижения водоотбора в Московской области от местных источников, что позволит избежать использования воды плохого качества;
- в целом по региону предпосылок для объединения финансовых, материальных, а также технических ресурсов и возможностей по совместному освоению эксплуатации месторождений;
- существующие резервы Волжской и Москворецкой поверхностных водохозяйственных систем высвобождаются от использования для нужд хозяйственно-питьевого водоснабжения региона и могут использоваться для обводнения малых рек области.

Учитывая особый дефицит в воде городов юга Московской области, сложившуюся инфраструктуру, небольшую изученность бассейна, большие запасы подземных вод и экономическую целесообразность, принято решение в первую очередь создать Южную систему водоснабжения.

Реализация принятого решения позволит создать надежную систему водоснабжения Москвы и городов Московской области и даст возможность в случае экстремальной ситуации обеспечить каждого жителя региона доброкачественной питьевой водой в количестве 100–200 л в сутки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За последние три года, в течение которых автор работал над книгой, проблемы жилищно-коммунального хозяйства приобрели особенную актуальность в жизни страны.

Как будут выглядеть наши города через 50 или 100 лет, когда потребуются полная перекладка трубопроводов, представить сегодня довольно сложно. Смогут ли вообще наши потомки раскапывать улицы, и по каким технологиям будут восстанавливать водопроводные сети?

Ясно одно — будут найдены такие технологии, которые еще в большей степени будут способствовать поддержанию водопроводных систем без операций разрытия.

Мы старались объединить опыт МГУП «Мосводоканал» с тем богатым опытом, который почерпнули на многочисленных международных и российских семинарах по трубопроводам. Хотя международные дискуссии на эту тему носят зачастую односторонний характер. На наш взгляд, работ, связанных с современным управлением эксплуатацией водопроводных сетей, явно недостаточно. Кроме того, сделана попытка привлечь внимание читателей к новым формам управления с участием частного сектора в водном сервисе.

Введение принципов и практики рыночной экономики в публичный сервис не обязательно требует отказа от собственности или от контроля за управлением. Так, в Финляндии и во многих других развитых странах кооперация публичного и частного сектора помогла снизить расходы на обеспечение водных услуг.

Сторонники приватизации утверждали, что отсутствие конкуренции в общественном секторе вызывает необоснованный рост цен. Исследования, проведенные в ряде европейских стран, показывают, что это миф, что приватизация водного сервиса в действительности снижает качество услуг.

Конкуренция существует на стадии торгов за право концессии, но как только победитель определен в частной монополии, интерес акционеров к получению большой прибыли превалирует над общественным интересом потребителей. Например, в Барселоне и Венеции концессии стали вечными, существуя более столетия без конкуренции. Подобная ситуация и во Франции, где концессионеры меняются только в 15 % случаев, а возвращение в прямое управление муниципалитетов происходит только в 1 % случаев.

Работа, представленная читателям, не преследовала цели сформулировать все задачи по эксплуатации водопроводов. Автор хотел ответить на главные вопросы, связанные с новыми подходами к управлению и модернизации управленческих решений.

Необходимость прогнозирования последствий технической политики 1960—1970-х гг и предупреждения возможных сбоев в системах жизнеобеспечения стала совершенно очевидной в последние 10—15 лет.

Неотъемлемой частью инфраструктуры современных городов являются трубопроводные системы, отказы элементов которых (участков труб и оборудования) сопряжены, как правило, со значительным материальным и экологическим ущербом. Городские сети водоснабжения и водоотведения относятся к наиболее уязвимым и функционально значимым элементам системы.

Подавляющее большинство трубопроводов водопроводных и водоотводящих сетей городов РФ (более 60 %) имеют на сегодняшний день значительный физический износ, так как были построены десятки лет назад и введены в эксплуатацию без учета требований надежности к применяемым материалам. Организационно-технические возможности эксплуатирующих организаций также не учитывались. Это позволяет утверждать, что трубопроводы большинства городов России являются потенциальными источниками экологической опасности, содержащими значимые факторы экологического риска, поскольку их явные и скрытые отказы оказывают резко негативное воздействие на основные компоненты окружающей среды.

Следует отметить, что до настоящего времени проблема надежности трубопроводов рассматривалась в основном с точки зрения формирования нормативных свойств трубопроводных конструкций по конечным эксплуатационным критериям и количественной оценке таких свойств по заданным конструктивным и технологическим показателям. В то же время вопросы взаимосвязи надежности и стратегии эксплуатации и модернизации сетей водоснабжения и водоотведения, экологически безопасных для города, не получили своего решения.

Важное значение для практики эксплуатации имеют тщательный анализ и оценка факторов, дестабилизирующих надежность сетей водоснабжения города, что позволяет их ранжировать по степени влияния на надежность трубопроводов. Методика оценки дестабилизирующих факторов даст возможность службам эксплуатации предприятий водопроводно-канализационного хозяйства города не только их прогнозировать и учитывать, но и регулировать, ослабляя таким образом воздействие на надежность трубопроводов каждого фактора в отдельности или выделенной их совокупности.

Для анализа влияния аварий трубопроводов на экосистему, расчета возникающих при этом материального и экологического ущерба от поступления воды в окружающую среду весьма существенным яв-



ляется наличие точных сведений о структуре и величине утечек и потерь воды. В этой связи предприятию ВКХ необходимо проводить исследования по выявлению структуры потерь воды в системе водоснабжения города во взаимосвязи с показателями надежности трубопроводов и определить меры по снижению неоплаченной воды.

