

Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»  
Факультет инженерных систем и экологии  
Кафедра теплогазоснабжения и вентиляции

СОГЛАСОВАНО

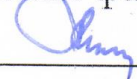
Заведующий кафедрой

 В.Г.Новосельцев

« 28 » 03 2025 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

 О.П.Мешик

« 28 » 03 2025 г.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ  
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
«ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ, БЕЗОПАСНО-  
СТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»**

7-06-0732-01 Строительство

Профилизация: Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воз-  
душного бассейна

Составители: Новосельцев Владимир Геннадьевич, доцент, к.т.н., зав. кафедрой  
теплогазоснабжения и вентиляции;

Новосельцева Дина Владимировна, доцент, к.т.н., доцент кафедры природообу-  
стройства

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического Совета  
протокол № 3 от 31.03. 2025г.

*реп. в УМК 24/25-214(a)*

## **Пояснительная записка**

### **Актуальность изучения дисциплины**

Учебная дисциплина «Теория и практика обеспечения надежности, безопасности и долговечности конструкций, зданий и сооружений» профилизации «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» относится к модулю «Надежность и долговечность» государственного компонента учебного плана магистратуры.

Цель преподавания учебной дисциплины:

Целью освоения учебной дисциплины «Теория и практика обеспечения надежности, безопасности и долговечности конструкций, зданий и сооружений» профилизации «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» является приобретение магистрантом знаний и умений, позволяющих проводить анализ и оценку риска при проектировании и эксплуатации производственных объектов.

Задачи учебной дисциплины:

Подготовка специалистов, владеющих знаниями теории надежности, умеющими на практике решать задачи проектирования с позиции надежности и быстро адаптирующимися к ожидаемому изменению норм проектирования в области строительства и систем теплогазоснабжения и вентиляции.

В результате изучения дисциплины магистрант должен:

знать методы теории надежности; основы надежности и долговечности строительных материалов, изделий и конструкций и систем ТГВ.

уметь проводить анализ и оценку риска при проектировании и эксплуатации производственных объектов и систем ТГВ.

владеть навыками пользования научно-технической литературой по теории надежности.

ЭУМК разработан на основании Образовательного стандарта для специальности 7-06-0732-01 «Строительство» и предназначен для реализации требований учебной программы по учебной дисциплине «Теория и практика обеспечения надежности, безопасности и долговечности конструкций, зданий и сооружений» для специальности 7-06-0732-01 «Строительство» (профилизации «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»). ЭУМК разработан в полном соответствии с утвержденной учебной программой по учебной дисциплине компонента учреждения высшего образования «Теория и практика обеспечения надежности, безопасности и долговечности конструкций, зданий и сооружений».

**Цели ЭУМК:**

- обеспечение качественного методического сопровождения процесса обучения;

- организация эффективной самостоятельной работы студентов.

Содержание и объем ЭУМК полностью соответствуют образовательным стандартам высшего образования специальности 7-06-0732-01 «Строительство»

(профилизации «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»), а также учебно-программной документации образовательных программ высшего образования.

Материал представлен на требуемом методическом уровне и адаптирован к современным образовательным технологиям.

**Структура электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Теория и практика обеспечения надежности, безопасности и долговечности конструкций, зданий и сооружений»:**

**Теоретический раздел ЭУМК** содержит материалы для теоретического изучения учебной дисциплины и представлен конспектом лекций.

**Раздел контроля знаний ЭУМК** содержит материалы для экзамена, позволяющие определить соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации образовательных программ высшего образования.

**Вспомогательный раздел** включает учебные программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине «Теория и практика обеспечения надежности, безопасности и долговечности конструкций, зданий и сооружений», список основной и дополнительной литературы.

Рекомендации по организации работы с ЭУМК:

- лекции проводятся с использованием персонального компьютера и мультимедийного проектора;
- при подготовке к экзамену используется конспект лекций, техническая основная и вспомогательная литература;
- экзамен проводится в письменном виде, вопросы для экзамена приведены в разделе контроля знаний.

## **ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ В КОМПЛЕКСЕ**

### **I ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ**

Тема 1 Некоторые положения теории надежности

Тема 2 Надежность распределительных систем газоснабжения

Тема 3 Надежность тепловых сетей

Тема 4 Надежность систем отопления

### **II РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ**

Вопросы к экзамену

### **III ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ**

# **I ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ**

## **ТЕМА 1 НЕКОТОРЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ**

- 1.1. Надежность. Свойства надёжности
- 1.2. Характеристика нарушений работоспособности изделий. Постепенные и внезапные отказы
- 1.3. Выбор свойств надежности
- 1.4. Вероятность безотказной работы
- 1.5. Вероятность безотказной работы сложной установки
- 1.6. Обеспечение заданной вероятности безотказной работы всей системы

## **ТЕМА 2 НАДЕЖНОСТЬ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ**

- 2.1. Особенности надёжности распределительных систем газоснабжения
- 2.2. Критерии надёжности распределительных систем газоснабжения
- 2.3. Пути повышения надёжности. Долговечность распределительных систем газоснабжения
- 2.4. Среднее число отказов, характеристика потока отказов, параметр потока отказов, наработка на отказ
- 2.5. Виды повреждений газопроводов и арматуры
- 2.6. Классификация повреждений и отказов элементов газовых сетей
- 2.7. Показатели надежности распределительных систем газоснабжения

## **ТЕМА 3 НАДЁЖНОСТЬ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

- 3.1. Повреждения элементов тепловых сетей и их причины
- 3.2. Критерии надёжности тепловых сетей
- 3.3. Показатели надёжности тепловых сетей
- 3.4. Повышение надёжности тепловых сетей. Резервирование и секционирование
- 3.5. Расчёт надёжности тепловой сети

## **ТЕМА 4 НАДЁЖНОСТЬ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ**

# ТЕМА 1 НЕКОТОРЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

## 1.1. Надежность. Свойства надёжности

*Надежность* – это свойство изделия (машины) сохранять в течение времени свою работоспособность, т. е. способность выполнять заданные функции при сохранении технических показателей в пределах, установленных нормативно-технической документацией.

Надежность является одним из основных показателей качества любого изделия, отражающим изменения, происходящие в нем на протяжении всего времени его эксплуатации, и не менее важный, чем его основная техническая характеристика.

Ненадежная машина не может эффективно функционировать, так как во время ее работы происходят остановки, в том числе и неожиданные, что влечет за собой материальные убытки, а в некоторых случаях и катастрофические последствия.

Надежность объекта определяется в основном четырьмя свойствами:

*безотказностью*, т. е. свойством объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки;

*долговечностью*, т. е. свойством объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта;

*ремонтпригодностью*, т. е. свойством объекта приспосабливаться к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений, поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов;

*сохраняемостью*, т. е. свойством объекта сохранять значения показателей безотказности, долговечности, ремонтпригодности во время хранения и (или) транспортирования и после.

Особенностью проблемы надежности является ее теснейшая связь со всеми этапами создания машины с момента, когда обосновывается идея создания машины, и до момента снятия ее с эксплуатации. При проектировании машины «закладывается» ее надежность, поэтому принимаются определенные конструктивные решения. При изготовлении машины обеспечивается ее надежность путем применения надлежащего технологического процесса и метода контроля и, наконец, при эксплуатации надежность машины реализуется, поэтому рациональное и совершенное создание машины возможно только при активном участии проектировщиков (конструкторов) и изготовителей (технологов).

## 1.2. Характеристика нарушений работоспособности изделий.

### Постепенные и внезапные отказы

*Работоспособность* – это состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных (выходных) параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией. Нарушение

работоспособности принято называть «отказом». Различные отказы ведут к разным последствиям – от незначительных отклонений в работе машины до аварийных ситуаций.

В основном различают два вида отказов: постепенные и внезапные.

