

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского**

**Факультет энергетический
Кафедра электрооборудования и физики**

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ



Молодежный 2020

УДК 62-83

Допущено методическим советом энергетического факультета
(протокол № 2 от 21 октября 2020 года)

Рецензент:

Очиров В.Д. - кандидат технических наук, заведующий кафедрой энергообеспечения и теплотехники Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского

Боннет В. В., Логинов А.Ю., Прудников А.Ю.

Методические указания по изучению дисциплины «Надежность технических систем» для студентов очного и заочного обучения направления подготовки 35.03.06 – Агроинженерия, профиль «Электрооборудование и электротехнологии в АПК» / В.В. Боннет, А.Ю. Логинов, А.Ю. Прудников; Иркут. гос. аграр. ун-т им. А. А. Ежевского. – Молодежный : Изд-во ИрГАУ, 2020. – 20 с.

В учебно-методическом указании приведены теоретические сведения, справочный материал, контрольные задания и вопросы, методические рекомендации к выполнению и оформлению контрольной работы по дисциплине «Надежность технических систем» для студентов очного и заочного обучения направления подготовки 35.03.06 – Агроинженерия, профиль «Электрооборудование и электротехнологии в АПК».

© Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Основные понятия и определения теории надежности	5
2. Количественные показатели надежности	10
3. Комплексные показатели надежности	16
Перечень вопросов для оценивания результатов обучения	18
Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	20

Введение

Сельская энергетика реализует потребности в электроэнергии производственной и социальной сферы. Эффективность сельской энергетики оценивается, надежностью и экономичностью работы энергооборудования. А надежность энергооборудования непосредственно обусловлена грамотной эксплуатацией.

Высококвалифицированный специалист должен знать и понимать основные методы теории надежности, теории массового обслуживания, способы комплектования и диагностирования энергоустановок. На основании этих знаний формируются принципы построения эффективных систем технического обслуживания и ремонта, а также основы организации и управления эксплуатацией энергооборудования.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Техническая система (ТС) – это совокупность совместно действующих объектов (элементов), предназначенная для выполнения определённой функции (функции по назначению, целевой функции). Любой объект в свою очередь может рассматриваться как ТС. Элементы, из которых состоит система, могут быть восстанавливаемыми и невосстанавливаемыми: невосстанавливаемый элемент функционирует до первого отказа, после чего подлежит замене; восстанавливаемый элемент при отказе может быть восстановлен и продолжать функционировать (обычно восстанавливаемые элементы оснащаются устройствами по предупреждению и обнаружению отказа). Качество ТС определяется соответствием совокупности таких её показателей, как технические параметры, конструктивные особенности, энергетическая эффективность, надёжность, дизайн, технологичность, унификация, экономичность, габариты и вес и т.п., требованиям потребителя.

Надёжность - свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки (ГОСТ 27.002-83). Можно сказать, что надёжность характеризует способность объекта сохранять свои первоначальные качества в процессе эксплуатации. Теория надёжности возникла на стыке ряда научных дисциплин: теории вероятностей и случайных процессов, математической логики, технической диагностики и др. Она изучает закономерности изменения показателей качества объектов с течением времени, а также физическую природу этих изменений. В теории надёжности изучение сложного явления изменчивости осуществляется путем использования идеализированных понятий о состояниях, свойствах и событиях и т.п. Приближенная замена реальных явлений и объектов идеализированными моделями позволяет установить количественные связи между интересующими показателями и определить эти показатели с достаточной для практики точностью.

Надежность ТС формируется на всех этапах создания и использования ТС. Этому соответствует:

- надежность конструктивная (проектная);
- надежность производственная;
- надежность эксплуатационная.

Конструктивная надежность формируется на этапе проектирования и определяется элементной базой, квалификацией проектировщика, адекватным учетом условий эксплуатации и технологических факторов, наличием и учетом данных, необходимых для расчета надежности.

Производственная надёжность закладывается в процессе производства изделия и зависит от культуры производства, технологической дисциплины, квалификации персонала.

