

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	5
Глава 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ .....	6
Глава 2. ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ .....	9
2.1. Показатели надежности водопроводных трубопроводов .....	9
2.1.1. Оценка законов распределения числа отказов трубопроводов .....	11
2.2. Показатели надежности водоотводящих самотечных трубопроводов .....	19
2.3. Показатели надежности напорных водоотводящих трубопроводов .....	24
Глава 3. ДЕФЕКТЫ ВОДОПРОВОДНЫХ И ВОДООТВОДЯЩИХ ТРУБ .....	29
3.1. Водопроводные трубы .....	29
3.2. Водоотводящие трубы .....	34
Глава 4. ПЛАНИРОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ .....	39
4.1. Методика планирования .....	39
4.2. Техничко-экономическая оценка выбора методов и объектов восстановления трубопроводов .....	46
Глава 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ .....	48
Глава 6. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ .....	52
6.1. Мероприятия по повышению надежности водопроводной сети .....	52
6.1.1. Управление давлением в системе водоснабжения .....	52
6.1.2. Гидравлическое моделирование. Электронные модели .....	53
6.1.3. Активный поиск, контроль утечек и потерь воды. Инструментальный контроль за строительством .....	54
6.1.4. Модернизация и реконструкция водопроводной сети .....	56
6.1.5. Проведение ремонтов трубопроводов .....	58
6.2. Мероприятия по повышению надежности системы водоотведения .....	58
6.2.1. Система канализационные насосные станции — напорные водоотводящие трубопроводы .....	58
6.2.2. Предотвращение гидравлического удара как фактор повышения надежности напорных водоотводящих трубопроводов .....	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	66
Библиографический список .....	67

## ВВЕДЕНИЕ

Надежность и безопасность систем централизованного водоснабжения и водоотведения — одно из основных требований, предъявляемых к ним. Это важнейшая составляющая здоровья населения и один из главных приоритетов социальной политики государства. Обеспечение бесперебойной и устойчивой работы систем водоснабжения и водоотведения городов и поселений России во многом определяется надежностью и техническим состоянием трубопроводной сети — наиболее дорогостоящей и уязвимой.

Трубопроводные сети централизованных систем водоснабжения и водоотведения, как и все технические системы массового обслуживания, должны соответствовать своему назначению: они должны обладать способностью успешно выполнять функции, для которых они предназначены; обладать прочностью и долговечностью — способностью системы и ее отдельных элементов в течение длительного времени выдерживать заданные нагрузки в процессе работы; должны быть просты в эксплуатации и экономичны, т.е. иметь возможность успешно выполнять заданные функции при минимальной величине затрат на их сооружение и эксплуатацию [6; 7].

Система, созданная в полном соответствии с этими требованиями и обладающая перечисленными свойствами, способна успешно выполнять свои функции. Обоснование этой способности проводится методами теории надежности технических систем [9].

## Глава 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

В официально принятой в нашей стране технической терминологии, а именно в ГОСТ 27.002–89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения», дается следующее определение понятия надежности: «Надежность есть свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования...» [8]. В этом определении под объектом может пониматься как система в целом, так и отдельные ее элементы, сооружения, механизмы, изделия.

В процессе функционирования на системы водоснабжения и водоотведения воздействуют самые разные события, способные нарушить их нормальную работу. Чаще всего это отказ одного или нескольких элементов системы, но можно перечислить и ряд других условий: прекращение подачи электроэнергии, природные явления — землетрясения, оползни и т.д.

Таким образом, проявления причин, вследствие чего снижается надежность систем водоснабжения и водоотведения, носят разнообразный характер, поэтому в технической литературе появились термины «конструктивная надежность», «санитарная надежность» и др., но это разные стороны одного и того же надежностного свойства объекта.

Надежность объекта является комплексным свойством, ее оценивают по четырем показателям — безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости или по сочетанию этих свойств [9].

