

Данный файл представлен исключительно в ознакомительных целях.

Уважаемый читатель!

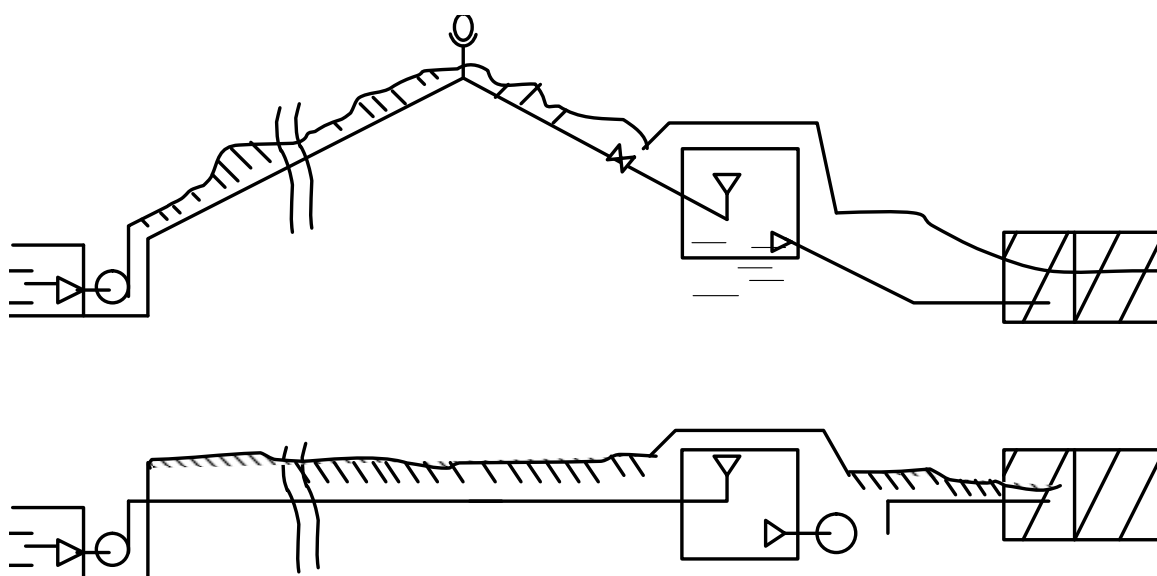
Если вы скопируете данный файл,
Вы должны незамедлительно удалить его сразу после ознакомления с содержанием.
Копируя и сохраняя его Вы принимаете на себя всю ответственность, согласно действующему международному законодательству .
Все авторские права на данный файл сохраняются за правообладателем.
Любое 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.С. Душкин, М.В.Солодовник, Г.И. Благодарная, О.В.Булгакова

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
НАДЕЖНОСТИ ВОДОПРОВОДНО-КАНАЛИЗАЦИОННЫХ
СИСТЕМ**

РАЗДЕЛ I. «Основы надежности инженерных систем»



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ХАРЬКОВСКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

С.С. Душкин, М.В.Солодовник, Г.И. Благодарная, О.В.Булгакова

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НАДЕЖНОСТИ
ВОДОПРОВОДНО-КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

РАЗДЕЛ I. «Основы надежности инженерных систем»

(Конспект лекций для студентов 3-5 курсов дневной и заочной форм обучения,
экстернов и иностранных студентов специальности 7.092601 «Водоснабжение и
водоотведение»)

Математические методы решения задач надежности водопроводно-канализационных систем. Раздел I. Основы надежности инженерных систем. (Конспект лекций для студентов 3-5 курсов дневной и заочной форм обучения, экстернов и иностранных студентов специальности 7.092601 «Водоснабжение и водоотведение»).

Сост.: Душкин С.С., Солодовник М.В., Благодарная Г.И., Булгакова О.В. – Харьков: ХНАГХ, 2006. – 56 с.

Составители: С.С. Душкин,
М.В.Солодовник,
Г.И. Благодарная,
О.В.Булгакова

Рецензент: д.т.н., проф. Г.С. Пантелят

Рекомендовано кафедрой водоснабжения, водоотведения и очистки вод,
протокол № 6 от 2.03.2006

© С.С. Душкин, М.В.Солодовник, Г.И. Благодарная, О.В.Булгакова, 2006

ВВЕДЕНИЕ

Конспект лекций написан в соответствии с программой курса «Математические методы решения задач надежности ВК систем» и учебным планом для студентов дневной заочной форм обучения экстернов и иностранных студентов специальности 7.092601 «Водоснабжение и водоотведение». В конспекте содержатся теоретические основы надежности инженерных систем водоснабжения и водоотведения. При этом уделено внимание не только показателям надежности инженерных систем, а и надежности отдельных элементов, а именно: надежность водозаборных сооружений, насосных станций, водоводов для транспорта воды, очистных сооружений, водопроводных и канализационных сетей.

В конспекте изложен опыт работы водопроводно-канализационного хозяйства Украины. При этом авторы не только обобщают и систематизируют материал, но и широко используют опыт изучения курса в других высших учебных заведениях Украины, в частности, Донбасской национальной академии строительства и архитектуры.

Конспект лекций предназначен для студентов 3-5 курсов высших учебных заведений, которые готовят специалистов в области водоснабжения, канализации, рационального использования и охраны водных ресурсов.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ

Согласно ГОСТ 13377-75 «Надежность есть свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования». Под объектом может пониматься как система, так и отдельные ее элементы, сооружения, механизмы, оборудование. Физический смысл надежности состоит в способности объекта сохранять свои первоначальные технологические характеристики в процессе эксплуатации.

Событие, заключающееся в нарушении работоспособности системы или элемента, называется **отказом**. Надежность предполагает безотказность действия объекта в пределах заданного срока эксплуатации, либо количество отказов должно быть сведено к минимуму. Кстати отказом является также снижение эксплуатационных показателей системы ниже установленного предела.

В теории надежности технических устройств основным понятием для оценки работоспособности является вероятностная оценка безотказной работы в течении заданного интервала времени t . На отказ влияет не только целый ряд предсказуемых (детерминированных) факторов, но и ряд случайных факторов, имевших место при проектировании, строительстве, наладки и эксплуатации объекта. Воздействие случайных факторов не поддается точному учету, поэтому детерминированная оценка заменяется вероятностной. Следовательно, результаты наблюдений за объектами носят вероятностный характер, отсюда и теория надежности основывается на элементах теории вероятностей и математической статистики. Следует отметить, что отказ является не только случайным, но и редким событием.

1.1. Наблюдение и оценка их результатов

Результаты наблюдений за объектами техники представляют собой *случайные величины*, поскольку зависят от случайной комбинации различных факторов.

Случайные величины могут быть непрерывными или дискретными.

Непрерывная случайная величина может принимать любое численное значение. **Дискретная** же принимает только целые значения. Например, число аварий может быть только целым. Случайная величина обозначается (X). Если проводить бесконечное количество измерений случайной величины X, то множество их результатов представляет собой *генеральную совокупность*. На практике же количество измерений имеет конечное значение (n). Набор измеренных значений ($x_1; x_2; x_3; \dots; x_n$) называется **выборкой объема (n)** из генеральной совокупности или просто выборкой. Если для описания множества результатов измерений используется ряд общих характеристик, вычисляемых на основании генеральной совокупности, они называются параметрами, если на основании данных выборки, то статистиками.

Одной из таких статистик является среднее или среднеарифметическое значение измерений – ($\bar{x}$), если случайная величина обозначена через x и называется математическим ожиданием. Если выборка содержит всю генеральную совокупность, то среднее значение $\bar{x}$, обозначается μ :

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} . \quad (1.1)$$

К числу характеристик также относят *интервал значений, медиану, частоту события, вероятность события, дисперсию*.

1.2. Функции распределения плотности вероятностей

Известно около 160 законов распределения плотности вероятностей. На практике используются некоторые наиболее распространенные: биномиальное, Пуассона, экспоненциальное, нормальное распределение.

Биномиальное распределение имеет место в том случае, когда вероятность появления события (x) в (n) независимых опытах постоянна и равна (P). Вероятности появления (x) событий в серии из (n) испытаний соответствует функция распределения:

$$f(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} p^x q^{(n-x)}, \quad (1.2)$$

где p - вероятность отказа;

$q = 1 - p$ - вероятность появления события.

Среднее значение $\mu = n \cdot p$; среднеквадратичное отклонение

$$\sigma = \sqrt{n \cdot p \cdot q}.$$

Если p очень мало, например $p = 0,02$ и $q = 1$, а μ гораздо больше p , биномиальное распределение трансформируется к виду:

$$f(x) = \frac{e^{-\mu} (\mu)^x}{x!}; \mu = n \cdot p; \sigma = \sqrt{n \cdot p} = \sqrt{\mu}. \quad (1.3)$$

Это так называемое распределение Пуассона, характерное для числа появления редких событий дискретной случайной величины.

Если же p велико и соответственно $n \cdot p$ тоже, например: $p \geq 0,5$, а $n \cdot p \geq 5$ биномиальное распределение может быть представлено в виде:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}; \mu = n \cdot p; \sigma = \sqrt{npq}. \quad (1.4)$$

Это нормальное или гауссовое распределение.

Для экспоненциального закона распределения:

$$\left\{ \begin{array}{l} f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \text{ при } x > 0 \\ f(x) = 0 \text{ при } x < 0 \end{array} \right\}; \mu = \frac{1}{\lambda}; \sigma = \frac{1}{\lambda}, \quad (1.5)$$

где λ - параметр, характеризующий частоту отказов.

При решении практических задач нередко достаточно определить только математическое ожидание, дисперсию и среднеквадратическое отклонение.

Математическое ожидание дискретных случайных величин определяется:

$$m_x = M(X) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P_i. \quad (1.6)$$

Математическое ожидание непрерывных случайных величин:

$$m_x = M(X) = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx. \quad (1.7)$$

Математическое ожидание при биномиальном распределении:

$$m_x = n \cdot p. \quad (1.8)$$

Дисперсия дискретных случайных величин:

$$D(x) = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 P_i. \quad (1.9)$$

Дисперсия непрерывных случайных величин

$$D(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 f(x)dx. \quad (1.10)$$

Дисперсия величин при биномиальном распределении:

$$D(x) = n \cdot p \cdot q. \quad (1.11)$$

Среднее квадратичное отклонение:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x}. \quad (1.12)$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Понятие надежности, отказа.
2. Биномиальное распределение.
3. Распределение Пуассона.
4. Нормальное распределение.
5. Экспоненциальный закон распределения.
6. Математическое ожидание при биномиальном законе распределения, для дискретных, непрерывных случайных величин.
7. Дисперсия величин при биномиальном законе распределения, для дискретных, непрерывных случайных величин.

2. ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

2.1. Основные определения и термины

Понятие надежности объекта включает следующие свойства: безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость, а также эффективность.

Безотказность - свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени.

Долговечность - свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. Предельное состояние определяется невозможностью дальнейшего использования объекта.

Ремонтпригодность - свойство объекта, заключающееся в приспособленности его к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений, а также поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Сохраняемость - свойство объекта противостоять отрицательному воздействию условий и продолжительности хранения и транспортировки на его безотказность, долговечность и ремонтпригодность.

Эффективность применяется иногда для оценки качества систем.

В общем виде модель эффективности W имеет вид

$$W = \frac{D}{C}, \quad (2.1)$$

где D - предотвращенный ущерб;

C - затраты на предотвращение ущерба.

Перечисленные свойства имеют различную относительную значимость в зависимости от вида объекта. Так, для крупных сооружений (плотины, резервуары, очистные станции) безотказность и долговечность имеют первостепенное значение. Для насосных станций наиболее важными являются:

безотказность, ремонтпригодность и долговечность.

Технические системы в зависимости от параметров их элементов могут находиться в следующих состояниях:

исправное (работоспособное), когда параметры объекта соответствуют всем требованиям нормативно-технической и конструкторской документации;

неисправное (неработоспособное), при котором объект не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и конструкторской документации;

предельное - состояние, при котором дальнейшее применение объекта по назначению недопустимо или нецелесообразно, либо восстановление его из неработоспособного (неисправного) состояния нецелесообразно.