Эксплуатационная надежность проявляется в процессе эксплуатации изделия и зависит от таких фактов как соответствие реальных условий эксплуатации требованиям нормативно – технической и конструкторской документации (НТКД), организация технического обслуживания и квалификация обслуживающего персонала.

Способность объекта выполнять требуемые функции оценивается несколькими состояниями, в пределах которых параметры объекта остаются постоянными.

- Исправность - состояние объекта, при котором он соответствует всем установленным требованиям.

- Неисправность - состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из указанных требований.

- Работоспособность - состояние соответствия установленным требованиям тех параметров, которые характеризуют способность выполнять указанные функции.

- Неработоспособность - состояние, при котором хотябы один параметр работоспособности не соответствует установленным требованиям.

- Предельное состояние - состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация не допустима по условиям безопасности или нецелесообразна по экономическим критериям.

- Центральным понятием теории надежности служит отказ - событие, заключающееся в потере работоспособности, т.е. переход из работоспособного в неработоспособное состояние. Различают внезапные и постепенные, полные и частичные отказы.

- Внезапные отказы наступают неожиданно, мгновенно из-за внезапной концентрации нагрузки или аварийной ситуации.

- Постепенные отказы возникают под действием постепенного изменения свойств объектов, старения или износа деталей.

- Полный отказ приводит к полной потере работоспособности, а частичный - лишь к утрате отдельных функций объекта.

Объект (в теории надежности) - предмет определенного целевого назначения, в жизненном цикле которого выделяют стадии проектирования, изготовления и эксплуатации. Объектом может быть система или элемент.

Система - это совокупность взаимосвязанных устройств, предназначенная для самостоятельного достижения некоторой цели.

Элемент - часть системы, которая способна выполнять некоторые локальные функции системы.

Представление объекта в виде системы или элемента зависит от постановки задачи и является условной процедурой. Например, при изучении надежности парка электрооборудования предприятия электропривод рассматривается как элемент, а в других случаях он рассматривается как система, в которой выделяется ряд элементов (пусковая аппаратура, устройство защиты, двигатель и т.д.). В свою очередь элементы и системы, допускающие восстановление работоспособности после отказа, называют восстанавливаемыми, а в противном случае - невосстанавливаемыми (неремонтируемыми). К первому виду относят, например, трансформаторы и двигатели, а ко второму - электроосветительные лампы и трубчатые нагреватели. Таким образом, элементы (системы), изучае-

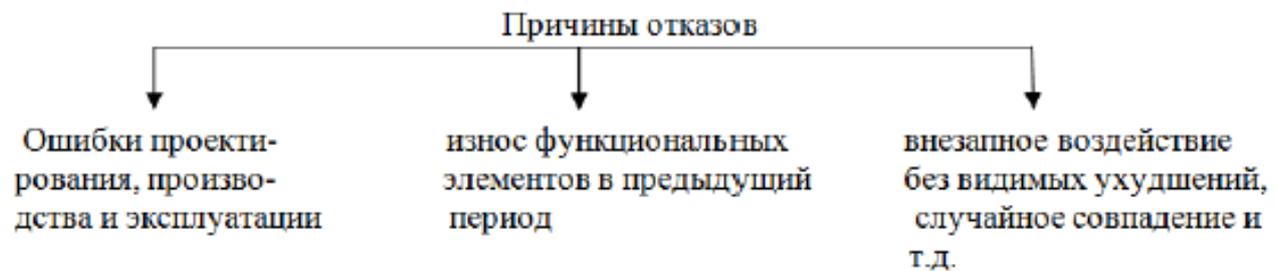
мые в теории надежности, имеют три главных признака, характеризующих: природу отказов (внезапные и постепенные); виды отказов по их последствиям (полные и частичные); приспособленность к ремонту (ремонтируемые и неремонтируемые). В зависимости от сочетания этих признаков элементы (системы) разделяют на простые и сложные. Простым принято считать такой элемент, который имеет внезапные, полные отказы и является неремонтируемым. Сложный элемент имеет наряду с перечисленными и ряд дополнительных признаков, т.е. он имеет внезапные и постепенные отказы (или только постепенные), отказы могут быть частичными, их последствия могут устраняться в процессе ремонта. При изучении надежности объекта как способности сохранять свои параметры в процессе эксплуатации возникает необходимость оценивать стабильность этих параметров на разных этапах эксплуатации, приспособленность к ремонту и ряд других признаков. Поэтому надежность является сложным, комплексным свойством и включает ряд более простых свойств (в отдельности или в определенном сочетании):