*Постепенные* – износные отказы, возникающие в результате процесса старения, усталости, коррозии, эрозии. Вероятность возникновения таких отказов зависит от длительности предыдущей эксплуатации: чем длительнее наработка у изделия, тем больше вероятность возникновения отказа.

*Внезапные отказы* возникают в результате случайно появившихся внешних воздействий, сочетания неблагоприятных для работы факторов и являются, поэтому случайными.

Постепенные отказы возможно предусмотреть заранее и заблаговременно принять меры. Например, определенные части машины подвергаются во время работы эрозионному износу; можно определить, какой по толщине слой материала стирается за определенное время (как правило, это уже в некоторых случаях определено), и по этим данным установить, когда примерно подвергающиеся истиранию детали должны быть заменены.

Внезапные же отказы, которые обычно возникают без каких-либо предшествующих симптомов, предусмотреть практически невозможно, и поэтому они являются особенно опасными. Но, несмотря на эту, казалось бы, полную неизвестность, в большинстве случаев прогнозировать появление внезапных отказов все же возможно, как утверждается и обосновывается теорией вероятности, выявляющей закономерности, возникающие при взаимодействии большого количества случайных факторов.

Применение математики к изучению таких случайных явлений опирается на то, что в большинстве случаев при многократном повторении одного и того же явления в одних и тех же условиях частота появления какого-либо эффекта остается все время примерно одинаковой по отношению к общему числу явлений и близкой к некоторому постоянному числу; это постоянное число называется «вероятностью события».

Одной из дисциплин теории вероятностей является теория надежности, изучающая и разрабатывающая методы обеспечения эффективности работы объектов в процессе эксплуатации.

### **1.3. Выбор свойств надежности**

Некоторые из свойств надежности никак не зависят от проектирования систем и установок или, во всяком случае, зависят настолько мало, что можно с этим не считаться.

Например, *сохраняемость* – само определение этого свойства указывает, что оно зависит главным образом от качества изготовления и эксплуатации объекта и мало зависит от проектирования систем, если только оно ведется грамотно. Свойство *ремонтпригодности* также полностью решается при конструировании и изготовлении оборудования.

Весьма важным свойством любых систем является *долговечность*. Долговечность системы определяется долговечностью устанавливаемого в ней оборудова-

ния (она указывается в его технической документации), и поэтому проектирование систем, если только оно ведется грамотно, никак не влияет на долговечность оборудования и может только учитываться при определении примерного срока службы.

Рассмотрим теперь свойство *безотказности* – случаи, когда действуют внезапные отказы.

Следует отметить, что некоторые элементы систем ТГСВ очень подвержены внезапным отказам ввиду простоты своей конструкции и невысокой технологичности изготовления.

С увеличением времени эксплуатации системы увеличивается вероятность отказа её элементов, что может привести к существенному снижению или полной потере работоспособности.

В таких системах свойство безотказности приобретает большое значение, и его уже целесообразно учитывать на стадии проектирования систем и принимать меры к его повышению,

Таким образом, приведенный выше краткий анализ показывает, что единственным свойством из четырёх, которое можно и целесообразно учитывать и, если нужно, определять при проектировании систем ТГСВ, является безотказность.

Для ремонтируемых систем, последствия отказа у которых определяются невыполнением заданных функций и простоев, к которым относятся и системы ТГСВ, нормируемым показателем надежности должна быть безотказность.

#### 1.4. Вероятность безотказной работы

Показателем безотказности является так называемая *вероятность безотказной работы*  $P(t)$ , т. е. вероятность того, что в заданном интервале времени  $t$  нарушения работоспособности изделия не возникают, т. е. не произойдут внезапные отказы. Согласно теории, значение  $P(t)$ , как всякой вероятности, находится в пределах  $0 \leq P(t) \leq 1$ .

Если *вероятность появления отказа* обозначить через  $F(t)$ , то

$$P(t) + F(t) = 1. \quad (1)$$

Можно сделать вывод, что у машин, последствия отказа которых могут быть катастрофическими (летательные аппараты, военная техника, некоторое медицинское оборудование), показатель  $P(t)$  должен стремиться к единице; у машин, отказ работоспособности которых наносит только экономический ущерб, эта величина может быть ниже.

Получаемые значения вероятности безотказной работы не обязательно должны во всех случаях точно реализоваться, могут быть отклонения в обе стороны, т. е. в некоторых случаях фактическое число отказавших в работе превышает полученное по расчету, в других же случаях оно наоборот будет меньше. Но, согласно теории вероятностей, при большом числе изделий среднее значение не отказавших в работе будет, как правило, соответствовать расчетному.



Вероятность безотказной работы  $P(t)$  приобретает большое значение и на стадии проектирования системы, когда известны ее назначение, характер работы и параметры, которые она осуществляет. Определив его значение, можно прогнозировать срок появления отказа (с точностью, допустимой для теории вероятностей), что, естественно, важно для эксплуатационников, так как в этом случае они могут заблаговременно предусмотреть соответствующие меры.

Кроме этого, путем проведения некоторых мероприятий проектировщик может довести значение  $P(t)$  до любой величины и тем самым «заложить» в проект определенную степень надежности.

Вероятность безотказной работы проявляется в случаях, когда действуют внезапные отказы, причинами возникновения которых являются непредусмотренные внешние условия.

В теории надежности принято характеризовать обстановку, в которой имеют место эти отказы, термином *интенсивность отказов*.

*Интенсивность отказов*  $\lambda$  представляет собой вероятность возникновения отказа в единицу времени. Установлено, что во многих случаях интенсивность внезапных отказов почти не изменяется во времени, т. е.  $\lambda(t) = \text{const}$ .

Принимая  $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$ , получается так называемый экспоненциальный закон распределения отказов, и вероятность безотказной работы определяется по формуле

$$P(t) = \exp(-\lambda \cdot t) = e^{-\lambda \cdot t}, \quad (2)$$

Но, согласно теории надежности  $\lambda = \frac{1}{T}$ , тогда

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T}}, \quad (3)$$

где  $t$  — период наработки, т. е. заданный интервал времени, в течение которого изделие должно проработать без отказа, ч;

$T$  — наработка на отказ согласно техдокументации на данное оборудование, ч.

Экспоненциальный закон является наиболее распространенным, но не единственным. В технической литературе по теории надежностей приводятся более семи способов и формул расчета вероятности безотказной работы. Выбор того или иного способа зависит от конструкции изделия и характера процесса возникновения в ней отказов в работе.

Вероятность безотказной работы при распределении отказов по закону Вейбулла определяется по формуле:

$$P(t) = e^{-(t/a)^b}, \quad (4)$$

где

$a$  и  $b$  — коэффициенты, зависящие от характера возникновения отказов в работе.

Экспоненциальный закон вычисления вероятности безотказной работы дает наименьшие их значения, что уменьшает возможность превышения расчетного

значения вероятности по сравнению с фактическим. Поэтому он получил наибольшее распространение.

### 1.5. Вероятность безотказной работы сложной установки

Согласно теории надежности, вероятность безотказной работы сложной установки, состоящей из ряда *последовательно включенных элементов*, равна произведению вероятностей безотказной работы элементов:

$$P(t)_{\text{носл}} = P(t)_1 \cdot P(t)_2 \cdot \dots \cdot P(t)_m = \prod_{i=1}^m P(t)_i, \quad (5)$$

где

$P(t)_i$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента.

Исходя из того, что в большинстве случаев  $0 < P(t)_i < 1$ , то вероятность безотказной работы установки, состоящей из последовательно соединённых элементов ниже, чем отдельного элемента. Например, если установка состоит из трёх последовательно включённых машин, имеющих одинаковые вероятности безотказной работы  $P(t)_1 = P(t)_2 = P(t)_3 = 0,8$ , то вероятность безотказной работы установки  $P(t)_{\text{носл}} = 0,8^3 = 0,512$ , т. е. вероятность безотказной работы установки резко понизилась.