Различают работоспособное и неработоспособное состояния объекта (водопроводного или канализационного насоса, участка трубопровода, арматуры). *Работоспособное* — состояние, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять объектом заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и конструкторской документации. Если хотя бы один из таких параметров выходит за пределы требований документации, то такое состояние объекта теоретически считается *неработоспособным*. Переход объекта из работоспособного состояния в неработоспособное в теории надежности принято называть *отказом*. Таким образом, отказ — это случайное событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта.

Все технические объекты делятся на:

- *невосстанавливаемые* (неремонтируемые), работающие до первого отказа, после чего их дальнейшее функционирование принципиально невозможно (например по физическим причинам или соображениям экономической нецелесообразности) и они подлежат замене;
- *восстанавливаемые* (ремонтируемые), которые после отказа могут быть отремонтированы (восстановлены) и снова введены в эксплуатацию, причем число циклов «отказ — ремонт» теоретически не ограничено.

Для оценки надежности различных систем используются показатели надежности, позволяющие характеризовать состояние объекта с точки зрения надежности, ставя ему в соответствие некоторые объективные количественные оценки, определения которых однозначны, а правила их вычисления общеприняты [10]. *Показатель надежности* — количественная характеристика одного или нескольких свойств систем водоснабжения и водоотведения или их элементов.

Большинство технических объектов можно рассматривать как системы, т.е. комплексы сооружений, устройств и тому подобных структурных частей, связанных между собой функционально и конструктивно. Каждая такая часть — это опять своеобразная подсистема, состоящая, в свою очередь, из отдельных компонентов, и т.д. Так, городская система водоотведения, рассматриваемая как единый объект, — это комплекс сооружений двух основных видов: насосных станций и транспортирующих магистралей (коллекторов, каналов, напорных трубопроводов). Эти сооружения далее могут быть представлены в виде подсистем, которые можно подразделить на устройства [10].

Таким образом, определение сооружения, подсистемы или устройства отчасти условно и зависит от уровня детализации при решении конкретной надежностной задачи, а иногда от объема и доступности статистических данных наблюдений за исследуемым объектом [10].

Для любых расчетов по оценке надежности различных изделий и элементов технических систем необходимо получение данных об их фактической работе. В зависимости от типа отдельных элементов и их функций могут использоваться различные методы получения указанных сведений. Для стандартных изделий массового промышленного изготовления эти сведения обычно получают путем заводских испытаний большого числа образцов изделий.

Для систем водоснабжения проводятся испытания водопроводной арматуры, задвижек, клапанов, пожарных кранов, насосов и ряда других стандартных изделий, механизмов и приборов. Однако такие элементы систем, как участки трубопроводов водопроводной и водоотводящей сетей, не могут быть отнесены к типовым (стандартным) изделиям, и показатели их надежности должны определяться для отдельных участков эксплуатируемых систем путем сбора и обработки данных по их аварийности в реальных условиях эксплуатации.

Показатели надежности элементов подобного рода могут быть определены только в результате длительных наблюдений за их работой в процессе эксплуатации, систематического сбора и обработки статистических данных обо всех повреждениях и авариях. Чем больше ряд наблюдений и длительность их периода, чем большее число однородных элементов подвергается наблюдению (или испытанию), тем достовернее будут полученные для них показатели надежности. Поэтому полноценная система регистрации аварий и повреждений элементов системы является весьма важной.

Все оценки надежности систем водоснабжения и водоотведения имеют вероятностный характер. Численные показатели вероятности случайных событий измеряются в долях единицы или в процентах. Нельзя рассматривать вероятность наступления каких-либо случайных событий без отнесения их к какому-либо конечному промежутку времени. Надежность какого-либо элемента системы водоснабжения будет тем больше, чем больше вероятность его безотказной работы.

Очевидно, что надежность работы систем водоснабжения и водоотведения во многом определяет уровень жизни и благоустройства населенных мест, комфортность проживания, развитие промышленности и инфраструктуры города.

Под **надежностью систем водоснабжения** следует понимать их свойство выполнять заданные функции водообеспечения потребителей, сохраняя во времени установленные эксплуатационные показатели в пределах, соответствующих заданным режимам и условиям эксплуатации [3].