- безотказность - свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени;
- долговечность - свойство объекта сохранять работоспособность объекта до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта;
- ремонтпригодность - приспособленность к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов (повреждений), к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов;
- сохраняемость - свойство объекта сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности во время хранения или транспортировки;
- устойчивость - способность объекта переходить при различных возмущениях от одного устойчивого режима к другому;

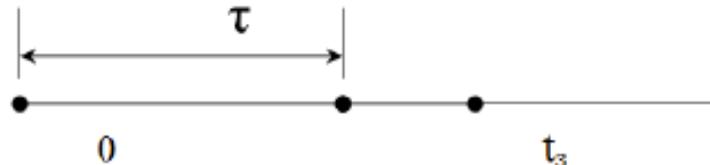
• живучесть - свойство системы противостоять крупным возмущениям, не допуская развития аварий. На практике различают конструктивную и эксплуатационную надежность. Первая из них характеризует свойства объекта, заложенные при его проектировании и изготовлении. Эти свойства иногда называют номинальной надежностью, которая определяет способность к стабильному функционированию в типовых (номинальных) условиях эксплуатации. Под эксплуатационной понимается надежность, наблюдаемая в условиях эксплуатации с учетом всей совокупности воздействий: дестабилизирующие факторы окружающей среды, реальные режимы использования, качество технического обслуживания и ремонтов. Задачи эксплуатационной надежности приобрели большую актуальность в связи с тем, что многие виды электрооборудования сельскохозяйственных предприятий, имея достаточно высокие показатели конструктивной надежности, по эксплуатационным показателям не отвечают требованиям производства. Так, двигатели серии 4А рассчитаны на безотказную работу в течение 10 лет, а фактическое время безотказной работы до капитального ремонта составляет в животноводстве 3,5 года, в растениеводстве - 4 года, на подсобных предприятиях - 5 лет.

2. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ

Безотказность – свойство ТС непрерывно сохранять работоспособность в течении некоторой наработки этой ТС(для одних ТС наработка измеряется в единицах времени, для других в единицах объема или количестве циклов).



Под износом понимается постепенное утрачивание элементом из ряда функциональных свойств под влиянием постоянно действующих факторов, имеющих и случайный и детерминированный характер.



Обозначим: t_3 - заданный период времени; τ - время до наступления отказа.