Кроме перечисленных общих состояний в коммунальном хозяйстве могут быть в ходу и другие термины для видов состояний:

аварийное - имеет место при отказе основных элементов, приводящее к резкому нарушению работы системы;

кризисное - при отказе ряда элементов, приводящее к снижению производительности систем и задействования резервов при отсутствии запаса надежности. Кризис может перейти в аварию;

ремонтное - имеет место при отключении отдельных элементов для проведения плановых и профилактических ремонтов;

чрезвычайная ситуация - процесс перехода системы из одного состояния в другое, вызванный различными воздействиями на систему;

полный отказ - полное прекращение работы системы. Понятие "отказ" является одним из основных в теории надежности. **Отказ** - это событие, при котором объект переходит в неработоспособное состояние.

Повреждение - объект переходит в неисправное, но работоспособное состояние.

В технике известны различные классификации отказов:

1. По времени возникновения за период эксплуатации технической системы различают три группы отказов:

- а) периода приработки;
- б) периода нормальной эксплуатации;
- в) периода интенсивного износа.

2. По характеру возникновения различают внезапные и постепенные отказы. Внезапным называется отказ, характеризующийся скачкообразным изменением значений одного или нескольких заданных параметров объекта. Постепенный отказ характеризуется постепенным изменением параметров. Перебегающий – многократно возникающий самоустраняющийся отказ одного и того же характера.

3. По связи между собой бывают зависимые и независимые отказы. Независимый - отказ объекта, не обусловленный другими отказами. Зависимый - отказ объекта, обусловленный отказами других элементов.

4. В зависимости от *причины возникновения*:

конструкционные отказы обусловлены несовершенством конструкции объекта (неправильно выбран материал, нагрузки и т.д.);

производственные отказы возникают в результате несовершенства или нарушения установленного процесса изготовления или ремонта объекта;

эксплуатационные - отказы, возникшие в результате нарушения правил и (или) условий эксплуатации объекта.

В практике оценки надежности технических объектов постепенные отказы называют параметрическими, а надежность и отношения таких отказов - *параметрической*.

Е.С. Переверзев предложил все отказы делить на две группы: А, В.

К **отказам группы А** относятся те, для которых на данном этапе развития науки и техники могут быть разработаны математические модели, позволяющие рассчитывать вероятность их появления. К этой группе относятся отказы, обусловленные случайными разбросами значений конструктивных, технологических, эксплуатационных и других факторов.

Отказы группы В вызываются действием не учитываемых факторов или

скрытых дефектов, а также непредвиденными причинами. Отказы этой группы прежде всего связаны с культурой производства и эксплуатации, технологической дисциплиной. Они не поддаются описанию с помощью математических моделей.

2.2. Виды показателей (параметров) надежности

Показатели количественно характеризуют надежность объекта. Вид зависимостей для вычисления параметров надежности определяется конфигурацией и условиями эксплуатации системы. Следует различать по этому признаку такие виды объектов:

невосстанавливаемые - это объекты, которые в процессе эксплуатации не подлежат ремонту; при отказе такого объекта работа всей системы будет нарушена (например, отказ плотины вызывает отказ системы водоснабжения, перегоревшая электролампочка);

восстанавливаемыми являются объекты, которые при выполнении своих функций допускают ремонт (автомобили, насосы).

Различают единичные и комплексные показатели надежности. **Единичный** показатель количественно характеризует только одно свойство надежности объекта (вероятность безотказной работы, наработка на отказ, интенсивность отказов и т.д.).

Комплексные показатели количественно характеризуют не менее двух основных свойств, составляющих надежность (например, безотказность и ремонтпригодность): коэффициенты готовности, простоя и т.д.

2.3. Структуры технических систем и общие принципы повышения надежности

Технические системы состоят из ряда элементов, соединенных между собой. Элементами считаются независимые составные части, на которые можно разбить систему.

Понятия "элементы" и "системы" являются относительными. Например, центробежный насос может рассматриваться как система, состоящая из

механической и электрической части, каждая из которых может в свою очередь разбиваться на элементы (детали). В то же время в насосной станции насос является элементом, а в системе водоснабжения элементом может считаться насосная станция. Система может состоять из одинаковых или разных элементов.

Экспериментально, путем испытаний, обычно определяются показатели надежности элементов. А показатели надежности систем вычисляются в зависимости от вида соединения элементов (структуры, конфигурации) в системе. Бывают два вида соединений: последовательное и параллельное.

Последовательное соединение n элементов в систему характеризуется тем, что выход из строя одного любого элемента приводит к выходу из строя всей системы (рис. 2.1).

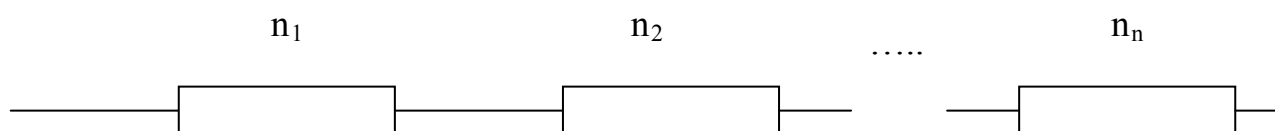


Рис. 2.1. Последовательное соединение элементов в системе

При *параллельном* соединении n элементов к отказу системы приведет отказ всех элементов (рис. 2.2).

Систему с параллельным соединением называют также системой со структурным резервированием элементов (резервированной). Возможны также системы с комбинированием обоих видов соединений.

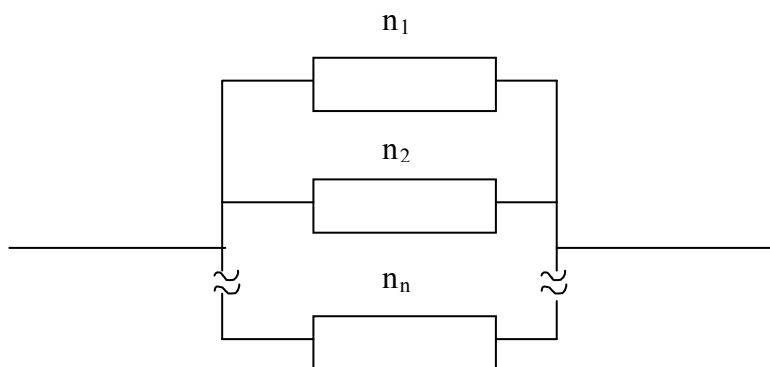


Рис. 2.2. Параллельное соединение элементов в систему

Повышение надежности систем может быть достигнуто двумя путями:

1. Повышение надежности и качества элементов, из которых состоит

система. Здесь подразумевается использование более качественных труб, материалов, оборудования, повышение качества строительно-монтажных работ, квалификации обслуживающего персонала. Этот путь наиболее предпочтителен.

2. Резервирование (дублирование) элементов систем. Это позволяет получить систему более надежную, чем надежность составляющих ее элементов.

2.4. Показатели надежности невосстанавливаемых элементов

При оценке показателей следует иметь в виду, что если испытываются N_o однотипных объектов (элементов), то испытания считаются законченными при отказе всех объектов. При этом вместо отказавших элементов новые или отремонтированные не ставятся. Надежность оценивается следующими параметрами.

1. **Вероятность безотказной работы $P(t)$** - это вероятность того, что в заданных условиях эксплуатации в течение определенного промежутка времени t не произойдет ни одного отказа элементов. Записывается это следующим образом:

$$P(t) = P(T > t), \quad (2.2)$$

где t - промежуток времени, в течение которого определяется вероятность безотказной работы;

T - время работы объекта (элемента) до первого отказа

Иногда $P(t)$ называют функцией надежности или коэффициентом безотказности.

Вероятность безотказной работы по статистическим данным наблюдений за отказами оценивается по формуле:

$$P(t) = \frac{N_o - n_t}{N_o}, \quad (2.3)$$

где N_o - количество однотипных объектов в начале периода испытаний t (например, число однотипных насосов, машин и т.д.);

n_t - число отказавших за время t элементов.

Индекс $P(t)$ означает, что это статистическая оценка, а не сам параметр, так как для получения значения параметра необходимо, чтобы $N_o \rightarrow \infty$. Всегда $P(t) \leq 1$. Например, если через один год после начала работ из 500 единиц оборудования отказало 100, то

$$P(t) = \frac{500 - 100}{500} = 0,8.$$

2. Вероятностью отказа $Q(t)$ называется вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в течение заданного интервала времени T возникает хотя бы один отказ. Отказ и безотказная работа являются несовместимыми и противоположными событиями. Вероятность отказа представляет собой разницу

$$Q(t) = 1 - P(t). \quad (2.4)$$

Для вычисления вероятности отказа по данным наблюдений используется формула

$$Q^*(t) = \frac{n_t}{N_o}. \quad (2.5)$$

Для условий примера в п.1 вероятность отказа

$$Q^*(t) = \frac{100}{500} = 0,2.$$

3. Частота отказов $a(t)$ представляет собой отношение числа отказавших в единицу времени элементов к первоначальному числу элементов

$$a^*(t) = \frac{n_{\Delta t}}{N_0 \cdot \Delta t}, \quad (2.6)$$

где $n_{\Delta t}$ - число отказавших элементов в интервале времени Δt ;

Δt - величина временных интервалов, на которые разбит период наблюдения t . Очень часто Δt принимают равным одному году для сооружений и одному месяцу для оборудования; для насосов $\Delta t = 500$ часов. Период наблюдения t может быть принят равным сроку службы объекта. При этом в течение срока службы в каждом отрезке Δt может быть своя величина $a(t)$ частоты отказов.

По определению следует, что частота отказов представляет собой плотность распределения времени работы элемента или объекта до первого отказа, то есть

$$a(t) = f(t) = -pB(t) = QB(t). \quad (2.7)$$

и обратно

$$Q(t) = \int_0^t a(t)dt; p(t) = 1 - \int_0^t a(t)dt. \quad (2.8)$$

Частота отказов имеет размерность, обратную времени (1/год или 1/мес.).

4. Интенсивностью отказов $\lambda(t)$ называется отношение числа отказавших элементов в единицу времени к среднему числу элементов, исправно работавших в данный отрезок времени Δt .

$$\lambda(t) = \frac{n_{\Delta t}}{N_{cp} \cdot \Delta t}. \quad (2.9)$$

$$N_{cp} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}, \quad (2.10)$$

где N_i и N_{i+1} - число исправно работавших элементов в начале и конце отрезка времени Δt .

Интенсивность отказов также имеет размерность, обратную времени t (1/год), то есть шт./год.

Теоретически же интенсивность отказов представляет собой условную вероятность отказа элементов в интервале времени $(t; t + \Delta t)$ при условии, что до момента времени t элементы работали безотказно.

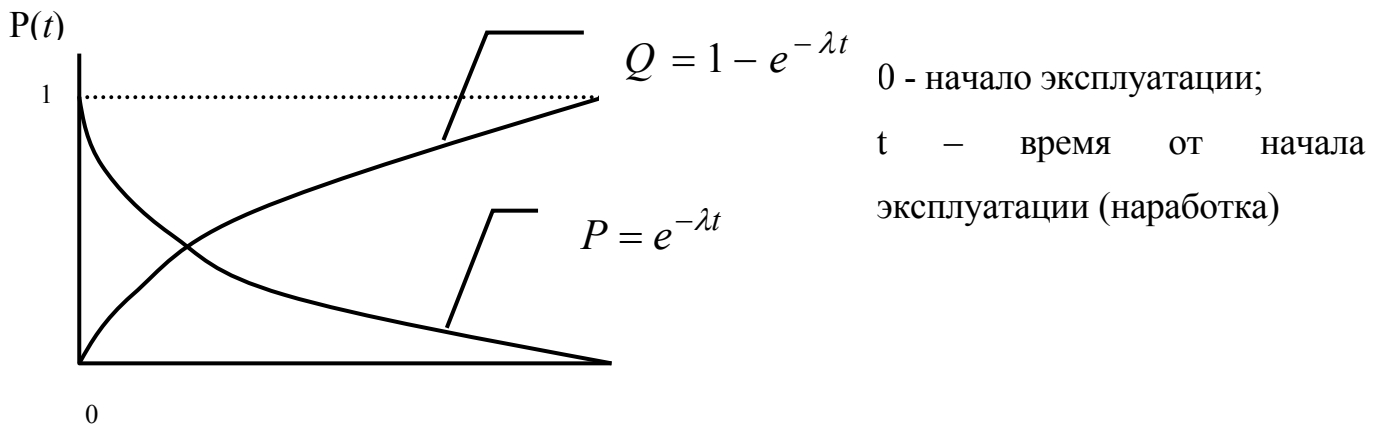
$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)} = \frac{f(t)}{P(t)} = -\frac{P'(t)}{P(t)} = -\frac{dP}{dtP(t)}, \quad (2.11)$$

$$\text{отсюда } \lambda(t)dt = -\frac{dP}{P(t)}; \int_0^t \lambda(t)dt = -\ln P(t). \quad (2.12)$$

Некоторые авторы предлагают называть $\lambda(t)$ опасностью возникновения отказов.