Функцией системы водоснабжения является обеспечение обслуживаемого объекта (города, промышленного предприятия) водой в заданных количествах, заданного качества, а также поддержание требуемых напоров в системе распределения воды [10]. Выполнение всех предъявленных системе водоснабжения требований обеспечивает нормальный уровень качества ее функционирования.

Одним из важнейших свойств, наиболее полно отражающих сущность понятия надежности, является «безотказность», т.е. свойство системы водоснабжения (или ее элемента, например участка трубопровода) непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки.

В процессе эксплуатации системы водоснабжения могут возникнуть различные нарушения нормальной работы отдельных сооружений и элементов системы, что неизбежно вызывает определенные нарушения нормальных функций системы в целом, т.е. приводит к снижению нормального уровня водоснабжения обслуживаемого объекта. Допустимые пределы такого снижения предусматриваются в СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02–84\* [11].

Надежность системы водоотведения характеризуется сохранением необходимой расчетной пропускной способности и степени очистки сточных вод при изменении (в определенных пределах) расходов сточных вод и состава загрязняющих веществ, условий сброса их в водные объекты, в условиях перебоев в электроснабжении, возможных аварий на коммуникациях, оборудовании и сооружениях, производства плановых ремонтных работ, а также ситуаций, связанных с особыми природными условиями (сейсмика, просадочность грунтов, вечная мерзлота).

### **Вопросы для самопроверки**

1. В чем заключается понятие надежности систем водоснабжения и водоотведения?
2. Что является функцией системы водоснабжения?
3. Что такое работоспособное и неработоспособное состояния объекта?
4. Какие свойства отображают функцию надежности?

## Глава 2. ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ

### 2.1. Показатели надежности водопроводных трубопроводов

Для расчетов по оценке надежности участков водопроводных трубопроводов необходимо получение сведений об их фактической работе в процессе эксплуатации. Практика эксплуатации централизованных систем водоснабжения показывает, что нарушения нормального уровня водоснабжения связаны в основном с авариями (отказами) на участках трубопроводов городской водопроводной сети — наиболее функционально значимых и уязвимых элементов системы водоснабжения города [3; 6].

Для систем водоснабжения как сложных многофункциональных систем (в том числе и для такого элемента системы, как городская водопроводная сеть) не характерно событие, заключающееся в полном отказе системы, здесь имеет смысл говорить лишь о частичном отказе. Это связано с тем, что отказы отдельных элементов системы водоснабжения могут приводить лишь к снижению эффективности функционирования. В практике эксплуатации трубопроводов после периода восстановления (ремонта) участка может произойти его следующий отказ и т.д., т.е. отказы каждого участка происходят во времени совершенно случайно, образуя поток случайных событий. Вид потока отказов определяет показатели надежности трубопроводов и методы их расчета. Поэтому для оценки показателей надежности участков трубопроводов в процессе обработки исходных статистических данных по их эксплуатации необходимо найти опытные статистические закономерности распределения рассматриваемых случайных величин и установить, какому из теоретических законов распределения они больше всего соответствуют. Использование законов распределения позволяет применять известные аналитические методы определения показателей надежности.

Методика статистической обработки данных по отказам участков водопроводных трубопроводов включает следующие этапы [12]:

- сбор и систематизацию данных по отказам;
- определение вида функции плотности распределения числа отказов или интегральной функции распределения;
- вычисление параметров полученного распределения;
- установление с помощью критериев согласия степени совпадения эмпирического (экспериментального) распределения с предполагаемым теоретическим;
- оценку численных значений показателей надежности участков трубопроводов.

Количественно надежность участков трубопроводов городской водопроводной сети определяется вероятностными характеристиками и показателями.

К **основным показателям надежности** участков водопроводных трубопроводов отнесены:

$\lambda(t)$  — интенсивность отказов (ав/год · км);

$t_b$  — среднее время восстановления (ликвидации аварии), ч;

$T_o$  — 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  $t$ ,

$Q(t) = 1 - P(t)$ .