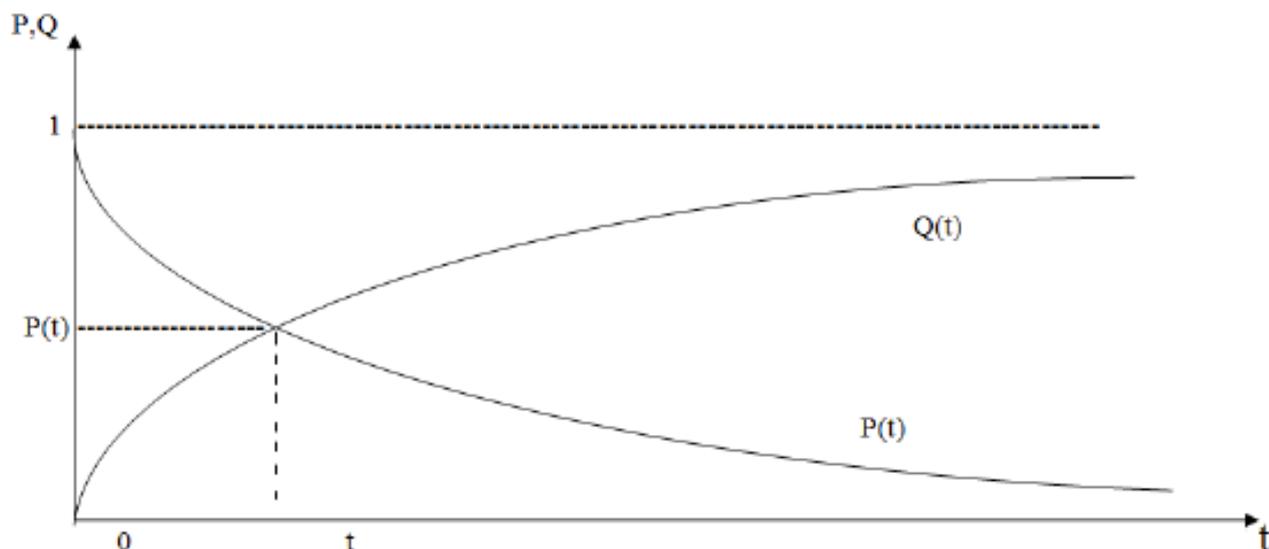
Поскольку отказ носит случайный характер, то и время до его наступления τ также случайно.

Это позволяет использовать для количественной оценки безотказности положения теории вероятности, которая изучает случайные процессы. В соответствии с этим вероятность отказа (или безотказной работы) в течении заданного периода t , имеет вид:

$P\{T < t_c\} = Q(t)$ – функция ненадежности (вероятность отказа);

$P\{T \geq t_c\} = P(t)$ - функция надежности (вероятность безотказной работы)

Графически эти функции имеют вид экспонент, по которым можно определить их значение для каждого момента времени t :



База данных для определения количественных показателей надежности формируется путем статистических наблюдений за различными объектами, которые могут быть организованы по одному из следующих принципов:

а) наблюдение за каждым объектом в течении всего времени его «жизни» (недостаток – большая длительность наблюдений для получения необходимой базы данных);

б) одновременное наблюдение за группой однотипных объектов, работающих в примерно одинаковых условиях (достоинство – быстрое накопление данных, недостаток – данные надо корректировать в условиях, отличающихся от наблюдаемых);

в) интенсифицированные испытания в специально созданных условиях (лаборатория, стенд и т.д.):

перегрузки повышенная температура, повышенное содержание влаги и пыли, вибрация и т.п. (достоинство – быстрое накопление данных, недостаток – трудность адекватного учета отклонения условий испытаний от режима реальной эксплуатации).

Безотказность как характеристика надежности невосстанавливаемых элементов определяется следующими количественными показателями:

- безотказностью;
- вероятностью отказа;
- наработкой на отказ;
- частотой отказов;
- интенсивностью отказов.

а) Безотказность-это вероятность того, что в заданном интервале времени отказа не произойдет соответствует выражению:

$$P(t) = \lim_{N_0 \rightarrow \infty} \frac{N(t)}{N_0}$$

или

$$P(t) = \frac{N(t)}{N_0}$$

где N_0 -число наблюдаемых устройств; $N(t)$ -число исправных устройств на момент времени t .

Для реальных статических наблюдений ($N_0 \neq \infty$):

$$P(t) = \frac{\sum_{i=1}^{\frac{t}{\Delta t}} N_i}{N_0}$$

Где: N_0 -общее число наблюдаемых устройств;

N_i -число устройств, работающих безотказно в $i - \text{й}$ промежутке времени Δt

t - время, для которого определяется вероятность безотказной работы

б) Вероятность отказа – это вероятность того, что в заданном интервале времени отказ произойдет:

$$Q(t) = \lim_{N_0 \rightarrow \infty} \frac{n(t)}{N_0}$$

или

$$Q(t) = \frac{n(t)}{N_0}$$

где $n(t)$ – количество устройств, отказавших к моменту времени t .