Интенсивность отказов и вероятность безотказной работы связаны между собой зависимостью

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}; \text{ если } \lambda = \text{const, то } P(t) = e^{-\lambda \cdot t}. \quad (2.13)$$



Таким образом, функция надежности подчиняется экспоненциальному закону.

Чем больше срок эксплуатации, тем ниже надежность элементов.

Вероятность появления m отказов за время t определяется по закону Пуассона

$$P_m(t) = \frac{(\lambda t)^m}{m!} e^{-\lambda t}. \quad (2.14)$$

$m=1,2,3 \dots n$

При $m=0$ получим вероятность безотказной работы $P(t) = e^{-\lambda t}$

5.Средней наработкой до первого отказа или средним временем безотказной работы T_{cp} называют величину

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt . \quad (2.15)$$

На практике величину T_{cp} определяют по формуле

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0} , \quad (2.16)$$

где t_i - время безотказной работы i -го элемента (до первого отказа).

Пример 2.4.1. При испытании 100 капельниц за 240 часов отказало 10 капельниц. Определите вероятность безотказной работы и вероятность отказа в течение 240 часов.

Решение. Вероятность безотказной работы равна

$$P(240) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = \frac{100 - 10}{100} = 0,9 .$$

Вероятность появления отказа

$$Q(240) = \frac{n(t)}{N_0} = \frac{10}{100} = 0,1 \text{ или}$$

$$Q(240) = 1 - P(240) = 1 - 0,9 = 0,1 .$$

Пример 2.4.2. Во время испытания системы капельного орошения, состоящей из 100 капельниц за первые 120 часов, отказали 9 капельниц, за интервал времени 120 -240 часов отказало еще 10 капельниц. Определите частоту и интенсивность отказа капельниц за интервал 120-240 часов.

Решение. Частота отказа

$$a(120 - 240) = \frac{n(\Delta t)}{\Delta t \cdot N_0} = \frac{10}{120 \cdot 100} = 8,3 \cdot 10^{-4} 1/час.$$

Интенсивность отказа

$$\lambda(120 - 240) = \frac{n(\Delta t)}{\Delta t \cdot N_{cp}} = \frac{10}{120(91 + 81)/2} = 9,6 \cdot 10^{-4} 1/час.$$

Пример 2.4.3. Во время испытания 100 капельниц за первые 120 часов отказало 9 капельниц, за интервал времени 120 -240 часов отказало еще 10 капельниц, а за интервал 240-360 часов - еще 10 капельниц. Определите вероятность безотказной работы за 120, 240 и 360 часов, среднюю частоту и интенсивность отказов капельниц за 360 часов.

Решение. Вероятность безотказной работы

$$P(120) = 1 - \frac{n(t)}{N_0} = 1 - \frac{9}{100} = 0,91.$$

$$P(240) = 1 - \frac{n(t)}{N_0} = 1 - \frac{19}{100} = 0,81.$$

$$P(360) = 1 - \frac{n(t)}{N_0} = 1 - \frac{29}{100} = 0,71.$$

Частота отказа

$$a(360) = \frac{n(\Delta t)}{\Delta t \cdot N_0} = \frac{10}{120 \cdot 100} = 8,3 \cdot 10^{-4} 1/час.$$

Интенсивность отказа

$$\lambda(360) = \frac{a(t)}{P(t)} = \frac{8,3 \cdot 10^{-4}}{0,71} = 11,7 \cdot 10^{-4} 1/час.$$

Пример 2.4.4. Грузоподъемное устройство состоит из пяти приборов. Отказ любого из элементов приводит к отказу всей системы. При обследовании установлено, что первый прибор отказал два раза в течение 360 часов работы, второй - три раза в течение 500 часов, третий и четвертый - один раз в течение

280 часов, пятый - четыре раза в течение 150 часов. Определите наработку на отказ, если справедлив экспоненциальный закон распределения.

Решение. Интенсивность отказа приборов

$$\lambda_1 = \frac{n_1}{t_1} = \frac{2}{360} = 0,55 \cdot 10^{-2} 1/\text{час}.$$

$$\lambda_2 = \frac{n_2}{t_2} = \frac{3}{500} = 0,60 \cdot 10^{-2} 1/\text{час}.$$

$$\lambda_3 = \frac{n_3}{t_3} = \frac{1}{280} = 0,35 \cdot 10^{-2} 1/\text{час}.$$

$$\lambda_4 = \frac{n_4}{t_4} = \frac{1}{280} = 0,35 \cdot 10^{-2} 1/\text{час}.$$

$$\lambda_5 = \frac{n_5}{t_5} = \frac{4}{150} = 2,66 \cdot 10^{-2} 1/\text{час}.$$

Интенсивность отказа

$$\begin{aligned} \lambda_c &= \sum_{i=1}^N \lambda_i = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 = \\ &= (0,55 + 0,66 + 0,35 + 0,35 + 2,66) \cdot 10^{-2} = 4,51 \cdot 10^{-2} 1/\text{час}. \end{aligned}$$

Средняя наработка на отказ

$$t_{cp} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{4,51 \cdot 10^{-2}} = 22,1 \text{ час}.$$

Пример 2.4.5. Изменение пропускной способности фильтра подчиняется экспоненциальному закону с параметром $\lambda = 1,25 \cdot 10^{-4}$ 1/час. Определить вероятность безотказной работы системы, частоту отказов и среднюю наработку до первого отказа за 120 часов. Во время работы фильтр не регенерировался.

Решение. Вероятность безотказной работы фильтра

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-1,25 \cdot 10^{-4} \cdot 120} = 0,98.$$

Частота отказов

$$a(t) = \lambda(t) \cdot P(t) = 1,25 \cdot 10^{-4} \cdot 0,98 = 1,23 \cdot 10^{-4} \text{ 1/час.}$$

Наработка до первого отказа

$$T = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1,25 \cdot 10^{-4}} = 8000 \text{ час.}$$

Пример 2.4.6.. Тупиковая сеть состоит из 100 участков. Продолжительность эксплуатации сети - 10 лет и она подчиняется экспоненциальному закону с параметром $\lambda=0,25 \cdot 10^{-4}$ 1/час. Определить вероятность безотказной работы сети за 10 лет, частоту отказов и количество отказов при условии, что оно прямо пропорционально количеству участков.

Решение. Вероятность безотказной работы сети

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-0,25 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot 8760} = 0,99.$$

Частота отказов

$$a(t) = \lambda(t) \cdot P(t) = 0,25 \cdot 10^{-4} \cdot 0,99 = 0,25 \cdot 10^{-4} \text{ 1/час.}$$

Количество отказов

$$n(t) = N_0 \cdot Q(t) = 100 \cdot (1 - 0,99) = 1.$$

2.5. Показатели надежности восстанавливаемых элементов

В этом случае отказавшие элементы немедленно заменяются исправными (новыми или отремонтированными). Количественными характеристиками надежности являются: параметр потока отказов и наработка на отказ.

1. Параметром потока отказов $\omega(t)$ называется отношение числа отказавших элементов в единицу времени к числу испытываемых элементов при условии, что все вышедшие из строя элементы заменяются исправными.

$$\omega(t) = \frac{n_{\Delta t}}{N \Delta t}, \quad (2.17)$$

где $n_{\Delta t}$ - число отказавших элементов в интервале времени Δt ;

N - число испытываемых элементов;

Δt – величина интервала времени.

Иногда $\varpi(t)$ называют **средней частотой отказов**.

По определению $\varpi(t)$ близко по смыслу величине $\lambda(t)$, однако теоретически доказано, что $\varpi(t) = \lambda(t)$, только при $\lambda(t) = const$. В технике зачастую эти параметры не разделяются, что может привести к заметным ошибкам, несмотря на их близость. Тем не менее, в практике расчетов надежности понятие «интенсивность отказов» применяется и для восстанавливаемых изделий вместо параметра потока отказов. Многочисленные опытные данные показывают, что функция $\lambda(t)$, имеет три характерных периода (рис. 2.3.).

Первый период от 0 до T_n , является периодом приработки когда отказывают те элементы, которые имеют серьезные дефекты. Интенсивность отказов довольно велика, но быстро уменьшается. Время T_n называется периодом приработки.

Второй период от T_n до T_u называют периодом нормальной работы. Он характеризуется относительно небольшой постоянной величиной интенсивности отказов. Время T_u – называют временем начала старения и износа.

Третий период при $t > T_u$ является периодом усиливающегося старения и износа элементов. Срок службы элементов должен приниматься не более чем T_u . Тогда при небольшой величине периода приработки можно считать λ величиной постоянной, и отсюда можно считать $\varpi(t) = \lambda(t) = const$. Такая зависимость характерна для ремонтируемых и неремонтируемых изделий в большинстве технических систем.

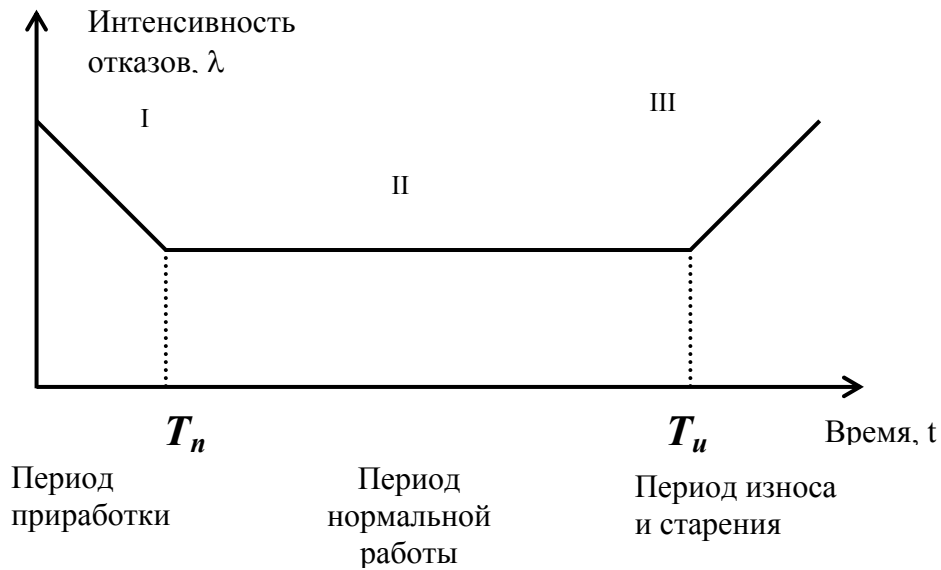


Рис. 2.3. Характерная зависимость интенсивности износа от времени эксплуатации

Зная величину $\omega(t)$ можно найти вероятность того, что за время t произойдет m отказов (по закону Пуассона).

$$P_m(t) = \frac{(\omega \cdot t)^m}{m!} e^{-\omega t} \quad (2.18)$$

$m=0,1,2,\dots, n$, при $m=0$ получаем $P(t) = e^{-\omega t}$, то есть обычную формулу для вероятности безотказной работы.

2. Нарботкой на отказ t_{cp} называют среднее значение времени работы элементов между соседними отказами.

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (2.19)$$

где t_{cp} — время исправной работы элемента между $(i-1)$ и i -м отказами;

n — число отказов за некоторое время t (период наблюдений).

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

$$t_{-p} = \frac{1}{\omega(t)}, \text{ при этом } \lim_{t \rightarrow \infty} t_{-p} = T_{-p}. \quad (2.20)$$

То есть наработка на отказ стремится к среднему времени безотказной работы T_{cp} .

Пример 2.5.1. При испытании установки было зарегистрировано 10 отказов. До начала испытаний установка проработала 200 часов. Общая наработка установки составила – 2000 часов. Определите среднюю наработку на отказ.

Решение. Продолжительность испытаний

$$t = t_1 - t_2 = 2000 - 200 = 1800 \text{ часов.}$$

Средняя наработка на отказ

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{1800}{10} = 180 \text{ часов.}$$

Пример 2.5.2. При наблюдении за работой трех оросительных установок было зарегистрировано: по первой установке – 10 отказов, по второй – 12, по третьей – 9. Нарботка первой установки составила – 200 часов, второй – 240 часов, третьей – 180 часов. Определите среднюю наработку на отказ для оросительных установок.

