

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ

Программа повышения квалификации
«Диспетчерское управление
магистральными трубопроводами»

Раздел 3 ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

Учебные материалы

Абсалямова Венера Фауесовна

преподаватель кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа»

© Уфимский государственный
нефтяной технический университет,
Институт дополнительного
профессионального образования,
2015

3.1 НАДЕЖНОСТЬ ОБЪЕКТОВ СИСТЕМЫ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

3.1.1 Надежность техники и ее теория

Надежность является одним из самых важных показателей современной техники. От нее зависят такие показатели, как качество, эффективность, безопасность, риск, готовность, живучесть. Техника может быть эффективной только при условии, если она имеет высокую надежность.

Надежность техники определяется при ее проектировании и производстве. Чтобы создать техническую систему, удовлетворяющую требованиям надежности, необходимо уметь рассчитать ее надежность в процессе проектирования, знать методы обеспечения высокой надежности и способы их технической реализации.

Необходимо также доказать экспериментально, что показатели надежности спроектированной системы не ниже заданных. И это еще не все. Нужно также разработать методы, обеспечивающие высокую безотказность техники в процессе ее эксплуатации. Все это невозможно реализовать, если не владеть основами теории надежности. Ее должен знать инженер, проектирующий технику, инженер-технолог, инженер-эксплуатационщик. Необходимость знания теории надежности широкому кругу специалистов — одна из особенностей теории надежности как науки и научной дисциплины.

Теория надежности — это наука, изучающая закономерности отказов технических объектов.

Теория надежности является научной дисциплиной, относящейся к числу общетехнических дисциплин. Она изучается во всех технических вузах страны под разными названиями. На основании теории надежности в специальных технических дисциплинах изучаются вопросы надежности конкретных технических объектов. Один из законов развития науки гласит: для

обеспечения роста производства необходимо, чтобы скорость роста научных исследований опережала скорость роста техники, а скорость роста техники опережала скорость роста производства. Если же роста научных исследований нет, наука о надежности не будет востребована, то техника не будет высоконадежной. Это мы наблюдаем в нашей действительности.

Теория надежности как наука и техническая дисциплина имеет ряд особенностей:

- Теория надежности – трудный для изучения предмет. Это объясняется широким использованием математики при изучении теории надежности, в частности, таких дисциплин, как теория вероятностей и математическая статистика, решение интегральных, алгебраических и дифференциальных уравнений (с постоянными и переменными коэффициентами, линейных и нелинейных), математическая логика, теория систем массового обслуживания, методы статистического моделирования, методы оптимизации и многое другое.

- Необходимость применения компьютерных технологий решения практических задач.

- Случайный характер отказов и восстановлений. Эта особенность приводит к тому, что любые решения задач надежности имеют вероятностный характер.

- Трудность математического моделирования объектов из-за отсутствия достоверных данных о надежности элементов системы, в частности, данных о законах распределения отказов и восстановлений.

- Трудность, а во многих случаях невозможность статистических испытаний из-за технических и экономических ограничений.

- Сложность современных систем и, как результат, большие размерности уравнений, решение которых во многих случаях невозможно даже при использовании компьютерных технологий.

Эти особенности требуют глубокого изучения теории надежности и

серьезных научных исследований в этой области знаний.

3.1.2 Теория надежности как наука и научная дисциплина

Теория надежности — наука, изучающая закономерности отказов технических систем.

Основными объектами ее изучения являются:

- критерии надежности технических систем различного назначения;
- методы анализа надежности в процессе проектирования и эксплуатации технических систем;
- методы синтеза технических систем;
- пути обеспечения и повышения надежности техники;
- научные методы эксплуатации техники, обеспечивающие ее высокую надежность.

Особенности этой дисциплины таковы:

- теория надежности — общетехническая дисциплина;
- математическое моделирование — основа изучения дисциплины;
- комплексный характер;
- высокая значимость и глубокая связь с другими техническими предметами;
- трудность моделирования и изучения процессов, протекающих в сложных технических системах (в смысле их надежности).

Рассмотрим более подробно эти особенности. Процессы, протекающие в сложных технических системах, в смысле их надежности, закономерны и не зависят от вида техники. Это дает возможность их изучения общими для любых технических средств методами. Разработанные в теории надежности методы анализа, синтеза, способы повышения надежности и научные методы эксплуатации техники являются общими для любых технических систем. Этим определяется общетехнический характер теории надежности и ее научность.

Особенности отдельных видов техники изучаются в специальных технических дисциплинах, в которых на основании общей теории решаются конкретные задачи надежности.

