

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра практической подготовки студентов

ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по аграрному техническому образованию в качестве
методических указаний по выполнению курсовой работы
для студентов учреждений высшего образования
по специальности 1-74 06 05-01 Энергетическое обеспечение
сельскохозяйственного производства (электроэнергетика)*

Минск
БГАТУ
2013

УДК 621.31(07)
ББК 31.26я7
Д44

Составители:
доктор технических наук В. И. Русан,
старший преподаватель Ю. Н. Селюк,
старший преподаватель И. В. Довнар

Рецензенты:
доктор технических наук, профессор УО «Белорусский национальный
технический университет» *В. А. Сычик*;
главный энергетик ООО «Завод теплообменного оборудования»
Г. Ю. Ворона
кандидат технических наук, доцент БГАТУ *Н. Е. Шевчик*

Д44

Диагностика электрооборудования : методические указания по выполнению курсовой работы для студентов учреждений высшего образования по специальности 1-74 06 05-01 Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства (электроэнергетика) / сост.: В. И. Русан, Ю. Н. Селюк, И. В. Довнар. – Минск : БГАТУ, 2013. – 88 с.
ISBN 978-985-519-614-4.

Рассмотрены вопросы разработки диагностической модели для различных видов электрооборудования, изложены основные методы прогнозирования технического состояния, методика определения эксплуатационных трудозатрат, также рассмотрен порядок разработки схемы и конструкции диагностического устройства.

Для выполнения курсовой работы по дисциплине «Диагностика электрооборудования».

УДК 621.31(07)
ББК 31.26я7

ISBN 978-985-519-614-4

© БГАТУ, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	5
2. СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ.....	7
3. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	14
3.1. Разработка диагностической модели электрооборудования.....	15
3.2. Определение ресурса электрооборудования.....	29
3.3. Разработка диагностического устройства.....	42
3.4. Проектирование конструкции диагностического устройства.....	48
3.5. Расчет эксплуатационных трудозатрат.....	58
3.6. Профилактические испытания электрооборудования.....	70
3.7. Определение ущерба от отказов диагностируемого электрооборудования.....	75
3.8. Выбор инструментов и приспособлений для диагностирования.....	76
3.9. Заключение и литература.....	77
4. ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	78
ЛИТЕРАТУРА.....	79
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	81

ПРЕДИСЛОВИЕ

Для обеспечения надежности работы и эффективного функционирования электрооборудование подвергается диагностированию, техническому обслуживанию и ремонту. Целью этих операций является своевременное выявление и устранение его неисправностей для повышения надежности работы и снижения стоимости эксплуатации.

В этой связи изучение диагностики электрооборудования является важным элементом подготовки инженера-электрика. Знание методов, средств, систем и способов диагностирования позволяет контролировать качество его работы.

Диагностирование электрооборудования включает в себя операции по определению и прогнозированию его технического состояния на основании измерения диагностических параметров, их анализа и обработки результатов контроля. Организация планового диагностирования и выполнение всех необходимых для этого работ значительно сокращает количество ремонтных операций, что приводит к уменьшению эксплуатационных издержек и снижению ущерба от отказов.

Прогнозирование технического состояния электрооборудования на основе мониторинга диагностических параметров позволяет получить достоверную информацию о его фактическом состоянии, своевременно устранить возможность отказа, сократить простои и использовать ресурсы электрических машин в полном объеме.

Выполнение курсовой работы по дисциплине «Диагностика электрооборудования» позволяет закрепить теоретические знания и практически освоить методы прогнозирования технического состояния электрооборудования, а также порядок разработки диагностических устройств различного назначения.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Целью курсовой работы является закрепление теоретических знаний по методам и средствам диагностирования отдельных видов электрооборудования, изучение методики проектирования диагностических устройств, принципов, способов и систем организации диагностирования.

В результате изучения дисциплины студенты должны:

- знать основы теории надежности, информационных технологий, измерений и обработки их результатов, физические закономерности изменения эксплуатационных свойств электрооборудования от условий эксплуатации, принципы и системы диагностирования электрооборудования, организацию эксплуатации и диагностирования;

- уметь организовать службу диагностирования, составлять графики ТО и Д, диагностировать электрооборудование, осуществлять проверку приборов, аттестовывать и аккредитовывать измерительно-диагностические лаборатории;

- иметь представление о роли и влиянии диагностики на эксплуатационную надежность электрооборудования и конечные результаты сельскохозяйственного производства.

Задачами курсовой работы являются:

- 1) разработка диагностической модели электрооборудования;
- 2) обоснование и выбор методов прогнозирования технического состояния электрооборудования;
- 3) определение ресурса электрооборудования;
- 4) разработка диагностического устройства;
- 5) расчет эксплуатационных трудозатрат;
- 6) определение порядка профилактических испытаний;
- 7) расчет ущерба от отказов диагностируемого оборудования.

Знание методов, средств, систем, способов и методик диагностирования позволяет с высокой точностью определять техническое состояние электрооборудования. Благодаря этому снижаются затраты на эксплуатацию оборудования, повышается его надежность, сокращаются простои электрифицированного оборудования, уменьшается ущерб от отказов, полнее используется ресурс электрооборудования.

Выполнение курсовой работы позволяет на практике ознакомиться с методами и системами диагностирования конкретных ви-

дов электрооборудования, принципами их выбора и применения. Кроме того, в процессе выполнения работы осваиваются методика проектирования диагностических устройств и основные принципы организации диагностирования электрооборудования.

2. СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Курсовая работа состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка в объеме 30–35 страниц должна быть изложена литературным языком, грамотно, с использованием общепринятых технических терминов и сокращений.

Записка оформляется на листах стандартного размера А4 с одной стороны листа. Величина поля с левой стороны листа должна быть не менее 20 мм, полей с остальных сторон листа – не менее 10 мм. Оформление пояснительной записки (формул, таблиц, рисунков) должно соответствовать стандарту предприятия СТП БГАТУ 01.12–06.

Содержание расчетно-пояснительной записки

1. Задание на курсовую работу, аннотация, ведомость комплекта документации.
2. Введение.
3. Разработка диагностической модели электрооборудования.
4. Определение ресурса электрооборудования.
5. Разработка диагностического устройства.
 - 5.1. Обоснование и выбор методов диагностирования на основании диагностической модели
 - 5.2. Разработка принципиальной электрической схемы диагностического устройства
 - 5.3. Расчет и выбор элементов принципиальной электрической схемы
 - 5.4. Проектирование конструкции диагностического устройства
6. Расчет эксплуатационных трудозатрат.
7. Профилактические испытания электрооборудования.
8. Определение ущерба от отказов диагностируемого электрооборудования.
9. Расчет ориентировочной стоимости диагностического устройства.
10. Выбор инструментов и приспособлений для диагностирования.
11. Заключение.
12. Литература.

Графическая часть работы в объеме 1 листа формата А2 должна быть выполнена в полном соответствии с СТП БГАТУ 01.12–06 и другими действующими нормативными документами.

Содержание графической части

1. Матрица диагностирования.
2. Полная принципиальная электрическая схема диагностического устройства.
3. Диаграммы замыкания контактов, переключателей, срабатывания регуляторов и пр. (при необходимости).
4. Перечень элементов схемы.
5. Конструкция диагностического устройства (вид на переднюю и при необходимости – на заднюю панель).
6. Перечень надписей.

Необходимые исходные данные для выполнения курсовой работы выбираются студентом самостоятельно на основании таблиц 1–3. Руководитель курсовой работы может по своему усмотрению изменять исходные данные либо в отдельных случаях выдавать индивидуальное задание для выполнения курсовой работы.

Исходные данные для выполнения курсовой работы

Начальная буква фамилии студента	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И
Вид диагностируемого электрооборудования	Асинхронные двигатели единых серий мощностью до 1 кВт	Погружные электродвигатели	Светильники с ГЛВД до 125 Вт	Автоматические выключатели до 32 А	Элементные емкостные водонагреватели 3–12 кВт	Дифференциальные автоматические выключатели до 32 А, характеристика А	Электродвигатели 20–40 кВт	Асинхронные двигатели единых серий мощностью от 1 до 5 кВт	Магнитные пускатели до 25 А

6

Продолжение табл. 1

Начальная буква фамилии студента	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т
Вид диагностируемого электрооборудования	Асинхронные двигатели единых серий мощностью 20–30 кВт	Дифференциальные автоматические выключатели 40–63 А, характеристика АС	Светильники с ГЛВД 250–400 Вт	Магнитный пускатель с тепловым реле 40–63 А	Автоматические выключатели 40–63 А	Асинхронные двигатели единых серий мощностью от 5 до 10 кВт	Элементные проточные водонагреватели до 2 кВт	Сварочные генераторы	Светильники с ЛЛ до 36 Вт

10

Начальная буква фамилии студента	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Э, Ю	Я
Вид диагностируемого электрооборудования	Светильники с ЛЛ 40–80 Вт	Асинхронные двигатели единых серий мощностью от 11 до 20 кВт	Автоматические выключатели 80–100 А	Дифференциальные автоматические выключатели 80–100 А, характеристика А	Магнитные пускатели 40–80 А	Дифференциальные автоматические выключатели до 25А, характеристика АС	Погружные электродвигатели	Элементные емкостные водонагреватели 15–30 кВт	Электрокалориферы до 10 кВт

Исходные данные для выполнения курсовой работы

Таблица 2

Последняя цифра номера зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Количество основных диагностических параметров	3	4	4	3	3	4	4	3	4	4
Место установки электрооборудования	коровник	ремонтная мастерская	телятник	котельная	картофельохранилище	цех по переработке овощей	кормоцех	склад минеральных удобрений	птичник	свинарник
Наработка, ч	Выбирается по двум последним цифрам номера зачетной книжки, умноженным на 100; если две последние цифры 0, наработка принимается 10000 ч.									

Место установки принимается с учетом назначения диагностируемого электрооборудования.

Исходные данные для выполнения курсовой работы

Предпоследняя цифра номера зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Количество дополнительных диагностических параметров	2	3	4	4	3	2	4	3	2	4
Обобщенный показатель целесообразности	0,5–0,7	0,6–0,8	0,7–0,9	0,6–0,9	0,5–0,8	0,7–0,8	0,6–0,75	0,5–0,65	0,7–0,85	0,75–0,9
Метод прогнозирования ресурса изоляции (только для АД)	А+СК	В	А+СК	В	В	А+СК	А+СК	В	А+СК	В

Примечание. А – аналитический метод, В – вероятностный метод, СК – метод статистической классификации.

3. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Оформление *титального листа* и задания на курсовую работу должны соответствовать форме, приведенных в приложениях 3 и 1 соответственно настоящих методических указаний.

Аннотация работы (объем – до 1 с.) должна содержать сведения о количестве листов пояснительной записки; рисунков, таблиц, графиков в составе записки, а также сведения о графической части проекта (объем и содержание).

Ведомость комплекта документации выполняется согласно СТП БГАТУ 01.12–06.

Введение курсовой работы (1–2 с.) выполняется по следующему плану для заданного электрооборудования:

1) общая характеристика электрооборудования (назначение, область применения, основные элементы);

2) актуальность вопроса диагностирования;

3) характеристика условий эксплуатации (характер окружающей среды в месте установки электрооборудования по [11], средняя температура воздуха, относительная влажность, содержание в воздухе пыли и химически активных примесей). При наличии в окружающей среде агрессивных химических соединений указываются также их предельно допустимые концентрации (ПДК).

Для погружных электродвигателей приводятся основные параметры окружающей среды, в которой эксплуатируется данное оборудование. Также в разделе указывается режим работы электрооборудования (среднее время работы оборудования в сутки, количество включений в час, повторность включений);

4) обязательно следует указать наименование и классы нагревостойкости всех электроизоляционных материалов, используемых в электрооборудовании;

5) дополнительно указываются:

- для электродвигателей асинхронных – наименование приводимой ими в действие рабочей машины или механизма, принятые номинальная мощность и частота вращения вала;

- для магнитных пускателей – наименование управляемого ими электроприемника, напряжение катушки и принятый номинальный ток силовых контактов;

- для автоматических (АВ) и дифференциальных автоматических выключателей – наименование защищаемого оборудования или групповой линии, принятая величина номинального тока выключа-

теля и расцепителей (для дифференциальных АВ – также принятый номинальный отключающий дифференциальный ток);

- для светильников – тип светильника и марка принятого источника света;

- для сварочных генераторов и погружных электродвигателей – принятые номинальная мощность и частота вращения вала, класс коммутации (только для сварочных генераторов);

- для электроводонагревателей и электрокалориферов – принятое количество установленных ТЭНов, мощность и напряжение питания одного ТЭНа.

3.1. Разработка диагностической модели электрооборудования

Разработка диагностической модели электрооборудования начинается с составления диагностической матрицы для заданного оборудования. Указанная матрица представляет собой таблицу, выполненную по форме:

Диагностический параметр	Узел и элемент электрооборудования		
	Элемент 1	Узел 1	... и т.д.
Основные диагностические параметры 1. 2. и т. д.			
Дополнительные диагностические параметры 1. 2. и т. д.			

Количество основных и дополнительных диагностических параметров должно строго соответствовать указанному в задании на курсовую работу.

При составлении матрицы в верхней части (в столбцах) располагают наименования узлов и элементов электрооборудования, подлежащих диагностированию, а в строках – диагностические пара-

метры, выбранные из множества параметров, характеризующих техническое состояние данного вида электрооборудования. Наличие связи между основным диагностическим параметром и техническим состоянием диагностируемого элемента или узла обозначают цифрой «1», а отсутствие связи – «0». Обычно для удобства работы с диагностической матрицей нули опускают.

Необходимо, чтобы каждый столбец имел обозначение «1» не менее чем в одной из строк матрицы для основных диагностических параметров.

Для дополнительных диагностических параметров указание связи с техническим состоянием не требуется.

Матрица диагностирования приводится в графической части работы на свободном месте листа; размеры таблицы выбираются произвольно.

На основании разработанной матрицы составляется диагностическая модель заданного электрооборудования, которая представляет собой систему уравнений с пояснениями к ним. Каждое уравнение должно описывать изменение основного диагностического параметра во времени. Необходимые уравнения выбираются из материала, приведенного далее.

Полученная диагностическая модель используется для расчета и построения графических зависимостей параметров от наработки. Для каждого из них необходимо выполнить расчет не менее 5 значений, привести в пояснительной записке таблицу результатов расчета и графическую зависимость, построенную по результатам расчета.

Световой поток осветительного прибора может быть определен для любого момента времени по формуле, лм:

$$\Phi = \Phi_0 \cdot (\gamma_{\text{л}} + \beta_{\text{л}} \cdot e^{-t/t_{\text{л}}}) \cdot (\gamma_{\text{с}} + \beta_{\text{с}} \cdot e^{-t/t_{\text{с}}}), \quad (1)$$

где Φ_0 – начальный световой поток источника света, лм (принимается по каталожным данным в зависимости от принятой лампы);

$\gamma_{\text{л}}$, $\beta_{\text{л}}$, $t_{\text{л}}$ – коэффициенты, зависящие от физических свойств и конструкции ламп (табл. 4);

$\gamma_{\text{с}}$, $\beta_{\text{с}}$, $t_{\text{с}}$ – коэффициенты, зависящие от характера среды в помещении (параметры запыления) (табл. 5);

t – наработка осветительного прибора, ч;

t_1 – интервал времени от предыдущей очистки светильника, ч.

Таблица 4

Коэффициенты для ламп

Тип источника света	$\gamma_{\text{л}}$	$\beta_{\text{л}}$	$t_{\text{л}}$, ч
ЛЛ	0,44	0,56	10500
ДРЛ	0,6	0,4	4430
ДРИ	0,6	0,4	1960

Таблица 5

Коэффициенты для помещений

Характеристика среды	$\gamma_{\text{с}}$	$\beta_{\text{с}}$	$t_{\text{с}}$, ч
слабозапыленная	0,833	0,167	2352
среднезапыленная	0,672	0,328	3108
сильнозапыленная	0,5	0,5	974

Периодичность очистки осветительных приборов приведена в таблице 6.