Для реальных наблюдений:

$$Q(t) = \frac{\sum_{i=1}^{\frac{t}{\Delta t}} n_i}{N_0}$$

где n_i – число элементов, отказавших в i -том интервале времени Δt

в) Нарботка на отказ – это среднее время безотказной работы (или среднее количество циклов):

$$T_0 = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{\frac{t}{\Delta t}} n_i * t_i^{cp}$$

где: t_i – среднее время наработки

Для устройств, наблюдаемых одновременно, средняя наработка на отказ может быть определена так:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}$$

где - t_i наработка до отказа i -того устройства.

Для группы однотипных элементов, наблюдаемых в разные промежутки времени

$$T_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^{\frac{t}{\Delta t}} n_i * t_i^{CP}}{N_0}$$

где n_i - число отказавших однотипных элементов;

t_i^{CP} – среднее время безотказной работы в i -том интервале времени:

$$t_i^{CP} = \frac{t_i + t_{i+1}}{2}$$

Отметим, что t_{CP} может быть определено и так: (докажите!)

$$T_{CP} = Q(t) * t_i^{CP}$$

г) Частота отказов – отношение числа элементов, отказавших в единицу времени, к первоначальному числу наблюдаемых элементов:

$$a(t) = \frac{n(t)}{N_0 * \Delta t}$$

где $n(t)$ – число элементов, отказавших заданном интервале времени Δt ;

Частота отказов позволяет определить число элементов, которые могут выйти из строя в определенный момент времени:

$$n(t) = a(t) * \Delta t * N_0$$

д) Интенсивность отказов $\lambda(t)$ – это отношение числа элементов отказавших, в единицу времени Δt , к числу элементов, оставшихся исправными:

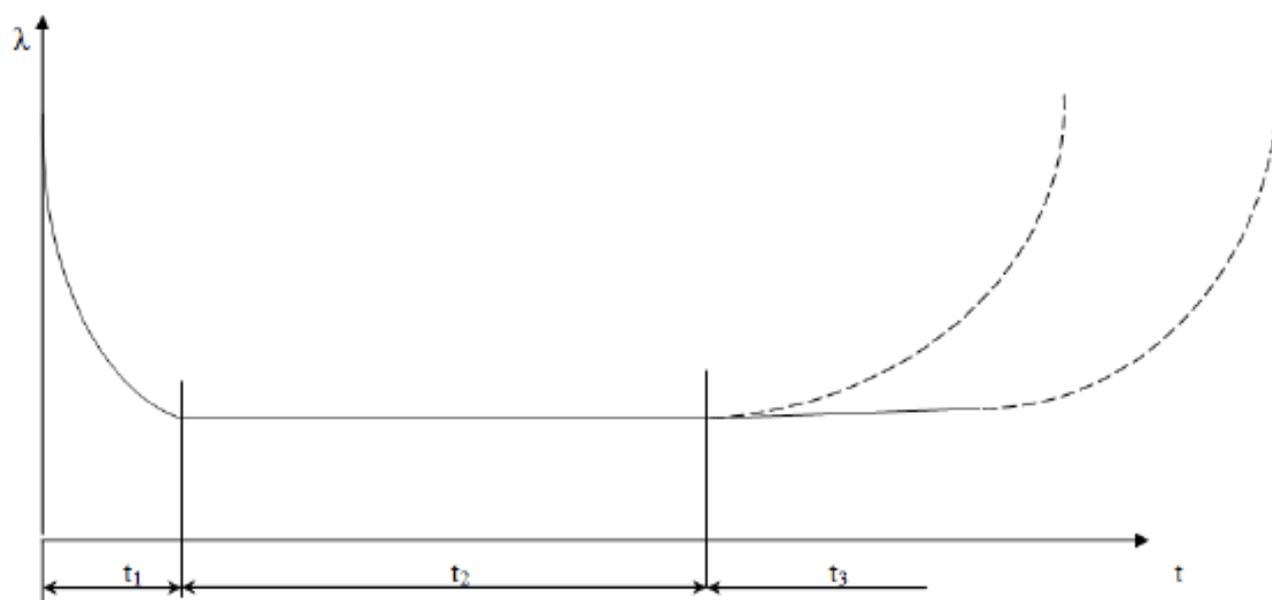
$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N(t) * \Delta t}$$