Математическое моделирование является основой изучения функционирования сложных систем в смысле их надежности. При этом у исследователя возникают значительные трудности в связи со следующими особенностями решаемых задач:

- случайный характер явлений;
- многокритериальность;
- высокая размерность уравнений;
- многовариантность;
- необходимость обеспечения высокой точности.

Эти особенности требуют применения в процессе моделирования объемного математического аппарата: теории вероятностей и математической статистики, решения алгебраических, дифференциальных, интегральных уравнений, теории графов, интегральных преобразований, вычислительной математики, методов оптимизации, статистического моделирования и др.

Надежность является важнейшим параметром любой технической системы. Она во многом определяет такие характеристики системы, как качество, эффективность, безопасность, живучесть, риск, которые изучаются в специальных предметах. Глубокая связь с этими предметами — еще одна особенность теории надежности как науки.

Теория надежности — дисциплина комплексная. В ее разделы входят предметы, которые могут быть самостоятельными дисциплинами. К ним относятся:

- математическая теория надежности;
- физическая теория надежности ("физика отказов");
- прогнозирование;

- диагностика;
- теория контроля;
- теория восстановления (управление запасами).

Надежность техники зависит от многих факторов; критерии и показатели надежности устанавливаются в зависимости от вида техники и ее применения; обеспечение надежности в процессе эксплуатации определяется дисциплиной обслуживания, квалификацией обслуживающего персонала, экономическими соображениями. Отсюда ясно, что техника с позиции надежности — это объект системного анализа.

Любая наука развивается из основных понятий и определений. Сформулируем эти понятия и дадим им научные определения.

3.1.3 Основные понятия теории надежности

Основные понятия теории надежности стандартизованы ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения» и разделены на следующие группы:

- 1) общие понятия;
- 2) состояние;
- 3) дефекты, повреждения и отказы;
- 4) временные понятия;
- 5) показатели надежности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости;
- 6) резервирование и др.

К **общим понятиям** относятся термины - надежность, безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

К **состоянию** относятся следующие термины – исправное состояние, неисправное состояние, работоспособное состояние, неработоспособное состояние, предельное состояние, критерий предельного состояния.

К группе **дефекты, повреждения и отказы** относятся термины – дефект, повреждение, отказ, критерий отказа, причина отказа, последствия отказа и критичность отказа, ресурсный отказ, независимый и зависимый отказ, внезапный и постепенный отказ, явный и скрытый отказ, конструктивный отказ, производственный и эксплуатационный отказ.

К группе **временные понятия** относятся термины – наработка, наработка до отказа, наработка между отказами, время восстановления, ресурс, срок службы, срок сохраняемости, остаточный ресурс, назначенный ресурс, назначенный срок службы.

К группе **показатели надежности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости** относятся термины – показатель надежности, расчетный и экспериментальный показатели надежности, эксплуатационный показатель надежности; вероятность безотказной работы, гамма-процентная наработка до отказа, средняя наработка до отказа, интенсивность отказов, параметр потока отказов, гамма-процентный ресурс, средний ресурс, средний срок службы, вероятность восстановления, интенсивность восстановления, гамма-процентный срок сохраняемости и др.

К группе **резервирование** относятся следующие термины – резервирование, резерв, основной элемент, резервируемый элемент, резервный элемент, кратность резерва, дублирование, общее и отдельное резервирование и др.

Ознакомимся с определениями наиболее часто применяемых терминов теории надежности.

Надежность - свойство объекта (магистрального трубопровода, насоса, задвижки и т.д.) выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки.

Безотказность - свойство объекта сохранять работоспособность в течение некоторой наработки без вынужденных перерывов.

Долговечность - свойство объекта сохранять работоспособность

допредельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов (ТОР). (Предельное состояние объекта может устанавливаться по изменениям параметров, по условиям безопасности, по экономическим показателям и т.п.)

Ремонтопригодность – свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем ТОР.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять обусловленные эксплуатационные показатели в течение или после срока хранения или транспортирования, установленного технической документацией.

Исправное состояние – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Неисправное состояние – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Работоспособное состояние – состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Неработоспособное состояние – состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Предельное состояние – состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Дефект – каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям (по ГОСТ 15467-79).

Повреждение – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Ресурсный отказ – отказ, в результате которого объект достигает предельного состояния

Независимый отказ – отказ, не обусловленный другими отказами.

Зависимый отказ – отказ, обусловленный другими отказами.

Конструктивный отказ – отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования или конструирования.

Производственный отказ – отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта, выполняемого на ремонтном предприятии.

Эксплуатационный отказ – отказ, возникший по причине, связанной с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации.

Наработка – продолжительность работы объекта в течение рассматриваемого периода, измеряемая в часах, циклах и других единицах.