В XXI в. мы не можем и не должны многократно перекапывать наши улицы и работать как пожарная команда по ликвидации повреждений. Поэтому особую актуальность приобретают современные методы и технологии бестраншейного восстановления трубопроводов, защиты трубопроводов от электрохимической коррозии. Результаты этих исследований нашли реальное внедрение в МГУП «Мосводоканал» и позволили сформировать общий методический подход к вопросу восстановления водопроводной сети города методами бестраншейных технологий.

Постоянно растущие объемы информации, непосредственно и косвенно связанной с вопросами экологической безопасности и надежности городских сетей водоснабжения, выявляют необходимость ее оперативной обработки и использования в практике эксплуатации городских сетей водоснабжения новых информационных, коммуникационных и организационных технологий, реализуемых на современных компьютерах и средствах сбора, передачи и отображения информации. В этой связи нами предложена методика применения современных информационных технологий для оценки и обеспечения надежности сетей водоснабжения города и контроля их эксплуатации.

В начале XXI в. задачей всех предприятий водоснабжения, после более чем 100-летнего развития современного «типового водоснабжения», является восстановление и обновление водопроводных сетей, учета фактора надежности, долговечности и экологической безопасности трубопроводов и оборудования, рационализации водоснабжения, управления потерями воды в городской водопроводной сети.

Принцип работы, заключающийся в проведении ремонтно-восстановительных работ или санации труб только там, где это действительно необходимо (стратегия «пожарной команды»), ведет к застою в области реконструкции водопроводных сетей. Необходима научно обоснованная программа их модернизации.

Очевидно, что при модернизации городской водопроводной сети особое внимание необходимо обратить на вопросы качества воды, т.е. реконструкцию сетей необходимо проследить, по возможности, от источника до потребителя.

Сегодня мы пытаемся критически осмыслить сложившиеся стереотипы, найти новые подходы к управлению сложным инженерно-техническим комплексом, каким является современная система водоснабжения Москвы. Мы начинаем XXI в. с новой концепцией развития Московского водопровода, основные направления которой нашли свое

отражение в Генеральной схеме водоснабжения Москвы, разработанной в соответствии с Генеральным планом и Основными направлениями градостроительного развития Москвы и Московской области на период до 2010 г.

Приоритетными направлениями новой Генеральной схемы водоснабжения Москвы стали: снижение объемов водопотребления на 15—20 %; установка счетчиков воды в каждом жилом доме, у каждого потребителя; создание независимого, резервного источника подземных вод. Старая концепция наращивания мощностей водопроводных сооружений заменена в Генеральной схеме на новую стратегию по модернизации сооружений, созданию гибких производственных систем с высоким уровнем автоматизации, инновационного обновления энергосектора, широкого использования мембранных технологий.

Очень надеюсь, что, прочитав эту книгу, вы найдете много полезной и нужной информации, увидите новые подходы в вопросах эксплуатации сложных инженерных систем распределения воды.

Искренне благодарю моих коллег О.Г. Прими́на, В.А. Орлова, Е.Б. Каминского, В.П. Фомушкина, А.П. Зарубина, И.А. Никитину за ценные советы и помощь, оказанную мне при написании этой книги.