Решение. Общая наработка установок

$$t_{\Sigma} = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} t_{ij} = 200 + 240 + 180 = 620 \text{ часов.}$$

Общее количество отказов

$$n_{\Sigma} = \sum_{j=1}^N n_j = 10 + 12 + 9 = 31 \text{ отказ.}$$

Средняя наработка на отказ

$$t_{cp} = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} t_{ij}}{\sum_{j=1}^N n_j} = \frac{620}{31} = 20 \text{ часов.}$$

Пример 2.5.3. Для исследований на трубопровод установили 100 одинаковых разбрызгивателей. Конструкция разбрызгивателей позволяет производить их прочистку. Поэтому вышедшие из строя разбрызгиватели после прочистки возвращались в работу. В процессе испытаний установлено, что в первые 100 часов из строя вышло 10 разбрызгивателей, за период 100-200 часов – 12 разбрызгивателей, за период 200-300 часов – 9 разбрызгивателей. Определите вероятность безотказной работы за интервалы: 0-100, 100-200 и 200-300 часов.

Решение. Разбрызгиватели после ремонта возвращаются в работу, поэтому можно определить систему, как восстанавливаемую.

Вероятность безотказной работы системы

$$P_1(t) = 1 - \frac{n_1(t)}{N_0} = 1 - \frac{10}{100} = 0,9.$$

$$P_2(t) = 1 - \frac{n_2(t)}{N_0} = 1 - \frac{12}{100} = 0,88.$$

$$P_3(t) = 1 - \frac{n_3(t)}{N_0} = 1 - \frac{9}{100} = 0,91.$$

2.6. Показатели ремонтпригодности элементов

В технике довольно часто используют упрощенное определение восстанавливаемых и невосстанавливаемых элементов (объектов).

Восстанавливаемым объект считается в том случае, если проведение восстановительных работ для него предусмотрено в нормативно-технической документации.

Невосстанавливаемый – для которого такое восстановление не предусмотрено.

В качестве параметров ремонтпригодности используются: вероятность восстановления, вероятность невосстановления, частота восстановления, интенсивность восстановления и время восстановления.

1. Вероятность восстановления $F_{\text{в}}(t)$ - это вероятность того, что в заданных условиях эксплуатации восстановление элемента будет закончено в течение

определенного (нормативного) промежутка времени t . Отсюда следует, что время τ от момента начала отыскания неисправности до ее устранения должно быть меньше или равно t . Записывается это следующим образом:

$$F_{\varepsilon}(t) = P(\tau \leq t). \quad (2.21)$$

От этого параметра производят другой – **вероятность невосстановления** за время t , это противоположный параметр.

$$V_{\varepsilon}(t) = 1 - F_{\varepsilon}(t) = P(\tau \geq t). \quad (2.22)$$

На практике величины этих параметров вычисляют по результатам наблюдений или испытаний

$$F_{\varepsilon}(t) = \frac{n_{\varepsilon,t}}{N_{om}}; V_{\varepsilon}(t) = \frac{N_{om} - n_{\varepsilon,t}}{N_{om}}, \quad (2.23)$$

где N_{om} – количество однотипных элементов, подлежащих ремонту в течение времени t ;

$n_{\varepsilon,t}$ – число отремонтированных элементов за время t .

2. Частота восстановления $\nu(t)$ представляет собой плотность распределения продолжительности ремонта элементов до восстановления. На практике по данным испытаний ее определяют по формуле

$$\nu^*(t) = \frac{n_{\varepsilon,\Delta t}}{N_{om} \cdot \Delta t} \text{ теоретически } f_{\varepsilon}(t) = \frac{dF_{\varepsilon}}{dt}, \quad (2.24)$$

где $n_{\varepsilon,\Delta t}$ – число восстанавливаемых элементов в промежутке времени (интервале) Δt ;

Δt – величина временных интервалов, на которые разделен период ремонта элементов.

3. Интенсивность восстановления (скорость)

$$\mu(t) = \frac{n_{\varepsilon,\Delta t}}{N_{om,cp} \cdot \Delta t}, N_{om,cp} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}. \quad (2.25)$$

где $N_{om,cr}$ - среднее число подлежащих ремонту элементов в интервале времени Δt ;

N_i и N_{i+1} - число ремонтируемых элементов в начале и конце интервала Δt ;

Теоретически же

$$\mu(t) = \frac{f_{\epsilon}(t)}{1 - F_{\epsilon}(t)} = \frac{aF_{\epsilon}}{dt(1 - F_{\epsilon})}. \quad (2.26)$$

Размерность $\mu = [1/\text{год}; 1/\text{час}, 1/\text{с}]$. Вероятность восстановления связана с μ соотношением

$$F_{\epsilon}(t) = 1 - e^{-\int_0^t \mu(t) dt}; \nu(t) = \mu(t) \cdot e^{-\int_0^t \mu(t) dt}. \quad (2.27)$$

Величину $\mu(t)$ принято считать **основным показателем** ремонтпригодности элементов технических систем.

4. Среднее время восстановления T_{ϵ} представляет собой среднее арифметическое величин продолжительности ремонта t_{ϵ}

$$T_i = \frac{\sum_{i=1}^{N_{om}} t_{\epsilon i}}{N_{om}}, \quad (2.28)$$

где $t_{\epsilon i}$ - продолжительность восстановления i -го элемента.

Пример 2.6.1. При наблюдении за водопроводной арматурой было зафиксировано 10 отказов. Время восстановления составило: 12, 20, 15, 14, 5, 64, 14, 78, 12, 16 минут. Определите среднее время восстановления.

Решение. Среднее время восстановления системы

$$T_u = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{12 + 20 + 15 + 14 + 5 + 64 + 14 + 78 + 12 + 16}{10} = 25 \text{ мин.}$$

Пример 2.6.2. Время работы насосной станции и время восстановления подчиняются экспоненциальному закону с параметрами: $\lambda=1,2 \cdot 10^{-4}$ 1/час, $\mu=0,3 \cdot 10^{-2}$ 1/час, соответственно. Определите вероятность безотказной работы, вероятность отказа, среднее время безотказной работы и среднее время восстановления за два года эксплуатации.

Решение. Вероятность безотказной работы

$$P(2) = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-1,2 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 365 \cdot 24} = 0,12.$$

Вероятность отказа

$$Q(2) = 1 - P(2) = 1 - 0,12 = 0,88.$$

Среднее время безотказной работы

$$T = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1,2 \cdot 10^{-4}} = 8333 \text{ часов.}$$

Среднее время восстановления

$$T_u = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{0,3 \cdot 10^{-2}} = 333 \text{ часа.}$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Безотказность, долговечность и ремонтпригодность системы, характеристика их
2. Виды состояний, в которых могут находиться системы в зависимости от параметров элементов, их характеристика.
3. Отказ, его классификации.
4. Основные пути повышения надежности систем.
5. Показатели надежности невосстанавливаемых элементов.
6. Показатели надежности восстанавливаемых элементов.
7. Показатели ремонтпригодности элементов.

3. НАДЕЖНОСТЬ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

На надежность водозаборов влияют следующие факторы: время (продолжительность эксплуатации), метеорологические, гидрологические и гидрогеологические, биохимические и механические.

Фактор времени проявляется в старении сооружений и оборудования, цикличности изменения водопотребления в течение суток и по сезонам года.

Метеорологические факторы заключаются в изменении температуры воды и воздуха, появлении льда и шуги, изменений уровня и качества воды, перемерзании и пересыхании источников водоснабжения, наступлении паводков и т.д. Действию этого вида факторов наиболее подвержены поверхностные водозаборы.

Гидрологические и гидрогеологические факторы характеризуют изменение расходов поверхностных и подземных вод колебания качества воды, движение наносов и изменение свойств водоносных горизонтов.

К биохимическим факторам относят фитопланктон, зоопланктон, рыб и животных.

К механическим факторам относят судоходство, сплав леса, работу строительных механизмов, передвижения наносов и деформацию грунтов.

Надежность водозабора определяется надежностью (обеспеченностью) источника водоснабжения и надежностью сооружений и оборудования. **Надежность источника** зависит от обеспеченности расчетных расходов и уровней воды. Эти параметры нормируются в зависимости от категории водозаборов п. 5.80 СНиП 2.04.02-84. Категории водозаборов в общем соответствуют категориям систем водоснабжения.

Таблица 3.1. - Нормативы обеспеченности условий и расходов воды в поверхностных источниках водоснабжения

Параметры источников водоснабжения	Категории водозаборных сооружений по обеспеченности параметров		
	I	II	III
Обеспеченность (вероятность превышения) расчетных уровней воды в поверхностных источниках, %:	1	3	5
	97	95	90
максимальный уровень			
минимальный уровень			
Обеспеченность среднемесячных или среднесуточных расходов воды поверхностных источников, %	95	90	85

Эти цифры означают, что в водозаборе I категории максимальные уровни воды могут быть превышены только в 1% данных многолетних наблюдений, а минимальные уровни в реке могут быть ниже принятой отметки только в 3% наблюдений. Максимальный уровень необходим для определения отметки пола водозабора, а минимальный для определения оси насосов. Вероятностная оценка расходов воды в реке позволяет оценить соответствие источника заданной категории надежности водозабора.

Для получения упомянутых оценок строят кривые (гистограммы) повторяемости уровней воды и обеспеченности расходов. Распределение характеристик стока обычно достаточно хорошо соответствует биномиальному закону.

В принципе достаточно высокую надежность водоснабжения обеспечивает наличие двух независимых источников, лучше всего поверхностного и подземного.

Для подземных водозаборов надежность отбора воды из водоносных горизонтов обеспечивается резервированием скважин (п. 5.13. СНиП 2.04.02-84), хотя это не всегда гарантирует сохранение постоянного притока воды к ним.

Таблица 3.2 - Нормативы резервирования скважин подземных водозаборов

Количество рабочих скважин	Количество резервных скважин при категории водозабора		
	I	II	III
1-4	1	1	1
5-12	2	2	1
11-3 и более	20%	10%	-

После оценки надежности источника переходят к оценке надежности водозаборных сооружений. Она зависит от показателей надежности и ремонтпригодности элементов сооружений.

Водозаборные сооружения представляют собой обычную техническую систему и оценка надежности такой системы состоит из стандартных этапов.

1. Выполняют поверочные расчеты водозаборных сооружений с целью проверки соответствия действующей нормативно-технической документации.
2. Из состава сооружений выделяют расчетные элементы одинакового технологического назначения и составляется расчетная (структурная) схема для оценки надежности.

Таблица 3.3 – Показатели надежности элементов водозаборов (при $\delta=0,95$)
(δ -надежность данных)

Наименование элементов	Интенсивность отказов, $\lambda \cdot 10^4$ 1/час, 10^4 1/час·км			Интенсивность ремонтов $\mu \cdot 10^2$ 1/час
	$\lambda_{\min}$	$\lambda_{\text{ср}}$	$\lambda_{\max}$	
1. Водоприемники:				
раструбные	0,01	0,02	0,2	0,5
ряжевые	0,01	0,02	0,1	0,5
железобетонные	0,005	0,01	0,05	0,5
2. Самотечные линии:				
стальные трубы	0,1	0,25	0,40	0,5
железобетонные	0,2	0,40	0,60	0,5
3. Элементы скважин:				
а) обсадные трубы				
* стальные	0,1	0,12	0,16	0,5
* асбоцементные	0,3	0,80	0,90	0,5
б) фильтры:				
* проволочные	0,5	1,25	2,0	0,5
* каркасно-стержневые	0,2	0,30	0,5	0,5
* гравийные	0,1	0,2	0,3	0,5
в) скважинные насосы:				
* ЭЦВЧ-2,5-6,3	1	1,25	1,6	2
* ЭЦВЧ-4,130	1,2	1,4	1,6	2
* ЭЦВЧ-6,3-60	0,8	1,3	2,6	2
* ЭЦВЧ-10-110	0,9	1,5	3,6	2
* ЭЦВЧ-63-65	1,25	2,0	4	2
* ЭЦВЧ-120-160	2,0	2,5	4	2
4. Задвижки с электроприводом	0,1	0,6	1,0	4
5. Обратные клапаны	0,04	0,08	1,0	4
6. Резервуары	0,01	0,03	0,1	1

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Факторы, влияющие на надежность водозаборов.
2. Этапы оценки надежности работы водозаборных сооружений.
3. Параметры, влияющие на надежность источника.