Формулы для оценки вышеприведенных показателей надежности приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

**Формулы для расчета показателей надежности трубопроводов городской водопроводной сети**

№ п/п	Показатель надежности	Численная характеристика	Примечание
1	Интенсивность отказов: $\lambda(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{f(t)}{1-F(t)}$	$\lambda(t) = \frac{n(t)}{t \cdot l}$	$n(t)$ — число отказов труб; $l$ — длина участка трубопровода
2	Наработка на отказ: $T = \int_0^{\infty} t f(t) dt$	$T = \int_0^{\infty} P(t) dt;$ $T = \frac{1}{\lambda l};$ $T = \int_0^{\infty} e^{-\lambda l t^{\delta}} dt$	$\sigma^2 = 2 \int_0^{\infty} t P(t) dt - T^2$ — дисперсия; – экспоненциальный закон – распределение Вейбулла ( $l$ — длина участка трубопровода)
3	Среднее время восстановления: $t_B = \int_0^{\infty} F_B(t) dt$	$t_B = \frac{\sum_{i=1}^n t_{Bi}}{n},$ $n$ — число отказов	$\sigma_B^2 = 2 \int_0^{\infty} t e^{-\mu t} dt - \frac{1}{\mu^2},$ $\mu$ — интенсивность восстановления
4	Вероятность безотказной работы: $P(t) = 1 - F(t)$	$P(t) = e^{-\omega t}$ $P(t) = \exp(-\omega t^{\delta})$	– экспоненциальный закон; – распределение Вейбулла
5	Вероятность восстановления: $P_B(t) = 1 - F_B(t)$	$P_B(t) = 1 - e^{-\mu t}$ $\mu = \frac{1}{t_B}$	– экспоненциальный закон $\sigma^2 = 2 \int_0^{\infty} t e^{-\mu t} dt - \frac{1}{\mu^2}$ – дисперсия
6	Распределение числа отказов: $P_n(t)$	$P_n(t) = \frac{(\lambda l t)^n}{n!} e^{-\omega l t}$	– распределение Пуассона, $n$ — число отказов

### 2.1.1. Оценка законов распределения числа отказов трубопроводов

Для оценки степени совпадения эмпирической и теоретической зависимостей применяются критерии согласия — обычно критерий Пирсона или критерий Колмогорова. Методика применения этих критериев приводится в [14].

Процесс аналитической оценки закона распределения разбивается на два этапа: 1) построение гистограмм и коммулятивных кривых; 2) проверка допустимости принятого закона распределения отказов по критериям согласия. Статистическая оценка  $\lambda(t)$  — интенсивности отказов участков как водопроводных, так и водоотводящих трубопроводов — определяется по результатам сбора и статистической обработки данных об их повреждениях (авариях) (для водоотводящих трубопроводов — засоров) и может быть получена из выражения [12]

$$\lambda(t) = \frac{\sum n_i}{(\sum l_j) \cdot t}, \quad (2.1)$$

где  $n_i(t)$  — количество отказов участков трубопроводов определенного материала и диаметра за время эксплуатации  $t$ ;

$\sum l_j$  — суммарная длина всех участков трубопроводов каждого диаметра и материала.

Для простейших потоков параметр потока отказов совпадает с интенсивностью отказов. Имея значения параметра  $\lambda(t)$ , полученные опытным, статистическим путем, можно определить и другие показатели надежности трубопроводов, такие как вероятность безотказной работы, наработка на отказ.

Наиболее часто для статистических исследований в качестве математического описания потока отказов участков трубопроводов водопроводной сети используется распределение Пуассона, при котором вероятность того, что в течение интервала времени  $t$  произойдет ровно  $n$  отказов участка трубопровода, оценивается из выражения

$$P_n(t) = \frac{(\lambda_0 t)^n}{n!} e^{-\lambda_0 t}, \quad (2.2)$$

где  $\lambda_0$  — среднее число отказов участка трубопровода определенного материала и диаметра в единицу времени.

Оценка соответствия статистического распределения числа отказов участков трубопроводов распределению Пуассона проводится по критерию согласия К. Пирсона по следующей методике.