где $n(t)$ и $N(t)$ – число отказавших и оставшихся исправными элементов на момент времени t

Интенсивность отказов может быть определена на частоте отказов и безотказности:

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)}$$

В общем случае интенсивность отказов зависит от времени. Однако исследования в отношении характера изменения лямбда- характеристики (так называется зависимость $\lambda=f(t)$), показали что для подавляющего большинства ТС она имеет один и тот же вид:



где: t_1 – период приработки (исправление погрешностей проектирования, изготовления и монтажа ТС) (до десятков часов); t_2 - период нормативной эксплуатации (десятки тысяч часов);

t_3 - износ.

3. КОМПЛЕКСНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ

Комплексные показатели надежности. Коэффициент готовности характеризует готовность объекта к функционированию, т.е. к применению по назначению:

$$K_{г} = \frac{T_o}{T_o + T_B},$$

где T_o - средняя наработка на отказ; T_B - среднее время восстановления.

Можно показать, что коэффициент готовности - это вероятность застать объект в работоспособном состоянии в произвольный момент времени (без учета простоя по организационным причинам). Коэффициент оперативной готовности характеризует готовность объекта к функционированию с учетом простоев по организационным причинам:

$$K_{o.g} = \frac{T_o}{T_o + T_B + T_{орг}},$$

где $T_{орг}$ простои по организационным причинам: вызов ремонтных бригад, доставка запасных частей и т.п.

Коэффициент технического использования характеризует долю времени нахождения объекта в работоспособном состоянии с учетом простоя объекта на всех видах технического обслуживания и ремонта

$$K_{ТИ} = \frac{t_{сум}}{t_{сум} + t_{ТО} + t_{рем}},$$

где $t_{сум}$ - суммарная наработка; $t_{ТО}$, $t_{рем}$ - суммарное время пребывания в обслуживании и ремонте.

Все перечисленные показатели можно использовать для оценки системы сельского электроснабжения. Но для этой системы главное требование - способность в любой момент времени снабжать электрической энергией присоединенных к ней потребителей. Поэтому основными показателями надежности принято считать число (n) и длительность (T_0) отключений.

Отключения сельских сетей вызываются различными причинами и могут быть случайными (внезапными) или преднамеренными (плановыми). Такое деление отражает не только природу наступления отключений (первые возникают при аварийных ситуациях, а вторые осуществляет обслуживающий персонал в плановом порядке), но и последствия, которые наступают у потребителя при перерывах в электроснабжении. Аварийные отключения из-за своей неожиданности всегда приносят больший ущерб, чем плановые. Для учета этих особенностей вводят понятие эквивалентной продолжительности отключений

$$T_3 = T_{ав} + \gamma T_{пл},$$

где $T_{ав}$, $T_{пл}$ - продолжительности аварийных и плановых отключений, соответственно; γ - коэффициент, учитывающий меньшую тяжесть плановых отключений ($\gamma=0,1...0,4$).