4. НАДЕЖНОСТЬ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Насосные станции обеспечивают перекачку воды во многих коммунальных системах: водоснабжения и водоотведения, теплоснабжения и отопления. Состоит насосная станция из технологической и электрической частей. В технологическую (механическую) часть входят насосы, задвижки, обратные клапаны, трубопроводы; в электрическую - электродвигатели, пусковые и распределительные устройства, трансформаторы и т.д. Соответственно и отказы делятся на две группы:

- * отказы механической части;
- * отказы электрической части.

Из элементов электрической части и данном разделе будут рассмотрены лишь отказы электродвигателей. Насос с электродвигателем образуют насосный агрегат и в ряде изданий параметры надежности приведены для агрегатов. Продолжительность наработки насосов на отказ в значительной мере определяется износом вращающихся поверхностей, вибрацией, разбалансировкой, коррозией.

Распределение отказов механической части по группам деталей приведено на рис. 4.1 и 4.2.

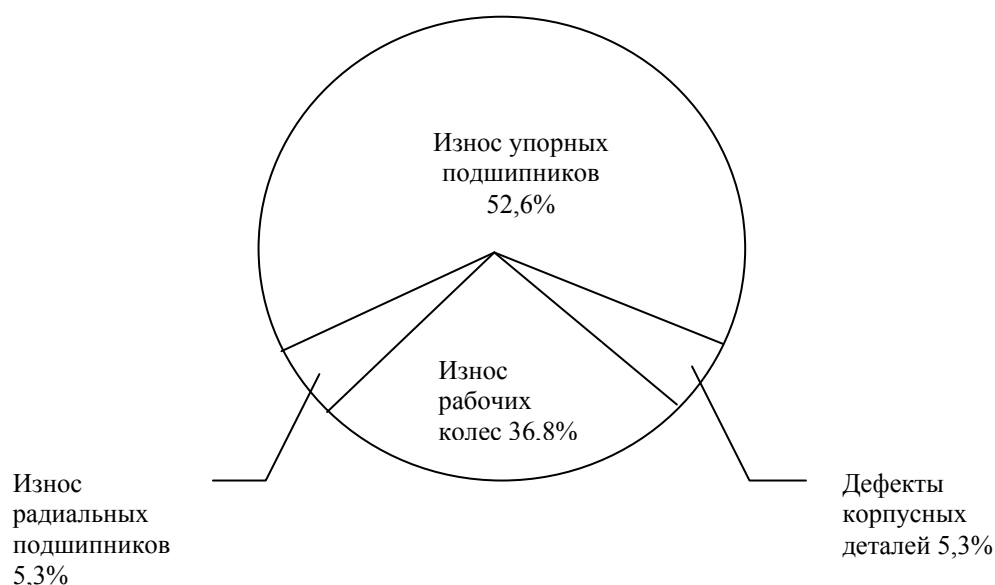


Рис. 4.1. Распределение отказов между элементами насосов типа ЭЦВ

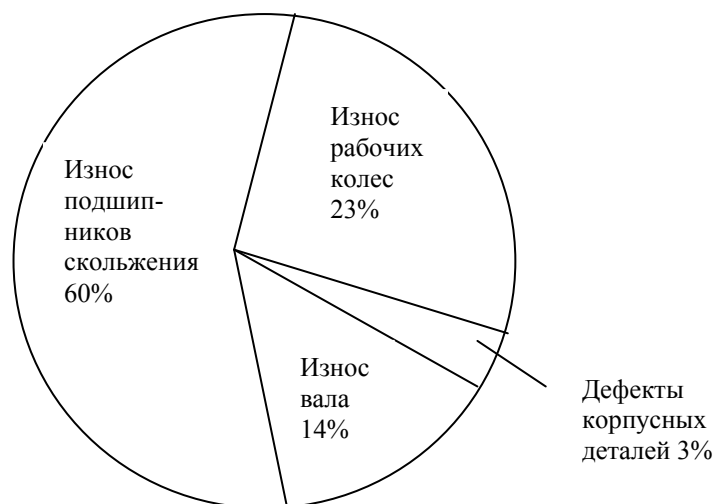


Рис. 4.2. Распределение отказов между элементами насосов типа НД и К



Рис.4.3. Распределение причин остановок насосных агрегатов систем теплоснабжения

В электрической части причинами отказа могут быть пробой изоляции ротора или статора электродвигателя, повреждение лабораторных уплотнений и т.д.

В зависимости от уровня нормативных требований к надежности подачи воды насосные станции делятся на три категории:

✱ насосные станции, которые с определенной доверительной вероятностью не должны допускать перерывов в подаче воды при расчетных режимах и продолжительности эксплуатации. По данным И.И. Науменко [1], допустимый уровень надежности рекомендуется принимать $P_{don}=0,9999$ (вероятность безотказного действия);

✱ станции, которые допускают с определенной вероятностью снижение расхода, напора, а также перерыв в подаче воды на время включения резервного энергоснабжения обслуживающим персоналом. Рекомендуется $P_{don}=0,99-0,98$ (перерыв 10 мин);

✱ станции, которые допускают с определенной вероятностью снижение расхода и напора, а также перерывы в ее подаче на время ликвидации аварии, но не более суток $P_{don}=0,96-0,90$.

Насосная станция является сложным техническим объектом, состоящим из большого количества элементов. Определение параметров ее надежности может производиться по стандартной процедуре для технических систем:

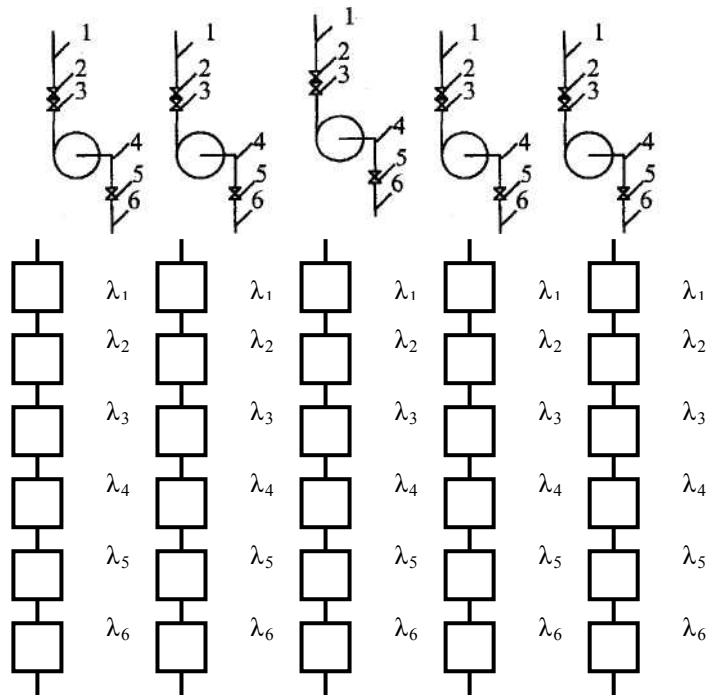
1. Выполнение поверочных расчетов насосной станции с целью определения соответствия ее нормативно-техническим требованиям с учетом категории надежности.
2. Составление расчетной (структурной) схемы насосной станции в зависимости от состава оборудования и обвязки насосов.
3. Составление формулы для расчета надежности насосной станции как технической системы в соответствии с ее структурой (аналогично водозаборным сооружениям).
4. Определение времени безотказной работы: $T_{cp\text{ HC}}$.
5. Сравнение этих величин с нормативами в соответствии с

категорией насосной станции. При необходимости предусматриваются меры по повышению надежности и после корректировки состава оборудования снова повторяется весь расчет.

6. Определение показателя качества функционирования коэффициента обеспеченности расхода ($\alpha \leq 0,7$) и β .

Пример 4.1. На насосной станции установлено 5 насосных агрегатов (4 рабочих и 1 резервный) типа 10Д-6. Насосная станция работает в автоматическом режиме и обслуживается одной ремонтной бригадой. Оцените вероятность безотказной работы системы в течение 1000 часов.

Решение. Насосные агрегаты резервированы способом замещения. Составим расчетную схему для насосной станции.



Интенсивность отказа элементов насосной станции: насоса типа 10Д-6 - $2,2 \cdot 10^{-4}$ 1/час, трубопроводов в пределах станции (элементы 1 и 6) - $0,9 \cdot 10^{-6}$ 1/час, задвижек (элементы 2 и 5) - $3,5 \cdot 10^{-6}$ 1/час, обратного клапана (элемент 3) - $0,9 \cdot 10^{-5}$ 1/час. Считаем, что все элементы новые. Элементы соединены последовательно и интенсивность отказа системы одного блока

$$\lambda_{c-1} = \sum_{i=0}^6 \lambda_i = 2,2 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 0,9 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 3,5 \cdot 10^{-6} + 0,9 \cdot 10^{-5} = 2,4 \cdot 10^{-4}$$

1/час.

Вероятность безотказной работы насосной станции

$$P(t) = (1 + 4\lambda \cdot t) \cdot e^{-4\lambda \cdot t} = (1 + 4 \cdot 2,4 \cdot 10^{-4} \cdot 1000) \cdot e^{-4 \cdot 2,4 \cdot 10^{-4} \cdot 1000} = 0,75$$

Найденное значение $P(t)$ свидетельствует о том, что в течение 1000 часов могут быть аварийные ситуации.

Пример 4.2. Определите количество насосных агрегатов на циркуляционной насосной станции третьей категории надежности, если станция должна обеспечить в течение 1000 часов подачу $800 \text{ м}^3/\text{час}$.

Решение. Примем три основных насоса Д320-70. Нарботка на отказ этих насосных агрегатов подчиняется закону Вейбулла с параметрами $a=4000$ часов и $b=1$. Время восстановления насосного агрегата подчиняется нормальному закону с параметрами: $t_b^1=90 \text{ чел.-ч.}$, $\sigma_b=60 \text{ чел.-ч.}$

Насосную станцию может обслуживать одна бригада из трех человек. Время восстановления насосного агрегата - 140 чел.-ч.

Вероятность безотказной работы насосного агрегата Д320-70 при законе Вейбулла

$$P_H(t) = e^{\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right]} = -\left(\frac{1000}{4000}\right)^1 = 0,78.$$

При нормальном законе вероятность восстановления насосного агрегата

$$P_\sigma(t_\sigma) = 0,50 + \Phi_0\left(\frac{t_\sigma - t_{\sigma_1}}{\sigma_\sigma}\right) = 0,50 + \Phi_0\left(\frac{140 - 90}{60}\right) = 0,77.$$

Вероятность безотказной работы насосного агрегата при восстановлении

$$P_{H\sigma} = P_H(t) + [1 - P_H(t)] \cdot P_\sigma(t_\sigma) = 0,78 + [1 - 0,78] \cdot 0,77 = 0,95.$$

Вероятность подачи 800 м³/ч тремя насосными агрегатами

$$P_{nc}(1000) = P_{ng}^3 = 0,95^3 = 0,86 < 0,9.$$

Следовательно, для обеспечения надежной работы станции необходимо резервирование. Пусть на насосной станции установлено 4 насосных агрегата (3 рабочих и 1 резервный типа Д320-70).

Вероятность безотказной работы станции

$$P_{nc}(t) = P_0^N + N \cdot P^{N-1}(1 - P_0) = 0,95^4 + 4 \cdot 0,95^3 \cdot (1 - 0,95) = 0,98 > 0,90.$$

Если в течение 1000 часов не планировать восстановления насосных агрегатов, то при одном резервном агрегате вероятность безотказной работы составит

$$P_{nc}(t) = P_0^N + N \cdot P^{N-1}(1 - P_0) = 0,78^4 + 4 \cdot 0,78^3 \cdot (1 - 0,78) = 0,79 < 0,90.$$

Следовательно, надежность подачи воды можно обеспечить при установке трех рабочих и одного резервного насоса типа Д320-70 (с восстановлением агрегатов).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Группы отказов насосных станций.
2. Отказы механической части по группам деталей.
3. Категории насосных станций в зависимости от уровня нормативных требований.
4. Схема определения параметров надежности насосной станции.

5. НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ВОДОВОДОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТА ВОДЫ

Причинами отказа водоводов являются следующие виды повреждений:

1. **Механические повреждения**, которые возникают при неправильном или небрежном производстве строительно-монтажных работ вблизи водоводов, ошибках в проектировании, наличии оползней и просадки грунтов. Возникновение

этих повреждений носит случайный характер.