Надежность сложных установок повышается, если применить *одновременную параллельную работу* нескольких машин. В этом случае вероятность безотказной работы определяется следующим образом.

Пусть  $F(t)_i$  – вероятности отказа машин; отказ всей системы будет иметь место только при одновременном отказе всех машин, так как при отказе только некоторых машин остальные будут выполнять свои функции. Вероятность одновременного отказа всего комплекса машин по аналогии с формулой (5) равна:

$$F(t)_{\text{нар}} = F(t)_1 \cdot F(t)_2 \cdot \dots \cdot F(t)_m = \prod_{i=1}^m F(t)_i. \quad (6)$$

В таком случае вероятность безотказной работы всего комплекса машин будет равна:

$$P(t)_{\text{нар}} = 1 - F(t)_{\text{нар}} = 1 - \prod_{i=1}^m F(t)_i = 1 - \prod_{i=1}^m [1 - P(t)_i]. \quad (7)$$

В случае если все машины имеют одинаковые по величине вероятности безотказной работы  $P(t)$ , то эту формулу можно упростить:

$$P(t)_{\text{нар}} = 1 - [1 - P(t)]^m. \quad (8)$$

Например, если вероятность безотказной работы каждой машины  $P(t) = 0,8$  и число их  $m = 3$ , то  $P(t)_{\text{нар}} = 1 - [1 - 0,8]^3 = 0,992$ , т. е. вероятность безотказной работы резко повысилась.

### 1.6. Обеспечение заданной вероятности безотказной работы всей системы

Из формулы (3) видно, что вероятность безотказной работы объекта  $P(t)$  увеличивается (а надежность его естественно повышается) при уменьшении  $t$  и увеличении  $T$ . Следовательно, выбор оборудования с большим значением наработки на отказ  $T$  должен обеспечить и большее значение вероятности безотказной работы.

Для серийно выпускаемого оборудования величина  $T$  является фиксированной для каждой конструкции, она указывается в технической документации и является неизменной до тех пор, пока не будет осуществлена доработка конструкции по ее упрочению.

Как уже отмечалось выше, надежность сложных установок повышается, если применить одновременную параллельную работу нескольких машин.

Решим задачу обратного порядка, а именно: какое число машин, с одинаковой вероятностью безотказной работы, необходимо включить в параллельную работу, чтобы обеспечить заданную вероятность безотказной работы всей системы.

Делая элементарную перестановку и логарифмируя выражение (8), получим, что число необходимых параллельно работающих машин при заданных  $P(t)_{нар}$  и  $P(t)$ , равно:

$$m = \frac{\lg[1 - P(t)_{нар}]}{\lg[1 - P(t)]}. \quad (9)$$

Надежность установки также повышается, если использовать системы с так называемым «ненагруженным резервом», когда специально устанавливается резервная машина, включаемая в работу только при остановке какой-либо из основной. В этом случае имеем одну рабочую и  $n - 1$  резервных установок.

Тогда вероятность отказа

$$F(t)_{рез} = \frac{F(t)_1 \cdot F(t)_2 \cdot \dots \cdot F(t)_n}{n!} = \frac{\prod_{i=1}^n F(t)_i}{n!}, \quad (10)$$

где

$F(t)_i$  – вероятность отказа  $i$ -ой машины;

$n$  – общее число машин.

Вероятность безотказной работы установки определяется по формуле:

$$P(t)_{рез} = 1 - F(t)_{рез}. \quad (11)$$

[вернуться к оглавлению](#)

## ТЕМА 2 НАДЕЖНОСТЬ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

### 2.1. Особенности надёжности распределительных систем газоснабжения

Под *надёжностью распределительной системы газоснабжения* понимают способность транспортировать потребителям необходимые количества газа с соблюдением заданных параметров при нормальных условиях эксплуатации в течение определённого периода времени.

Характерной чертой распределительных газовых сетей является то, что они представляют собой системы длительного действия. Расчетное время, которое закладывается при обосновании надёжности, должно быть таким, чтобы за этот период не было существенной реконструкции систем, направленной на повышение её надёжности.

Другой отличительной особенностью распределительных систем является их социальный характер, так как они обслуживают людей и обеспечивают их нормальную жизнедеятельность.

Надёжность распределительной системы в целом определяет надёжность газоснабжения всех потребителей, включая бытовых потребителей.

Социальный характер систем заключается в том, что при аварийных отказах и прекращении подачи газа потребителям имеет место не только экономический, но и моральный ущерб. Экономический ущерб связан с нарушением работы коммунально-бытовых и промышленных предприятий. Моральный ущерб связан с нарушением работы систем отопления, которое приводит к снижению температуры воздуха в помещениях и нарушению нормальной жизнедеятельности людей. Прекращение подачи газа для приготовления пищи снижает жизненный тонус людей, нарушает ритм жизни и питания, что способствует заболеваниям и отрицательно воздействует на состояние организма человека.

Социальные последствия можно оценить лишь качественно.

Распределительные системы имеют двойственный характер. С одной стороны, исходя из социального значения газоснабжения, отказы системы необходимо считать принципиально недопустимыми. Системы должны работать непрерывно и безотказно. Отсюда необходимо устанавливать высокий уровень надёжности, который определяет структурное резервирование принципиальной схемы. При отказах элементов система переходит на аварийный гидравлический режим, газ подают большинству потребителей, но, учитывая кратковременность аварийной ситуации, его количество может быть уменьшено по сравнению с расчётным значением, что составляет вторую сторону характера системы. Лимит подачи газа в аварийных ситуациях определяет резерв мощности (пропускной способности) системы.

Следующей особенностью распределительных систем газоснабжения, определяющей специфический подход к решению проблемы надёжности, является ограниченные возможности резервирования. Газовые сети как высокого, так и низкого давления имеют ничтожно малую аккумулирующую способность (примерно 3÷4% максимально часовой пропускной способности).

Для сокращения ущерба при отключении потребителей от газовой сети в аварийных ситуациях необходимо так её запроектировать, чтобы недоподача газа была небольшая. Этого достигают путём секционирования сети на участки так, чтобы к каждому участку было присоединено ограниченное количество потребителей.

## 2.2. Критерии надёжности распределительных систем газоснабжения

В теории надёжности технических устройств основным понятием для оценки работоспособности элемента или системы является вероятностная оценка безотказной работы в течение заданного периода времени  $t$ . Следовательно, основное понятие синтезирует вероятностный и временной подходы к оценке надёжности. Продолжительность работы элемента определяется рядом случайных факторов, имевших место при проектировании, строительстве, приемке в работу, и факторов, воздействующих на него в процессе эксплуатации. Воздействие случайных факторов не поддается точному учету, поэтому детерминированная оценка времени работы заменяется вероятностной – законом распределения времени работы.

Основным критерием надёжности для невозстанавливаемых систем является *вероятность их безотказной работы* в течение заданного времени  $P(t)$ . Надёжность сложных технических систем оценивается вероятностным показателем, более полно характеризующим систему с точки зрения ее выходного эффекта, – *показателем качества функционирования системы*. Эти показатели и определяют необходимое структурное резервирование систем.

При аварийном гидравлическом режиме резервированных систем, когда из работы системы выключается какой-либо элемент, её пропускная способность падает, и наиболее неблагоприятно расположенным потребителям подача газа может быть недопустимо снижена. Такое положение приводит к отказу системы. Для исключения отказа производится расчет системы при наиболее напряженных гидравлических режимах, соответствующих отказам наиболее ответственных элементов. При гидравлических расчетах всем потребителям подается *допустимый лимит газа*, который является вторым детерминированным показателем при расчете надёжности. Лимит подачи газа обосновывается из анализа потребителей и определяет резерв пропускной способности системы.

## 2.3. Пути повышения надёжности. Долговечность распределительных систем газоснабжения

Существуют два основных пути повышения надёжности газоснабжающих систем.