Пусть  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_i$  — количество отказов одного и того же пуассоновского процесса в неперекрывающихся интервалах времени  $t^{(1)}, t^{(2)}, t^{(3)}, \dots, t^{(n)}$ , где  $t^{(1)}$  — первый год наблюдений;  $t^{(2)}$  — второй год и т.д.

Предположим, что случайная величина  $n = \sum_{i=1}^n n_i$ , здесь  $n_i$  — число отказов участка трубопровода в  $i$ -м интервале — имеет распределение Пуассона с параметром  $a = \lambda_0 t, t = \sum t^{(n)}$ .

Если  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_k$  — число отказов участков трубопроводов в 1-й, 2-й, 3-й, ...,  $k$ -й годы наблюдения, то

$$n = \frac{(n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k)}{k}. \quad (2.3)$$

Критерий для проверки гипотезы о том, что величины  $n_i$  — это наблюдаемые значения числа отказов участка трубопровода в  $k$ -й год, имеющие пуассоновское распределение с параметром  $\lambda t$ , является дисперсионный критерий для проверки однородности:

$$d = \sum_{i=1}^n n_i \frac{(n_1 - n)^2}{n}. \quad (2.4)$$

Если случайная величина  $n$  имеет распределение Пуассона с параметром  $\lambda t$ , то распределение величины  $d$  аппроксимируется  $\chi^2$  распределением с  $(k - 1)$  степенями свободы. Число степеней свободы распределения определяется для данного статистического ряда как равное числу интервалов в нем минус число исчисленных статистических характеристик.

Введем доверительную вероятность  $\sigma = 0,95$ . Критическое значение  $d_{кр}$  зависит от доверительной вероятности и числа степеней свободы и определяется по справочникам математической статистики [14].

Если  $d < d_{кр}$ , то можно считать, что эмпирическое распределение числа отказов участков трубопроводов не противоречит гипотезе об их соответствии распределению Пуассона.

В качестве примера реализации методики ниже приведена оценка интенсивности отказов участков стальных трубопроводов  $D = 300$  мм Московского водопровода [12]. Обработка полученных сведений об авариях и повреждениях на участках испытываемого трубопровода позволила составить вариационный ряд — выборку числа отказов  $n$ , зарегистрированных за определенный срок (табл. 2.2).

Таблица 2.2

**Ведомость исходных данных по отказам участков трубопроводов  
городской водопроводной сети  
( $D = 200$  мм, материал труб — сталь, возраст труб более 20 лет, протяженность 78 км)**

Год наблюдений	Число отказов $n_1$	$(n_1 - n)$	$(n_1 - n)^2$
2010	52	4,7	22,09
2011	62	14,7	216,09
2012	45	-2,3	5,29
2013	48	0,7	0,49
2014	39	-8,3	68,89
2015	42	-5,3	28,09
2016	56	8,7	75,69
2017	28	-19,3	372,49
2018	62	14,7	260,19
2019	39	-8,3	68,89
	Итого 473		1119,2

$$d = \frac{1119,2}{473} = 2,366, \quad d_{кр} = 123,12, \quad (2.5)$$

т.е.  $d < d_{кр}$  и статистические данные не противоречат гипотезе о пуассоновском распределении числа отказов с параметром

$$\lambda(t) = \frac{473}{10 \cdot 78} = 0,606 \text{ (1/год} \cdot \text{км)}.$$

Оценка параметров функций распределения числа отказов участков трубопроводов позволяет на практике прогнозировать число отказов и вероятность их возникновения. Задача статистической обработки данных о продолжительности восстановления участков трубопроводов заключается в проверке однородности данных, построении эмпирической функции распределения времени восстановления (ликвидации аварии)  $t_v$ , аппроксимации полученной функции теоретическим законом распределения случайных величин [12].

Обобщение анализа потока восстановления участков трубопроводов и статистическая обработка данных показали, что гипотеза о распределении времени восстановления участков водопроводных трубопроводов по закону Эрланга 2-го порядка не отвергается (табл. 2.3).