Слова благодарности хочу передать участникам семинаров, работникам МГУП «Мосводоканал», которые помогли мне осмыслить идею написания этой книги.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов Н.Н.* Надежность систем водоснабжения. — М.: Стройиздат, 1980.
2. *Аззут И., Абграль С.* Исследование надежности снабжения питьевой водой агломерации Лиона (Франция) // «TSM-L. EAU» (Водные ресурсы): Пер. с франц. 1997, № 9.
3. *Алексеев М.И., Ермолин Ю.А.* Надежность канализационных сетей // Водоснабжение и санитарная техника, 1996. № 10.
4. *Алексеев М.И., Мишуков Б.Г., Дмитриев В.Д.* и др. Эксплуатация систем водоснабжения и канализации. — М.: Высшая школа, 1993.
5. Амортизационные отчисления на полное возобновление основных фондов № 1072 (Единые нормы). — М.: Ось-89, 1997.
6. *Балашова В.В., Горяинова Г.С.* Повреждение систем водоснабжения биообращениями // Водоснабжение и санитарная техника. — 1991. № 16.
7. *Барлоу Р., Прошан Ф.* Статистическая теория надежности и испытания на безотказность: Пер. с англ. — М.: Наука, 1985.
8. *Барсов А.С.* Линейное программирование в технико-экономических задачах. — М.: Наука, 1984.
9. *Беляев Ю.К., Богатырев В.А.* Надежность технических систем. — М.: Радио и связь, 1985.
10. *Бремон Б., Эзанбеис П.* Методика прогноза аварий водопроводных сетей / «TSM»: Пер. с франц. 1992. №10.
11. *Бремон Б., Эзанбеис П.* Методика прогноза аварий водопроводной сети // TSM (Водные ресурсы). № 10. 1998.
12. *Вентцель Е.С.* Исследование операций: задачи, принципы, методология. — М.: Наука, 1980.
13. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. — М.: Наука, 1969.
14. *Гальперин Е.М.* Определение надежности функционирования кольцевой водопроводной сети // Водоснабжение и санитарная техника. 1999. № 6.
15. Генеральные схемы водоснабжения, канализации, концепция отвода и очистки поверхностного стока Москвы на период до 2010 г. Основные направления. — М., 1997.
16. *Герцбах И.Б.* Модели отказов. — М.: Стройиздат, 1986.
17. ГОСТ 9.602—89. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии.
18. ГОСТ 27.002—83. Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения.
19. ГОСТ 27.003—89. Выбор и нормирование показателей надежности.
20. *Ермолин Ю.А., Алексеев М.И.* Оценка потенциального ущерба, связанного с ненадежностью канализационной сети // Водоснабжение и санитарная техника. 2000. № 2.
21. *Ермолин Ю.А., Алексеев М.И.* О методологии исследования надежности стареющих элементов и систем водопровода и канализации // Водоснабжение и санитарная техника. 2002. № 9.
22. *Запорожец С.В.* Оценка надежности насосных станций водоснабжения и АЭС: Дис.... канд. техн. наук. М., 1979.
23. *Иванов О. М., Харитонов В. И.* Надежность магистральных трубопроводов. — М.: Недра, 1978.
24. *Зуйков В.И.* Исследование методов аварийного и профилактического обслуживания водопроводных сетей: Автореферат дис.... канд. техн. наук. — М.: ОНТИ АКХ, 1974.
25. *Изнатчик С.Ю., Блинов А.В.* и др. Методика сбора и анализа ПВМ данных об авариях и отказах при оценке надежности работы оборудования водочистных станций системы водоотведения г. Санкт-Петербурга: Научно-технический отчет по 1-му НИР 127-к-35/91. — СПб.: СПбВВВСУ, 1992.
26. *Ильин Ю.А.* Надежность водопроводного оборудования и сооружений. — М.: Стройиздат, 1985.
27. *Ильин Ю.А.* Расчет надежности подачи воды. — М.: Стройиздат, 1987.
28. *Ильин Ю.А.* Показатели надежности магистральных трубопроводов водопроводной сети / Тематический сб. АН СССР «Энергетика и транспорт». — М., 1979.
29. Инструкция по защите городских подземных трубопроводов от коррозии. Руководящий документ РД 153-з9.4-091-01. — М., 4-й ф-л Воениздата, 2002.
30. Инструкция по составлению статистической отчетности о работе водопровода (отдельной водопроводной сети). Утверждена постановлением Госкомстата России от 7 сентября 1993 г. № 173.
31. Инструкция по оценке и нормированию неучтенных расходов воды в системах коммунального водоснабжения. Постановление Госстроя РФ от 31.03.2000 г. № 23.
32. *Кармазинов Ф.В., Тазедников Г.М., Ильин Ю.А., Изнатчик С.Ю., Изнатчик В.С.* Эффективность управления системой водоотведения г. Санкт-Петербурга // Водоснабжение и санитарная техника. 1998. № 10.
33. *Кармазинов Ф.В., Тазедников Г.М., Гумен С.Г., Благонравов А.В.* Новые методы ремонта канализационных сетей // Водоснабжение и санитарная техника. 1997. № 1.
34. *Климиашвили Л.Д.* Исследование надежности и методов оптимального резервирования систем транспортирования воды: Дис... канд. техн. наук. — М., 1978.
35. *Климиашвили Л.Д., Примин О.Г.* Некоторые вопросы надежно-технологического расчета систем транспортирования воды // Сб. научн. труд. Груз. политехн. ин-та им. В.И.Ленина «Рациональное использование водных ресурсов, водоподготовка и обезвреживание сточных вод», №12 (294). — Тбилиси: ГПИ, 1985.
36. *Климиашвили Л.Д., Примин О.Г., Цихелаишвили З.И.* Метод оценки работоспособного состояния системы транспортирования воды // Сб. науч. тр. Груз. политехн. ин-та им. В.И.Ленина «Водоснабжение и теплоснабжение», №1 (271). — Тбилиси: ГПИ, 1984.
37. *Кожин И.В., Добровольский Р.Г.* Устранение потерь воды при эксплуатации систем водоснабжения. — М.: Стройиздат, 1988.
38. *Кожин И.В.* Совершенствование организации работ по выявлению скрытых утечек воды из подземных трубопроводов при эксплуатации сис-