Первый путь – это *повышение надёжности и качества элементов*, из которых состоит система. Этот путь реализуют при конструировании, изготовлении и приёмке элементов и узлов систем газоснабжения.

Второй путь – *резервирование*. Он используется, когда исчерпываются технические возможности повышения качества элементов или когда дальнейшее повышение качества оказывается экономически невыгодным. Резервирование необ-

ходимо, когда надёжность системы должна быть выше надёжности элементов, из которых она состоит.

Надёжность характеризуется *долговечностью* – свойством сохранять работоспособность до предельного состояния с допустимыми перерывами или без них при техническом обслуживании и ремонтах. Как отмечалось выше, распределительные системы газоснабжения являются системами длительного действия, причем длительность их работы на перспективу не устанавливается. Они существуют и развиваются, пока существует город или населенный пункт или пока для энергоснабжения города не будет использован другой энергоноситель, требующий иную систему распределения. Поэтому долговечность не может служить характеристикой надёжности системы газоснабжения.

*Долговечностью* характеризуют надёжность элементов системы: труб, арматуры, оборудования и пр. Срок службы элементов газовой сети выбирают таким, чтобы исключить фактор старения. Это вытекает из требований безопасности пользования системой. Так, в конструкции газопроводов имеются элементы (например, изоляция), которые стареют. Долговечность конструкции определяют по сроку службы наименее долговечного элемента. Для газопроводов срок службы выбирают таким, чтобы изоляция еще обеспечивала его достаточную защиту от коррозии. Таким образом, понятие долговечности не сказывается на обосновании схемы распределительной системы и выбора резерва. Долговечность определяет сроки между капитальными ремонтами.

#### **2.4. Среднее число отказов, характеристика потока отказов, параметр потока отказов, наработка на отказ**

Вообще *отказ элемента* – это нарушение его работоспособности, для восстановления которой необходим ремонт с отключением элемента из системы. Однако не всякое отключение элемента приводит к отказу системы. Поэтому под отказом элемента, исходя из условий работоспособности системы, будем понимать внезапный отказ, когда необходимо срочное отключение элемента. Такой отказ приведет к нарушению работы системы, к материальному и моральному ущербу.

Главные свойства отказов заключаются в том, что они представляют собой случайные и редкие события.

Рассмотрим основные характеристики ремонтируемых изделий. Предположим, что имеется возможность наблюдать за состоянием  $N$  одинаковых участков газопроводов, каждый из которых длиной  $l$  (км), или за состоянием  $N$  задвижек, установленных на газопроводах, в течение  $t$  лет. За это время на каждом участке газопровода или на каждой задвижке было обнаружено по  $m_i(t)$  повреждений (отказов), которые были устранены. В таком случае *среднее число отказов* до наработки  $t$  будет:

$$m_{cp}(t) = \sum_{i=1}^N \frac{m_i(t)}{N}. \quad (2.1)$$

В пределе при очень большом числе наблюдаемых объектов *получаем характеристику потока отказов*:

$$H(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^N \frac{m_i(t)}{N}. \quad (2.2)$$

Для газопроводов и их оборудования отсутствуют период приработки (уменьшение интенсивности отказов), так как возможные дефекты обнаруживают во время испытания при приемке и период старения (увеличение интенсивности отказов), так как из-за опасности, возникающей при отказах (утечка газа, образование взрывоопасных смесей, пожары и т. д.), срок службы элемента принимают до того момента, когда начинают сказываться его износ и старение. Тогда интенсивность отказов можно принимать постоянной, а функцию  $H(t)$  считать линейной:

$$H(t) = \omega \cdot t, \quad (2.3)$$

где

$\omega = \text{const}$  – параметр потока отказов (аналог интенсивности отказов). Его определяют экспериментально или из статистических данных повреждений, фиксируемых эксплуатирующими службами.

Величину, обратную параметру потока отказов  $T = 1/\omega$ , измеряемую в годах (часах), называют *наработкой на отказ*. Величина  $T$  – это среднее время работы элемента (участка газопровода, задвижки, компенсатора и т. д.) между отказами.

Параметр потока отказов газопроводов обычно относят к 1 км длины. В этом случае

$$\omega = \omega_2 \cdot l, \quad (2.4)$$

где

$\omega_2$

– параметр потока отказов, отнесенный к 1 км и измеряемый в 1/(год·км);

$l$  – длина газопровода, км.

Современный уровень строительства, контроля качества строительно-монтажных работ, а также эксплуатации газовых сетей обеспечивает весьма малую величину параметра потока отказов. Малая вероятность отказов газовых сетей является также следствием простоты их конструкций и статического режима работы, при котором они не несут предусмотренных расчетом знакопеременных и инерционных нагрузок. Отказы возникают при случайном совпадении повышенных нагрузок на ослабленных элементах, поэтому отказ является случайным и редким событием.

## 2.5. Виды повреждений газопроводов и арматуры

Основными видами повреждений распределительных газопроводов являются механические, коррозионные и разрывы сварных швов.

*Механические повреждения* подземных газопроводов обычно возникают при неправильном или небрежном производстве строительно-монтажных работ вблизи мест их прокладки, но определенная часть механических повреждений носит случайный характер, которую следует учитывать при расчетах надежности распределительных газовых сетей.

*Коррозионные повреждения* газопроводов возникают из-за коррозионного воздействия грунта или блуждающих токов. Активные коррозионные процессы

протекают в местах нарушения изоляции газопроводов. Нарушения изоляции являются следствием случайных дефектов, которые наблюдаются при ее нанесении, транспортировании труб или их укладке в траншею. Дефекты изоляции носят местный и случайный характер распределения по длине трубы. Возможность нескольких повреждений по длине окружности трубы является событием весьма маловероятным. Таким образом, дефекты изоляции можно рассматривать как случайные и редкие события, количество которых мало зависит от диаметра газопровода, и их можно считать лишь пропорциональными длине.

*Разрывы сварных швов* происходят при случайном совпадении пониженных сопротивлений швов из-за дефектов сварки и увеличенных нагрузок на трубопровод, обычно связанных с дефектами строительства. Для обнаружения дефектов качество сварки городских газопроводов контролируют физическими методами, однако контролю подвергают не все стыки. Но и при контроле могут оказаться случаи, когда дефектные швы будут незамеченными и в дальнейшем при перегрузках произойдет их разрушение. Сварные соединения разрушаются под действием напряжений, возникающих в трубопроводах в продольном направлении. Эти напряжения или не зависят от диаметра трубы, или указанная зависимость незначительна. Это положение подтверждают статистические данные, из которых следует, что параметр потока отказов газопроводов, вызванных разрывами стыковых соединений, не зависит от диаметра.

Практическая независимость параметра потока отказов  $\omega$  распределительных газопроводов от их диаметра имеет большое значение при выборе структурного резерва кольцевых сетей. Надежность в данном случае будет определяться только схемой сети и не будет зависеть от диаметров участков.

*Повреждения отключающей арматуры* подразделяют на два вида.

Первый вид повреждений характеризуется нарушением плотности перекрытия газа задвижкой и приводит к потере ее работоспособности. В результате возникает необходимость увеличивать длину участка газопровода и отключать большее число потребителей для производства ремонта на участке. Ко второму виду относят такие повреждения, которые приводят к утечкам газа через арматуру. Второй вид повреждений представляет наибольшую опасность, так как в результате утечек может произойти загазованность соседних зданий и сооружений.

## **2.6. Классификация повреждений и отказов элементов газовых сетей**

Выше были рассмотрены повреждения, влияющие на надежность систем, но не все повреждения требуют отключения элемента из сети для производства ремонта. Мелкие повреждения ликвидируют на действующей системе. Такие повреждения не сказываются на газоснабжении потребителей и, следовательно, не являются отказами. Если для производства ремонта поврежденного элемента его необходимо отключить от системы, то такое повреждение приводит к отказу элемента. Отказы элементов нерезервированных систем приводят к отказу системы. Если система резервированная, тогда отказ элементов может и не привести к отказу системы.