Таблица 6

Периодичность очистки светильников

Назначение помещений	Периодичность, мес.
Сельскохозяйственные помещения	3
Помещения общественных зданий	3
Производственные помещения:	
- слабозапыленные	3
- среднезапыленные	1
- сильнозапыленные	0,5

Определение величины светового потока осветительного прибора для заданного значения наработки следует производить табличным способом с последующим построением зависимости $\Phi = f(t)$. Для этого весь интервал времени работы светильника разбивается на участки согласно количеству очисток от загрязнений. В пределах каждого участка вычисляется не менее 3-х значений светового потока по формуле (1). При $t = t_0$ (t_0 – наработка до очистки светильника, которая определяется, исходя из периодичности очистки и среднего времени работы осветительного прибора в сутки) вычисляются 2 значения светового потока. Одно значение (Φ_1) определяется по формуле (1), а второе (Φ_2) – по формуле (2), лм:

$$\Phi = \Phi_0 \cdot (\gamma_{\text{л}} + \beta_{\text{л}} \times e^{-t/t_{\text{л}}}). \quad (2)$$

Далее определяется величина светового потока $\Phi_{\text{в}}$ после очистки по формуле (3), лм:

$$\Phi_{\text{в}} = \Phi_2 - K_{\text{в}} \cdot (\Phi_2 - \Phi_1), \quad (3)$$

где $K_{\text{в}}$ – коэффициент восстановления светового потока (для слабозапыленных помещений – 0,1; среднезапыленных – 0,15; сильнозапыленных – 0,2).

Полученное значение является начальным при построении графика (не при расчете) для периода работы до следующей очистки. Расчет заканчивается при достижении времени заданной наработки. В случае отсутствия необходимости в очистке осветительного прибора (заданная наработка не превышает t_0) производится вычисление не менее 5 значений светового потока по формуле (1).

Предельное значение светового потока $\Phi_{\text{п}} = 0,6\Phi_0$.

В настоящей курсовой работе рассматриваются соединительные контакты (разборные и неразборные), которые являются элементом конструкции электрических машин и аппаратов. Контактные соединения, обеспечивающие включение оборудования в электрическую цепь, в курсовой работе не рассматриваются. Для определения ресурса соединительных контактов следует предварительно определить расчетный ток соединения. В качестве расчетного условно принимается:

для коммутационных аппаратов – ток катушки, определяемый по величине мощности, потребляемой катушкой в рабочем режиме;

для защитных аппаратов, а также электроводонагревателей, электрокалориферов, светильников и электродвигателей – номинальный ток;

для сварочных генераторов – 20–30 % номинального тока нагрузки.

В пояснительной записке должно быть изложено определение расчетного тока контактных соединений для заданного электрооборудования (кроме аппаратов защиты).

По величине тока ориентировочно определяются площадь сечения контактных деталей и величина контактного нажатия согласно таблице 7.

Таблица 7

Выбор параметров соединительных контактов
(за исключением коммутационных аппаратов)

Расчетный ток, А	до 15	15–20	20–28	28–36	36–45	45–60	60–80	80–105
Сечение, мм ²	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25
Контактное нажатие, Н	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6

Для коммутационных аппаратов принимается сечение 0,1 мм², контактное нажатие – 0,05 Н.

Расчет параметров для соединительных контактов производится по упрощенной методике со следующими допущениями: материал контактов – медь; контакт-детали неподвижны относительно друг друга длительное время; соприкосновение контактов обеспечивают микроплощадки контактирования, имеющие форму круга. Контактующие детали также имеют круглое и одинаковое сечение, соединение – стыковое.

Методика расчета изложена далее по пунктам.

1. Определяется начальное переходное сопротивление контакта, Ом:

$$R_{\text{п}} = \frac{\varepsilon}{(0,102 \cdot F_{\text{к}})^m}, \quad (4)$$

где ε – коэффициент, учитывающий физические свойства материала, вид контакта и состояние контактной поверхности ($\varepsilon = 0,08 \cdot 10^{-3}$);

m – коэффициент, учитывающий конструктивные особенности контакта ($m=0,5$);

$F_{\text{к}}$ – контактное нажатие, Н.

2. Предварительно задаются установившейся температурой нагрева контакт-детали в точке, удаленной от зоны контактирования $\theta_{\text{кд}}$ (значение принимается в пределах 30–50 °С).

3. Определяется теплопроводность меди при температуре $\theta_{\text{кд}}$:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot (1 - 1,8 \cdot 10^{-4} \cdot \theta_{\text{кд}}), \quad (5)$$

где λ_0 – теплопроводность меди при 0 °С ($\lambda_0 = 388$ Вт/(м·°С)).

4. Температура в зоне контактирования при температуре $\theta_{\text{к}}' = \theta_{\text{кд}}$:

$$\theta_{\text{к}} = \frac{I^2 \cdot R_{\text{п}} \cdot (1 + \alpha_p \cdot (\theta_{\text{к}}' - 20))}{2 \cdot \sqrt{K_{\text{тс}} \cdot P \cdot \lambda \cdot S}} + \theta_{\text{кд}}, \quad (6)$$

где I – расчетный ток, А;

α_p – температурный коэффициент удельного сопротивления, K^{-1} ($\alpha_p = 0,00433 \text{ K}^{-1}$);

$K_{\text{тс}}$ – коэффициент теплообмена, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ($K_{\text{тс}} = 12,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$);

P – периметр поперечного сечения контакт-детали (длина окружности), м;

S – площадь поперечного сечения контакт-детали, м^2 .

Полученное значение температуры сравнивается с ранее принятым $\theta_{\text{к}}'$. В случае несовпадения значений производится повторный расчет при $\theta_{\text{к}}' = \theta_{\text{к}}$. Предварительно уточняется величина теплопроводности при вновь принятой температуре. Расчет заканчивается при совпадении значений принятой и полученной в результате расчета температуры.

5. Удельное контактное нажатие, Па:

$$\sigma_{\text{к}} = 0,24 \cdot F_{\text{к}}^{1/3} \cdot \left(\frac{4 \cdot E}{1 - \mu_{\text{п}}^2} \right)^{2/3}, \quad (7)$$

где E – модуль упругости меди, Па ($E = 1,29 \cdot 10^{11}$ Па);

$\mu_{\text{п}}$ – коэффициент Пуассона ($\mu_{\text{п}} = 0,343$).

Полученное значение сравнивается с величиной $\sigma_{\text{см}} = 3,5 \cdot 10^8$ Па (предел прочности меди при смятии). Если $\sigma_{\text{к}} \geq \sigma_{\text{см}}$, для дальнейших расчетов принимается $\sigma_{\text{к}} = \sigma_{\text{см}}$.

6. Радиус зоны контактирования, м:

$$r_{\text{к}} = \sqrt{\frac{F_{\text{к}}}{\pi \cdot \sigma_{\text{к}}}}. \quad (8)$$

7. Число микроплощадок на фактической поверхности соприкосновения контактов:

$$n = \frac{\pi \cdot r_{\text{к}}^2}{S_m^2}, \quad (9)$$

где S_m – средний шаг неровностей профиля контакт-деталей, м ($S_m = 5 \cdot 10^{-6}$ м).

8. Средний радиус микроплощадки, м:

$$r_{\text{ср}} = S_m \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\text{к}}}{3 \cdot \pi \cdot \sigma_{\text{см}}}}. \quad (10)$$

9. Межконтактный зазор, м:

$$h_{\text{м}} = R_p \cdot \left(1 - \left(\frac{\sigma_{\text{к}}}{3 \cdot t_m \cdot \sigma_{\text{см}}} \right)^{1/3} \right), \quad (11)$$

где R_p – высота наибольших выступов контактной поверхности, м ($R_p = 0,85 \cdot 10^{-6}$ м);

t_m – относительная опорная длина профиля поверхности ($t_m = 0,42$).

10. Уточненное переходное сопротивление контактов при 20 °С, Ом:

$$R_{\text{п}} = \frac{\rho_{20}}{2 \cdot r_{\text{к}}} + \frac{\rho_{20}}{2 \cdot n \cdot r_{\text{ср}}}, \quad (12)$$

где ρ_{20} – удельное электрическое сопротивление меди при 20 °С, Ом·м ($\rho_{20} = 1,75 \cdot 10^{-8}$ Ом·м).

Далее производится уточнение температуры в зоне контактирования (см. п. 4).

11. Задаются величиной интервала времени наработки контактного соединения Δt (не менее 5 значений до достижения заданного). Определяется толщина пленки оксидов и загрязнений на поверхности контактов в момент времени Δt :

$$S_{\text{плл}} = K_1 \cdot \theta_K^{K_2} \cdot \left[\Delta t + \left(\frac{S_{\text{плл}}}{K_1 \cdot \theta_K^{K_2}} \right)^{1/K_3} \right]^{K_3}, \quad (13)$$

где $S_{\text{плл}}$ – толщина пленки к началу расчетного интервала времени (начальная величина $S_{\text{плл}} = 2 \cdot 10^{-9}$ м);

K_1, K_2, K_3 – коэффициенты, зависящие от материала контакта и характера окружающей среды ($K_1 = 2,67 \cdot 10^{-14}$; $K_2 = 3,33$; $K_3 = 0,321$).

12. Определяются измененные значения $r_{\text{ср}}$ и $h_{\text{м}}$:

$$r_{\text{ср}} = r_{\text{срi}} - K_{\text{вн}} \cdot S_{\text{плл}}; \quad (14)$$

$$h_{\text{м}} = h_{\text{ми}} - 2 \cdot (1 - K_{\text{вн}}) \cdot S_{\text{плл}}, \quad (15)$$

где $K_{\text{вн}}$ – коэффициент внедрения пленки в металл ($K_{\text{вн}} = 0,64$);

$r_{\text{срi}}, h_{\text{ми}}$ – значения параметров к началу расчетного интервала времени (определены ранее).

Предельные значения переходного сопротивления принимаются по [6], температуры нагрева – 35–100 °С.

13. Используя полученные значения, производятся повторные расчеты по пп. 10–12. В случае достижения величиной $h_{\text{м}}$ отрицательного значения принимается $h_{\text{м}} = 0$ и далее этот параметр не рассчитывается.

Ресурс разрывных контактов электрооборудования может быть определен по величине их провала. Данный параметр изменяется согласно приближенной зависимости, м:

$$v = v_0 - \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot t, \quad (16)$$

где v_0 – начальная величина провала контактов, м (табл. 8);

α_1 – базовый коэффициент износа ($\alpha_1 = 10^{-7}$ м/ч);

α_2 – коэффициент, учитывающий силу тока контактного соединения (табл. 8);

α_3 – коэффициент, учитывающий режим работы (см. введение курсовой работы), табл. 9.

Таблица 8

Данные для определения провала контактов

Расчетный ток, А	до 40	63	100
v_0 , м	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
α_2	2	2,5	3,5

Для промежуточных значений тока данные принимаются по ближайшему табличному значению.

Таблица 9

Учет режима работы контактов

ПВ, %	100	80	60	40	25
α_3	1	3	2,6	2,2	2

Предельное значение провала контактов составляет $v_{\text{п}} = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м.

Для скользящих контактов диагностируемого электрооборудования основным параметром, определяющим их ресурс, является высота контактной детали из более мягкого материала. Расчетная формула имеет вид, м:

$$h = h_0 - v_{\text{с}} \cdot K_{\text{и}} \cdot t, \quad (17)$$

где h_0 – начальная высота контактной детали, м ($h_0 = 0,04$ м);

$v_{\text{с}}$ – скорость изнашивания поверхностей, м/ч ($v_{\text{с}} = 2,4 \cdot 10^{-6}$ м/ч);

$K_{\text{и}}$ – коэффициент, учитывающий степень искрения (табл. 10).

Таблица 10

Учет условий коммутации

Степень искрения (класс коммутации)	1	1,25	1,5	2	3
$K_{\text{и}}$	1	1,2	1,7	2	2,5

Минимальное значение высоты контакт-детали $h_n = 0,02$ м.

Изоляция электрооборудования является одним из наиболее уязвимых элементов, подверженных воздействию комплекса различных факторов. Величина электрического сопротивления изоляции может быть определена по формуле, МОм:

$$R = R_0 \cdot e^{B \cdot \left(\frac{1-x}{\theta_H} - \frac{1-x \cdot k^2}{\theta} \right) \cdot m^c \cdot n^n \cdot t}, \quad (18)$$

где R_0 – начальное сопротивление изоляции, МОм (последняя цифра номера зачетной книжки, умноженная на 50; если последняя цифра 0, то $R_0 = 500$ МОм);

B – коэффициент, зависящий от нагревостойкости изоляции (см. введение), К/ч (для класса У, А – 9,5 К/ч; Е – 9,85 К/ч; В – 10,2 К/ч; F – 12,7 К/ч; Н и выше – 15,5 К/ч);

x – коэффициент, учитывающий влияние электродинамических сил (принимается для электрических машин $x = 0,034$; для остального оборудования $x = 0$);

k – коэффициент длительной перегрузки (принимается для электрических машин $k = 1,05$; для остального оборудования $k = 0$);

θ_H – нормируемая температура изоляции, К;

θ – текущая (рабочая) температура изоляции, К (принимается на 10 К ниже нормируемой);

m, n – коэффициенты износа (табл. 11);

c – концентрация химически активных веществ в воздухе (см. введение курсовой работы), в долях от ПДК;

η – относительная влажность воздуха (см. введение курсовой работы), о. е.

Таблица 11

Коэффициенты износа изоляции

Характер среды	m	n
Сухие и влажные помещения	1	1,5
Сырые и особо сырые помещения	1,2	1,7
Помещения с химически активной средой и наружные установки	1,8	2

Предельное значение сопротивления изоляции принимается по [6].

Изоляция погружных электродвигателей характеризуется двумя параметрами: током утечки I_y и тангенсом угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$. Аналитические зависимости данных параметров от наработки имеют вид:

$$I_y = I_{y0} + \alpha_I \cdot t, \quad (19)$$

$$\text{tg}\delta = \text{tg}\delta_0 + \alpha_{\text{tg}} \cdot t, \quad (20)$$

где I_{y0} – начальное значение тока утечки, мкА (последняя цифра номера зачетной книжки, умноженная на 2; если цифра 0, то $I_{y0} = 20$ мкА);

α_I – коэффициент износа по току утечки, мкА/ч ($\alpha_I = 2,5 \cdot 10^{-3}$ мкА/ч);

$\text{tg}\delta_0$ – начальное значение тангенса угла диэлектрических потерь, % (предпоследняя цифра номера зачетной книжки; если цифра 0, то $\text{tg}\delta_0 = 10$ %);

α_{tg} – коэффициент износа по тангенсу угла потерь, %/ч ($\alpha_{\text{tg}} = 10^{-3}$ %/ч).

Предельные значения $I_{\text{yn}} = 40$ мкА, $\text{tg}\delta_{\text{п}} = 20$ %.

Сопротивление спирали ТЭНов в холодном состоянии изменяется во времени по приближенной зависимости, Ом:

$$R_{\text{сп}} = R_{\text{сп0}} \cdot (1 + \alpha_R \cdot K_c \cdot t), \quad (21)$$

где $R_{\text{сп0}}$ – начальное сопротивление спирали, Ом;

α_R – коэффициент износа спирали ($\alpha_R = 2 \cdot 10^{-5}$ – для электроводонагревателей; $\alpha_R = 2,2 \cdot 10^{-5}$ – для электрокалориферов);

K_c – коэффициент, учитывающий количество включений оборудования в час N (при $N \leq 1$ $K_c = 1$; при $5 > N > 1$ $K_c = 1,3$; при $N > 5$ $K_c = 2$).

$$R_{\text{сп0}} = \frac{U_H^2}{P_H \cdot K_t}, \quad (22)$$

где U_n, P_n – номинальное напряжение и мощность одного ТЭНа (см. введение курсовой работы);

K_t – коэффициент, учитывающий изменение электрического сопротивления материала спирали от температуры ($K_t = 1,15$).