- тем водоснабжения // Эксплуатация водопроводных сетей и сооружений на них / Московский дом научно-технической пропаганды. — М., 1980.
39. Кожин И.В. Снижение потерь воды, подаваемых коммунальными водопроводами // Мат-лы семинара «Интенсификация и оптимизация городских и промышленных водоводов» МДНТП. — М., 1973.
  40. Кожин И.В. К вопросу об оценке скрытых утечек воды из водопроводных сетей // Мат-лы семинара «Рациональное использование воды в системах коммунального водоснабжения / МДНТП», 1981.
  41. Кожин И.В., Добровольский Р.Г. Устранение потерь воды при эксплуатации систем водоснабжения. М.: Стройиздат, 1988.
  42. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. — М.: Высшая школа, 1982.
  43. Методика оценки неучтенных расходов и потерь воды в системе коммунального водоснабжения. — СПб, 2004.
  44. Мазур И.И., Иванцов О.М., Молдаванов О.И. Конструктивная надежность и экологическая безопасность трубопроводов. — М.: Недра, 1993.
  45. Макогонов В.С. Исследование надежности водопроводных сетей: Автореферат дисс.... канд. техн. наук. — М., 1972.
  46. Мордясов М.А., Шведов В.Н., Шведов В.В., Горнев Ю.В., Желницкий О.В. Инспекционные телероботы и диагностика состояния подземных трубопроводов // Водоснабжение и санитарная техника. 1998. № 17.
  47. Методика определения эффективности капитальных вложений. Утв. Госпланом СССР 10.11.88 г. — М., 1988.
  48. Монгомери Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных. Пер. с англ. — Л.: Судостроение, 1980.
  49. Мошин Л.Ф. и др. Новые и усовершенствованные конструкции трубопроводной арматуры для систем водоподдачи. 1994, № 4.
  50. Надежность систем энергетики: Терминология / АН СССР. — М.: Наука, 1980.
  51. Орлов В.А. Бестраншейная реконструкция и техническое обслуживание водопроводных и водоотводящих сетей: учеб. пособие. — М.: МГСУ, 1998.
  52. Нечаев А.П., Жиров Е.Н., Мошин Л.Ф., Сомов М.А., Мирончик Г.М. Требования к промышленной продукции общего назначения, используемой в системах водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника, 2001. № 10.
  53. Патент № 21295 «Устройство для анализа надежности трубопроводов городской водопроводной сети», Приоритет от 02.07.2001/ Росс. агентство по патентам и товарным знакам, (Зарегистр в гос. реестре полезных моделей РФ 10.01.2002).
  54. Постнова Е.В. Оценка надежности водопроводных сетей железнодорожного водоснабжения: Дис.... канд. техн. наук. — Л., 1989.
  55. Положение о санации водопроводных и водоотводящих сетей. Утв. НТС Госстроя РФ от 16.09.03 №01—НС-15/3. — М.: Прима-Пресс, 2003.
  56. Половко А.М. Основы теории надежности. — М.: Наука, 1964.
  57. Положение о проведении планово-предупредительного ремонта на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства. Утв. 1.07.90 г. Госстроем РСФСР. — М.: Стройиздат, 1990.
  58. Правила пользования системами коммунального водоснабжения и канализации в Российской Федерации. — М., 1998.
  59. Правила производства работ по защите городских подземных трубопроводов от электрохимической коррозии. — М., 1982.

60. Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и водоотведения, — М., Госстрой РФ, Союзводоканал-проект, 2000.
61. Примин О.Г. Анализ и пути повышения эффективности электрозащиты трубопроводов в МГУП «Мосводоканал» // Сб. тр. межд. конф. МКДЗК — 99 «Долговечность и защита от коррозии. Строительство, реконструкция». — М., 1999.
62. Примин О.Г. Оценка и методы обеспечения надежности районных систем водоснабжения: Дисс., канд. техн. наук. — М., 1980.
63. Примин О.Г. Проблема оценки надежности системы водоснабжения г. Москвы // Мат-лы семинара «Технические средства и организационные мероприятия по экономии расхода воды в народном хозяйстве» / МДНТП им. Ф.Э.Дзержинского. — М., 1989.
64. Примин О.Г. Разработка и применение информационных технологий для оценки и обеспечения экологической безопасности и надежности сетей водоснабжения и водоотведения города: Дисс... д-ра техн. наук. — М., 2001.
65. Примин О.Г. Информационные технологии для оценки и обеспечения надежности и экологической безопасности сетей водоснабжения города. // Техника для городского хозяйства. 2002. № 3.
66. Примин О.Г., Храменков С.В. Пути обеспечения надежности и экологической безопасности трубопроводов водопроводной и канализационной сети города // Проекты развития инфраструктуры города (Вып. 1 «Технологические аспекты решения экологических проблем городской среды») // Сб. ст. ГУП «МосводоканалНИИпроект». — М.: «Прима-Пресс», 2001.
67. Примин О.Г., Орлов В.А., Храменков С.В. Опыт бестраншейного восстановления городских водопроводных и водоотводящих сетей // Сб. ст. Проекты развития инфраструктуры города. (Вып. 2 «Инженерные системы и оптимизация водопользования») / ГУП «МосводоканалНИИпроект». М.: Изд-во «Прима-Пресс», 2002.
68. Примин О.Г., Храменков С.В. Критерии надежности и экологической безопасности городских водопроводных сетей // Строительство и архитектура, Серия «Инженерное обеспечение объектов строительства». Вып. 2. — М.: ВНИИТП, 2003.
69. Примин О.Г., Храменков С.В. Оптимизация восстановления городских водопроводных и водоотводящих сетей // Сб. тезисов докладов 6-го межд. конгресса ЭКВАТЭК — 2004. — М., 2004.
70. Разработка методики выбора материала труб и наружного изоляционного покрытия в зависимости от степени агрессивности грунтов, грунтовых вод и наличия блуждающих токов / АКХ им. К.Д.Памфилова. — М.: 2004.
71. Разработка нормативной документации по расчету объема нереализованной воды в системах централизованного питьевого водоснабжения и водопровода г. Москвы: Отчет НИР-704 / ГУП «МосводоканалНИИпроект». — М., 1998.
72. Рекомендации по установлению эксплуатационных норм водопотребления в жилом фонде. Утв. МЖКХ РСФСР 26 мая 1981 г. № 299, согласованы Главводоканалом МЖКХ РСФСР 13 апреля 1983 г.
73. Роман М. Установление действенных критериев надежности для систем водоснабжения.
74. Ромейко В.С. Защита трубопроводов от коррозии. — М.: ВНИИМП, 1988.