Учитывая изложенное, все повреждения элементов газовых сетей следует разделить на две группы:



1)

по-

вреждения, приводящие к отказу элемента и требующие его отключения для производства ремонта (трещины в сварных швах газопроводов и их разрывы; сквозные коррозионные повреждения труб размером примерно более 5 мм; трещины в корпусах задвижек и пробковых кранах; отрывы фланцев; утечки в фланцевых соединениях, требующие замены прокладок; разрывы сварных швов и коррозионные повреждения линзовых компенсаторов и корпусов конденсатосборников; разрывы газопроводов и оборудования, вызванные механическими повреждениями);

2)

мел-

кие повреждения, которые могут быть ликвидированы без снижения давления газа и отключения участка, т. е. не приводящие к отказу (несквозные коррозионные повреждения в виде каверн; мелкие сквозные повреждения размерами менее 5 мм; коррозионные свищи в сварных швах; утечки в сальниковых уплотнениях задвижек и кранов; утечки из кранов трубок конденсатосборников и коррозионные повреждения этих трубок).

Отказы элементов газовых сетей могут быть разделены на две неравные группы: *внезапные отказы и постепенные отказы*.

К внезапным отказам относятся такие крупные повреждения элементов систем, которые вызывают необходимость немедленного отключения участка. При установлении места такого повреждения сразу выявляют участок сети, который должен быть отключен, извещают всех потребителей, присоединенных к этому участку, о прекращении подачи им газа и участок отключают от газовой сети. К внезапным отказам могут привести и менее серьезные повреждения, если они расположены вблизи жилых и общественных зданий, при этом есть опасность попадания вытекающего газа в эти здания.

Для выявления значений показателей надёжности был проведён анализ повреждений на газовых сетях крупных городов и областных систем. На перспективу значение параметра потока отказов будет уменьшаться в связи с прогрессом технических решений, повышением качества строительных работ и эксплуатации, улучшением контроля качества строительства. Учитывая это, расчетные значения параметров потока отказов для проектируемых систем можно рекомендовать следующие:

- 1) для газопроводов  $\omega_p = 2 \cdot 10^{-3} \text{ 1/(км·год)}$ ;
- 2) для чугунных задвижек  $\omega_p = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ 1/год}$ ;
- 3) для стальных задвижек  $\omega_p = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ 1/год}$ ;
- 4) для кранов  $\omega_p = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ 1/год}$ .

## 2.7. Показатели надежности распределительных систем газоснабжения

Состояние системы в момент времени  $t$  определяется состоянием в этот момент ее элементов. При определенной совокупности исправных элементов система будет исправна в целом. При определенной совокупности отказавших элементов система будет в состоянии отказа в целом. Сложная техническая система ха-

рактерна тем, что наряду с двумя указанными выше крайними состояниями система может находиться в других, определенных состояниях, когда она будет обладать частичной работоспособностью. Переход системы из одного состояния в другое связан с отказом или восстановлением ее элементов.

Отказом системы будем считать такое ее состояние, когда хотя бы один потребитель отключен от сети и не получает газ. У нерезервированных систем отказ любого элемента приводит к отказу системы. У резервированных систем к отказу системы приводят только следующие виды отказов: 1) отказ участка, к которому между отключающими устройствами присоединены потребители; 2) отказ отключающего устройства; 3) двойной отказ элементов сети. В расчетах следует учитывать только первые два вида отказов, так как двойной отказ маловероятен.

*Показатель надежности системы газоснабжения  $R_{сист}(t)$*  определяется как отношение показателя качества функционирования реальной системы к показателю качества функционирования идеальной системы. Идеальная система всегда находится в исправном состоянии.

Характеристика качества функционирования определяется задачами системы. Главной задачей распределительной системы газоснабжения является ежечасная подача газа всем потребителям в соответствии с их потребностями или заранее установленными графиками. Поэтому за характеристику качества функционирования системы газоснабжения следует принять расчетный часовой расход газа, подаваемого потребителям.

Если обозначить расчетный расход газа через исправную систему  $Q_0$ , а неподачу газа отключенным потребителям – через  $\Delta Q_j(t)$ , тогда максимально-часовой расход газа через систему (характеристика качества функционирования):

$$Q_j(t) = Q_0 - \Delta Q_j(t), \quad (2.5)$$

где  $j$  – аварийное состояние.

Величина  $\Delta Q_j(t)$  определяется без гидравлических расчетов прямо по схеме, соответствующей рассматриваемой аварийной ситуации.

*Показатель надежности системы* (с учётом отказов задвижек) определяется по формуле

$$R_{сист}(t) = 1 - \left(1 - e^{-\sum \omega_i \cdot t}\right) \cdot \left(\sum_{уч. Q_0 \cdot \sum \omega_i} \frac{\Delta Q_j \cdot \omega_i}{Q_0 \cdot \sum \omega_i} + \sum_{зав. Q_0 \cdot \sum \omega_i} \frac{\Delta Q_j \cdot \omega_3}{Q_0 \cdot \sum \omega_i}\right). \quad (2.6)$$

Для отдельных, наиболее ответственных узлов может возникнуть задача оценки надежности снабжения их газом. Показатель для оценки надежности узла получается из показателя надежности системы с учетом следующих особенностей. Рассматриваются только те аварийные ситуации, которые приводят к перерыву газоснабжения узла, поэтому число таких ситуаций  $k$  будет равно числу элементов, отказы которых создают аварийные ситуации.

Показатель надежности узла будет равен:

$$R_{узла}(t) = e^{-\sum_{i=1}^k \omega_i \cdot t}, \quad (2.7)$$

где

равно числу элементов, отказы которых нарушают газоснабжение узла.

Показатель надежности узла является вероятностью безотказной подачи газа в узел.

Величина  $R_{сист}(t)$  полностью оценивает надежность как резервированной, так и нерезервированной системы. Но для резервированных систем этой оценки недостаточно.

Особенностью распределительных систем газоснабжения является то, что в периоды аварийных ситуаций, когда производится ремонт отключенного элемента, допустимо снижение качества системы, выражающееся в лимитированной подаче газа потребителям  $Q_{лим}$ , меньшей, чем расчетное значение. Величину  $Q_{лим}$  определяют в зависимости от характера потребителя и его энергоснабжения.

Детерминированный показатель надежности – *лимитированный расход газа*  $Q_{лим}$  определяет состояние отказа для резервированных систем. Если подача газа потребителю в аварийной ситуации  $Q_{ав}$  меньше  $Q_{лим}$ , тогда имеет место отказ системы. Величина детерминированного показателя определяет резерв мощности (пропускной способности) резервированной системы. Его определяют в результате расчета потокораспределения в системе при наиболее напряженных гидравлических режимах.

Таким образом, надежность резервированных систем определяется:

- 1) показателем надежности  $R_{сист}(t)$ , который определяет структуру системы;
- 2) детерминированным показателем  $Q_{лим}$ , который определяет резерв в диаметрах газовой сети.

[вернуться к оглавлению](#)

## ТЕМА 3 НАДЁЖНОСТЬ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

### 3.1. Повреждения элементов тепловых сетей и их причины

Повреждения участков теплопроводов или оборудования сети, которые приводят к необходимости немедленного их отключения, рассматриваются как отказы. К отказам приводят следующие повреждения элементов тепловых сетей:

- 1) трубопроводов: сквозные коррозионные повреждения труб; разрывы сварных швов;
- 2) задвижек: коррозия корпуса или байпаса задвижки; искривление или падение дисков; неплотность фланцевых соединений; засоры, приводящие к негерметичности отключения участков;
- 3) сальниковых компенсаторов: коррозия стакана; выход из строя грундбуксы.