Предельное значение $R_{спп} = 1,2 \cdot R_{сп0}$.

Диагностирование подшипников электрических машин возможно с применением различных методов. Изменение радиального зазора подшипника в процессе эксплуатации может быть выражено формулой, м:

$$\Delta a_t = \Delta a_0 + V_a \cdot t^{1,5}, \quad (23)$$

где $\Delta a_0 = 10^{-5}$ м – начальное изменение радиального зазора;

V_a – коэффициент, характеризующий скорость изменения параметра (принимается для АД единых серий $V_a = 3,75 \cdot 10^{-12}$; для погружных электродвигателей $V_a = 10^{-11}$; для сварочных генераторов $V_a = 2 \cdot 10^{-11}$).

Начальные и предельные значения радиального зазора подшипников качения принимаются по таблице 12.

Таблица 12

Данные для расчета радиального зазора подшипников

Вид электрической машины	АД единых серий				Погружные электродвигатели	Сварочные генераторы
	до 1 кВт	1,1–5 кВт	5,5–10 кВт	11–30 кВт		
Начальный радиальный зазор a_n , м	10^{-5}	$2 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$
Предельный радиальный зазор a_n , м	$5 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-5}$

Оценка состояния подшипников качения может производиться методом вибродиагностирования. Для этого выполняется оценка среднеквадратичного значения амплитуды вибрации на характерных частотах подшипников. Указанные частоты характеризуют следующие неисправности:

- внутренней обоймы подшипника, Гц:

$$f_1 \approx f_p \cdot \left(\frac{n}{2} + 1,2 \right), \quad (24)$$

где f_p – частота вращения ротора, Гц (определяется на основании принятой частоты вращения в мин⁻¹);

n – количество тел качения в подшипнике (табл. 13).

Таблица 13

Количество тел качения

Вид электрической машины	АД единых серий				Погружные электродвигатели	Сварочные генераторы
	до 1 кВт	1,1–5 кВт	5,5–10 кВт	11–30 кВт		
Количество тел качения подшипника n	7	7	8	8	7	7

- вращающегося элемента подшипника, Гц:

$$f_2 \approx f_p \cdot \left(\frac{n}{2} - \frac{1,2}{n} \right); \quad (25)$$

- сепаратора подшипника, Гц:

$$f_3 \approx f_p \cdot \left(1 - \frac{2,4}{n} \right). \quad (26)$$

Среднее изменение амплитуды вибрации в зависимости от наработки, м/с:

$$\Delta A = \Delta A_0 + V_1 \cdot t^{1,5}, \quad (27)$$

где $\Delta A_0 = A$ – начальное изменение амплитуды, м/с (табл. 14);
 V_1 – коэффициент скорости износа (для АД единых серий $V_1 = 1,9 \cdot 10^{-6}$ А м/с, для погружных электродвигателей $V_1 = 1,6 \cdot 10^{-6}$ А м/с, для сварочных генераторов $V_1 = 2,3 \cdot 10^{-6}$ А м/с).

Таблица 14

Опорные (базовые) значения амплитуды вибрации А

f, Гц	до 50	100	200	500	1000	2000	5000	10000
A, м/с	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,25 \cdot 10^{-3}$	$0,03 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-5}$	$0,9 \cdot 10^{-5}$	$0,5 \cdot 10^{-5}$	$0,3 \cdot 10^{-5}$	$0,03 \cdot 10^{-3}$

Примечание. Для промежуточных значений частоты величина А определяется интерполяцией.

Расчет величины амплитуды вибрации следует производить в м/с. Предельное значение амплитуды $A_n = 10 \cdot A$.

Состояние спирали ТЭНа может быть также охарактеризовано по величине отношения ее электрического сопротивления в нагретом состоянии к сопротивлению в холодном состоянии:

$$K_R = K_{R0} \cdot (1 + \alpha_k \cdot t), \quad (28)$$

где K_{R0} – начальное отношение ($K_{R0} = 1,02$);
 α_k – коэффициент износа, $ч^{-1}$ (для электроводонагревателей $\alpha_k = 2,5 \cdot 10^{-6} ч^{-1}$, для электрокалориферов $\alpha_k = 3 \cdot 10^{-6} ч^{-1}$).

Предельное значение $K_{Rn} = 1,1 \cdot K_{R0}$.

Для тепловых расцепителей автоматических выключателей (нагревательных элементов тепловых реле) ток срабатывания может быть определен по формуле

$$I_{CP} = I_{CP0} \cdot (1 + \alpha_{CP} \cdot t), \quad (29)$$

где I_{CP0} – начальный ток срабатывания, А ($I_{CP0} = 1,1 \cdot I_{нр}$);
 $I_{нр}$ – номинальный ток расцепителя, А;
 α_{CP} – коэффициент износа расцепителя, $ч^{-1}$ ($\alpha_{CP} = 2,5 \cdot 10^{-6} ч^{-1}$).

Предельное значение $I_{CPn} = 1,1 \cdot I_{CP0}$.

3.2. Определение ресурса электрооборудования

Ресурс необходимо вычислять для каждого из рассмотренных элементов электрооборудования в отдельности, используя изложенные ниже методы прогнозирования. Применение того или иного метода должно быть обосновано. Величина предельных и начальных значений диагностических параметров принимается по данным раздела 3.1. Измеренные значения параметров при данном диагностировании принимаются по данным расчетов диагностической модели.

Определение ресурса элементов электрооборудования производится различными методами прогнозирования. В курсовой работе следует использовать методы линейного прогнозирования (если зависимость диагностического параметра от времени – линейная), многоступенчатого линейного прогнозирования (если зависимость параметра от времени – нелинейная), метод прогнозирования по реализации изменения параметра (при соответствующей зависимости диагностического параметра от времени). Кроме того, используются методы вероятностного прогнозирования и статистической классификации (распознавания образов).

Для применения метода линейного прогнозирования необходимо иметь данные о наработке объекта с начала эксплуатации до момента диагностирования, а также о предельном и начальном значениях диагностического параметра. Остаточный ресурс объекта диагностирования определяется по формуле

$$t_{ост} = t \frac{K_{ост}}{1 - K_{ост}}, \quad (30)$$

где t – наработка от начала эксплуатации, ч;
 $K_{ост}$ – коэффициент остаточного ресурса.

Если диагностический параметр увеличивается в процессе эксплуатации, то

$$K_{\text{ост}} = \frac{\Pi_{\text{н}} - \Pi_{\text{и}}}{\Pi_{\text{н}} - \Pi_{\text{н}}} \quad (31)$$

Если параметр уменьшается, то

$$K_{\text{ост}} = \frac{\Pi_{\text{н}} - \Pi_{\text{и}}}{\Pi_{\text{н}} - \Pi_{\text{н}}} \quad (32)$$

где $\Pi_{\text{н}}$, $\Pi_{\text{и}}$, $\Pi_{\text{н}}$ – соответственно предельное, измеренное и начальное значения параметра.

Метод многоступенчатого линейного прогнозирования базируется на данных измерений, проводимых при систематических диагностированиях через определенные промежутки времени. Метод позволяет определить гарантированный ресурс безотказной работы элементов электрооборудования:

$$t_{\text{гар}} = \frac{\Pi_{\text{н}} - \Pi_{\text{и}}}{\Pi_{\text{н}} - \Pi_{\text{и-1}}} t_0 K_0, \quad (33)$$

где $\Pi_{\text{и-1}}$ – измеренная величина параметра при предыдущем диагностировании;

t_0 – период между данным и предыдущим диагностированием (принимается 20 % от наработки объекта);

K_0 – корректирующий коэффициент.

Величина корректирующего коэффициента принимается в зависимости от характера изменения диагностического параметра во времени (рис. 1). Если параметр изменяется по увеличивающейся либо по уменьшающейся криволинейной зависимости с убывающей интенсивностью, величина $K_0 = 1$. Если параметр изменяется по увеличивающейся криволинейной зависимости с возрастающей интенсивностью, то $K_0 = \Pi_{\text{и-1}}/\Pi_{\text{н}}$. В случае уменьшения диагностического параметра с возрастающей интенсивностью

$$K_0 = \frac{\Pi_{\text{н}} - \Pi_{\text{и}} - \Pi_{\text{и-1}}}{\Pi_{\text{н}}} \quad (34)$$

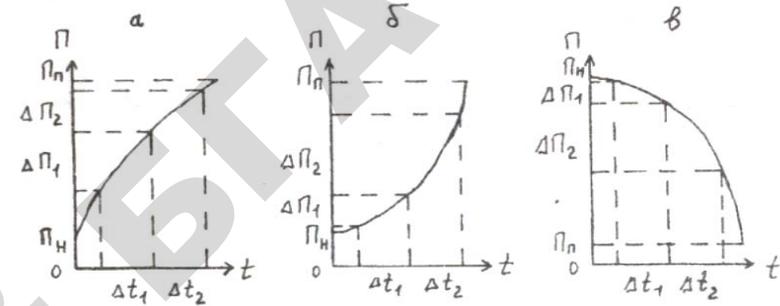


Рис. 1. Возможный характер изменения диагностического параметра во времени (Π – любой диагностический параметр, например, сопротивление изоляции, световой поток и т. д.)

Метод прогнозирования по реализации изменения параметра широко применяется при диагностировании машин и механизмов. Он основан на использовании экстраполяционной функции, определяемой по изменению параметра конкретного элемента в прошлом. Изменение параметра можно выразить функцией вида

$$u(t) = V_c t^\alpha + \Delta\Pi, \quad (35)$$

где $u(t)$ – изменение параметра, равное разности значения параметра при диагностировании и его номинального значения;

$\Delta\Pi$ – показатель изменения параметра технического состояния за период приработки.

Обычно при определении остаточного ресурса предполагают, что показатель степени функции α известен. Его вычисляют ранее по статистическим данным изменения параметра и используют при прогнозировании, считая, что для одноименных элементов он имеет постоянное значение.

Коэффициент V_c характеризует угол наклона кривой зависимости значения параметра от наработки к оси абсцисс. Он определяется

в процессе прогнозирования с учетом величины изменения параметра $u(t)$ данного элемента за определенный известный период времени (наработки) t . Остаточный ресурс элемента прогнозируется от момента диагностирования t до предельного изменения параметра.

В практике прогнозирования обычно встречается два случая определения остаточного ресурса, отличающиеся исходными данными о параметре состояния диагностируемого элемента. В первом случае известны наработка элемента от начала эксплуатации и изменение параметра к моменту диагностирования. Во втором случае наработка элементов неизвестна, но имеются данные изменения параметров при двух диагностированиях и наработке между этими диагностированиями. В настоящей работе рассматривается только первый случай.

По известной наработке t и изменению параметра $u(t)$ к моменту диагностирования остаточный ресурс элемента определяют по формуле

$$t_{\text{ост}} = t \left(\sqrt{\frac{u_{\text{п}}}{u(t)}} - 1 \right), \quad (36)$$

где $u(t)$ – изменение параметра к моменту диагностирования, вычисляемое по данным раздела 3.1;

$u_{\text{п}}$ – предельное изменение параметра;

t – наработка с начала эксплуатации или с момента проведения ремонта элемента.

Предельное изменение параметра:

$$u_{\text{п}} = \Pi_{\text{п}} - \Pi_{\text{н}}. \quad (37)$$

Для упрощения процесса определения остаточного ресурса при эксплуатации может использоваться номограмма (рис. 2). Ниже приведены правила пользования этой номограммой.

Когда известна наработка элемента t от начала эксплуатации и изменение параметра $u(t)$ к моменту диагностирования, вначале вычисляют предельное изменение параметра $u_{\text{п}}$. На оси $u_{\text{п}}$ или u'' в верхней части номограммы (рис. 2) отмечают значение $u_{\text{п}}$ в сотых, десятых долях или в десятках, сотнях и т. д. единиц (точка A на номограмме).

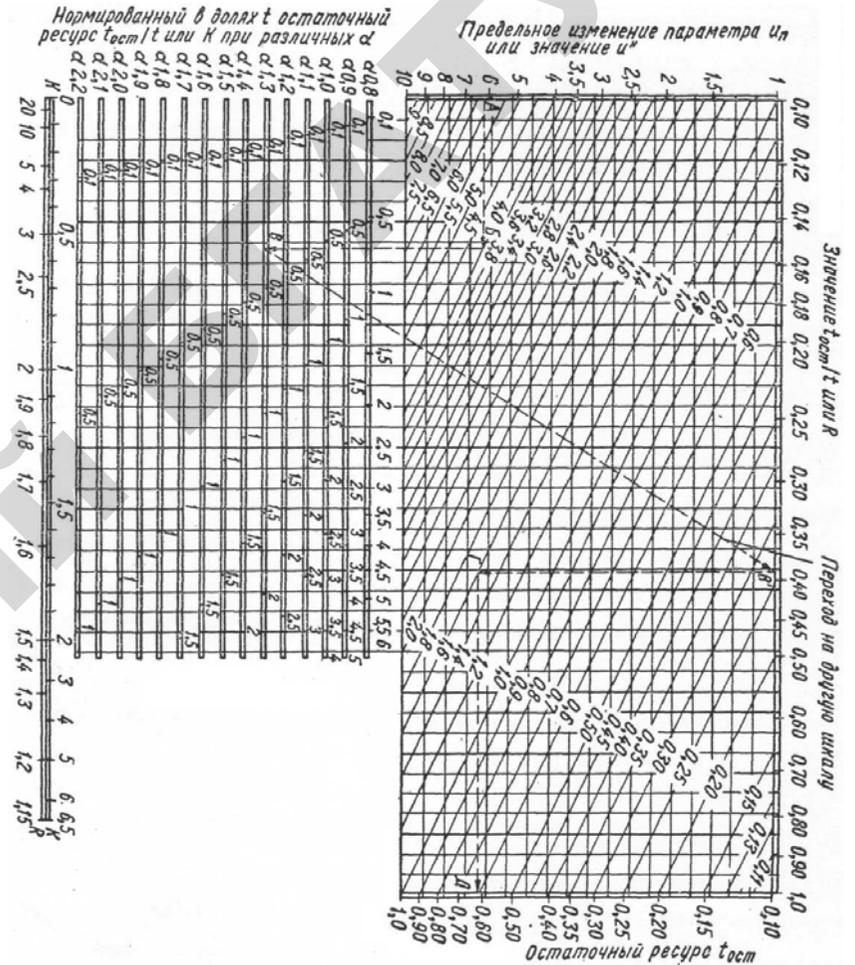


Рис. 2. Номограмма для определения остаточного ресурса

Затем проводят горизонтальную линию (штриховая линия AB) до наклонной прямой, обозначение которой соответствует $u(t)$ в тех же единицах, что и $u_{\text{п}}$. От точки B опускается вертикаль в нижнюю часть номограммы до пересечения со шкалой $t_{\text{ост}}$, соответствующей заданному показателю функции изменения параметра α (точка B). На этой

шкале делается отсчет величины $t_{ост}t$, и полученное значение переносится на верхнюю шкалу $t_{ост}t$ в верхней части номограммы (точка B'). После этого из точки B' опускается вертикаль до наклонной линии с заданным значением t , выраженным в десятках, сотнях, тысячах и т. д. единиц (точка Γ). Из точки Γ проводится горизонтальная прямая до пересечения с осью $t_{ост}$ и находится искомое значение $t_{ост}$ (точка D).

Если вертикаль $B\Gamma$ не пересекает нужного значения t , то увеличивают порядок значений t , соответственно увеличив порядок $t_{ост}$ после его определения по шкале остаточного ресурса.