75. *Рорхофер Карл.* Стандартизация в области восстановления подземных трубопроводов. 1995. № 4—5.
76. *Руденко Ю.Н., И.А. Ушаков.* Надежность систем энергетики. — М.: Наука, 1986.
77. *Руководство по выбору проектных решений в строительстве.* — М.: Стройиздат, 1982.
78. *Сабитов А.Д.* Исследование надежности систем подачи и распределения воды в районах повышенной сейсмичности: Дис.... канд. техн. наук. — М., 1977.
79. *Сидоренко С.Н., Черных Н.А.* Коррозия металлов и вопросы экологической безопасности магистральных трубопроводов. — М.: Изд-во РУДН, 2002.
80. СНиП 2.04.02—84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.
81. *Сомов М.А., Примин О.Г.* Техничко-экономическое обоснование вариантов обеспечения надежности трубопроводов городской водопроводной сети // Науч.- техн. альманах «Проблемы развития транспортных и инженерных коммуникаций». № 2—3. — М.: «ТИМР», 2001.
82. Составление технико-экономической части проектов внеплощадочных систем водоснабжения и канализации. Справ. пособие к СНиП 2-04.02—84. Утв. Госстроем РФ 01.01.91 г. — М.: Союзводоканалпроект, 1991.
83. *Спеллер Ф.Н.* Коррозия железа, ее причины и предупреждение. — Л.: М.:ОНТ НК ТП СССР, 1935.
84. *Стрижевский И.В.* Защита подземных теплопроводов от коррозии. — М., 1972.
85. Строительство трубопроводных систем с применением пластмассовых труб. Северное объединение производителей пластмассовых труб. NPG 2000.
86. Технические средства и организационные мероприятия по экономии расходов воды в народном хозяйстве // Мат-лы семинара. — М., 1989.
87. Трубы чугунные напорные высокопрочные. Технические условия ТУ 1461-037-50254094—2000. ОАО «Свободный сокол».
88. *Хасилев В.Я.* Элементы теории гидравлических цепей / АН СССР. Сов. энергетика и транспорт. — М., 1964.
89. *Херц Р.К.* Процесс старения и необходимость восстановления водопроводных сетей // «Аква». 1996. № 9.
90. *Храменков С.В., Примин О.Г., Орлов В.А.* Бестраншейные методы восстановления трубопроводов: Учеб. пособие для вузов. — М.: Прима-Пресс, 2002.
91. *Херц Р.К.* Изучение потребности и разработка стратегий ремонта и восстановления водопроводных распределительных сетей // «Аква». 1998. № 6.
92. *Храменков С.В., Примин О.Г., Матвеев Ю.П.* Надежность систем водоснабжения — проблемы и пути их решения // Мат-лы 2-го межд. конгресса «Вода, экология. Технология». — М., 1996.
93. *Храменков С.В., Примин О.Г.* Мониторинг трубопроводов городской водопроводной сети // Материалы 3-й межд. конф. «Проблемы управления качеством окружающей среды». — М., 1997.
94. *Храменков С.В., Примин О.Г.* Оценка надежности трубопроводов системы водоснабжения Москвы // Водоснабжение и санитарная техника. 1998. № 7.
95. *Храменков С.В., Примин О.Г.* Проблемы и критерии оценки надежности трубопроводов системы водоснабжения Москвы // Тр. ин-та по стр.-ву трубопроводов при Высшей технической школе г. Ольденбурга, Германия. 1998.
96. *Храменков С.В., Примин О.Г.* Оценка и обеспечение надежности и эффективности эксплуатации Московского водопровода // Росс. общество бестраншейных технологий. Вып. 7. — М., 1998.

97. *Храменков С.В., Примин О.Г.* Показатели критических состояний и пути обеспечения надежности трубопроводов водопроводной сети и напорной канализации города // Экология и промышленность России. 1999, октябрь.
98. *Храменков С.В., Примин О.Г.* Стратегия восстановления городской водопроводной сети // Водоснабжение и санитарная техника. 1999, № 9.
99. *Храменков С.В., Примин О.Г.* Автоматизированная система контроля эксплуатации системы электрозащиты трубопроводов Московского водопровода, Мат-лы 4-го межд. конгресса «Вода, экология. Технология». «Экватэк-2000». — М., 2000.
100. *Храменков С.В., Примин О.Г.* Надежность трубопроводных сетей водоснабжения и канализации как фактор экологической безопасности города // Сб. докл. 14-го Ольденбургского форума по трубопроводам / Ин-т по стр.-ву трубопроводов при Высшей технической школе г. Ольденбурга, Германия. Т. 16. 1999,
101. *Храменков С.В., Савченко Т.Н., Примин О.Г.* Новые подходы к начислению амортизации на реновацию трубопроводов водопроводной сети // Ж-л руководителя и главного бухгалтера ЖКХ. 1999. № 12.
102. *Храменков С.В., Синицин М.И., Матвеев Ю.П.* Пути повышения надежности водопроводных сетей // Ж-л «Дер Рорсанирер» (Германия). 1993. № 4.
103. *Храменков С.В., Печников В.Г.* Принципы расчета критериев удельного водопотребления города Журнал «ВиСТ» 1998, № 8, с.2—6
104. *Храменков С.В., Примин О.Г.* Обеспечение надежности трубопроводов водопроводной сети и напорной канализации города // В водовороте жизни. — М.: Прима-Пресс, 2001.
105. *Храменков С.В.* Стратегия управления эксплуатацией и обеспечение надежности системы хозяйственно-питьевого водоснабжения города: Автореферат дис. канд. техн. наук. — М.: МГСУ, 1999.
106. *Храменков С.В., Примин О.Г., Орлов В.А.* Бестраншейные методы восстановления трубопроводов: Уч. пособие для вузов. — М.: Прима-Пресс, 2002.
107. *Храменков С.В., Примин О.Г.* Разработка и использование информационных технологий для оптимизации эксплуатации и планирования восстановления городских сетей водоснабжения // Мат-лы 5-го Межд. конгресса «Вода, экология. Технология». «Экватэк-2002». — М., 2000.
108. *Храменков С.В., Примин О.Г.* Пути обеспечения надежности функционирования городской водопроводной сети в условиях сокращения водопотребления в г. Москве // Сб. докл. 17-го Ольденбургского форума по трубопроводам / Ин-т по стр.-ву трубопроводов при Высшей технической школе г. Ольденбурга, Германия., Т. 20. 2003.
109. *Храменков С.В., Примин О.Г., Орлов В.А.* Планирование восстановления трубопроводов городской водопроводной и канализационной сети // Ж-л РОБТ. 2004. № 4.
110. *Шахрамьян М.А., Акимов В.А., Козлов К.А.* // Экология и промышленность в России. 1999. № 11.
111. *Шор Я.Б.* Таблицы для анализа и контроля надежности. — М.: Сов. радио, 1970.
112. *Шуберт С.А., Орлов Г.А.* и др. Проблемы повышения надежности систем хозяйственно-питьевого водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 1993. № 4.
113. *Bentmansuor A.* Etude pathologique de 90 km du reseau d'assainissement nantien. Nouveaux constats et leur prise en compte // Tech. Sci. Meth. 1997. № 6.