В общем виде плотность распределения потока восстановления по закону Эрланга 2-го порядка рассчитывается по формуле

$$f(\tau) = 4 \frac{\tau}{t_B^2} \exp\left(-\frac{2\tau}{t_B}\right), \quad (2.6)$$

а функция распределения времени восстановления оценивается по формуле

$$F(\tau) = \int_0^{\tau} \frac{4t}{t_B^2} \exp\left(-\frac{2t}{t_B}\right) dt, \quad (2.7)$$

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

Для этого распределения  $t_B$  находится в пределах

$$\bar{t}_B - t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \bar{t}_B < t_B + t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2.8)$$

где  $\bar{t}_B$  оценивалось как средневзвешенная величина;

$$\sigma = \sqrt{s^2 - \frac{t_i^2}{12}}. \quad (2.9)$$

Таблица 2.3

**Проверка гипотезы о законе распределения времени восстановления  
участков трубопроводов Московского водопровода ( $D = 300$  мм, стальные трубы).  
 $H_0$  – гипотеза по закону Эрланга 2-го порядка**

Интервал, ч	$\gamma_i$	$P_i$	$n \cdot P_i$	$\gamma_i - nP_i$	$(\gamma_i - nP_i)^2$	$n \cdot P_i$
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
20–25	7	0,11	10	1	1	0,1
25–30	4					
30–35	3	0,05	5	3	9	1,8
35–40	11					
40	5					
Итого	96	1	96			6,4

$$n = 96;$$

$$K = n - 1 = 96 - 1 = 95;$$

$$\chi_{0,05}^2(4) = 9,4;$$

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

$$dt_B - t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \bar{t}_B < t_B + t \frac{\sigma}{\sqrt{n}};$$

$$15 - 4 < \bar{t}_B < 15 + 4;$$

$$11 < \bar{t}_B < 19.$$

Закон распределения времени восстановления  $t_v$  участков трубопроводов Московского водопровода ( $D = 300$  мм, стальные трубы) соответствует закону распределения Эрланга.

Для автоматизированной оценки численных показателей надежности водопроводных трубопроводов используется программа для ЭВМ «Оценка надежности и планирование восстановления водопроводных и водоотводящих трубопроводов» [15], которая позволяет для трубопроводов любого района эксплуатации водопроводной сети города, для выбранных критериев отбора получить следующие данные для оценки его надежности [12]:

- 1) о повреждениях, %, участков трубопроводов по длительности эксплуатации;
- 2) оценку интенсивности отказов трубопроводов по диаметрам, материалам труб и длительности эксплуатации;
- 3) прогноз вероятности «выживания» участков трубопроводов по длительности эксплуатации;
- 4) вероятность безотказной работы (надежность) участков трубопроводов по срокам эксплуатации.

На рис. 2.1 показан вид функции выживания трубопроводов Московского водопровода в зависимости от возраста труб.