Все отмеченные повреждения возникают в процессе эксплуатации в результате воздействия на элемент ряда неблагоприятных факторов. Причинами некоторых повреждений являются дефекты строительства.

Наиболее частой причиной повреждений теплопроводов является наружная коррозия. Количество повреждений, связанных с разрывом продольных и поперечных сварных швов труб, значительно меньше, чем коррозионных. Основными причинами разрывов сварных швов являются заводские дефекты при изготовлении труб и дефекты сварки труб при строительстве.

Причины повреждений задвижек весьма разнообразны: это и наружная коррозия, и различные неполадки, возникающие в процессе эксплуатации (засоры, заклинивание и падение дисков, расстройство фланцевых соединений).

Все рассмотренные выше причины, вызывающие повреждения элементов сетей, являются следствием воздействия на них различных случайных факторов. При возникновении повреждения участка трубопровода его отключают, ремонтируют и вновь включают в работу. Со временем на нем может появиться новое повреждение, которое также будет отремонтировано. Последовательность возникающих повреждений (отказов) на элементах тепловой сети составляет поток случайных событий – поток отказов.

### 3.2. Критерии надёжности тепловых сетей

Для систем теплоснабжения характерны следующие две черты. Первая – это принципиальная недопустимость отказов, которая вытекает из социального значения теплоснабжения. Вместе с тем, несмотря на высокие требования к надёжности, допустимо кратковременное снижение качества системы во время ремонта отказавшего элемента – это составляет вторую черту. Отмеченные главные особенности систем теплоснабжения отражаются соответствующими критериями оценки их надёжности.

Первым основным критерием является *вероятностная оценка безотказности работы системы* в течение всего срока службы или в течение времени между капитальными ремонтами. При этом считается, что во время капитальных ремонтов система полностью восстанавливается. Систему теплоснабжения как сложную техническую систему оценивают показателем качества функционирования.

Для расчета показателя качества функционирования системы теплоснабжения необходимо точно сформулировать понятие отказа системы. Для нерезервированных систем понятие отказа формулируется однозначно, ибо отказ любого элемента приводит к отказу системы. При отказе головного участка или головного сооружения происходит полный отказ системы, и все потребители лишаются теплоснабжения. При отказе любого другого элемента происходит частичный отказ системы, когда лишается теплоснабжения только часть потребителей, расположенных за отказавшим элементом.

При формулировке понятия отказа для резервированных систем необходимо учитывать отмеченную выше вторую отличительную черту систем теплоснабжения, заключающуюся в допустимости кратковременного снижения качества теплоснабжения. Эту особенность отражает второй детерминированный критерий надежности. Он устанавливает, при каких условиях следует считать, что потребитель находится в отказовом состоянии. Таким образом, этот показатель определяет понятие отказа в теплоснабжении потребителя.

У резервированных систем при отказах отдельных элементов возникают аварийные гидравлические режимы и для обеспечения теплоснабжения потребителей элементы системы, оставшиеся работоспособными, должны иметь резерв пропускной способности (резерв мощности). Этот резерв определяют расчетом потокораспределения сети при аварийных ситуациях. Учитывая особенности систем теплоснабжения, в аварийных ситуациях можно подавать потребителям пониженное количество теплоносителя, т. е. переходить на лимитированное теплоснабжение.

Установленная величина лимита определяет резерв пропускной способности системы, который рассчитывают для наиболее напряженных гидравлических режимов, возникающих в аварийных ситуациях. *Лимит подачи теплоты* в аварийной ситуации  $Q_{\text{лим}}$  устанавливают таким, что при подаче потребителю теплоты не менее  $Q_{\text{лим}}$ , он не будет находиться в состоянии отказа. Таким образом, для резервированных систем отказ – это отключение потребителя от системы, когда ему полностью прекращается подача теплоты.

### 3.3. Показатели надёжности тепловых сетей

Отказовые состояния для резервированных систем могут возникать в случаях следующих отказов:

- 1) одного участка, к которому присоединены потребители между отключающими задвижками;
- 2) секционирующих задвижек;
- 3) двух участков одновременно.

Одновременный отказ двух участков можно считать событием маловероятным. Действительно, он может произойти при совмещении двух событий – отказа одного участка во время ремонта другого. Вероятность такого события примерно на четыре порядка меньше, чем вероятность отказа одного участка, поэтому одновременный отказ двух элементов сети в расчетах можно не учитывать.

Показатель надежности системы теплоснабжения  $R_{cucm}(t)$  определяют как отношение показателя качества функционирования реальной системы к показателю качества функционирования идеальной системы.

Характеристика качества функционирования определяется задачами системы. Главной задачей системы теплоснабжения является ежечасная подача теплоты потребителям в необходимых количествах, поэтому за характеристику качества функционирования системы теплоснабжения принимают часовой расход теплоты через систему, определяемый как разность между расчетным расходом теплоты через систему  $Q_0$  и неподанным расчетным расходом теплоты отключенным потребителям в отказном состоянии  $\Delta Q_j(t)$ :

$$Q_j(t) = Q_0 - \Delta Q_j(t). \quad (4.1)$$

Для определения количества теплоты, которое не подается отключенным потребителям, не надо производить расчеты потокораспределения в аварийных ситуациях, так как эти количества определяются сразу по схеме.

Таким образом, надежность системы теплоснабжения в целом оценивают следующими показателями:

1) показателем надежности  $R_{cucm}(t)$  в момент  $t$  (вероятностный показатель), определяемым по формуле:

$$R_{cucm}(t) = 1 - \sum \frac{\Delta Q_j}{Q_0} \cdot \frac{\omega_i}{\sum \omega_i} \cdot \left(1 - e^{-\sum \omega_i \cdot t}\right), \quad (4.2)$$

где сумма берётся для всех аварийных ситуаций приводящих к отказу;

2) детерминированным показателем – лимитом подачи теплоты, определяющим состояние отказа в теплоснабжении потребителя (для резервированных систем), когда  $Q_{потр} < Q_{лим}$ .

Если  $R_{cucm}(t)$  меньше нормированной величины, то необходимо повысить надежность системы путем резервирования или путем секционирования.

### **3.4. Повышение надёжности тепловых сетей. Резервирование и секционирование**

Из рассмотрения формулы (4.2) следует, что надежность зависит от параметра потока отказов элементов тепловых сетей  $\omega$ , величины системы, расчетного значения времени  $t$  и величины относительной тепловой нагрузки, отключаемой при аварийных ситуациях на сетях.

Расчетное значение параметра  $\omega$  для элементов тепловых сетей, которые запроектированы и построены соответственно действующим нормам, является величиной достаточно устойчивой. Снижения параметра  $\omega$  можно добиться путем применения более совершенных материалов и конструкций теплопроводов и оборудования сетей, возможность использования которых связана с общим техническим прогрессом. При проектировании параметр  $\omega$  следует закладывать с учетом прогноза применения более совершенных элементов систем теплоснабжения на расчетный период. Следовательно, при обосновании схемы тепловых сетей в про-

цессе проектирования параметр  $\omega$  является величиной заданной и определяющей надежность нерезервированных систем.

За расчетное значение времени  $t$  принимают длительность отопительного сезона.

Таким образом, у проектировщика имеются следующие средства повышения надежности системы:

1) секционирование, в результате которого уменьшается относительная величина отключаемой нагрузки  $\Delta Q_j / Q_0$ ;

2) резервирование, с помощью которого уменьшается число аварийных ситуаций  $l$ .

При секционировании, связанном с увеличением числа отключающих устройств, требуется меньше дополнительных капитальных вложений, поэтому оно должно применяться в первую очередь. При этом следует отметить, что с увеличением числа задвижек (элементов) тепловой сети увеличивается и число аварийных ситуаций, вследствие чего надежность снижается. Однако эффект от снижения величины отключаемой нагрузки при отказах значительно больше, что в итоге приводит к повышению надежности системы.