Для асинхронных электродвигателей ресурс изоляции может быть определен по методике, изложенной далее. В этом случае в качестве исходных данных используют температуру Θ и влажность W окружающей воздушной среды и обмотки, число k пусков в час, содержание G в воздухе агрессивных газов (в первую очередь аммиака).

Выявлена возможность группировки характерных для разных сельскохозяйственных помещений определяющих параметров:

$\Theta_1 = 0-20$ °С, $\Theta_2 = 21-25$ °С, $\Theta_3 = 26-30$ °С °, $W_1 < 5$ %, $W_2 = 5-15$ %, $W_3 = 16-25$ %, $W_4 = 26-35$ %, $W_5 > 35$ %; $k_1 = 1$, $k_2 = 2-3$, $k_3 = 4$, $k_4 = 5$, $k_5 > 5$; $G_1 = 0-0,1$ мг/м³, $G_2 > 0,1$ мг/м³.

Определяется коэффициент

$$\beta = \frac{R_o}{R_6}, \quad (38)$$

где $R_6 = 1000$ МОм – базисное значение сопротивления изоляции асинхронного электродвигателя.

Далее, на основании информации, приведенной во введении курсовой работы, определяется принадлежность заданного электродвигателя к одной из перечисленных ниже групп.

Значения базисных предельных ресурсов изоляции обмотки электродвигателей в месяцах для различных групп наиболее характерных сочетаний эксплуатационных факторов при $R_6 = 1000$ МОм следующие.

Для $t_{ост \beta} = 66,6$ мес.

$W_1 \Theta_{1,2,3} k_2 G_2$; $W_{1,2} \Theta_{1,2,3} k_1 G_{1,2}$; $W_2 \Theta_{1,2} k_2 G_1$; $W_3 \Theta_{1,2,3} k_1 G_1$; $W_3 \Theta_{1,2} k_1 G_2$; $W_4 \Theta_1 k_1 G_1$.

Для $t_{ост \beta} = 58,65$ мес.

$W_5 \Theta_2 k_1 G_1$; $W_4 \Theta_{1,2} k_1 G_1$; $W_2 \Theta_1 k_3 G_1$; $W_1 \Theta_{1,2,3} k_3 G_{1,2}$; $W_2 \Theta_{1,2,3} k_2 G_{1,2}$; $W_3 \Theta_{1,2,3} k_2 G_{1,2}$; $W_3 \Theta_3 k_1 G_2$; $W_4 \Theta_{1,2,3} k_1 G_2$; $W_4 \Theta_{2,3} k_1 G_1$; $W_5 \Theta_{1,3} k_1 G_{1,2}$.

Для $t_{ост \beta} = 51,85$ мес.

$W_1 \Theta_1 k_4 G_1$; $W_1 \Theta_3 k_4 G_{1,2}$; $W_2 \Theta_{2,3} k_3 G_{1,2}$; $W_2 \Theta_1 k_{3,4} G_2$; $W_4 \Theta_{1,2,3} k_2 G_2$; $W_4 \Theta_3 k_2 G_1$; $W_5 \Theta_{1,2,3} k_2 G_1$; $W_2 \Theta_2 k_4 G_{1,2}$; $W_3 \Theta_2 k_3 G_2$; $W_{23} \Theta_{2,3} k_3 G_1$; $W_4 \Theta_{1,2} k_3 G_1$; $W_4 \Theta_{1,2} k_3 G_2$; $W_5 \Theta_{1,3} k_2 G_2$; $W_3 \Theta_1 k_1 G_{1,2}$; $W_1 \Theta_{1,2} k_4 G_2$; $W_2 \Theta_3 k_5 G_1$.

Для $t_{ост \beta} = 46,37$ мес.

$W_1 \Theta_2 k_5 G_2$; $W_2 \Theta_2 k_5 G_1$; $W_2 \Theta_1 k_4 G_1$; $W_2 \Theta_{2,3} k_4 G_2$; $W_3 \Theta_{1,2} k_4 G_{1,2}$; $W_4 \Theta_2 k_4 G_1$; $W_5 \Theta_{1,2,3} k_3 G_{1,2}$; $W_1 \Theta_{1,2} k_5 G_1$; $W_1 \Theta_3 k_5 G_{1,2}$; $W_2 \Theta_3 k_5 G_2$; $W_3 \Theta_1 k_5 G_2$; $W_4 \Theta_3 k_4 G_2$; $W_1 \Theta_2 k_4 G_1$.

Для $t_{ост \beta} = 41,1$ мес.

$W_{4,5} \Theta_3 k_4 G_1$; $W_1 \Theta_1 k_5 G_2$; $W_{4,5} \Theta_1 k_4 G_2$; $W_2 \Theta_{1,2} k_5 G_2$; $W_3 \Theta_{2,3} k_5 G_2$; $W_4 \Theta_1 k_4 G_1$; $W_5 \Theta_{2,3} k_4 G_2$; $W_2 \Theta_1 k_5 G_1$; $W_3 \Theta_{1,2,3} k_5 G_1$; $W_4 \Theta_2 k_{4,5} G_2$; $W_5 \Theta_{1,2} k_4 G_1$.

Для $t_{ост \beta} = 37,3$ мес.

$W_3 \Theta_1 k_5 G_1$; $W_{4,5} \Theta_5 G_1$; $W_4 \Theta_{1,2,3} k_5 G_2$; $W_5 \Theta_2 k_5 G_2$.

Для $t_{ост \beta} = 34,7$ мес.

$W_4 \Theta_{2,3} k_5 G_1$; $W_5 \Theta_2 k_1 G_2$; $W_5 \Theta_3 k_5 G_1$.

Для $t_{ост \beta} = 30,52$ мес.

$W_5 \Theta_{1,3} k_5 G_2$; $W_5 \Theta_2 k_2 G_2$.

Далее определяются коэффициенты γ и c : для $\beta = 0-4,6$ коэффициенты $c = 0,66$, $\gamma = 0,97$, $\lg \gamma = -0,01323$, для $\beta \geq 4,6$ коэффициенты $c = 0,52$, $\gamma = 1,2$, $\lg \gamma = 0,07918$.

Определяется коэффициент пересчета ресурса α :

$$\alpha = 10^{(lg\gamma + clg\beta)} \quad (39)$$

Фактический остаточный ресурс определяется по формуле, мес.:

$$T_{ост} = t_{ост\delta} \cdot \alpha \quad (40)$$

Для изоляции погружных электродвигателей время безотказной работы определяется по графикам рисунка 3 на основании ее тока утечки I_y или тангенса угла диэлектрических потерь $tg\delta$.

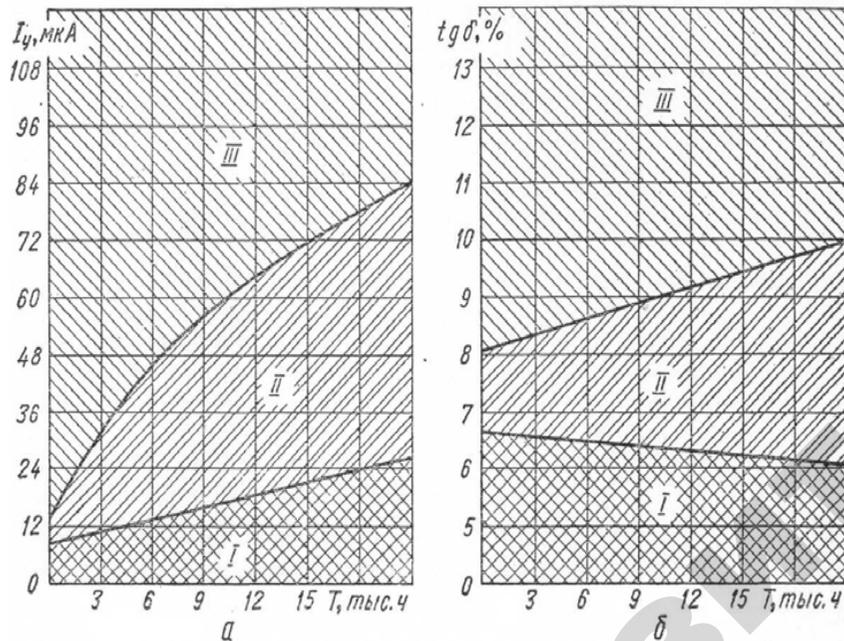


Рис. 3. Области значений величин токов утечки (а) и тангенса угла диэлектрических потерь (б) для трех групп технического состояния погружных электродвигателей: I – гарантированный срок безотказной работы не менее 3500 ч; II – не менее 1500 ч; III – до 500 ч

В случае использования в работе двух параметров и получения различных величин срока безотказной работы для дальнейших расчетов принимается меньшая из них.

При расчете вероятности отказов обмотки АД единой серии определяется дефектность витковой изоляции до начала эксплуатации АД:

$$\lambda_0 = -\frac{\ln(1-q_1)K_{пр}}{l_{обр}} \quad (41)$$

где q_1 – вероятность наличия дефекта изоляции ($q_1 = 0,1-0,35$);

$K_{пр}$ – коэффициент, характеризующий качество пропитки ($K_{пр} = 0,3-0,7$);

$l_{обр}$ – длина образца провода, мм ($l_{обр} = 100$ мм).

Вероятность плотного касания соседних витков:

$$q = 0,93\sqrt{K_3} \quad (42)$$

где K_3 – коэффициент заполнения паза (для однослойной обмотки $K_3 = 0,4$; для двухслойной $K_3 = 0,5$).

Количество проводников в наружном слое секции:

$$N_{нар} = \frac{\Pi \cdot q}{d'} \quad (43)$$

где Π – периметр свободной площади слоя обмотки, мм (для двухслойной обмотки $\Pi = \epsilon_1 + \epsilon_2 + h$; для однослойной обмотки $\Pi = \epsilon_1 + \epsilon_2 + 2h$; ϵ_1, ϵ_2 – ширина паза, мм; h – высота паза, мм);

d' – диаметр изолированного обмоточного провода, мм. Величины принимаются по таблице 15.

Таблица 15

Некоторые обмоточные данные АД серии 4А

Марка АД	Z_1	$\Delta_{пр},$ мм	a_1	$\epsilon_1,$ мм	$N_{1п}$	$\epsilon_2,$ мм	c	$h,$ мм	$K_{сл}$	$l_{ср},$ мм	$d',$ мм
4АА63А2	24	0,04	1	4,8	126	6,3	1	9,0	1	330	0,42
4АА63А4	24	0,04	1	4,7	169	6,5	1	10,4	1	272	0,42
4АА63А6	36	0,035	1	3,5	170	4,9	1	10,9	1	244	0,37
4А71А2	24	0,055	1	5,9	89	7,5	1	9,3	1	420	0,59

Окончание табл. 15

Марка АД	Z_1	$\Delta_{пр},$ мм	a_1	$\epsilon_{1,}$ мм	$N_{1п}$	$\epsilon_{2,}$ мм	c	$h,$ мм	$K_{сл}$	$l_{ср},$ мм	$d',$ мм
4A71A4	24	0,055	1	5,2	113	7,3	1	11,6	1	336	0,59
4A71A6	36	0,04	1	3,9	114	5,5	1	12,2	1	300	0,51
4A71B8	36	0,04	1	3,9	148	5,5	1	12,2	1	296	0,45
4A80A2	24	0,065	1	6,8	61	8,5	1	11,6	1	474	0,87
4A80B4	36	0,065	1	4,4	49	6,0	1	12,1	1	432	0,81
4A80B6	36	0,06	1	4,3	58	6,0	1	13,0	1	410	0,78
4A90L2	24	0,08	1	8,1	44	10,1	1	12,6	1	572	1,16
4A90L4	36	0,065	1	4,8	40	6,5	1	12,9	1	462	0,97
4A100L2	24	0,08	1	9,1	30	11,3	2	14,1	1	694	1,16
4A100S4	36	0,08	1	4,9	35	7,1	1	15,8	1	500	1,2
4A112M2	24	0,08	1	10,5	26	12,6	2	15,1	1	700	1,33
4A112M4	36	0,08	1	6,5	25	8,2	1	14,3	1	572	1,48
4A112MA6	54	0,08	1	4,3	28	5,7	1	15,6	1	454	1,2
4A132M2	24	0,08	1	10,2	21	13,4	3	16,5	1	772	1,28
4A160S2	36	0,08	2	8,7	21	11,9	2	20,0	1	760	1,26
4A160S4	48	0,08	2	7,3	27	9,9	2	20,5	1	690	1,33
4A160S6	54	0,08	3	6,1	46	8,2	1	18,8	1	670	1,26
4A200M2	36	0,08	2	10,5	20	14,9	4	28,2	2	860	1,58
4A225M8	72	0,08	2	7,0	16	9,3	3	27,6	2	715	1,58
4A200M4	48	0,08	2	9,4	17	12,3	3	24,5	2	850	1,64
4A200L6	72	0,08	3	6,2	22	8,4	2	25,7	2	760	1,48

Число элементарных витков в секции:

$$N_c = \frac{N_{1п} \cdot c}{K_{сл}}, \quad (44)$$

где $N_{1п}$ – количество эффективных проводников в пазу;

c – количество элементарных проводников в эффективном;

$K_{сл}$ – количество слоев обмотки.

Все указанные величины принимаются по таблице 15.

Количество проводников во внутреннем слое секции:

$$N_{вн} = N_c - N_{нар}. \quad (45)$$

Доля пар соседних элементарных витков, принадлежащих к одному эффективному:

$$P_{п} = 1 - \left(1 - \frac{c-1}{N_c}\right)^3 \left(\frac{N_c}{2N_c - c}\right). \quad (46)$$

Общая длина пар соседних витков в обмотке, мм:

$$L = (1 - P_{п})(N_{нар} + 1,5N_{вн} - 1,5) \cdot K_{сл} \cdot l_{ср} \cdot Z_1, \quad (47)$$

где $l_{ср}$ – средняя длина витка обмотки, мм (табл. 15);

Z_1 – число пазов статора (табл. 15).

Количество последовательно соединенных секций в фазе

$$n_c = \frac{Z_1 \cdot K_{сл}}{6 \cdot a_1}, \quad (48)$$

где a_1 – количество параллельных ветвей (табл. 15).

Среднее значение и среднеквадратическое отклонение величин фазных коммутационных перенапряжений на секции, кВ:

$$U_c = \frac{U_1}{n_c}; \quad (49)$$

$$\sigma_{u_c} = \frac{\sigma_{u_1}}{n_c}, \quad (50)$$

где U_1, σ_{u_1} – среднее значение и среднеквадратическое отклонение фазного коммутационного перенапряжения, кВ ($U_1 = 1,3-1,6$ кВ, $\sigma_{u_1} = 0,3-0,4$ кВ).

Номинальное фазное напряжение, приходящееся на секцию, кВ:

$$U_{сф} = \sqrt{2} \cdot \frac{U_{\phi}}{n_c}, \quad (51)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение сети, кВ ($U_{\phi} = 0,22$ кВ).

Вероятность отказа витковой изоляции:

$$q_z = \frac{3(7 \cdot 10^{-3} U_{\text{сф}} - 0,154 \cdot 10^{-3} U_c)}{\Delta_{\text{пр}}} \cdot B, \quad (52)$$

где $\Delta_{\text{пр}}$ – двусторонняя толщина изоляции проводника, мм (табл. 15);

B – коэффициент (определяется интерполяцией по прил. 2). Коэффициент определяется при полученных ранее U_c и σ_{U_c} , а также среднем значении напряжения перекрытия по поверхности изоляции $\bar{U}_z = 0,8 - 1$ кВ и среднеквадратическом отклонении $\sigma_{U_z} = 0,2 - 0,3$ кВ (принимаются самостоятельно).