2. **Коррозионные повреждения.** В наибольшей степени от коррозии страдают стальные трубы, на которых образуются сквозные щели - свищи размером от 2 до 40 мм.

3. **Разрывы швов (стыков)**, они возникают по следующим причинам:

- * прогиб трубопровода при осадке грунта, который обусловлен дефектами основания труб;

- * температурные напряжения, которые возникают в трубопроводе в осенне-зимний период, если температура при строительстве трубопровода значительно отличалась от температуры в указанный период.

4. **Отказы арматуры** возникают значительно чаще, чем отказы самих труб.

Например, для подземных стальных газопроводов распределение отказов между перечисленными видами повреждений состояния таковы:

- * отказы линейной части трубопроводов - 35,5%; при этом на повреждения сварных швов приходится 19,5%, коррозию - 28,9% и механические повреждения - 51,6% от данной части отказов; 35,5% принимаем за 100%;

- * отказы арматуры - 65,5% всех отказов, при этом на отказы задвижек приходится 65,8% от этого вида отказов (рис. 4.1).



Рис.5.1- Отказы трубопроводов газовой подземной сети из стальных труб.
Величины интенсивности отказов и ремонтов приведены в табл. 4.1.

Таблица 5.1. - Показатели надежности и ремонтпригодности трубопроводов (при уровне достоверности $\delta=0,95$)

Материал и диаметр трубопроводов (мм)	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^4, 1/\text{час} \cdot \text{км}$			Интенсивность ремонтов $\mu \cdot 10^2, 1/\text{час} \cdot \text{км}$
	$\lambda_{\min}$	$\lambda_{\text{ср}}$	$\lambda_{\max}$	
Трубы чугунные d: 100	0,9	1,02	1,14	1-4
150	0,75	0,92	1,09	1-4
200	0,70	0,87	1,05	1-4
300	0,55	0,70	0,85	1-4
400	0,50	0,62	0,74	1-4
500	0,47	0,52	0,57	1-4
600	0,44	0,48	0,53	1-4
Трубы стальные d: 100	0,18	0,29	0,40	2-4
150	0,16	0,25	0,35	2-4
200	0,15	0,22	0,30	2-4
300	0,12	0,18	0,20	2-4
400	0,11	0,15	0,18	2-4
500	0,10	0,13	0,15	2-4
600	0,10	0,12	0,14	2-4
700	0,10	0,12	0,13	2-4
800	0,10	0,11	0,12	2-4
900	0,10	0,105	0,11	2-4
Сетевые задвижки	0,10	0,15	0,80	1-4
Водоприемные камеры, резервуары насосной станции	0,01	0,03	0,10	4

Анализ данных этой таблицы позволяет уяснить, что чугунные трубы имеют интенсивности отказов в 3-4 раза больше, чем стальные трубы при одном и том же диаметре. В то же время интенсивность ремонта стальных труб выше, чем у чугунных. К сожалению, данные этой таблицы не учитывают меньшую долговечность стальных труб. Повышение величины интенсивности отказов чугунных труб обусловлено их хрупкостью.

Очевидно, что на трубопроводах малого диаметра отказы происходят чаще. Это подтверждается показаниями аварийности чугунных водоводов, проложенных в одну нитку (табл. 5.2.).

Таблица 5.2.- Показатели аварийности чугунных водоводов в одну нитку

Диаметр водовода, D, мм	Среднее число аварий за 1 год при длине водовода L, км			
	L =1	L =2	L =10	L =15
200 (при $\lambda \approx 0,92$ 1/км·год)	1	5	9	14
400 (при $\lambda \approx 0,65$ 1/км·год)	1	3	6	10
600 (при $\lambda \approx 0,46$ 1/км·год)	-	2	5	7
800 (при $\lambda \approx 0,37$ 1/км·год)	-	2	4	5

Можно сделать вывод, что устройство водоводов в одну линию без дополнительных мер по повышению надежности не обеспечивает бесперебойной подачи воды. Повышение надежности может достигаться тремя путями:

1.Временное резервирование путем устройства в конце водовода резервуаров с запасом воды на период ликвидации аварии.

2.Общее структурное резервирование в виде группы параллельно проложенных линий водоводов (основных и резервных, без перемычек), рассчитанных на транспортирование расчетного расхода воды,

3.Поэлементное резервирование, которое предусматривает разбивку параллельно проложенных водоводов на части секционными задвижками и резервирование каждого участка путем устройства перемычек между параллельно проложенными водоводами.

Рассмотрим особенности оценки параметров работы водоводов при

указанных путях повышения надежности.

При **временном резервировании** на водоводе в одну нитку в конце устраивают емкости (резервуары), причем они могут быть либо **активными** (напорными), либо **пассивными** (безнапорными) (рис.5.2).

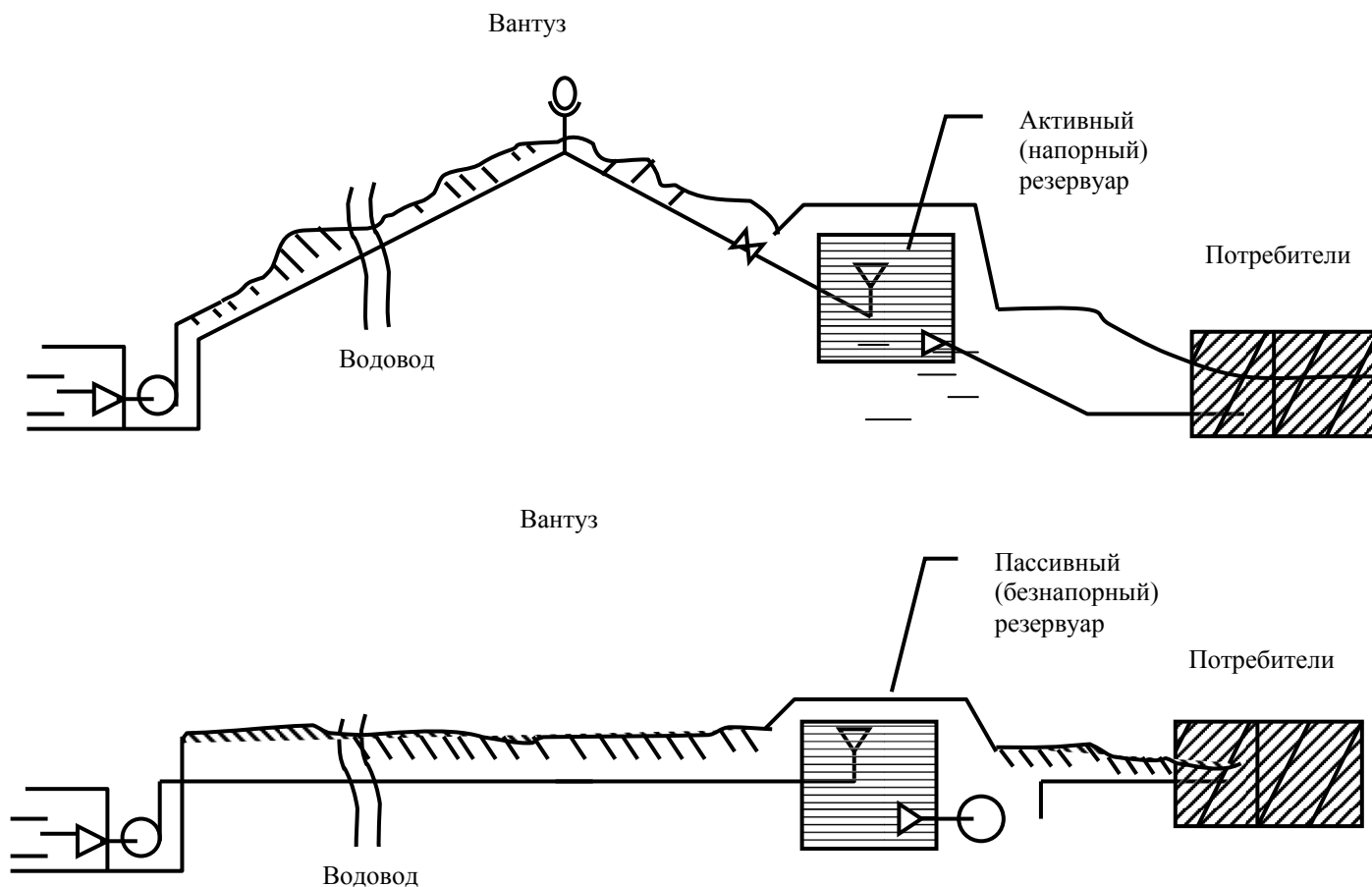
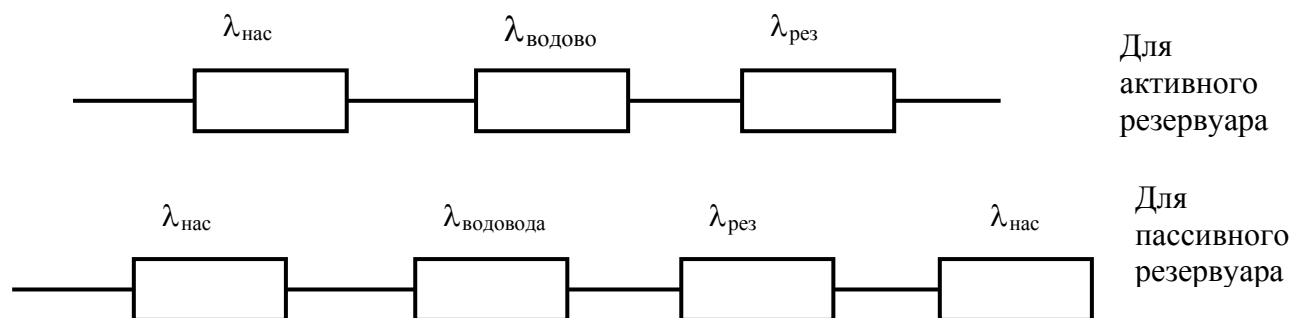


Рис.5.2. Схема временного резервирования с устройством в конце водовода резервуаров

Для оценки надежности составляется структурная схема системы.



Вероятность безотказного действия вычисляется как для системы с последовательным соединением элементов.

$$P(t) = P_{нас}(t) \cdot P_{водовода}(t) \cdot P_{рез}(t) . \quad (5.1)$$

Для активного резервуара $P(t) = e^{\lambda_0 L t}$ в λ_0 включены трубопровод и арматура.

Ю.А. Ильин рекомендует для расчетов использовать формулу

$$P(t) = e^{\frac{\alpha \gamma t}{1 + \gamma_1 + \gamma}}. \quad (5.2)$$

здесь $\gamma = \frac{\lambda}{\mu}$, λ и μ - интенсивность отказов и ремонтов водовода;

$$\alpha = \frac{\delta^2}{t_{don} [\delta^2 + (e^\delta - \delta - 1) \mu t_{don}]}, \quad (5.3)$$

$$\delta = \mu t_{don} - \lambda t_n$$

где t_{don} - время, на которое создан запас воды в резервуаре;

t_n - продолжительность пополнения резервуара после его опорожнения в случае аварии;

$$\gamma_1 = \frac{\alpha}{\mu}, \quad (5.4)$$

где t - расчетный период, за который оценивается надежность.

Установлено, что величина $P(t)$ сильно зависит от объема аварийного запаса воды, а отсюда - от t_{don} . В принципе, запас воды в резервуаре должен обеспечивать подачу воды в течение периода ликвидации аварии на водоводе в одну нитку. Согласно СНиП 2.04.02-84 п.8.4 расчетное время ликвидации аварии на водоводах систем водоснабжения 1 категории представлено в табл.4.3.

Для водоводов 2 и 3 категории продолжительность ликвидации аварии следует увеличивать в 1,25 и 1,5 раза. При необходимости дезинфекции водовода время увеличивается еще на 12 часов.

Таблица 5.3. - Продолжительность ликвидации аварий на водоводах 1 категории

Диаметр труб, мм	Расчетное время ликвидации аварий на трубопроводе, час, при глубине заложения труб	
	до 2 м	более 2 м
до 400	8	12
400-1000	12	18
более 1000	18	24

В табл. 5.4. показан характер изменения $P(t)$ в зависимости от аварийного запаса воды и расчетного времени t для оценки надежности. Оценки вычислены для водовода из стальных труб $D = 600$ мм при $\lambda = 0,12$ 1/км-год и продолжительности ремонта $t_p = 24$ часа, длина водовода 5 км.