114. Bonds R.W. Causes, Investigation and Mitigation of Stray Current Corrosion on Ductile Iron Pipe. Corrosion 91, The NACE Annual Conference and Corrosion Show, Cincinnati, Ohio. March 11—15, 1991.
115. Bromell R.Y. Pipes and pipelines. Design criteria and experience in the uses of various materials / IWSA 11th Congress, — Amsterdam, 1999.
116. Burgard M. Rehabilitation de conduites par gainage interne // Eau. Ind. Nuis. 1989. 126.
117. Chramenkov S.W., Primin O.G. Moskauer Trinkwassernetz — Ermittlung und Gewährleistung der Zuverlässigkeit und Effektivität seines Betriebs. Zeitschrift Kommunalwirtschaft, Verlagsort Wuppertal, Germany, Heft 4/ 1999.
118. Funk D. Aggressivität des Erdbodens / 3R International. 1984. V 23, № 7/8.
119. General Report 4. Recent techniques in leak detection. IWSA 17th Congress. — Rio-de-Janeiro, 1988.
120. Goldyn R. Role of preliminary reservoirs in protection of the Maltanski Reservoir // Abstracts of II Intern. Conf. on Reservoir Limnology and Water Quality. — Ceske Budejovice, 1992.
121. Gower M.R., Windsor D.M. Cathodic protection and condition monitoring: residential tower block, N. Lanarkshire // The Structural Engineer. 2000. Vol. 78, № 8.
122. Hoehn E. The effect of the pre-reservoir on the trophic state of an oligomesotrophic drinking-water reservoir (Kleine Kinzig) in the northern Black Forest, Germany // Abstracts of II Intern. Conf. on Reservoir Limnology and Water Quality. — Ceske Budejovice, 1992.
123. Holschulte H. Water Supply, vol. 2. — Brussels 'B: Pergamon Press Ltd, 2001.
124. Mayr H. et al. Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Wasserrohrnetzen. DVWG Hinweis W 401. Bonn, 1997.
125. Merlo G. Recent advances in the rehabilitation and improvement of distribution systems and pipelines. IWSA 15th Congress, — Rome, 1996.
126. Putz K., Berndorf J. The importance of pre-reservoirs for the control of eutrophication of reservoirs // Reservoir Management and Water Supply — an Integrated System, vol.2. — Prague, 1997. P.165—171.
127. Rehabilitation des reseaux d'alimentation en eau potable: technique et mise en oeuvre // Tech. Eau. 1990. № 14.
128. Romanoff M. Performance of Ductile Iron Pipe in Soils. J. American Water Works Association (AWWA). Denver. Colorado, 1968. V 60. № 6.
129. Sears E.G. Comparison of the Soil Corrosion Resistance of Ductile Iron Pipe and Gray Cast Iron Pipe / Materials Protection, 1968. V. 7. № 10.
130. Shamir U., Howard CPD. An analytic approach to pipe replacement // JAWWA. 1999. 71.
131. Slipper M.J. The Application of ICA to Water Supply and Distribution Management // AQUA. 2001. № 5.
132. Solamas J.L. et al. Managing water distribution systems / IWSA Congress. — Nice, 1987.
133. Sugawara H. Some Economic Effects and Practices of Water Leakage Control in Japan // AQUA. 2002, № 5.
134. Troy F. Corrosion Control Measures for Ductile Iron Pipe // Corrosion 89 Neu Orlean La. April 17—21, 1989.
135. American National Standard for Polyethylene Encasement for Ductile Iron Piping for Water and Other Liquids, ANSI/AWWA C 105/A 21.5—88. — Denver. Colorado, 1988.