Перечень вопросов для оценивания результатов обучения

1. Какими понятиями оценивается способность объекта выполнять требуемые функции?
2. Что называется отказом и какие бывают отказы?
3. Что оценивают показатели безотказности?
4. Что показывает средняя наработка на отказ?
5. Перечислите показатели ремонтпригодности?
6. Как определить среднее время восстановления?
7. Что означают термины: «долговечность», «средний срок службы», «средний срок службы до списания»?
8. Перечислите комплексные показатели надежности?
9. Какими характеристиками осуществляется простейшее вероятностное описание случайной величины?
10. Какой вид имеет функция распределения?
11. Дайте определение основного закона надежности?
12. Чем характеризуется основной закон надежности при экспоненциальном распределении?
13. Перечислите методы расчета надежности?
14. Как выполняется расчет структурной надежности?
15. Перечислите методы расчета надежности?
16. В какой последовательности осуществляется планирование эксплуатационных испытаний?
17. Как осуществляется расчет надежности коэффициентным методом?
18. Как осуществляется решение задач о периодичности технического обслуживания электрических машин?
19. Как осуществляется решение задач о готовности электродвигателя?
20. Как осуществляется решение задач о ремонтпригодности?
21. Расчет надежности при последовательном соединении элементов?
22. Расчет надежности при параллельном соединении элементов?

23. Расчет надежности при последовательно- параллельном(смешанном) соединении элементов?
24. Экспериментальный метод определения надёжности электрических машин?
25. Коэффициентный метод определения надежности электрических машин?
26. Расчет надежности неремонтируемых систем?
27. Исследование надёжности ремонтируемых систем?
28. Расчет надежности по статистическим данным об отказах электрических машин?
29. Рекомендации по повышению надежности электрических машин?
30. Безотказность неремонтируемых элементов?

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Надежность и техническое обслуживание электроэнергетических систем в сельском хозяйстве [Электронный ресурс] / Т. Н. Васильева. - Электрон. текстовые дан. // Руконт : электронно-библиотечная система. Перейти к внешнему ресурсу <https://lib.rucont.ru/efd/208884>.

2. Надежность электрических машин [Текст] : учеб. для вузов : допущено Учеб.-метод. об-нием / О. Д. Гольдберг, С. П. Хелемская ; под ред. О. Д. Гольдберга. - М. : Академия, 2010. - 287 с. ; 22 см. - (Высшее профессиональное образование). - Библиогр.: с. 285.

3. Аполлонский С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов [Электронный учебник] : учеб. пособие / С.М. Аполлонский, Ю.В. Куклев, 2011. - 443 с. - Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_cid=25&p11_id=2034

4. Надёжность электрических машин [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. И. Судаков, Е. А. Чабанов. - Пермь : ПНИПУ, 2008. - 332 с.
<https://e.lanbook.com/book/161265>

Дополнительная литература:

1. Котеленец Н. Ф. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин: Учебник для вузов/ Н.Ф. Котеленец, Н.А. Акимова, М.В. Антонов; Под ред. Н.Ф. Котеленца. – М.: Academia, 2003. – 384 с.

2. Электрические машины [Текст] : учеб. пособие для вузов по спец. 200101 Приборостроение / С. Г. Прохоров, Р. А. Хуснутдинов. - Ростов н/Д : Феникс, 2012. - 410 с. ; 21 см. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 404-405.

3. Электрические машины [Текст] : учеб. для вузов : рек. Учеб.-метод. об-нием / В. Я. Беспалов, Н. Ф. Котеленец. - 2-е изд., испр. - М. : Академия, 2008. - 313 с. : ил. ; 22 см. - (Высшее профессиональное образование). - Библиогр.: с. 308.

4. Средства электрических измерений и их поверка [Электронный ресурс] : 2018-06-07 / К. К. Ким, Г. Н. Анисимов, А. И. Чураков. - 1-е изд. - : Лань, 2018. - 316 с. - Режим доступа:<https://e.lanbook.com/book/107287>.

5. Эксплуатация электрооборудования сельскохозяйственных предприятий /Г.П. Ерошенко, Ю.А. Медведько, М.А. Таранов. -Ростов-на-Дону, 2008.- 591 с.

6. Монтаж, эксплуатация и ремонт технологического оборудования [Текст]: учеб. для вузов/А.Н. Батищев [и др.]; под ред. А.Н.Батищева.- М.: КолосС, 2007. – 424 с.: ил.; см.-(Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). – Авт. указ. на обороте тит.л. – Библиогр.: с. 418.–Предм. указ.: с. 419-420