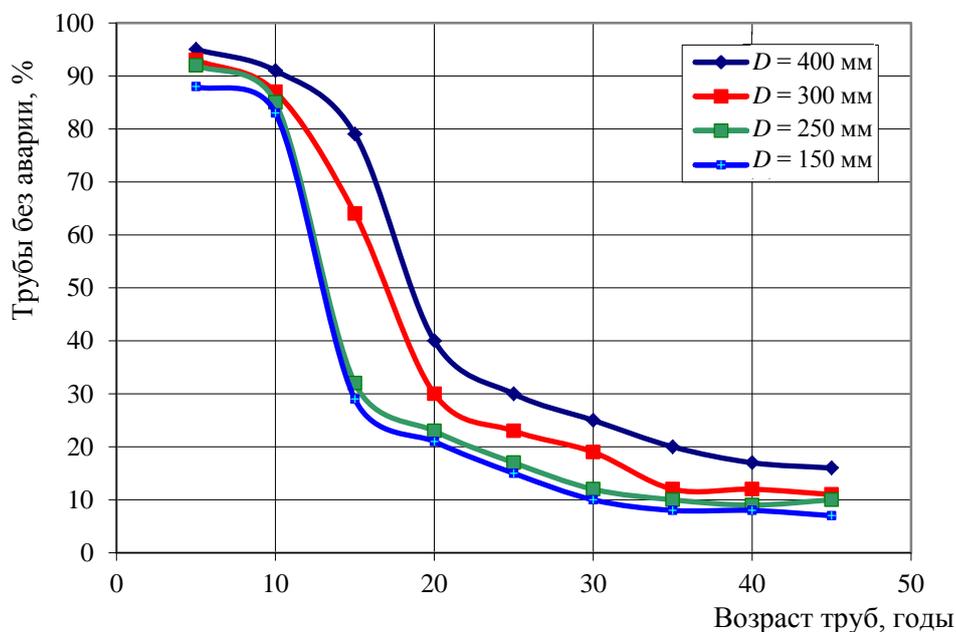


Рис. 2.1. Эмпирическая функция выживания трубопроводов Московского водопровода (стальные трубы)

Результаты расчетов (пример для Московского водопровода) формируются в виде табл. 2.4 и графиков (рис. 2.2–2.8).

**Результаты оценки и прогноза показателей надежности стальных трубопроводов  
водопроводной сети Московского водопровода (срок эксплуатации 15–20 лет)**

$D$ , мм	Интенсивность отказов $\lambda(1/\text{год} \cdot \text{км})$	Отказавшие участки, %	Вероятность «выживания» трубопроводов	Уровень надежности трубопроводов $P(t)$	Риск отказов $Q(t)$	Срок полезной службы трубопроводов $T_{\text{пол}}, \text{ГОД}$	Наработка на отказ $T$ , год	Среднее время ликвидации аварий $t_{\text{в}}, \text{ч}$
100	0,886	36	0,54	0,34	0,66	10,1	1,12	12
150	0,68	45	0,55	0,55	0,45	8,9	1,46	12,5
200	0,9	54	0,46	0,33	0,67	7,9	1,1	12
250	0,077	59	0,41	0,45	0,55	25	12,50	13
300	1,2	57	0,43	0,32	0,68	7,5	0,83	14,7
500	0,8	41	0,69	0,68	0,32	15	1,25	16
600	0,04	50	0,50	0,93	0,07	18	26,4	19
900	0,010	33	0,67	0,92	0,08	19	102	22
1200	0,019	27	0,73	0,90	0,10	21	52	24

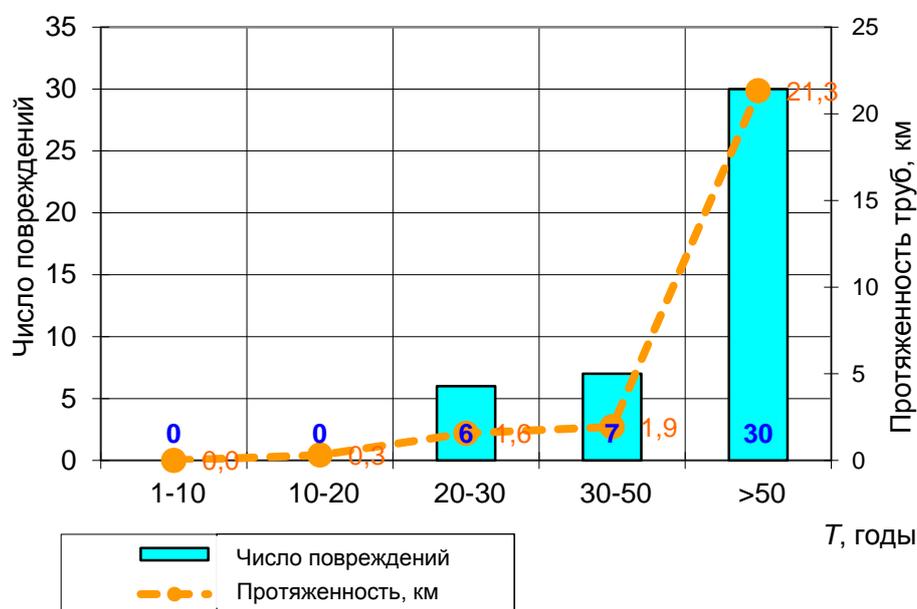


Рис. 2.2. Аварийность труб по длительности эксплуатации

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)