136. BS EN 598:1995 (Британский стандарт). Трубы из чугуна с шаровидным графитом, фитинги, вспомогательная арматура и их соединительные элементы для канализационных систем. Требования и методы испытаний.
137. DIN 30 674, ч. 1. Изоляционные покрытия труб из ковкого чугуна. Полиэтиленовое покрытие. 1982.
138. DIN 30 674, ч. 2. Изоляционные покрытия труб из ковкого чугуна. Цементное покрытие. 1992.
139. DIN 30 674, ч. 3. Изоляционные покрытия труб из ковкого чугуна. Цинковое покрытие с защитным слоем. 2001.
140. DIN 30 674, ч. 4. Изоляционные покрытия труб из ковкого чугуна. Битумные покрытия.
141. DIN 30 674, ч. 5. Изоляционные покрытия труб из ковкого чугуна. Изоляция полиэтиленовой пленкой. 1983.
142. DIN 30 675, ч. 2. Защита от наружной коррозии проложенных в грунте трубопроводов. Защитные мероприятия и области применения трубопроводов из ковкого чугуна. 1993.
143. DIN 50 929. ч. 3. Коррозия металлов; вероятность коррозии металлов при внешних коррозионных воздействиях; трубопроводы и конструктивные элементы в грунтах и воде.
144. EN 545. Европейский стандарт. Ноябрь 1994. Трубы из чугуна с шаровидным графитом, фитинги, вспомогательная арматура и их соединительные элементы для трубопроводов подачи воды.
145. GW9. Рабочий стандарт. Оценка грунтов с точки зрения их коррозионного воздействия на подземные трубопроводы и резервуары из нелегированных и низколегированных сталей. Система стандартизации DVGW, 1986.
146. ISO 8179-1. Международный стандарт. 1995-12-15. Трубы из ковких металлов — внешнее цинкование. Ч. 1. Рафинированный от примесей цинк с защитным слоем.
147. ISO 8179-2. Международный стандарт. 1995-12-15. Трубы из ковких металлов — внешнее цинкование. Ч. 2. Обогащенная цинком краска с защитным слоем.
148. ISO 8180-1985. Международный стандарт. Трубы из чугуна с шаровидным графитом — полиэтиленовый рукав.
149. ISO 2531:1991 Трубы, фитинги и вспомогательная арматура из чугуна с шаровидным графитом для напорных трубопроводов. 1998.
150. NACE Standard RP 0169-96 Item № 21001, Standard Recommended Practice, Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems. (Защита от внешней коррозии подземных и подводных металлических трубопроводных систем.)
151. NACE Standard TM 0497-97 Item № 21231, Standard Test Method, Measurement Techniques Related to Criteria for Cathodes Protection on Underground or Submerged Metallic Piping Systems (Стандартный метод испытаний. Измерительная техника для определения критериев катодной защиты подземных или подводных металлических трубопроводных систем.)

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Предисловие .....                                                                                                                                                    | 3   |
| Введение. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ МОСКОВСКОГО ВОДОПРОВОДА .....                                                                                                               | 8   |
| Глава 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ<br>НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ .....                                                                             | 24  |
| 1.1. Исследования по проблеме надежности<br>систем водоснабжения .....                                                                                               | 24  |
| 1.2. Нормативная база учета фактора надежности .....                                                                                                                 | 33  |
| Глава 2. ОЦЕНКА И АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ<br>И ОБОРУДОВАНИЯ ГОРОДСКОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ .....                                                               | 37  |
| 2.1. Показатели надежности трубопроводов городской водопроводной сети ....                                                                                           | 37  |
| 2.2. Автоматизированное информационно-техническое обеспечение<br>эксплуатации городской водопроводной сети .....                                                     | 44  |
| 2.3. Методика статистической обработки данных<br>по отказам и восстановлению трубопроводов .....                                                                     | 53  |
| 2.4. Результаты оценки и прогноза показателей надежности трубопроводов<br>Московского водопровода .....                                                              | 62  |
| 2.4.1. Характеристика трубопроводов Московского водопровода .....                                                                                                    | 62  |
| 2.4.2. Статистические исследования надежности<br>трубопроводов Московского водопровода .....                                                                         | 67  |
| 2.5. Надежность трубопроводной арматуры городской водопроводной сети ..                                                                                              | 77  |
| 2.5.1. Основные требования, предъявляемые к арматуре .....                                                                                                           | 77  |
| 2.5.2. Показатели надежности<br>трубопроводной арматуры .....                                                                                                        | 80  |
| 2.5.3. Конструктивная надежность запорно-регулирующей арматуры<br>Московского водопровода .....                                                                      | 86  |
| 2.5.4. Анализ аварийности в колодцах городской<br>водопроводной сети .....                                                                                           | 101 |
| 2.5.5. Автоматизированная информационно-техническая<br>система АИТС «Арматура» .....                                                                                 | 103 |
| Глава 3. СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ТРУБОПРОВОДОВ ОТ<br>СТАРЕНИЯ И КОРРОЗИИ .....                                                                                    | 110 |
| 3.1. Состояние проблемы .....                                                                                                                                        | 110 |
| 3.2. Основные методы санации трубопроводов<br>городской водопроводной сети .....                                                                                     | 112 |
| 3.3. Технологические операции, предшествующие<br>и завершающие процессы восстановления подземных трубопроводов .....                                                 | 133 |
| 3.4. Оборудование, механизмы и приборы для восстановления подземных<br>трубопроводов бестраншейными методами .....                                                   | 138 |
| 3.5. Влияние внутренних защитных покрытий на качество транспортируемой<br>воды и санитарно-гигиеническую надежность трубопроводов .....                              | 147 |
| 3.5.1. Оценка потенциального воздействия внутренних защитных<br>цементно-песчаных и пластиковых покрытий трубопроводов<br>на качественные показатели воды .....      | 157 |
| 3.6. Анализ эффективности санации трубопроводов городской<br>водопроводной сети Москвы .....                                                                         | 160 |
| 3.6.1. Экспериментальные исследования изменения гидравлических<br>характеристик потока .....                                                                         | 166 |
| 3.6.2. Техничко-экономическая эффективность восстановления<br>водопроводных сетей бестраншейными методами<br>(на примере нанесения цементно-песчаных покрытий) ..... | 170 |
| 3.7. Достижения отечественной и зарубежной практики восстановления<br>подземных трубопроводов .....                                                                  | 176 |
| 3.8. Защита подземных трубопроводов от электрохимической коррозии .....                                                                                              | 183 |
| 3.8.1. Виды коррозии подземных металлических трубопроводов<br>и основные методы защиты .....                                                                         | 183 |
| 3.8.2. Коррозионная стойкость подземных металлических<br>трубопроводов .....                                                                                         | 194 |
| 3.8.3. Критерии опасности коррозии подземных трубопроводов<br>и методики их определения .....                                                                        | 197 |
| 3.8.4. Методы и требования к защите от коррозии<br>подземных трубопроводов из ВЧШГ .....                                                                             | 202 |
| 3.8.5. Устройство и особенности электрозащиты трубопроводов<br>Московского водопровода .....                                                                         | 213 |
| 3.8.6. Автоматизированная система контроля эксплуатации системы<br>защиты трубопроводов от электрохимической коррозии .....                                          | 225 |
| Глава 4. СТРАТЕГИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ<br>И ОБНОВЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ГОРОДСКОЙ<br>ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ .....                                                   | 232 |
| 4.1. Математическая модель старения и восстановления трубопроводов .....                                                                                             | 232 |
| 4.2. Оценка полезных сроков службы трубопроводов .....                                                                                                               | 241 |
| 4.3. Стратегия планирования первоочередных объектов восстановления<br>трубопроводов городской водопроводной сети .....                                               | 245 |
| 4.4. Автоматизированная система выбора<br>приоритетных объектов санации трубопроводов .....                                                                          | 248 |
| 4.5. Методика технико-экономического обоснования вариантов<br>обеспечения надежности и экологической безопасности<br>трубопроводов в условиях эксплуатации .....     | 254 |
| 4.6. Регламентация требований к материалу и типам труб<br>централизованных систем водоснабжения .....                                                                | 266 |
| 4.6.1. Стальные и чугунные трубы .....                                                                                                                               | 266 |
| 4.6.2. Пластмассовые трубы .....                                                                                                                                     | 278 |
| 4.6.3. Асбестоцементные трубы .....                                                                                                                                  | 286 |
| 4.6.4. Требования к выбору материала труб городской<br>водопроводной сети Москвы .....                                                                               | 287 |