Скорость увеличения дефектности витковой изоляции, мм^{-1} :

$$H_B = C_B \exp [0,0014 \cdot f_{\text{вкл}} + \alpha_B (\theta_C - \theta_H + 0,5 \alpha_B \sigma_t^2)], \quad (53)$$

где C_B , α_B – коэффициенты, $C_B = (0,1 - 0,2) \cdot 10^{-6} (\text{мм} \cdot \text{ч})^{-1}$,

$\alpha_B = 0,04 - 0,08 \text{ } ^\circ\text{C}$;

$f_{\text{вкл}}$ – частота включений АД в час (см. введение курсовой работы);

θ_C – средняя допустимая температура обмотки, $^\circ\text{C}$; (для изоляции класса В $\theta_C = 120 \text{ } ^\circ\text{C}$, класса F – $\theta_C = 140 \text{ } ^\circ\text{C}$, класса H – $\theta_C = 165 \text{ } ^\circ\text{C}$);

σ_t – среднеквадратическое отклонение температуры, $\sigma_t = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Вероятность возникновения короткого замыкания витковой изоляции на длине касающихся витков в течение времени $\tau = 10\,000$ ч:

$$P_1 = 2l_{\text{эл}}^2 \cdot q \cdot q_z \cdot f_{\text{вкл}} [\lambda_0^2 \cdot \tau + \lambda_0 H_B \tau^2 + H_B / 3 \tau], \quad (54)$$

где $l_{\text{эл}}$ – длина элементарного участка, мм ($l_{\text{эл}} = 0,11 - 0,12$ мм).

Вероятность отказа витковой изоляции в течение времени τ :

$$Q_{MB} = 1 - (1 - P_1)^{L/l_{\text{эл}}}, \quad (55)$$

Вероятность безотказной работы межвитковой изоляции в течение времени τ :

$$P_{MB} = 1 - Q_{MB}. \quad (56)$$

Вероятность безотказной работы изоляции обмотки АД за время τ (для $\tau = 10000$ ч, $P_{\text{П}} \cdot P_{\text{М}} = 0,999$; $P_{\text{П}}$ и $P_{\text{М}}$ – вероятности безотказной работы корпусной и межфазной изоляции):

$$P_{\text{обл}} = P_{MB} \cdot P_{\text{П}} \cdot P_{\text{М}}. \quad (57)$$

В случае выполнения расчетов методом вероятностного прогнозирования (согласно заданию) для изоляции АД интенсивность отказов не определяется. В случае использования методов аналитического прогнозирования и статистической классификации для дальнейших расчетов принимается наименьший ресурс.

На основании проведенных расчетов остаточного (гарантированного) ресурса определяется наработка на отказ для заданного электрооборудования, ч:

$$T_0 = \frac{1}{\lambda}. \quad (58)$$

В курсовой работе интенсивность отказов оборудования определяется суммированием интенсивностей отказов отдельных его элементов λ_i :

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (59)$$

где n – число элементов электрооборудования.

Интенсивность отказов i -го элемента

$$\lambda_i = \frac{1}{t_{ci}}, \quad (60)$$

где t_{ci} – срок службы i -го элемента оборудования, ч.

Срок службы определяется суммированием наработки элемента и остаточного ресурса (гарантированного ресурса) – см. раздел 3.1:

$$t_{ci} = t_i + t_{остi} \quad (61)$$

или

$$t_{ci} = t_i + t_{гар.и} \quad (62)$$

3.3. Разработка диагностического устройства

На основании полученной диагностической модели (см. раздел 3.1) следует выбрать и обосновать методы диагностирования (способ измерения) основных диагностических параметров. При этом следует рассмотреть, как минимум, один альтернативный способ измерения и указать достоинства и недостатки предлагаемого способа. Принятые способы измерения основных диагностических параметров должны быть оптимизированы по обобщенному показателю целесообразности D , указанному в задании на курсовую работу. Для этого вначале определяются частные показатели целесообразности d измерения основных диагностических параметров согласно таблице 16.

Таблица 16

Частные показатели целесообразности

Способ измерения параметра	d
1. Прямое (косвенное) измерение аналоговым прибором	0,65
2. Прямое (косвенное) измерение цифровым прибором	0,8
3. Прямое измерение прибором сравнения	0,6
4. Косвенное измерение двумя аналоговыми приборами	0,65
5. Косвенное измерение тремя аналоговыми приборами	0,5
6. Косвенное измерение двумя цифровыми приборами	0,85
7. Косвенное измерение тремя цифровыми приборами	0,75
8. Косвенное измерение аналоговым и цифровым приборами	0,75
9. Косвенное измерение аналоговым и двумя цифровыми приборами	0,8
10. Косвенное измерение двумя аналоговыми и цифровыми приборами	0,55

Примечания.

1. Использование измерительных трансформаторов учитывается увеличением соответствующего показателя d на 0,05.
2. Аналоговые приборы могут быть неэлектрическими.

Далее определяется обобщенный показатель целесообразности:

$$D = \sqrt[n]{d_1 \cdot \dots \cdot d_n}, \quad (63)$$

где n – количество основных диагностических параметров;
 d_1, \dots, d_n – частные показатели целесообразности.

Полученное значение должно строго соответствовать заданному интервалу. В случае несоответствия следует выбрать другие способы измерения и повторить расчет.

Результаты выбора способов измерения оформляются в виде таблицы 17.

Таблица 17

Итоги выбора методов диагностирования

Основной диагностический параметр	Принятый способ измерения	Альтернативный способ измерения	Достоинства (+) и недостатки (-)	Используемые приборы	d
1					
2					

Способы измерения дополнительных диагностических параметров выбираются студентом самостоятельно. С учетом принятых способов измерения основных и дополнительных параметров производится разработка принципиальной электрической схемы диагностического устройства (стенда). Вначале в пояснительной записке должны быть сформулированы основные требования к принципиальной электрической схеме и указаны способы их реализации. Указанные требования должны включать:

- требования безопасности проведения измерений (защита от аварийных режимов, ошибочных коммутаций, блокировки и пр.);

- требования к организации измерений (указать состояние диагностируемого оборудования в момент измерений – холодное, нагретое до рабочей температуры, отключенное от сети, при номинальном напряжении питания и пр.).

На основании изложенных требований выполняется полная принципиальная электрическая схема диагностического устройства, которая приводится в графической части (формат А2).

В разрабатываемой принципиальной электрической схеме должны быть предусмотрены разделение режимов диагностирования и возможность быстрого подключения диагностируемого оборудования. В принципиальной электрической схеме не допускается использование плавких предохранителей, частотомеров, звуковой сигнализации, а также защит от маловероятных аварийных режимов (снижение напряжения, обрыв фазы, атмосферные перенапряжения и пр.).

Принципиальная электрическая схема выполняется с использованием стандартных условных обозначений; применяемые в ней аппараты должны соответствовать назначению устройства диагностирования и разработанной диагностической модели.

Схема, разработанная для светотехнического оборудования, должна предусматривать возможность диагностирования ПРА. Схемы, разработанные для дифференциальных автоматических выключателей, должны учитывать тип их защитной характеристики.

В случае использования в схеме переключателей на 3 и более положения в графической части должны быть приведены диаграммы замыкания их контактов. В случае использования регуляторов, реле времени и т.п. в графической части приводятся диаграммы их срабатывания.

Далее в пояснительной записке приводится описание работы составленной принципиальной электрической схемы во всех режимах (включая возможные аварийные, с описанием действия соответствующих защит).

В случае использования неэлектрических приборов для диагностирования указанные приборы не изображаются на принципиальной электрической схеме, но включаются в описание процесса диагностирования (после описания работы схемы). Перечень неэлектрических приборов приводится на листе графической части в примечании.

Затем в пояснительной записке приводятся данные расчета (при необходимости) и обоснование выбора всех элементов разработанной принципиальной электрической схемы.

Выбор автоматического выключателя производится по:

- номинальному напряжению

$$U_{\text{на}} \geq U_{\text{сети}}, \quad (64)$$

- номинальному току контактов

$$I_{\text{на}} \geq I_{\text{н}}, \quad (65)$$

где $I_{\text{н}}$ – номинальный (расчетный) ток диагностируемого электрооборудования, А.

В случае использования автоматического выключателя для защиты схемы управления расчетный ток определяется, исходя из суммарной мощности имеющихся аппаратов (катушек пускателей, реле, сигнальной арматуры, регуляторов и пр.);

- номинальному току расцепителя:

$0,8 I_{\text{нр}} \leq I_{\text{н}} \leq I_{\text{нр}}$ – для автоматов серии ВА51Г;

$0,9 I_{\text{нр}} \leq I_{\text{н}} \leq 1,15 I_{\text{нр}}$ – для автоматов серии АЕ 2000;

$I_{\text{нр}} \geq I_{\text{н}}$ – для модульных автоматических выключателей;

- числу полюсов;

- типу защитной характеристики (B, C, D), либо кратности тока отсечки;

- степени защиты;

- климатическому исполнению и категории размещения;

- соответствию возможным пусковым токам:

$$K_{\text{эм}} > 1,25 \cdot K_{\text{п}}, \quad (66)$$

где $K_{\text{эм}}$ – кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя (для характеристики $B - K = 5$, для $C - K = 10$, для $D - K = 20$);

$K_{\text{п}}$ – кратность пускового тока диагностируемого оборудования (принимается по паспортным данным).

При выборе дифференциальных автоматических выключателей дополнительно учитывается условие

$$I_{\Delta n} \geq 3 \cdot I_{\Delta}, \quad (67)$$

где $I_{\Delta n}$ – номинальный отключающий дифференциальный ток, мА;
 I_{Δ} – суммарный ток утечки защищаемой электроустановки, мА.

$$I_{\Delta} = 0,4 \cdot I_n. \quad (68)$$

Кроме того, для данных аппаратов выбирается тип защитной характеристики по дифференциальному току (А, АС) с учетом задания на КР.

Выбор теплового реле производится по условиям:

$$1) \quad I_{\text{ср min}} \leq I_n \leq I_{\text{ср max}}, \quad (69)$$

где $I_{\text{ср min}}$, $I_{\text{ср max}}$ – соответственно минимальный и максимальный токи несрабатывания реле, А;

- 2) вид контакта реле (размыкающий или переключающий);
- 3) степень защиты;
- 4) климатическое исполнение и категория размещения.

Выбор магнитных пускателей (контакторов) производится по:

- номинальному току;
- напряжению катушки;
- назначению и наличию теплового реле;
- количеству и виду блок-контактов (в случае их нехватки следует использовать промежуточные реле либо контактные приставки);
- степени защиты;
- климатическому исполнению и категории размещения.

Реле промежуточные выбираются по:

- напряжению катушки;
- рабочему току контактов;
- количеству и виду контактов;
- степени защиты;
- климатическому исполнению и категории размещения.

Реле времени выбираются по:

- напряжению питания;
- требуемой выдержке времени;
- количеству цепей управления;
- рабочему току контактов;
- степени защиты;
- климатическому исполнению и категории размещения.

Переключатели выбираются по:

- номинальному току контактов;
- количеству и виду контактов;
- количеству положений;
- степени защиты;
- климатическому исполнению и категории размещения.

Кнопки управления (посты) выбираются по:

- номинальному току контактов;
- количеству элементов управления;
- степени защиты;
- климатическому исполнению и категории размещения.

Светосигнальная арматура выбирается по:

- напряжению питания;
- цвету свечения (светофильтра).

Электронные регуляторы выбираются по:

- назначению;
- количеству и виду первичных преобразователей;
- закону регулирования;
- степени защиты;
- напряжению питания.

Трансформаторы тока выбираются по:

- номинальному первичному току;
- классу точности;
- номинальной вторичной нагрузке;
- климатическому исполнению и категории размещения.

Другие элементы принципиальной электрической схемы выбираются по аналогичной методике на основании их технических характеристик.

Результаты выбора каждого элемента принципиальной электрической схемы с обязательным учетом всех указанных выше условий вносятся в таблицу, которая приводится в пояснительной записке (табл. 18).

Таблица 18

Результаты выбора элементов ПЭС

Наименование элемента ПЭС	Требуемый параметр	Принятый параметр	Полная маркировка элемента	Габаритные размеры элемента, мм

Краткие сведения о выбранных элементах излагаются в перечне, приводимом в графической части, с обязательной группировкой по месту установки оборудования (табл. 19).

Таблица 19

Перечень элементов схемы

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
	15		
	8		
←20→	←110→	←10→	←45→

3.4. Проектирование конструкции диагностического устройства

После завершения принципиальной электрической схемы выполняется разработка конструкции диагностического стенда. Для этого следует сгруппировать устанавливаемые на стенде приборы и аппараты по месту их размещения (крупногабаритное оборудование должно размещаться вне стенда). На лицевой панели стенда следует размещать аппараты защиты и ручного управления, измерительные приборы и светосигнальную арматуру. Остальное оборудование размещается на задней стенке; при необходимости там же устанавливаются блоки зажимов для обеспечения внешних подключений.

Далее с использованием таблиц 22, 23 определяются монтажные зоны каждого из выбранных аппаратов (приборов). При отсутствии в таблицах выбранного типа размеры принимаются по аналогичному оборудованию. Результаты определения оформляются по форме (табл. 20).

Таблица 20

Определение монтажных зон

Позиционное обозначение аппарата	Кол-во	Размеры монтажной зоны, мм		$S = B \cdot H,$ мм ²
		<i>B</i>	<i>H</i>	
Лицевая панель стенда				
1. ...				
2. ...				
Итого				
Задняя стенка				
1. ...				
2. ...				
Итого				

Затем на основании наибольшей из суммарных площадей монтажных зон выбираются размеры диагностического стенда и производится компоновка аппаратов и приборов на лицевой панели и задней стенке (при этом учитываются требования табл. 24). В графической части работы должны быть изображены в масштабе лицевая панель и задняя стенка стенда с размещенными на них приборами и аппаратами (оборудование изображается в масштабе согласно реальным размерам). При отсутствии оборудования на задней стенке ее изображение не приводится. Аппараты и приборы на изображении конструкции подписываются их позиционными обозначениями. Обязательно указание масштаба и габаритных размеров стенда, а также расстояний от осей оборудования до краев панели (стенки) и расстояний между осями оборудования.

Для пояснения об измеряемых параметрах и органах управления на лицевой панели стенда (на табличках либо непосредственно на аппаратах) выполняются соответствующие надписи. Контуры табличек указываются на изображении конструкции лицевой панели под соответствующим элементом схемы в виде прямоугольника с номером надписи внутри согласно таблице 21. Перечень надписей приводится в графической части на свободном месте чертежа (как правило, над перечнем элементов).

Текст надписей формулируется кратко и четко.