Таблица 5.4. – Показатели надежности для водовода в одну нитку в зависимости от аварийного запаса воды

Расчетный период для оценки надежности, t , год	Вероятность безотказного действия $P(t)$ водовода в одну линию с резервуаром в конце с аварийным запасом воды на время $t_{дон}$ час				
	24 час	48 час	72 час	96 час	120 час
0,5	0,89	0,96	0,985	0,994	0,998
1	0,81	0,92	0,975	0,989	0,996
2	0,65	0,85	0,942	0,98	0,94

Очевидно, что только запас воды за 72 часа позволяет достичь $P(t)$ более 0,95 за один год. Это требует достаточно крупных капиталовложений, особенно при водоводах большой производительности. Кроме того, система с резервуаром в конце недостаточно надежна в периоды затруднений ремонтов (зимой, в паводок и т.д.). Считается, что схема с резервуаром в конце экономична только для водоводов большой длины.

При прокладке водоводов в несколько линий без перемычек (структурное или общее резервирование) все линии равномерно участвуют в подаче вод (нагруженный резерв). При этом часть водоводов считаются рабочими, а другая часть – резервными.

Расчетами показано, что устройство водоводов в несколько линий без перемычек и ремонтов обеспечивает необходимый уровень надежности ($\approx 0,95$) только при небольшой длине трубопроводов (до 0,5-1 км).

Пример 5.1. От насосной станции до предприятия (3 категория надежности) запроектирован водовод с резервуаром в конце сети. Объем резервуара – 500 м^3 . Расход, подаваемый на предприятие, - $41,6\text{ м}^3/\text{час}$. В подаче воды допускаются перерывы, продолжительностью до 24 часов. Водовод запроектирован из стальных труб диаметром 200 мм длиной 3 км, удельное сопротивление водовода – $6078\text{ с}^2/\text{см}^5$ на 1 м трубы. Интенсивность отказа трубопровода – 0,26 1/год на 1 км. Средняя продолжительность ремонта водовода – 12 часов, $\gamma=1,8\cdot 10^{-3}$, $\alpha=6,53\cdot 10^3$. Определите, будут ли перерывы в подаче воды превышать 12 часов.

Решение. Интенсивность отказа водовода

$$\lambda_{\text{в}} = L \cdot \lambda_0 = 3 \cdot 0,26 = 0,78 \text{ 1/год}.$$

Полное сопротивление водовода

$$S = L \cdot s = 3 \cdot 6078 = 18234\text{ с}^2/\text{см}^5.$$

Определим вероятность безотказной подачи воды к предприятию при условии, что перерывы в течение года не будут превышать 12 часов

$$P(t) = \exp - \left\{ \frac{\alpha \cdot \gamma \cdot t}{1 + \gamma_1 + \gamma} \right\} = \exp - \left\{ \frac{6,53 \cdot 10^{-3} \cdot 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot 8760}{1 + 0,156 + 0,0018} \right\} = 0,9.$$

Полученное значение вероятности свидетельствует о том, что перерывы в системе будут превышать 12 часов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Виды повреждений, являющиеся причинами отказа водоводов.
2. Пути повышения надежности водоводов.
3. Факторов, влияющие на продолжительность ликвидации аварий на водоводах I категории.

6. НАДЕЖНОСТЬ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Система распределения воды по территории объекта водоснабжения является конечным звеном системы водоснабжения. Сеть испытывает непосредственное влияние режимов отбора воды потребителями. Процесс отбора воды из сети осуществляется в огромном количестве точек и при расчетах невозможно учесть истинную картину водоразбора. Поэтому условно водоразбор считается отнесенным к узлам сети, независимо от конфигурации (кольцевая или тупиковая).

При выборе конфигурации сети необходимо учитывать следующие требования:

1. Сеть должна обеспечивать подачу воды ко всем потребителям.
2. Выбранная конфигурация сети должна гарантировать минимальные затраты на ее строительство и эксплуатацию.
3. Сеть должна соответствовать заданной категории надежности подачи воды.

Возможны три варианта конфигурации сетей:

- а) простые (нерезервированные) тупиковые сети в виде разветвленного дерева;
- б) двойные (дублированные) тупиковые сети;
- в) кольцевые сети.

Простая тупиковая сеть (рис. 6.1) обладает наименьшей стоимостью. Однако она обладает низкой надежностью, так как к каждой точке водоразбора ведет только один путь.

Между тем для обеспечения надежности необходимо не менее двух путей. Резервирование путем дублирования – обеспечивает высокую надежность, но требует высоких затрат. Поэтому дублирование в тупиковых сетях применяют редко.

Наиболее рациональным представляется кольцевая водопроводная сеть, которая обеспечивает подачу воды не менее чем с двух сторон к любому узлу сети. Таким образом, кольцевание сети уже обеспечивает резервирование путей подачи воды.

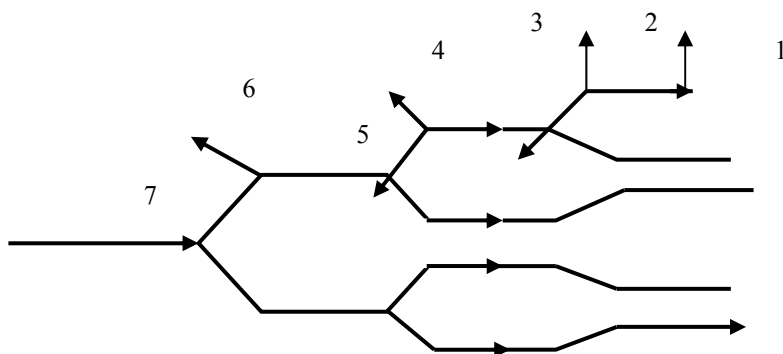


Рис. 6.1. Схема тупиковой сети

При кольцевании узлов их можно обойти цепочкой участков, которые замкнутся в кольцо. Таким образом, для обеспечения структурного резервирования достаточно объединить узлы одним кольцом. Многокольцевые схемы незначительно повышают надежность сети, однако требуют увеличения капитальных вложений. Однако в однокольцевой сети диаметры труб на всех участках сети должны быть одинаковы и назначены по максимальному расходу. Поэтому на конечных участках однокольцевая сеть имеет большой резерв пропускной способности на случай аварии. В многокольцевых сетях этот резерв пропускной способности, а значит и в диаметрах труб, меньше. Поэтому многокольцевая сеть зачастую экономически выгоднее. Состоит многокольцевая сеть из магистральных линий и перемычек. Если город имеет вытянутую форму, то магистрали выражены ярко, а если нет, то есть имеет обезличенную конфигурацию (рис. 6.2).

Основную нагрузку по распределению воды по площади объекта несут магистрали, а перемычки играют значительную роль в случае аварий. К магистралям и перемычкам примыкают распределительные (второстепенные) линии, которые непосредственно осуществляют отдачу воды во внутренние водопроводы зданий. Таким образом, структура кольцевой сети обладает высокой степенью резервирования путей подачи воды, следовательно, и высокой надежностью. Подача воды к каждому узлу возможна не менее чем двумя путями. также очевидно, что сеть состоит из линий, принадлежащих к двум иерархическим уровням: **верхний** — магистрали и перемычки, **нижний** — распределительные (уличные) линии. Показатели надежности определяются для

линий верхнего уровня.

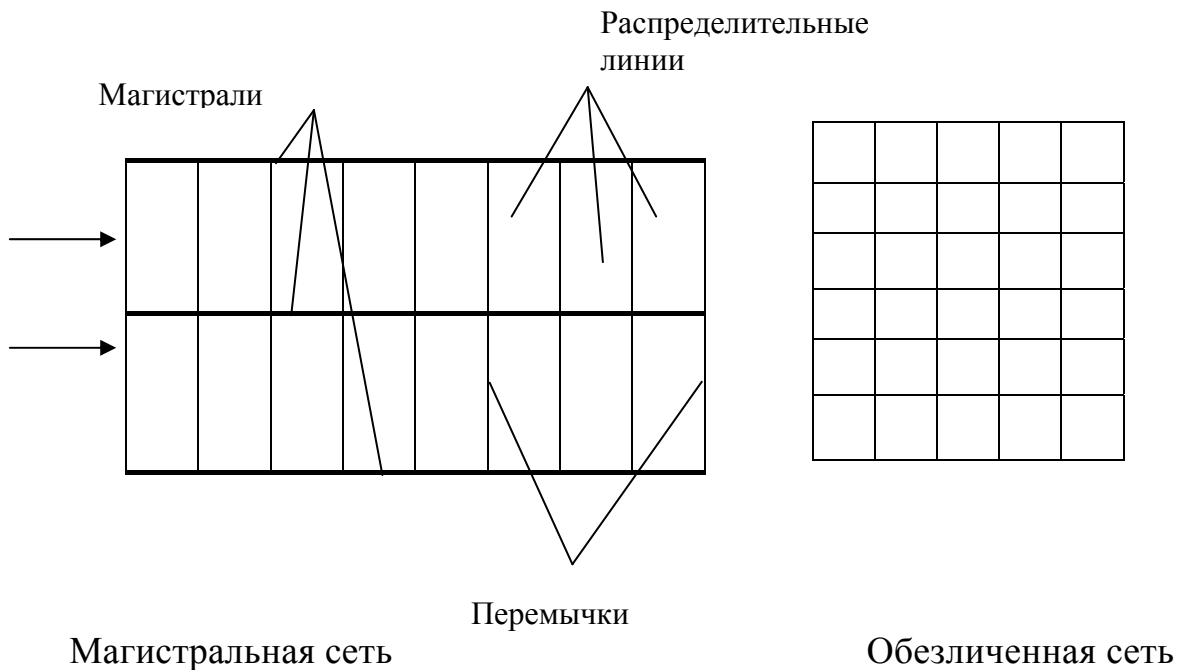


Рис. 6.2. Схемы вариантов конфигурации кольцевых сетей

Участки сети имеют различную значимость. Наиболее простым критерием значимости может считаться относительный (нормализованный) расход воды

$$q_{iN} = \frac{q_i}{Q}, \quad (6.1)$$

где q_i – расчетный расход воды через донный участок;

Q - общий расход воды, подаваемый в сеть.

Более объективным является критерий энергетической значимости, который учитывает скорость движения воды

$$q_{iэ} = \frac{q_i v_i}{Q \cdot v_o^2} = q_{iN} \cdot \left(\frac{v_i}{v_o} \right)^2, \quad (6.2)$$

где v_i - скорость движения воды на участке;

v_o – усредненная скорость, которую лучше принимать равной 1 м/с.

При расчетах надежности сети аварии надо предполагать на наиболее

значимых участках. Очевидно, что повышения надежности можно добиться, увеличивая количество участков сети, поскольку при этом уменьшается значимость каждого из них. Очень важно, чтобы подвод воды к кольцевой сети был выполнен в разные узлы сети, по возможности имеющим между собой значительное расстояние. Это также позволяет уменьшить расходы воды в магистралях и снизить их значимость при авариях (рис. 6.3.). Положительно сказывается также и некоторое завышение диаметров участков в пределах экономически наивыгоднейших диаметров. Это позволяет иметь резерв пропускной способности на случай аварий.

Сеть должна подвергаться поверочному гидравлическому расчету с аварийным отключением одного или нескольких участков, в зависимости от ее протяженности. Е.М. Гальперин рекомендует считать в среднем вероятным отключение одного участка на каждые 50 км сети. При аварии во всех узлах должны обеспечиваться необходимые расходы и напоры с учетом требуемых величин коэффициентов обеспеченности расхода α и напора β

($\alpha \geq 0,7$; $H_{\min} \geq 10\text{м}$).