Срок службы – календарная продолжительность эксплуатации объекта до момента возникновения предельного состояния, оговоренного технической документацией, или до списания. Различают срок службы до первого ремонта, между ремонтами и т.д.

Ресурс – наработка объекта до предельного состояния, оговоренного технической документацией.

Назначенный ресурс – наработка объекта, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от состояния объекта.

Наработка до отказа – наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа.

Остаточный ресурс – суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

Примечание. Аналогично вводятся понятия остаточная наработка до отказа, остаточного срока службы, остаточного срока хранения.

Основными количественными показателями надежности являются вероятность безотказной работы $P(t)$, интенсивность отказов $\lambda(t)$, средняя наработка до отказа T , параметр потока отказов $\mu(t)$, время восстановления $T_e(t)$, коэффициенты технического использования $K_{ТИ}$ и готовности K_G . Они, как правило, не могут быть измерены непосредственно.

Вероятность безотказной работы $P(t)$ является вероятностью того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет. Статистическая оценка $\hat{P}(t)$ определяется с помощью выражений

$$\hat{P}(t) = 1 - \frac{n(t)}{N(o)} \quad \text{или} \quad \hat{P}(t) = 1 - \frac{I(t)}{L(o)}, \quad (1)$$

где $n(t)$, $I(t)$ - число отказавших единиц оборудования и длина вышедших из строя трубопроводов к моменту времени t ;

$N(o)$, $L(o)$ - число исправных единиц оборудования и общая длина трубопроводов в начальный момент времени $t=0$.

Знак « \hat{P} » сверху используется для обозначения статистической оценки параметра.

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ характеризует относительное число отказов, возникающих в единицу времени. Для оборудования

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{N(t) \cdot \Delta t} = \frac{\Delta n(t; \Delta t)}{N(t) \cdot \Delta t}, \quad (2)$$

где $N(t)$ - число единиц оборудования, исправных к моменту времени t ;

$\Delta n(t; \Delta t)$ - число единиц, оборудования, отказавших именно на интервале времени $[t; t + \Delta t]$.

Для трубопроводов оценка интенсивности отказов может быть найдена по формуле

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{\Delta n(t; \Delta t)}{L(t) \cdot \Delta t}, \quad (3)$$

где $\Delta n(t; \Delta t)$ - число отказов за период времени $[t; t + \Delta t]$ на всей длине работающих к моменту t трубопроводов $L(t)$.

Для технических объектов интенсивность отказов определяют по отдельным элементам. Для линейной части магистральных нефтепроводов можно также находить интенсивность отказов для труб у сварных стыков, тройников и др. Однако большое количество элементов и их достаточно высокая надежность позволяют определять $\lambda(t)$ относительно к единичной протяженности, как правило, к 1000 км трубопровода. Интенсивность отказов является экспериментальным показателем, определяемым непосредственно из статистики отказов.

Параметр потока отказов $\mu(t)$ характеризует частоту их возникновения и определяется по формуле

$$\mu(t) = \frac{1}{T(t)}, \quad (4)$$

где $T(t)$ - наработки объекта (оборудования, трубопровода) между отказами.

Если объект состоит из n элементов, для каждого из которых параметр потока отказов $\mu_i(t)$ известен, то для определения $\mu(t)$ можно воспользоваться выражением

$$\mu(t) = \sum_{i=1}^n \mu_i(t), \quad (5)$$

Средняя наработка до отказа T равна математическому ожиданию соответствующей случайной величины наработки объекта до отказа

$$T = \int_0^{\infty} t \cdot t(t) dt = \int_0^{\infty} [1 - F(t)] dt = \int_0^{\infty} P(t) dt, \quad (6)$$

Для восстанавливаемых объектов, при эксплуатации которых допускаются многократно повторяющиеся отказы, вместо средней наработки до отказа используют показатель «средняя наработка на отказ» $T_{cp}(t)$:

$$T_{cp}(t) = \frac{t}{M\{\Delta(t)\}}, \quad (7)$$

где $\Delta(t)$ - число отказов, поступивших в течение суммарной наработки t ;
 $M\{\Delta(t)\}$ - математическое ожидание случайной величины, стоящей в скобках.

Время восстановления характеризует период времени от момента снижения уровня работоспособности или относительного уровня функционирования до момента восстановления требуемого уровня работоспособности или относительного уровня функционирования.

Количественные показатели надежности являются величинами случайными. Каждая из них характеризуется определенной частотой появления $f(x)$ - плотностью вероятности распределения случайной величины x . Поэтому можно говорить о средней или о максимальной величине x с определенной долей вероятности (уровень значимости, надежности). В отдельных случаях оправдано применение среднеарифметических величин показателей надежности.

Извините, доступ к дальнейшему материалу закрыт в демо-версии.