Таблица 21

Форма и размеры перечня надписей

Панель	Надпись	Позиционное обозначение	Место надписи	Текст	Кол-во	Вид шрифта	Заготовка
8	8	30	25	80	10	10	15
185							

↑ 15
 ↓ 8

Таблица 22

Размеры зон аппаратов

Тип аппарата		Размеры зоны, мм			
		H	H ₁	H ₂	B
Контакторы					
МК1; МК2; МК3;		250	150	50	200
МК4; МК5-01		250	150	50	250
Пускатели					
ПМЛ1000	ПМЛ110X	150	50	50	60
	ПМЛ110X+ПКЛ	200	150	25	75
	то же, но 2 шт.	230	150	50	100
	ПМЛ110X+ОПН	150	50	50	75
	ПМЛ110X+ПКЛ+ОПН	200	150	25	75
	ПМЛ11X6+РТЛ	175	50	75	60
	ПМЛ110X+РТЛ+ОПН	175	50	75	75
	ПМЛ150X	150	50	50	110
	ПМЛ150X-ПКЛ	200	150	25	110
	ПМЛ150X+ОПН	150	50	50	150
	ПМЛ150X+ПКЛ+ОПН	200	150	25	150
	ПМЛ150X+РТЛ	175	50	75	110
	ПМЛ150X+РТЛ+ОПН	175	50	75	150

Продолжение табл. 22

Тип аппарата		Размеры зоны, мм			
		H	H ₁	H ₂	B
ПМЛ2000	ПМЛ 210X	150	50	50	60
	ПМЛ210X+ПКЛ	200	150	25	80
	ПМЛ210X+ОПН	150	50	50	80
	ПМЛ210X+ПКЛ+ОПН	200	150	25	80
	ПМЛ210X+РТЛ	175	50	75	60
	ПМЛ210X+РТЛ+ОПН	175	50	75	80
	ПМЛ250X	150	50	50	130
	ПМЛ250X+ПКЛ	200	150	25	130
	ПМЛ250X+ОПН	150	50	50	170
	ПМЛ250X+ПКЛ+ОПН	200	150	25	170
	ПМЛ250X+РТЛ	200	50	100	130
	ПМЛ250X+РТЛ+ОПН	200	50	100	170
Выключатели автоматические					
ВА 16-25	1 шт.	250	150	50	30
	2 шт.	250	150	150	75
ВА51-25; ВА51Г-25		200	150	25	60
ВА51-31; ВА51Г-31		250	150	50	80
ВА51-33; ВА51Г-33		300	200	50	120
ВА51-35		350	200	75	120
ВА52-35		450	300	100	120
ВА51-37; ВА52-37		400	200	100	150
ВА53-37; ВА55-37; ВА56-37		450	250	100	160
ВА51-39; ВА52-39		450	300	75	230
ВА53-39; ВА55-39; ВА56-39		500	250	125	230
АЕ2000	АЕ2020	200	150	25	75
	АЕ2040М	250	150	50	80
	АЕ2050М	300	200	50	80
	АЕ2060	350	200	75	120
АП50Б	3-полюсный I _{нр} ≤ 25А	200	150	25	140
	I _{нр} > 25А	250	150	50	140

Продолжение табл. 22

Тип аппарата		Размеры зоны, мм			
		H	H ₁	H ₂	B
	2-полюсный I _{нх} ≤ 25А	200	150	25	120
	I _{нр} > 25А	250	150	50	120
Реле промежуточные					
РПЛ; РПЛ+ПКЛ		150	50	50	60
то же, 2 шт.		250	150	50	100
РПУ2-М9	гориз. устан.	150	–	75	90
	вертик. устан.	200	100	50	120
ПЭ-37	гориз. устан.	100	–	50	100
	вертик. устан.	175	100	50	110
РП21-003		150	50	50	65
РП21М-217		200	150	100	60
РПУ-3М		250	150	50	160
РПУ-4		250	150	50	75
РПГ4-3101; РПГ4-3120		100	50	25	40
РПГ-3520		200	150	25	75
РПГ4-3102; РПГ4-3140;		100	50	25	50
РПГ4-5540		200	150	25	75
РПГ4-3160; РПГ10-3560		100	50	25	55
		200			
РПГ4-002; РПГ14-202; РПГ14-004		100	50	25	50
Реле управления					
РЭ12-1	I _н = 0,6–2,5 А	150	50	50	60
РЭ12-2					
РЭ12-3					
РЭ12-4	I _н = 0,6–2,5 А	150	50	50	60
РЭ12-5					
РЭ14		150	50	50	80
РЭ16-22-1;		150	50	50	60
РЭ15-40-1		200	150	25	75

Продолжение табл. 22

Тип аппарата		Размеры зоны, мм			
		H	H ₁	H ₂	B
РЭ16-12-2; РЭ16-12-3 РЭ15-30-2; РЭ16-30-3		150	50	50	90
РЭ16-22-4; РЭ16-40-4		150 200	50 150	50 25	110
РЭВ811...814; РЭВ 821; РЭВ 822; РЭВ 827; РЭВ851; РЭВ853; РЭВ861		200	150	25	130
РЭВ815...813; РЭВ825; РЭВ826; РЭВ820; РЭВ825; РЭВ854; РЭВ862		225	150	50	130
РКВ11	2-контактное	200	150	25	100
	4-контактное	250	150	50	100
ВЛ-55; ВЛ-59		150	50	50	80
ВЛ-56; ВЛ-58		200	150	25	125
ВЛ 63...69		150	50	50	60
ВС-33-1		200	150	25	75
ВС-33-2		200	150	25	100
ВС-43-3		200	100	50	90
ВС-43-6		200	100	50	125
ВС-44-1; ВС-44-2		200	100	50	200
КЭП-12У		400	150	150	400
ЕЛ-11; ЕЛ-12; ЕЛ-13		200	150	25	75
УКС-1; УКС-2		250	200	25	180
БКС-3		250	150	50	200
Реле защиты					
РТ140		250	150	50	140
РН-153; РН-154		200	150	25	140
РП250		200	150	25	140

Продолжение табл. 22

Тип аппарата	Размеры зоны, мм				
	<i>H</i>	<i>H</i> ₁	<i>H</i> ₂	<i>B</i>	
РП16-Х3; РП17-Х3; РП18-Х3	200	150	25	140	
РП11; РП12	200	150	25	160	
РП111; РП112	200	150	25	210	
РВ100; РВ200	200	150	25	150	
РВ-01	250	150	50	120	
РВ-03	200	150	25	130	
Реле тепловые					
РТЛ	100	50	25	45	
РТГ-11	125	–	100	70	
РТГ-21	125	–	100	100	
РТГ-31 <i>I</i> _н = 63; 80А	125	–	100	150	
Реле сигнальные					
РЭУ-11	1 шт.	125	150	100	90
	2 шт.	200	150	25	115
Рубильники					
ВР32-31А11Х20; ВР32-31А51Х20	250	50	100	170	
Выключатели и переключатели					
ПКУЗ-12; ПКУЗ-16 (флажковая рукоятка)	150	150	75	100	
ПКУЗ-12; ПКУЗ-16 (револьверная рукоятка)	200	150	100	140	
УП5300	260	150	25	160	
ПВХ-16; ППХ-16	100	–	50	100	
ПВХ-25; ППХ-25	150	–	75	150	
ПВХ-60; ППХ-60	250	150	125	200	
ПВХ-100; ППХ-100	300	150	150	200	
ПЕ031; ПЕ032	200	150	25	100	
Кнопки					
КЕ (1 шт.)	125	–	100	60	

Окончание табл. 22

Тип аппарата	Размеры зоны, мм			
	<i>H</i>	<i>H</i> ₁	<i>H</i> ₂	<i>B</i>
КЕ (2 шт.)	200	150	25	100
Трансформаторы				
ОСМ1-0,063; ОСМ1-0,1	200	150	25	120
ОСМ1-0,16; ОСМ1-0,25	200	150	25	140
Приборы				
Амперметр, 80×80	150	–	125	95
вольтметр с габаритами 120×120	200	–	175	160

Таблица 23

Размеры зон малогабаритной аппаратуры

Тип аппарата	Количество аппаратов в одной зоне	Размеры зоны, мм			
		<i>H</i>	<i>H</i> ₁	<i>H</i> ₂	<i>B</i>
МЛТ-1, МЛТ-2	1–10	60	–	20	110
Д814, КД105	1–10				
Д242...Д248	1	100	–	50	90
Д825...Д817	2				145
	3				200
	4				155
	5				310
	6				365
КД205А	1–10	80	–	40	60
КД209А	1–10	60	–	30	90
ПЭВ и ПЭВР не более 50 Вт С5-35 В, С5-36 В	1	80	–	40	60
ПЭВ-25, ПЭВР-25 С5-35 В-25 С5-36 В-25	1–5	60	–	30	120
ПЭВ-50, ПЭВР-50 С5-35 В-50 С5-36В-50	1–5	75	–	50	160

Продолжение табл. 23

Тип аппарата	Количество аппаратов в одной зоне	Размеры зоны, мм			
		H	H_1	H_2	B
ПЭВ-100, ПЭВР-100 С5-35В-100 С5-36В-100	1-4	75	-	50	270
ППБ-1, ППБ-2; ППБ-3, ППБ-15;	1	100	-	25	55
ППБ-25	2	100	-	25	130
ППБ-50	1	125	-	25	55
	2				130
СП-1, СП-11	1	150	-	50	50
ППЗ-40...43	1	75	-	25	10
ПП2-11, ПП2-12, ПП2-20	1	75	-	25	40
ППЗ-1, ППЗ-4, ППЗ-18	1	75	-	25	60
ППЗ-11, ППЗ-12	1	75	-	25	40
К73-11	1-3	100	-	50	60
МБГП-1	1	250	150	50	80
МБГП-2	2	200	150	25	50
МБГО-2,	1	100	-	50	65
РКН, РКМ	1-3	200	150	25	150
РП5, РП7	1	150	-	50	60
Арматура АМЕ	1	100	-	75	60

Рекомендуемые расстояния между приборами на лицевой панели

	По горизонтали						По вертикали					
	Амперметр, вольтметр	Тумблер	Переключатели пакетные	Кнопки	Кнопочные посты	Арматура сигнальная	Амперметр, вольтметр	Тумблер	Переключатели пакетные	Кнопки	Кнопочные посты	Арматура сигнальная
Амперметр, вольтметр	30	30	40	30	40	30	30	30	300	30	40	30
Переключатель «Тумблер»	30	30	40	30	40	30	30	30	300	30	40	30
Переключатели пакетные	40	40	40	40	40	40	300	300	300	300	300	300
Кнопки	30	30	40	40	40	30	30	30	300	40	40	30
Кнопочные посты	40	40	40	40	40	40	40	40	300	40	0	40
Арматура сигнальная	30	30	40	30	40	30	30	30	300	30	40	30

Расстояние от края фасадной поверхности диагностического устройства до: амперметров, вольтметров, тумблеров, арматуры сигнальной – 60 мм; кнопок – 80 мм; переключателей пакетных, кнопочных постов – 100 мм.

3.5. Расчет эксплуатационных трудозатрат

При планировании работ по техническому обслуживанию, диагностированию, текущему и капитальному ремонту электрооборудования сельскохозяйственных предприятий определяют объемы видов ремонтных работ, годовую трудоемкость, численность обслуживающего персонала (электромонтеров и инженерно-технических работников), количество необходимых материалов и запасных частей, а также стоимость работ.

Основным документом, по которому организуется эксплуатация электротехнического оборудования, является годовой план технического обслуживания, диагностирования и ремонта электрооборудования, который составляется в соответствии с действующими нормативными документами.

Годовой объем видов ремонтных работ по эксплуатации электрооборудования хозяйства определяется, исходя из периодичности их выполнения.

Дифференциальные автоматические выключатели в настоящем разделе курсовой работы рассматриваются аналогично автоматическим выключателям.

Затраты труда на обслуживание и ремонт диагностируемого электрического оборудования рассчитываются по формуле

$$T = K_{ТО} \cdot t_{ТО} + K_{ТР} \cdot t_{ТР} + K_{КР} \cdot t_{КР}, \quad (70)$$

где $K_{ТО}$, $K_{ТР}$, $K_{КР}$ – соответственно количество ТО, ТР, КР единицы электрооборудования за год;

$t_{ТО}$, $t_{ТР}$, $t_{КР}$ – трудоемкость одного ТР единицы электрооборудования, чел.-ч.

Количество КР, ТР, ТО для заданного электрооборудования:

$$K_{КР} = \frac{t_{сл}}{П_{КР}}; \quad (71)$$

$$K_{ТР} = \frac{t_{сл}}{П_{ТР}}; \quad (72)$$

$$K_{ТО} = \frac{t_{сл}}{П_{ТО}} - K_{ТР}, \quad (73)$$

где $П_{КР}$, $П_{ТР}$, $П_{ТО}$ – соответственно периодичности КР, ТР, ТО по данным таблиц: 26, 28, 30, 32, 34, 36;

$t_{сл}$ – срок службы диагностируемого электрооборудования (определяется на основании заданной наработки).

Таблица 25

Нормы трудоемкости технического обслуживания и ремонта электрических машин

Оборудование	Нормы трудоемкости ремонта, чел.-ч, при синхронной частоте вращения, об./мин.								
	1000			1500			3000		
	ТО	ТР	КР	ТО	ТР	КР	ТО	ТР	КР
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором напряжением до 660 В мощностью, кВт									
до 0,8	0,2	2,2	7,7	0,2	2	7	0,2	0,6	5,6
0,81–1,5	0,2	2,2	9,9	0,2	2	9	0,2	1,6	7,2
1,6–3,0	0,3	3,3	13,2	0,3	3	12	0,2	2,4	9,6
3,1–5,5	0,3	3,3	18,7	0,3	3	17	0,2	2,4	13,6
5,6–10	0,4	4,4	25,3	0,4	4	23	0,3	3,2	18,4
10,1–17	0,7	6,6	34,1	0,6	6	31	0,5	4,8	24,8
17,1–22	0,8	7,7	41,8	0,7	7	38	0,6	5,6	30,4
22,1–30	0,8	8,8	48,4	0,8	8	44	0,6	6,4	35,2
30,1–40	1,1	11	57,2	1	10	52	0,8	8	41,6
40,1–55	1,3	13,2	68,2	1,2	12	62	1	9,6	49,6
55,1–75	1,5	15,4	79,2	1,4	14	72	1,1	11,2	57,6
75,1–100	1,9	18,7	93,5	1,7	17	85	1,4	13,6	68
101–125	2,2	22	107,8	2	20	98	1,6	16	78,4
126–160	2,4	24,2	122,1	2,2	22	111	1,8	17,6	88,8
Коллекторные машины постоянного и переменного тока мощностью, кВт									
до 0,8	0,3	3,3	14,3	0,3	3	13	0,2	2,4	10,4
0,81–1,5	0,3	3,3	17,6	0,3	3	16	0,2	2,4	12,8
1,6–3,0	0,4	4,4	23,1	0,4	4	21	0,3	3,2	16,8

Окончание табл. 25

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3,1–5,5	0,7	6,6	31,9	0,6	6	29	0,5	4,8	23,2
5,6–10	0,9	8,8	42,9	0,8	8	39	0,6	6,4	31,2
10,1–17	1,1	1	58,3	1,0	10	53	0,8	8	42,4
17,1–22	1,4	14,3	71,5	1,3	13	65	1,0	10,4	52
22,1–30	1,7	16,5	82,5	1,5	15	75	1,2	12	60

Примечание. Нормы трудоемкости ремонта приведены для электродвигателей с невспышными обмотками, исходя из обеспечения их готовыми секциями заводского изготовления. Для электродвигателей с вспышными обмотками трудоемкость принимается с коэффициентом 1,8.

Таблица 26

Нормы периодичности и продолжительности текущего и капитального ремонта электрических машин

Оборудование	Норма периодичности ремонта (числитель) и простой в ремонте (знаменатель), ч	
	Текущий ремонт	Капитальный ремонт
1	2	3
Трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором напряжением до 660 В мощностью, кВт		
До 0,8	4320/2	51840/24
0,81–1,5	4320/2	51840/24
1,6–3,0	4320/2	51840/24
3,1–5,5	4320/2	51840/24
5,6–10	4320/4	51840/48
10,1–17	4320/4	51840/48
17,1–22	4320/4	51840/48
22,1–30	4320/8	51840/48
30,1–40	4320/8	51840/48
40,1–55	4320/10	51840/48
55,1–75	4320/10	51840/48
75,1–100	4320/10	51840/64
101–125	4320/10	51840/64
126–160	4320/12	51840/88

Окончание табл. 26

1	2	3
Коллекторные машины постоянного и переменного тока мощностью, кВт		
до 0,8	4320/2	25920/24
0,81–1,5	4320/2	25920/24
1,6–3,0	4320/4	25920/32
3,1–5,5	4320/4	25920/32
5,6–10	4320/4	25920/48
10,1–17	4320/10	25920/48
17,1–22	4320/10	25920/56
22,1–30	4320/10	25920/64
30,1–40	4320/10	25920/64
40,1–55	4320/10	25920/64
55,1–75	4320/12	25920/64
75,1–100	4320/24	25920/96
101–125	4320/32	25920/104
126–160	4320/40	25920/136

Примечания.