Резервирование тепловых сетей осуществляют путем строительства перемычек между магистралями, т. е. путем их кольцевания.

При кольцевании применяют двухтрубные перемычки для отдельного кольцевания подающей и обратной линий. Была предложена и разработана новая система теплоснабжения с кольцеванием магистралей однострунными перемычками, которые могут резервировать и подающую, и обратную линии. При устройстве однострунных перемычек сокращаются капиталовложения в тепловую сеть.

Необходимая степень кольцевания, т. е. доля резервированной части тепловой сети, должна определяться в результате расчета надежности с удовлетворением заданного уровня.

Резервировать теплопроводы можно путем дублирования как подающей, так и обратной линии. Но такой метод повышения надежности требует неоправданно больших капитальных вложений. Поэтому предложена и разработана трехтрубная система теплоснабжения, которая в ряде случаев оказывается экономичнее кольцевой.

### 3.5. Расчёт надёжности тепловой сети

Расчет надежности тепловой сети ведут в два этапа. На первом этапе обосновывается необходимый структурный резерв, на втором – резерв пропускной способности (мощности) сети.

На первом этапе расчета надежности учитывают только те элементы, ремонт которых длительнее допустимого перерыва в теплоснабжении, поэтому трубы и арматура малых диаметров не должны учитываться при расчете системы (предварительно  $\tau_{don} = 5$  ч, что соответствует трубе диаметром 200 мм).

При расчете надежности следует перенумеровать все элементы тепловой сети, отказы которых приводят к отключению потребителей, определить недоот-

пуски теплоты  $\Delta Q_j$ , связанные с отключением потребителей, и рассчитать показатель надежности системы  $R_{сист}(t)$  по формуле (4.2).

При расчете показателя надежности  $R_{сист}(t)$  необходимо знать  $\omega_i$  всех элементов и расчетное время  $t$ . В результате изучения отказов тепловых сетей г. Москвы, проложенных преимущественно в непроходных каналах, были получены следующие значения параметров потоков отказов:

- для теплопроводов  $\omega_m = 0,05 \text{ 1/(км·год)}$ ;
- для задвижек  $\omega_z = 0,002 \text{ 1/год}$ .

Недоотпуски теплоты  $\Delta Q_j$ , для различных состояний систем определяют по принятой схеме сети без гидравлических расчетов и расчетов потокораспределения.

Для небольших нерезервированных систем полученная величина  $R_{сист}(t)$  может оказаться достаточной, тогда на этом расчет надежности заканчивается.

Второй этап состоит в расчете резерва диаметров трубопроводов для наиболее неблагоприятных аварийных ситуаций. Такие ситуации связаны с отключением головных элементов. В результате этих расчетов все неотключенные потребители должны получать в любой аварийной ситуации не менее лимитированного количества теплоты  $Q_{лим}$ .

[вернуться к оглавлению](#)



## ТЕМА 4 НАДЁЖНОСТЬ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

Эффективность отопления зданий связана с поддержанием заданной температуры помещений в течение требуемого периода времени при нормальных условиях эксплуатации. Заданная температура помещений может быть обеспечена только при строгом соответствии теплоотдачи отопительных приборов расчетным предположениям в течение всего отопительного сезона. Следовательно, эффективность отопления обуславливается, прежде всего, *надежностью системы отопления*.

Надежная система отопления должна быть безотказной и ремонтпригодной. Кроме того, надежная система должна обладать гидравлической и тепловой устойчивостью.

Способность системы отопления сохранять постоянство расхода воды на каждом из ее участков при нарушении расчетного режима или пропорционально изменять расход на всех участках при изменении общего расхода называют *гидравлической устойчивостью системы*.

При необходимости изменения теплового режима системы производят качественное регулирование, изменяя параметры теплоносителя при сохранении его количества.

Способность системы к пропорциональному изменению теплоотдачи всех отопительных приборов при изменении параметров теплоносителя называют ее *тепловой устойчивостью*.

Наиболее эффективна система, обладающая как тепловой, так и гидравлической устойчивостью.

Показателем гидравлической устойчивости системы служит отношение расхода на любом из участков системы при переменном режиме к расчетному расходу. Для гидравлически устойчивых систем этот показатель равен единице, а для систем, не обладающих гидравлической устойчивостью, он может быть больше или меньше единицы либо равен нулю, что будет означать полное прекращение циркуляции.

Тепловая и гидравлическая устойчивость систем зависит от их конструктивных особенностей и от способа регулирования их тепловой мощности. Оптимальным режимом работы систем считается такой, при котором обеспечивается теплоотдача приборов, соответствующая расчетной или пропорциональная ей. Отклонения от оптимального режима называют разрегулировкой системы. Различают вертикальную разрегулировку, характеризуемую неравномерностью теплоотдачи отопительных приборов по этажам, и горизонтальную – при неравномерной теплоотдаче приборов в пределах одного этажа.

Разрегулировка систем отопления может возникать при периодическом отклонении приборов, стояков вследствие особенностей режима отопления помещений или ремонта, дросселирования приборов при индивидуальном регулировании, а также при нарушении теплоизоляции труб, засорении отдельных участков, завоздушивании системы и ряде других причин.

[вернуться к оглавлению](#)

## **II РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ**

### **ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ**

1. Надежность. Свойства надёжности.
2. Характеристика нарушений работоспособности изделий. Постепенные и внезапные отказы
3. Выбор свойств надёжности
4. Вероятность безотказной работы
5. Вероятность безотказной работы сложной установки
6. Обеспечение заданной вероятности безотказной работы всей системы
7. Особенности надёжности распределительных систем газоснабжения
8. Критерии надёжности распределительных систем газоснабжения
9. Пути повышения надёжности. Долговечность распределительных систем газоснабжения
10. Среднее число отказов, характеристика потока отказов, параметр потока отказов, наработка на отказ
11. Виды повреждений газопроводов и арматуры
12. Классификация повреждений и отказов элементов газовых сетей
13. Показатели надёжности распределительных систем газоснабжения
14. Повреждения элементов тепловых сетей и их причины
15. Критерии надёжности тепловых сетей
16. Показатели надёжности тепловых сетей
17. Повышение надёжности тепловых сетей. Резервирование и секционирование
18. Расчёт надёжности тепловой сети
19. Надёжность, гидравлическая и тепловая устойчивость систем отопления

[вернуться к оглавлению](#)

### **III ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ**

Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор БрГТУ

\_\_\_\_\_ М.В.Нерода

«        » \_\_\_\_\_ 2023 г.

Регистрационный № УД- \_\_\_\_\_ /уч.

**Теория и практика обеспечения надежности, безопасности и  
долговечности конструкций, зданий и сооружений**

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине  
для специальности

**7-06-0732-01 Строительство**

Профилизация: Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна

2023 г.

Учебная программа составлена на основе учебного плана высшего образования второй ступени (магистратуры) по специальности 7-06-0732-01 Строительство (профилизация «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»).

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

Новосельцев В.Г., заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции, кандидат технических наук, доцент.

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

Новик Ю.Н., главный эксперт отдела экспертизы инженерного обеспечения управления экспертизы проектно-сметной документации дочернего республиканского унитарного предприятия «Госстройэкспертиза по Брестской области»  
Шостак Д.Ю., главный специалист теплоснабжения и вентиляции ОАО «Брестпроект».

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции  
Заведующий кафедрой *подпись* В.Г.Новосельцев  
(протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_);

Методической комиссией факультета инженерных систем и экологии  
Председатель методической комиссии *подпись* В.Г.Новосельцев  
(протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_);

Научно-методическим советом БрГТУ (протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_)

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Место учебной дисциплины.