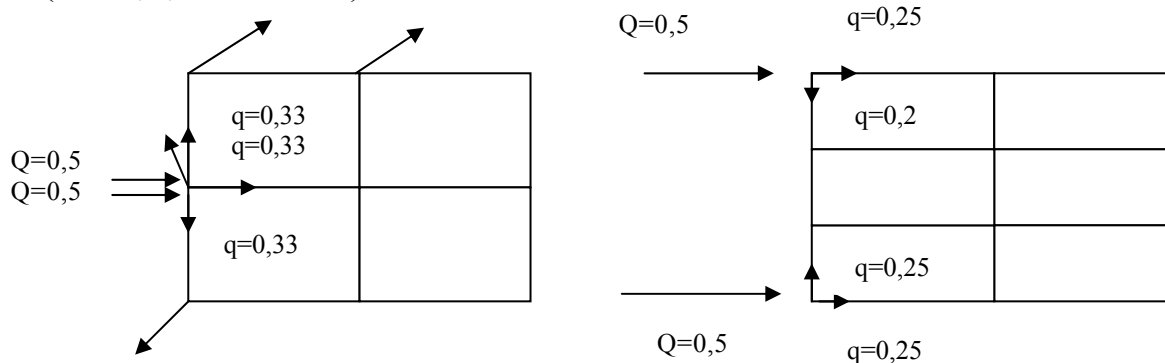


Рис. 6.3. Влияние точек ввода воды на расходы в магистралях

Весьма заметное влияние на надежность оказывает интенсивность и качество ремонтов, которые зависят от организации ремонтных работ. Возможны три формы такой организации:

децентрализованная, когда за каждым районом сети закрепляется конкретная бригада, которая ведет ремонты только в нем;

централизованная, при которой восстановительные работы ведутся всеми бригадами по всей территории объекта, они не имеют постоянно закрепленного

района действия;

смешанная, сочетающая обе формы.

Теоретически, с точки зрения надежности, централизованная форма предпочтительнее. Но в децентрализованной преимуществами является лучшее знание бригадой своих сетей, более высокое качество ремонта в связи с более высоким уровнем ответственности. Поэтому часто отдают предпочтение децентрализованной форме.

Для расчета надежности тупиковых сетей можно использовать стандартную методику. Для кольцевых сетей все обстоит сложнее, на надежность влияет много факторов. Иногда кольцевую магистральную сеть рассматривают как систему 2-4 параллельных водоводов с перемычками, но это не всегда возможно.

Наиболее простые формулы для расчета параметров надежности получаются при использовании теории систем массового обслуживания (СМО). Для сети, имеющей (n) участков, которую ремонтируют r бригад, вероятность того, что в сети будут выключены (k) участков, по Е.М. Гальперину, может быть вычислена по формулам

1) при $1 \leq k \leq r$, то есть отсутствии очереди на ремонт

$$P_k = \frac{n!}{k!(n-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \cdot P_o. \quad (6.3)$$

2) при $r \leq k \leq n$, то есть наличии очереди на ремонт

$$P_k = \frac{n!}{r! r^{k-r} (n-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \cdot P_o. \quad (6.4)$$

Рассмотренная схема соответствует требованиям всех потребителей к надежности подачи воды в течение расчетного срока эксплуатации.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Требования при выборе конфигурации сети.
2. Варианты конфигурации сетей, их характеристика.
3. Типы организации ремонтных работ сети.

7. НАДЕЖНОСТЬ ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Среднее количество воды, подаваемое очистными сооружениями с учетом надежности, может быть найдено по уравнению

$$Q = \frac{\mu}{\mu + \lambda} dt, \quad (7.1)$$

где Q - расход воды, подаваемой очистными сооружениями за единицу времени, например за 1 сут.

t - расчетный период для оценки работы сооружений, обычно $t=1$ год;

λ и μ - интенсивности ремонтов и отказов комплекса очистных сооружений.

Величины интенсивностей отказов и ремонтов для ряда сооружений приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1 - Показатели надежности очистных сооружений

	Наименование элементов очистных сооружений	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^4$, 1/час, при $\delta=0,95$			Интенсивность ремонтов $\mu \cdot 10^2$, 1/час
		$\lambda_{\min}$	$\lambda_{\text{ср}}$	$\lambda_{\max}$	
1.	Корпус безнапорных осветлительных фильтров, контактных осветлителей, отстойников.	0,02	0,05	0,15	0,5-1
2.	Дренаж фильтров:				
	✱ трубчатый	0,10	0,25	0,40	0,5-1
	✱ колпачковый	0,15	0,20	0,50	0,5-1
	✱ пористобетонный	0,5	0,15	0,30	0,5-1
3.	Напорные фильтры	0,5	0,10	0,20	1-2
4.	Барабанные фильтры (микрофильтры)	0,8	1,6	2,0	2
5.	Бактерицидные установки (лампы)				
	✱ ОВ-1П	2,0	2,5	4,0	10
	✱ ОВ-1П-РКС	2,0	2,0	4	10
6.	Хлораторы ЛОНИИ-100	0,20	0,80	1,25	10
7.	Контрольно-измерительные приборы	-	1,25	-	10
8.	Трубопроводы стальные внутри	0,01	0,04	0,13	6
9.	Задвижки с электроприводом	0,10	0,30	0,80	2,0

Для определения надежности всей станции воды необходимо сначала определить надежность каждого блока: смесителей, камер хлопьеобразования, отстойников и т.д. Методика определения надежности - стандартная, как для любой технической системы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Определение среднего количества воды, подаваемой очистными сооружениями, с учетом надежности.
2. Элементы очистных сооружений, имеющие наиболее высокую интенсивность отказов и ремонтов.

8. НАДЕЖНОСТЬ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Основными параметрами надежности здесь являются долговечность и частота аварий. На эти параметры влияет целый ряд факторов, которые перечислены в табл. 8.1. и 8.2.

Все перечисленные факторы, кроме гидрогеологических условий, могут задаваться проектировщиком. Таким образом, долговечность сетей на 85,4% находится в руках проектировщика.

Ряд факторов в обеих таблицах связан между собой. Так, коррозионное разрушение свода труб зависит от материала труб, системы проветривания, состава и скорости движения стоков. Истирание лотка также зависит от материала труб и скорости движения стоков.

Таблица 8.1. - Влияние различных факторов на долговечность канализационных сетей (по И.А. Абрамовичу)

№ п/п	Наименование факторов	Уровень значимости, %
1	Материал труб сети	18,2
2	Показатели качества (состав) сточных вод	17,6
3	Скорость движения стоков	14,8
4	Гидрогеологические условия	14,6
5	Система проветривания сети	11,2
6	Конструкция и качество заделки стыков	10,0
7	Разновидность системы канализации	7,0
8	Глубина заложения труб	6,6

Σ100

Таблица 8.2. - Влияние различных факторов на частоту аварий канализационных сетей

№ п/п	Причины аварий канализационных коллекторов	Доля аварий по данной причине, %
1	Коррозия свода труб сетей	24,0
2	Истирание лотка труб	22,0
3	Разрушение колодцев	21,0
4	Разрушение тела труб извне	18,0
5	Разрушение стыковых соединений	15,0

Σ100

Повысить надежность канализационных сетей возможно путем регулирования факторов, определяющих ее: применять более долговечные и совершенные материалы, снижать интенсивность коррозии, применять демпфирование и кольцевание, сетей.

Наиболее опасна коррозия для бетонных и железобетонных труб, вызывается она выделением сероводорода из сточных вод. Для снижения сероводородной коррозии необходимо производить облицовку железобетонных труб полимерными пленками, улучшать вентиляцию сети, устраивать дегазационные камеры в местах перехода напорных коллекторов в самотечные, либо использовать керамические или пластмассовые трубы.

Заметно повышает надежность кольцевание сетей, например, на верховых участках устраиваются перемычки, позволяющие перебрасывать стоки в случае аварии в другой коллектор. Еще больше повышается надежность при кольцевании низовых участков главных коллекторов глубокого заложения (в г. Харькове). Здесь закольцованы главные коллекторы диаметром 3,2 м, 2,5 м и 1,8 м. Переброска вод осуществляется за счет подпора при аварии.

Если кольцевание не возможно, то приходится наиболее ответственные коллекторы дублировать. Возможно также устройство аварийных резервуаров на насосных станциях для перекачки воды. Лучше использовать вертикальные канализационные насосы. Это обеспечивает незатопляемость электродвигателей.

Расчет надежности канализационных сетей, насосных станций и очистных сооружений может производиться по стандартной методике.

Пример 8.1. Для отвода сточных вод используют канализационную систему. Вследствие того, что в сточной воде содержится много взвешенных веществ, пропускная способность трубопроводов через шесть лет эксплуатации уменьшилась на 30% по сравнению с исходной. В ходе наблюдений установлено, что процесс уменьшения пропускной способности подчиняется экспоненциальному закону и его можно записать в виде

$$W = e^{-1,26 \cdot 10^{-3} \cdot t},$$

где W - общий сток;

t - время эксплуатации, сут.

За отказ системы условно принимают уменьшение пропускной способности сети на 50% по сравнению с исходной.

Определите время, в течение которого пропускная способность системы уменьшится не более чем на 10%.

Решение. Можно предположить, что в начальный момент времени пропускная способность трубопроводов была 100%, тогда в некоторый момент времени она уменьшилась на 30% , то есть

$$W = e^{-1.26 \cdot 10^{-3} \cdot t}, \text{ в начальный момент времени;}$$

$$0,9 \cdot W = e^{-1,26 \cdot 10^{-3} \cdot t} - \text{через некоторое время } t.$$

Тогда получим, что $t = 84$ дня.

Интенсивность отказа системы

$$\lambda_c = \frac{1}{365 \cdot 6} = 4,6 \cdot 10^{-4} \text{ 1/сут.}$$

Вероятность того, что пропускная способность через 84 дня уменьшится не более чем на 10% составляет

$$P(84) = e^{-\lambda_c \cdot t} = e^{-4.6 \cdot 10^{-4} \cdot 84} = 0,96.$$

Так как вероятность высокая, то для сохранения пропускной способности трубопроводов их необходимо промывать не реже чем один раз в три месяца.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Основные параметры надежности канализационных сетей.
2. Факторы, влияющие на долговечность канализационных сетей.
3. Факторы, влияющие на частоту аварий канализационных сетей.
4. Способы повышения надежности канализационных сетей

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Найманова А.Я., Насонкина Н.Г.и др.- Основы надежности инженерных систем коммунального хозяйства- Донецк: ИЕП НАН Украины, 2001.-152 с.
2. Душкин С.С., Куликов Н.И., Дрозд Г.Я. Эксплуатация водоотводящей сети.- Харьков: ХГАГХ, 1999.
3. Абрамов Н.Н. – Надежность систем водоснабжения М.: Стройиздат, 1984г. -216 с.
4. Абрамович И.А. Новая стратегия проектирования и реконструкции транспортирования сточных вод. – Харьков: Основа, 1996.
5. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.02.-84. М.: Стройиздат, 1985.
6. Канализация. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.03.-85. М.: Стройиздат, 1985.
7. Положение о проведении планово-предупредительного ремонта водопроводно-канализационных сооружений. - М.:Высш. шк., 1975.
8. Правила техники безопасности при эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения населенных мест. – М.: Стройиздат, 1979.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ.....	4
1.1. Наблюдение и оценка их результатов.....	4
1.2. Функции распределения плотности вероятностей.....	5
2. ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	8
2.1. Основные показатели и термины.....	8
2.2. Виды показателей (параметров) надежности.....	11
2.3. Структуры технических систем и общие принципы повышения надежности.....	11
2.4. Показатели надежности невосстанавливаемых элементов.....	13
2.5. Показатели надежности восстанавливаемых элементов.....	20
2.6. Показатели ремонтпригодности элементов.....	24
3. НАДЕЖНОСТЬ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	28
4. НАДЕЖНОСТЬ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ.....	31
5. НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ВОДОВОДОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТА ВОДЫ...	37
6. НАДЕЖНОСТЬ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ.....	44
7. НАДЕЖНОСТЬ ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ...	49
8. НАДЕЖНОСТЬ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СЕТЕЙ.....	51
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	54

Учебное издание

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НАДЕЖНОСТИ ВОДОПРОВОДНО-КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Раздел I. «Основы надежности инженерных систем» (Конспект лекций для студентов 3-5 курсов дневной и заочной форм обучения, экстернов и иностранных студентов специальности 7.092601 «Водоснабжение и водоотведение»)

Составители: Станислав Станиславович Душкин,
Мария Владимировна Солодовник,
Галина Ивановна Благодарная,
Олеся Викторовна Булгакова

Редактор: Н.З. Алябьев

Корректор: З.И. Зайцева

План 2006, поз. 379

Подп. к печати 15.03.06
Печать на ризографе
Зак. №

Формат 60x84 1/16
Усл.- печ. лист. 3,0

Бумага офисная.
Тираж 100 экз.

61002, Харьков, ХНАГХ, ул. Революции, 12

Сектор оперативной полиграфии при ИВЦ ХНАГХ
61002, Харьков, ул. Революции, 12