1. Для электрических машин, работающих в тяжелых условиях, а также используемых с длительными циклами непрерывных работ и с высокой степенью загрузки (приводы насосов, компрессоров, вентиляторов, кондиционеров, дробилок, мельниц) капитальный ремонт следует планировать не реже чем через 17 280 ч, текущий – не реже чем через 4 320 ч.

2. Периодичность ТО принимается равной половине периодичности ТР.

Таблица 27

Нормы трудоемкости технического обслуживания и текущего ремонта светотехнического и облучательного оборудования

Светотехническое и облучательное оборудование	Нормы трудоемкости, чел.-ч	
	Техническое обслуживание	Текущий ремонт
Светильники для сухих и влажных помещений: с лампами накаливания	0,1	0,25
с газоразрядными лампами	0,13	0,3

Окончание табл. 27

Светотехническое и облучательное оборудование	Нормы трудоемкости, чел.-ч	
	Техническое обслуживание	Текущий ремонт
Светильники и облучатели для помещений сырых, особо сырых, с химически активной средой: с лампами накаливания с газоразрядными лампами	0,15	0,4
	0,2	0,5
Облучатели тепличные с газоразрядными лампами высокого давления	0,5	1

Таблица 28

Нормы периодичности технического обслуживания и текущего ремонта светотехнического и облучательного оборудования

Светотехническое оборудование и облучатели	Нормы периодичности, ч	
	Техническое обслуживание	Текущий ремонт
Светильники для сухих и влажных помещений	4320	17280
Светильники для сырых и особо сырых помещений	2160	17280
Светильники и облучатели для помещений сырых, особо сырых, с химически активной средой	2160	8640
Облучатели тепличные с газоразрядными лампами высокого давления	4320	8640

Капитальный ремонт данного электрооборудования не предусматривается.

Таблица 29
Нормы трудоемкости технического обслуживания и ремонта пускозащитной аппаратуры

Вид аппарата	Нормы трудоемкости работ по одному аппарату, чел.-ч		
	Техническое обслуживание	Текущий ремонт	Капитальный ремонт
1	2	3	4
Магнитные пускатели с номинальным током, А:			
10	0,3	2,5	7,2
25	0,4	2,7	7,7
50	0,5	3,4	9,7
100	0,6	4,1	11,7
Автоматические выключатели трехполюсные с номинальным током, А:			
100	0,25	2,5	7,2
200	0,3	3,4	9,7
600	0,45	3,6	10,3
Универсальные переключатели с числом секций:			
до 4	0,2	0,5	1,4
8	0,3	0,6	1,7
Рубильники трехполюсные на ток, А:			
до 100	0,1	0,8	2,3
250	0,2	1,0	2,9
400	0,3	1,3	3,7
600	0,4	1,6	4,6
Контакты	0,5	3,0	8,6
Сигнальная арматура	0,1	—	—
Кнопочные посты (на 10 шт.) с числом кнопок:			
1–3	0,1	1,0	2,9
4–9	0,1	1,0	2,9
Предохранители	0,1	0,2	0,6

Окончание табл. 29

1	2	3	4
Пакетные переключатели на номинальный ток, А			
63	0,1	—	—
100	0,2	—	—
250	0,3	—	—
Реле промежуточные	0,1	1,1	3,2
Реле тепловые токовые (без поверки настройки)			
однополюсные	0,2	0,8	2,3
двухполюсные	0,4	1,0	2,9
трехполюсные	0,5	1,3	3,7
Реле тепловые токовые (с поверкой настройки)			
однополюсные	1	1,5	4,3
двухполюсные	1,4	2	5,7
трехполюсные	1,8	2,3	6,6

Таблица 30

Периодичность технического обслуживания и ремонта пускозащитной аппаратуры

Место установки аппаратов	Периодичность, ч	
	Техническое обслуживание	Текущий ремонт
В сухих и влажных помещениях	2160	17280
В сырых и пыльных помещениях	1440	12960
В помещениях особо сырых и с химически активной средой	720	8640
На открытом воздухе и под навесом	720	8640

Периодичность КР принимается в 2 раза больше периодичности ТР.

Таблица 31
Нормы трудоемкости технического обслуживания и текущего ремонта электротермического оборудования

Электротермическое оборудование	Нормы трудоемкости, чел.-ч	
	Техническое обслуживание	Текущий ремонт
Электроводонагреватели: элементные емкостные объемом, л:		
200	0,35	6,4
400	0,41	7,9
600	0,5	10,5
800	0,57	12,5
1600	0,8	19,0
элементные проточные производительностью, л/ч:		
350	0,4	3,6
600	0,67	7,5
электродные мощностью, кВт:		
25	1,36	7,6
60	1,4	9,6
100	1,5	10,8
175	1,7	15,5
250	2,13	19,4
Котлы электродные паровые регулируемые мощностью, кВт:		
160	2,6	23,25
250	3,4	29,1
Установки электрокалориферные мощностью, кВт:		
25	0,54	5,1
40	0,76	6,5
60	0,76	8,1
100	0,97	10,4

Таблица 32

Периодичность ТО и ТР электротермического оборудования

Вид работы	Периодичность, ч
Техническое обслуживание	2160
Текущий ремонт	8640

Капитальный ремонт данного электрооборудования не предусматривается.

Таблица 33

Нормы трудоемкости технического обслуживания и ремонта сварочного оборудования

Наименование	Нормы трудоемкости, чел.-ч		
	Техническое обслуживание	Текущий ремонт	Капитальный ремонт
1	2	3	4
Аппаратура электродуговой сварки			
Однопостовые сварочные преобразователи на номинальный сварочный ток, А			
120	0,2	23	67
300	0,2	27	76
500	0,3	38	114
1000	0,4	57	171
Многопостовые сварочные преобразователи на номинальный сварочный ток, А			
500	0,5	52	152
1000	0,8	71	209
Сварочные генераторы постоянного тока для передвижных сварочных агрегатов на номинальный сварочный ток, А			
120	0,2	16	48
315	0,2	23	57
500	0,3	27	76
1000	0,4	43	124
То же, двухпостовые на номинальный сварочный ток, А			
600	0,4	43	124

Окончание табл. 33

1	2	3	4
Однопостовые сварочные выпрямители на номинальный сварочный ток, А			
105	0,3	18	54
125	0,5	23	67
200	0,6	26	72
315	0,6	33	95
500	0,8	57	171
630	1	76	209
1000	1,3	86	238
Многопостовые сварочные выпрямители на номинальный сварочный ток, А			
1000	1,4	95	285
1600	1,8	133	380
3000	2,0	181	523

Таблица 34

Нормы периодичности и продолжительности ремонта сварочного оборудования

Наименование	Норма периодичности ремонта (числитель) и продолжительности ремонта (знаменатель), ч	
	текущий ремонт	капитальный ремонт
1	2	3
Аппаратура электродуговой сварки		
Однопостовые сварочные преобразователи на номинальный сварочный ток, А		
120	4320/8	17280/24
300	4320/10	17280/28
500	4320/12	17280/32
1000	4320/16	17280/36
Многопостовые сварочные преобразователи на номинальный сварочный ток, А		
500	4320/16	17280/36
1000	4320/20	17280/40

Окончание табл. 34

1	2	3
Сварочные генераторы постоянного тока для передвижных сварочных агрегатов на номинальный сварочный ток, А		
120	4320/4	17280/16
315	4320/8	17280/24
500	4320/10	17280/28
1000	4320/16	17280/32
То же, двухпостовые на номинальный сварочный ток 600 А	4320/16	17280/32
Однопостовые сварочные выпрямители на номинальный сварочный ток, А		
105	4320/8	17280/24
125	4320/10	17280/26
200	4320/12	17280/29
315	4320/14	17280/32
500	4320/16	17280/36
630	4320/20	17280/40
1000	4320/24	17280/48
Многостовые сварочные выпрямители на номинальный сварочный ток, А		
1000	4320/24	17280/56
1600	4320/32	17280/96
3000	4320/36	17280/144

Периодичность ТО принимается равной половине периодичности ТР.

Таблица 35

Нормы трудоемкости технического обслуживания и текущего ремонта электродвигателей погружных насосов

Вид работ	Нормы трудоемкости технического обслуживания и ремонта, чел.-ч
Техническое обслуживание	0,2

Окончание табл. 35

Вид работ	Нормы трудоемкости технического обслуживания и ремонта, чел.-ч
Текущий ремонт при мощности электродвигателя, кВт:	
до 11	7,4
11–32	9,3
45–65	13,5
свыше 65	17,0

Капитальный ремонт данного электрооборудования не предусматривается.

Таблица 36

Нормы периодичности и продолжительности ремонта электродвигателей погружных насосов

Вид работ	Нормы периодичности, ч
Техническое обслуживание	720
Текущий ремонт при наработке электродвигателей в сутки, ч:	
до 5	25 920
8–10	17 280
16 и более	8 640

В соответствии с рекомендациями настоящего раздела необходимо определить количество ТО, ТР и КР для электрооборудования, указанного в задании, рассчитать трудозатраты на эксплуатацию единицы электрооборудования (чел.-ч).

Далее определяется оптимальная периодичность профилактических мероприятий по минимуму удельных затрат:

$$T_{\Pi} = \sqrt[1+a]{\frac{Z_{\Pi}}{a\lambda Z_p(1+y^x)}}, \quad (74)$$

где Z_{Π} , Z_p – затраты на профилактику и капитальный ремонт, ч;

y^* – удельный технологический ущерб из-за отказа электрооборудования (раздел 3.7);

a – показатель эффективности профилактик (табл. 37);

λ – интенсивность отказов оборудования.

Таблица 37

Данные для определения периодичности

Вид диагностируемого оборудования	Отношение Z_n / Z_p	Показатель эффективности профилактик, a
Асинхронные двигатели единых серий	1/8	0,5
Погружные электродвигатели	1/6	1
Светильники с ЛЛ	1/2	0,7
Светильники с ГЛВД	1/3	0,8
Автоматические выключатели	1/4	0,9
Дифференциальные автоматические выключатели	1/5	1
Магнитный пускатель (в том числе с тепловым реле)	1/3	0,8
Элементные проточные водонагреватели	1/5	0,6
Элементные емкостные водонагреватели	1/6	0,7
Сварочные генераторы	1/10	0,5
Электрокалориферы	1/8	0,8

3.6. Профилактические испытания электрооборудования

Испытания действующих электроустановок всех потребителей независимо от их ведомственной принадлежности номинальным напряжением до 220 кВ должны производиться в объеме и с периодичностью, указанными в [12].

Конкретные сроки испытаний электроустановок определяются лицом, ответственным за электрохозяйство, на основе норм и ведомственной или местной системы планово-предупредительного ремонта (ППР) в соответствии с типовыми и заводскими инструкциями в зависимости от местных условий и состояния установок.

Для отдельных видов электроустановок, не включенных в нормы, конкретные сроки и нормы испытаний должны устанавливаться лицом, ответственным за электрохозяйство, на основе инструкций заводов-изготовителей и ведомственной или местной системы ППР.

Электрооборудование производства иностранных фирм подлежит испытанию по [12] после истечения гарантийного срока эксплуатации. Изоляция электрооборудования производства иностранных фирм, которая согласно технической документации испытана напряжением ниже предусмотренного нормами, должна испытываться напряжением, устанавливаемым в каждом отдельном случае с учетом опыта эксплуатации, но не ниже 90 % испытательного напряжения, принятого фирмой, если другие указания поставщика отсутствуют.

Заключение о пригодности электрооборудования к эксплуатации дается не только на основании сравнения результатов испытания [12], но и по совокупности результатов всех проведенных ранее испытаний и осмотров.

Значения параметров, полученные при испытаниях, должны быть сопоставлены с исходными, с результатами измерений параметров однотипного электрооборудования или электрооборудования других фаз, а также с результатами предыдущих испытаний.

Под исходными значениями измеряемых параметров следует понимать их значения, указанные в паспортах и протоколах заводских испытаний. При отсутствии таких значений в качестве исходных могут быть приняты значения параметров, полученные при приемосдаточных испытаниях или испытаниях по окончании восстановительного ремонта. Если отсутствуют и эти значения, разрешается за исходные принимать значения, полученные при более раннем испытании.

Электрооборудование на номинальное напряжение, превышающее номинальное напряжение электроустановки, в которой они эксплуатируются, может испытываться повышенным напряжением по нормам, установленным для класса изоляции данной установки.

При отсутствии необходимой испытательной аппаратуры переменного тока электрооборудование распределительных устройств напряжением до 20 кВ допускается испытывать повышенным выпрямленным напряжением, которое должно быть равно полутора-кратному значению испытательного напряжения промышленной частоты.

Испытания электрооборудования должны проводиться по программам (методикам), изложенным в стандартах и технических условиях на испытания и электрические измерения, с соблюдением требований правил техники безопасности.

Результаты испытаний должны оформляться протоколами, которые хранятся вместе с паспортами электрооборудования.

Электрические испытания изоляции электрооборудования необходимо, как правило, проводить при температуре изоляции не ниже 5 °С, кроме специально оговоренных в нормах случаев, когда требуется иная температура.

Перед проведением испытаний электрооборудования (за исключением вращающихся машин и специально оговоренных в нормах случаев) наружная поверхность его изоляции должна быть очищена от пыли и грязи, кроме тех случаев, когда испытания проводятся методом, не требующим отключения электрооборудования.

При испытании изоляции обмоток вращающихся машин повышенным напряжением промышленной частоты должна быть испытана поочередно каждая электрически независимая цепь или параллельная ветвь; при этом один полюс испытательного устройства соединяется с выводом испытываемой обмотки, а другой – с заземленным корпусом испытываемого электрооборудования, с которым на все время испытаний данной обмотки электрически соединяются все другие обмотки.

Обмотки, соединенные между собой наглухо и не имеющие вывода концов каждой фазы или ветви, должны испытываться относительно корпуса без их разъединения.

При испытаниях электрооборудования повышенным напряжением промышленной частоты к испытательной установке рекомендуется подводить линейное напряжение сети.

Скорость подъема напряжения до 1/3 испытательного значения может быть произвольной. Далее испытательное напряжение должно подниматься плавно, с такой скоростью, чтобы был возможен визуальный отсчет по измерительным приборам, и по достижении установленного значения поддерживается неизменным в течение

всего времени испытания. После требуемой выдержки напряжение плавно снижается до 1/3 испытательного и отключается.

Под продолжительностью испытания подразумевается время приложения полного испытательного напряжения, установленное в [12].

До и после испытания изоляции повышенным напряжением промышленной частоты или выпрямленным напряжением рекомендуется измерять сопротивление изоляции с помощью мегаомметра. За сопротивление изоляции принимается одномоментное значение измеренного сопротивления R_{60} .

Результаты испытания повышенным напряжением считаются удовлетворительными, если при приложении полного испытательного напряжения не наблюдалось скользящих разрядов, толчков тока утечки или нарастания его установившегося значения, пробоев или перекрытий и если сопротивление изоляции, измеренное мегаомметром, после испытания осталось прежним.

При измерении параметров изоляции электрооборудования должны учитываться случайные и систематические погрешности, обусловленные погрешностями измерительных приборов и аппаратов, дополнительными емкостями и индуктивными связями между элементами измерительной схемы, воздействием температуры, влиянием внешних электромагнитных и электростатических полей на измерительное устройство, погрешностями метода и т. п.

При измерении тока утечки (тока проводимости) в случае необходимости учитывается пульсация выпрямленного напряжения.

Нормы по тангенсу угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ изоляции электрооборудования приведены в [12] для измерений, выполненных при температуре оборудования 20 °С. Тангенс угла диэлектрических потерь основной изоляции измеряется при напряжении 10 кВ у электрооборудования на номинальное напряжение 10 кВ и выше и при напряжении, равном номинальному, у остального электрооборудования.