Учебная дисциплина «Теория и практика обеспечения надежности, безопасности и долговечности конструкций, зданий и сооружений» профилизации «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» относится к модулю «Надежность и долговечность» государственного компонента учебного плана магистратуры.

Цель преподавания учебной дисциплины:

Целью освоения учебной дисциплины «Теория и практика обеспечения надежности, безопасности и долговечности конструкций, зданий и сооружений» профилизации «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» является приобретение магистрантом знаний и умений, позволяющих проводить анализ и оценку риска при проектировании и эксплуатации производственных объектов.

Задачи учебной дисциплины:

Подготовка специалистов, владеющих знаниями теории надежности, умеющими на практике решать задачи проектирования с позиции надежности и быстро адаптирующими к ожидаемому изменению норм проектирования в области строительства и систем теплогазоснабжения и вентиляции.

В результате изучения учебной дисциплины формируются следующие компетенции:

УПК-1: Анализировать и выявлять факторы, влияющие на безопасность строительных конструкций, применять практические приемы обеспечения долговечности строительных изделий и конструкций, зданий и сооружений.

В результате изучения дисциплины магистрант должен:

знать методы теории надежности; основы надежности и долговечности строительных материалов, изделий и конструкций и систем ТГВ.

уметь проводить анализ и оценку риска при проектировании и эксплуатации производственных объектов и систем ТГВ.

владеть навыками пользования научно-технической литературой по теории надежности.

Связи с другими учебными дисциплинами

Перечень дисциплин, необходимых для изучения дисциплины «Теория и практика обеспечения надежности, безопасности и долговечности конструкций, зданий и сооружений»: отопление, вентиляция, газоснабжение, теплоснабжение, кондиционирование воздуха и холодоснабжение, высшая математика, теоретическая механика, сопротивление материалов, строительная механика.

#### План учебной дисциплины для дневной формы получения высшего образования

| Код специальности (направления специальности) | Наименование специальности (направления специальности) | Курс | Семестр | Всего учебных часов | Количество зачетных единиц | Аудиторных часов<br>(в соответствии с учебным планом УВО) |        |                      |                      |          | Академических часов на курсовой проект (работу) | Форма текущей аттестации |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------|---------|---------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------|--------|----------------------|----------------------|----------|-------------------------------------------------|--------------------------|
|                                               |                                                        |      |         |                     |                            | Всего                                                     | Лекции | Лабораторные занятия | Практические занятия | Семинары |                                                 |                          |
| 7-06-0732-01                                  | Строительство (ТГВиОВБ)                                | 1    | 1       | 200                 | 6                          | 84                                                        | 68     |                      |                      | 16       |                                                 | экзамен                  |

#### План учебной дисциплины для заочной формы получения высшего образования

| Код специальности (направления специальности) | Наименование специальности (направления специальности) | Курс | Семестр | Всего учебных часов | Количество зачетных единиц | Аудиторных часов<br>(в соответствии с учебным планом УВО) |        |                      |                      |          | Академических часов на курсовой проект (работу) | Форма текущей аттестации |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------|---------|---------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------|--------|----------------------|----------------------|----------|-------------------------------------------------|--------------------------|
|                                               |                                                        |      |         |                     |                            | Всего                                                     | Лекции | Лабораторные занятия | Практические занятия | Семинары |                                                 |                          |
| 7-06-0732-01                                  | Строительство (ТГВиОВБ)                                | 1    | 1       | 200                 | 6                          | 18                                                        | 14     |                      |                      | 4        |                                                 | экзамен                  |

## 1. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### 1.1. ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

Введение. Цель и задачи дисциплины.

Основные понятия и характеристики надёжности. Понятия надёжности, безотказности и долговечности строительных конструкций и систем ТГВ, их количе-

ственные характеристики. Надёжность как доминирующий признак качества строительных объектов. Жизненный цикл объекта. Накопление повреждений. Естественный и функциональный износ. Технические состояния объектов.

Теория надёжности. Факторы, определяющие надёжность конструкций. Нормативная, проектная, начальная, эксплуатационная надёжность. Восстановление надёжности. Уровни надёжности при проектировании объектов строительства. Концепция проектного срока службы сооружения.

Безопасность и риски. Изучение развития риска на промышленных объектах. Изучение качественных методов анализа риска. Управление риском.

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### 2.1 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

для дневной формы получения образования

| Номер раздела, темы | Название раздела, темы                       | Количество аудиторных часов |                      |                      |                     | Количество часов самостоятельной работы | Форма контроля знаний |
|---------------------|----------------------------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------------------|-----------------------|
|                     |                                              | Лекции                      | Практические занятия | Лабораторные занятия | Семинарские занятия |                                         |                       |
| 1                   | 2                                            | 3                           | 4                    | 5                    | 6                   | 7                                       | 8                     |
| 1                   | Основные понятия и характеристики надёжности | 32                          |                      |                      | 6                   |                                         | экзамен               |
| 2                   | Теория надёжности                            | 20                          |                      |                      | 6                   |                                         | экзамен               |
| 3                   | Безопасность и риски                         | 16                          |                      |                      | 4                   |                                         | экзамен               |
|                     | Итого                                        | 68                          |                      |                      | 16                  |                                         |                       |

## 2.2 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

для заочной формы получения образования

| Номер раздела, темы | Название раздела, темы                       | Количество аудиторных часов |                      |                      |                     | Количество часов самостоятельной работы | Форма контроля знаний |
|---------------------|----------------------------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------------------|-----------------------|
|                     |                                              | Лекции                      | Практические занятия | Лабораторные занятия | Семинарские занятия |                                         |                       |
| 1                   | 2                                            | 3                           | 4                    | 5                    | 6                   | 7                                       | 8                     |
| 1                   | Основные понятия и характеристики надёжности | 6                           |                      |                      | 2                   |                                         | экзамен               |
| 2                   | Теория надёжности                            | 4                           |                      |                      |                     |                                         | экзамен               |
| 3                   | Безопасность и риски                         | 4                           |                      |                      | 2                   |                                         | экзамен               |
|                     | Итого                                        | 14                          |                      |                      | 4                   |                                         |                       |

## 3. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 3.1. Перечень литературы

#### Основная

1. Ветошкин, А.Г. Надёжность технических систем и техногенный риск : учеб. пособие / А.Г. Ветошкин. – Пенза: Изд-во ПГУАиС, 2003. – 155 с.
2. Слесарев, Д.Ю. Оценка риска и теория принятия решений: практикум / Д.Ю. Слесарев. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2012. – 43 с.
3. Перельмутер, А. В. Избранные проблемы надёжности и безопасности строительных конструкций/А.В. Перельмутер.- изд. 3-е, перераб. и доп.- М. : Ассоциация строительных вузов, 2007. - 256 с.

#### Дополнительная

1. Добромыслов, А. Н. Ошибки проектирования строительных конструкций/А.Н. Добромыслов.- М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. - 208 с.
2. Румянцева, Е. Е. Экологическая безопасность строительных материалов, конструкций и изделий : учеб. пособие для студ. вузов/Е.Е. Румянцева, Ю.Д. Губернский, Т.Ю. Кулакова.- М. : Университетская книга, 2005. - 197 с.

### 3.2. Перечень средств диагностики результатов учебной деятельности

Для диагностики результатов учебной деятельности используется письменный экзамен.



### 3.3. Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы обучающихся по учебной дисциплине.

Для поведения самостоятельной работы магистрантами используются литературные источники, приведенные в п.3.1.

| №<br>п/п | Название раздела, темы                       | Номер литературы из<br>списка          |
|----------|----------------------------------------------|----------------------------------------|
| 1        | Основные понятия и характеристики надёжности | Основная: 1, 3<br>Дополнительная: 1    |
| 2        | Теория надёжности                            | Основная: 1, 3                         |
| 3        | Безопасность и риски                         | Основная: 1, 2<br>Дополнительная: 1, 2 |

[вернуться к оглавлению](#)