|                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Глава 5. УПРАВЛЕНИЕ ПОТЕРЯМИ ВОДЫ В ГОРОДСКОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ И ПУТИ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В МОСКВЕ .....                | 289 |
| 5.1. Проблема утечек и неучтенных расходов воды в водопроводной сети городов России и за рубежом .....                               | 289 |
| 5.2. Структура потерь и неучтенных расходов воды .....                                                                               | 303 |
| 5.3. Оценка утечек и скрытых потерь воды (на примере Московского водопровода) .....                                                  | 307 |
| 5.4. Неоплаченная вода вследствие погрешностей средств измерений .....                                                               | 315 |
| 5.5. Контроль и управление давлением в городской водопроводной сети .....                                                            | 316 |
| 5.6. Рационализация водопотребления в городе и пути сокращения потерь воды в жилом секторе .....                                     | 325 |
| 5.7. Состояние и пути решения проблемы учета подачи воды в условиях жилищно-коммунальной реформы в России .....                      | 329 |
| 5.8. Принципы обеспечения надежности функционирования городской водопроводной сети в условиях сокращения водопотребления .....       | 335 |
| Глава 6. СОВРЕМЕННЫЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ СИСТЕМАМИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ .....         | 342 |
| 6.1. Необходимость реформирования управления городским хозяйством ....                                                               | 342 |
| 6.2. Формы управления водопроводно-канализационным хозяйством в экономически развитых странах .....                                  | 343 |
| 6.3. Опыт приватизации водопроводно-канализационного хозяйства в странах с переходной экономикой .....                               | 349 |
| 6.4. Модели реформирования водопроводно-канализационного хозяйства России .....                                                      | 353 |
| 6.5. Опыт МГУП «Мосводоканал» по реализации инвестиционных контрактов и направления его дальнейшего преобразования .....             | 355 |
| 6.6. Новые формы совершенствования услуг водоснабжения и канализации и повышения имиджа предприятия ВКХ .....                        | 361 |
| 6.7. Пути преобразования муниципальных предприятий водопроводно-канализационного хозяйства крупных городов России .....              | 364 |
| Глава 7. ИНВЕСТИЦИОННАЯ И ИННОВАЦИОННАЯ ПОЛИТИКА В ОБЛАСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ .....                                  | 369 |
| Глава 8. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ МОСКВЫ ЗА СЧЕТ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ..... | 380 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                                                                                                                     | 384 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....                                                                                                              | 388 |

*Научное издание*

**Храменков Станислав Владимирович**

## **СТРАТЕГИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ**

Редактор *Н.Б. Либман*

Компьютерная верстка *М.Г. Севастьяновой*

Оформление обложки *О.В. Цыряпкиной*

Подписано в печать 24.10.05. Формат 60×90/16

Бумага офсетная. Гарнитура «Times».

Уч.-изд. л. 28,92. Усл. печ. л. 25.

Изд. № А-7. Заказ № 5886

ОАО «Издательство «Стройиздат»

127994 г. Москва, ГСП-4,

Долгоруковская ул. 23а, стр.1

Отпечатано во ФГУП

ИПК «Ульяновский Дом печати»

432980, г. Ульяновск, ул. Гончарова 14

при участии ООО «ПФ «Сашко»