Испытание напряжением 1 кВ промышленной частоты может быть заменено измерением одномоментного значения сопротивления изоляции мегаомметром на напряжение 2 500 В. Эта замена не допускается при испытаниях ответственных вращающихся машин, а также в случаях, оговоренных в соответствующих разделах норм.

При сопоставлении результатов измерения следует учитывать температуру, при которой производились измерения, и вносить поправки в соответствии со специальными указаниями.

При испытании внешней изоляции электрооборудования повышенным напряжением промышленной частоты, проводимом при факторах окружающей среды, отличающихся от нормальных (температура воздуха 20 °С, абсолютная влажность 11 г/м³, атмосферное давление 101,3 кПа, если в стандартах на электрооборудование не приняты другие пределы), значение испытательного напряжения должно определяться с учетом поправочного коэффициента на условия испытания, регламентируемого соответствующими стандартами.

При проведении нескольких видов испытаний изоляции электрооборудования испытанию повышенным напряжением должны предшествовать тщательный осмотр и оценка ее состояния другими методами. Электрооборудование, забракованное при внешнем осмотре, независимо от результатов испытания, должно быть заменено или отремонтировано.

Температура изоляции электрооборудования определяется следующим образом:

за температуру изоляции электрических машин, находящихся в практически холодном состоянии, принимается температура окружающей среды;

за температуру изоляции электрических машин, подвергавшихся нагреву, принимается средняя температура обмотки, определяемая по ее сопротивлению постоянному току.

Сроки и нормы профилактических измерений и испытаний приведены в [12].

Для асинхронных двигателей проверяют срабатывание максимальной защиты путем измерения полного сопротивления петли «фаза – нуль» с последующим определением тока однофазного короткого замыкания.

Приведенные требования должны быть учтены в курсовой работе при разработке принципиальной электрической схемы и требований к организации измерений. В пояснительной записке должны быть приведены требования по проведению испытаний диагностируемого оборудования (объем и сроки согласно [12]). Указанные сведения оформляются отдельным разделом.

3.7. Определение ущерба от отказов диагностируемого электрооборудования

Размеры ущерба, причиняемого сельскохозяйственному производству перерывами при отказе электрооборудования, определяют с учетом длительности перерыва и простоя, совпадающих по времени с технологическим процессом. Суммарный ущерб складывается из следующих показателей: технологический ущерб (невыработка продукции), затраты на ремонт оборудования, ущерб от порчи сырья, гибели животных [9].

Ориентировочная величина ущерба может быть определена как сумма технологического ущерба и затрат на восстановление преждевременно вышедшего из строя электрооборудования.

Технологический ущерб в год от невыпуска продукции по предприятиям и видам технологического процесса определяют по формуле:

$$Y_T = N \cdot y_x \cdot r, \quad (75)$$

где N – количество продукции (принимается по данным введения курсовой работы);

r – продолжительность простоя технологического оборудования, ч/год.

Количество простоев определяется в зависимости от полученного значения интенсивности отказов диагностируемого электрооборудования и годового фонда времени работы.

Величина удельного ущерба принимается студентом самостоятельно, исходя из вида технологического оборудования и особенностей производственного процесса. Принятая величина должна соответствовать реальным значениям в текущей экономической ситуации.

Длительность простоя принимается в зависимости от вида технологического оборудования, работа которого обеспечивается диагностируемым электрооборудованием. Далее определяется суммарная продолжительность простоев за год и технологический ущерб.

Затраты на ремонт преждевременно отказавшего электрооборудования при ориентировочных расчетах определяют по формуле:

$$Y_s = 0,6 K_0, \quad (76)$$

где K_0 – первоначальная балансовая стоимость отказавшего электрооборудования, руб.

В данном разделе определяется также общая стоимость диагностического стенда как сумма стоимости всех элементов принципиальной электрической схемы (с учетом количества) и стоимости конструкции (корпуса), а также затрат на монтаж. Стоимость корпуса и затраты на монтаж принимаются в размере 20 % от общей стоимости всех элементов принципиальной электрической схемы.

3.8. Выбор инструментов и приспособлений для диагностирования

С учетом разработанных требований к организации измерений диагностических параметров (раздел 3.3) необходимо выбрать инструменты и приспособления для диагностирования. Результаты выбора оформляются в виде таблицы 38.

Таблица 38

Перечень инструментов и приспособлений для диагностирования

Наименование и марка инструмента (приспособления)	Назначение инструмента (приспособления)	Основные характеристики

В таблице должны быть приведены инструменты либо приспособления для выполнения сборочных и разборочных работ, разборных контактных соединений (при необходимости). Выбирать измерительные инструменты и приборы не разрешается.

3.9. Заключение и литература

Заключение оформляется в виде таблицы 39.

Таблица 39

Результаты расчетов

Наименование параметра	Единица измерения	Полученное значение	Допустимое значение
1. Основные диагностические параметры (перечислить)			
2. Дополнительные диагностические параметры (перечислить)			
3. Остаточный ресурс по основным диагностическим параметрам (перечислить)			
4. Интенсивность отказов по основным диагностическим параметрам (перечислить)			
5. Периодичности: ТО ТР КР			
6. Трудоемкость эксплуатации			
7. Обобщенный показатель целесообразности			

Список литературы (включая интернет-ресурсы) оформляется согласно СТП БГАТУ 01.12–06. В тексте пояснительной записки обязательно должны быть ссылки на каждый из приведенных источников.

4. ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Выполненная курсовая работа представляется на проверку в деканат (для студентов-заочников) либо на кафедру ППС (для студентов дневного отделения). Дальнейшее рецензирование производится в порядке и в сроки, установленные инструкцией № 77, утвержденной приказом ректора БГАТУ.

В случае предоставления студентом ксерокопии (распечатки сканированного изображения) пояснительной записки либо графической части курсовая работа аннулируется, студенту выдается индивидуальное задание повышенной сложности.

В случае предоставления на проверку курсовых работ, не соответствующих требованиям данных методических указаний, работы к защите не допускаются.

При выявлении курсовых работ с одинаковыми принципиальными электрическими схемами среди представленных на проверку либо при совпадении принципиальной электрической схемы с одной из сданных работ, все выявленные курсовые работы к защите не допускаются до полной переработки принципиальной электрической схемы. В случае повторного предоставления одинаковых принципиальных электрических схем студентам выдаются индивидуальные задания повышенной сложности. Аппараты управления, защиты и сигнализации не являются отличительными признаками принципиальных электрических схем. Схемы являются разными при использовании различного набора средств диагностирования (количества и назначения приборов независимо от их марок).

Защита курсовой работы производится только при наличии допуска во время экзаменационной сессии для студентов заочного обучения и до начала зимней экзаменационной сессии студентов дневного обучения. Работы, не допущенные к защите, перерабатываются и предоставляются на повторную проверку. Защита курсовых работ, представленных несвоевременно, проводится по графику, разработанному кафедрой ППС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таран, В. П. Диагностирование электрооборудования [Текст] / В. П. Таран. – Киев : Техника, 1983. – 200 с.
2. Овчаров, В. В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве [Текст] / В. В. Овчаров. – Киев : УСХА, 1990. – 168 с.
3. Поспелов, Г. Е. Надежность электроустановок сельскохозяйственного назначения [Текст] / Г. Е. Поспелов, В. И. Русан. – Минск : Ураджай, 1982. – 165 с.
4. ГОСТ 20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения [Текст]. – Введ. 01.01.91. – Москва : Издательство стандартов, 1990. – 34 с.
5. Сердешнов, А. П. Планирование эксплуатации сельскохозяйственного электрооборудования [Текст] / А. П. Сердешнов, Г. И. Янукович. – Минск : Ураджай, 1992. – 87 с.
6. Диагностика электрооборудования : учебно-методический комплекс для студентов ВУЗов [Текст] / под общ. ред. В. И. Русана. – Минск : БГАТУ, 2012. – 296 с.
7. Гольдберг, О. Д. Автоматизация контроля параметров и диагностика асинхронных двигателей [Текст] / О. Д. Гольдберг [и др.]. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 160 с.
8. Самосюк, В. Г. Система организации использования электрооборудования машин и технологических комплексов в сельскохозяйственном производстве Республики Беларусь : пособие / В. Г. Самосюк [и др.]. – Минск : НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2012. – 685 с.
9. Пястолов, А. А. Эксплуатация электрооборудования [Текст] / А. А. Пястолов, Г. П. Ерошенко. – Москва : Агропромиздат, 1990. – 287 с.
10. ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения [Текст]. – Введ. 01.07.90. – Москва : Издательство стандартов, 1990. – 37 с.
11. ТКП 339–2011. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловых и аккумуляторных, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезо-

пасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний. [Текст]. – Введ. 01.12.11. – Минск : Минэнерго, 2011. – 593 с.

12. ТКП 181–2009. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей [Текст]. – Введ.01.09.09.– Минск : Энергопресс, 2010. – 308 с.

13. Русан, В. И. Диагностика электрооборудования : методические указания по выполнению курсовой работы [Текст] / В. И. Русан. – Минск : БГАТУ, 2007. – 39 с.

Приложение 1

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Диагностируемое электрооборудование ...

Исходные данные:

Место установки электрооборудования – ...

Наработка – ч.

Количество основных диагностических параметров – ...

Количество дополнительных диагностических параметров – ...

Обобщенный показатель целесообразности – ...

Метод прогнозирования ресурса изоляции (указывается только для АД) – ...

Значения коэффициента B

Значения B для следующих $\sigma_{\bar{U}_z}$											
U_z	0,220	0,225	0,230	0,235	0,240	0,245	0,250	0,255	0,260	0,265	0,270
Для $\bar{U}_c = 0,1625$; $\sigma_{\bar{U}_c} = 0,0450$											
0,40	5,640-3	5,996-3	6,353-3	6,712-3	7,070-3	7,427-3	7,784-3	8,139-3	8,492-3	8,843-3	9,191-3
0,45	3,592-3	3,880-3	4,174-3	4,472-3	4,774-3	5,080-3	5,388-3	5,698-3	6,002-3	6,322-3	6,635-3
0,50	2,192-3	2,410-3	2,637-3	2,870-3	3,111-3	3,357-3	3,608-3	3,865-3	4,125-3	4,390-3	4,657-3
0,55	1,280-3	1,436-3	1,601-3	1,774-3	1,954-3	2,142-3	2,337-3	2,539-3	2,746-3	2,959-3	3,177-3
0,60	7,159-4	8,207-4	9,337-4	1,055-3	1,183-3	1,320-3	1,463-3	1,614-3	1,771-3	1,935-3	2,105-3
0,65	3,828-4	4,494-4	5,228-4	6,031-4	6,902-4	7,842-4	8,851-4	9,928-4	1,107-3	1,228-3	1,355-3
0,70	1,957-4	2,357-4	2,809-4	3,315-4	3,877-4	4,495-4	5,171-4	5,906-4	6,700-4	7,552-4	8,463-4
0,75	9,562-5	1,184-4	1,448-4	1,752-4	2,096-4	2,484-4	2,917-4	3,397-4	3,926-4	4,503-4	5,131-4
0,80	4,463-5	5,693-5	7,161-5	8,890-5	1,091-4	1,323-4	1,588-4	1,889-4	2,226-4	2,602-4	3,018-4
0,85	1,990-5	2,620-5	3,394-5	4,334-5	5,459-5	6,790-5	8,346-5	1,015-4	1,221-4	1,456-4	1,721-4
0,90	8,470-6	1,153-5	1,542-5	2,029-5	2,628-5	3,357-5	4,231-5	5,268-5	6,484-5	7,897-5	9,523-5
0,95	3,442-6	4,857-6	6,717-6	9,119-6	1,217-5	1,598-5	2,069-5	2,641-5	3,329-5	4,147-5	5,108-5

82

Продолжение прил. 2

Значения B для следующих $\sigma_{\bar{U}_z}$											
U_z	0,220	0,225	0,230	0,235	0,240	0,245	0,250	0,255	0,260	0,265	0,270
Для $\bar{U}_c = 0,1625$; $\sigma_{\bar{U}_c} = 0,0450$											
1,00	1,335-6	1,956-6	2,803-6	3,934-6	5,418-6	7,330-6	9,756-6	1,279-5	1,653-5	2,108-5	2,656-5
1,05	4,943-7	7,535-7	1,121-6	1,629-6	2,319-6	3,237-6	4,437-6	5,980-6	7,936-6	1,038-5	1,339-6
1,10	1,746-7	2,775-7	4,292-7	6,473-7	9,539-7	1,376-6	1,945-6	2,700-6	3,683-6	4,945-6	6,540-6
1,15	5,886-8	9,770-8	1,574-7	2,468-7	3,772-7	5,630-7	8,222-7	1,177-6	1,653-6	2,281-6	3,096-6
1,20	1,892-8	3,288-8	5,530-8	9,026-8	1,433-7	2,217-7	3,350-7	4,951-7	7,167-7	1,018-6	1,420-6
1,25	5,805-9	1,058-8	1,860-8	3,167-8	5,232-8	8,405-8	1,316-7	2,010-7	3,004-7	4,396-7	6,310-7
1,30	1,698-9	3,251-9	5,992-9	1,066-8	1,835-8	3,066-8	4,979-8	7,879-8	1,217-7	1,837-7	2,717-7
1,35	4,73-10	9,55-10	1,848-9	3,441-9	6,186-9	1,076-8	1,816-8	2,980-8	4,763-8	7,430-8	1,133-7
1,40	1,26-10	2,68-10	5,45-10	1,056-9	2,003-9	3,634-9	6,383-9	1,088-8	1,802-8	2,907-8	4,576-8
Для $\bar{U}_c = 0,2167$; $\sigma_{\bar{U}_c} = 0,0600$											
0,40	7,030-3	7,405-3	7,779-3	8,152-3	8,552-3	8,891-3	9,257-3	9,620-3	9,979-3	1,034-2	1,069-2
0,45	4,612-3	4,928-3	5,246-3	5,568-3	5,892-3	6,217-3	6,554-3	6,870-3	7,197-3	7,524-3	7,849-3
0,50	2,905-3	3,154-3	3,409-3	3,670-3	3,936-3	4,207-3	4,481-3	4,760-3	5,041-3	5,325-3	5,610-3

83

Значения B для следующих $\sigma_{\bar{U}_z}$											
U_z	0,220	0,225	0,230	0,235	0,240	0,245	0,250	0,255	0,260	0,265	0,270
Для $\bar{U}_c = 0,2167$; $\sigma_{\bar{U}_c} = 0,0600$											
0,55	1,756-3	1,940-3	2,132-3	2,332-3	2,539-3	2,752-3	2,972-3	3,197-3	3,427-3	3,662-3	3,901-3
0,60	1,018-3	1,147-3	1,284-3	1,428-3	1,581-3	1,741-3	1,907-3	2,081-3	2,261-3	2,446-3	2,637-3
0,65	5,653-4	6,505-4	7,431-4	8,428-4	9,497-4	1,064-3	1,184-3	1,312-3	1,446-3	1,587-3	1,733-3
0,70	3,008-4	3,543-4	4,136-4	4,788-4	5,502-4	6,276-4	7,112-4	8,010-4	8,969-4	9,988-4	1,107-3
0,75	1,533-4	1,851-4	2,212-4	2,619-4	3,073-4	3,576-4	4,129-4	4,734-4	5,391-4	6,101-4	6,864-4
0,80	7,482-5	9,278-5	1,137-4	1,375-4	1,654-4	1,966-4	2,317-4	2,707-4	3,140-4	3,615-4	1,134-4
0,85	3,495-5	4,459-5	5,613-5	6,979-5	8,579-5	1,043-4	1,256-4	1,498-4	1,771-4	2,077-4	2,418-4
0,90	1,562-5	2,054-5	2,661-5	3,400-5	4,287-5	5,340-5	6,578-5	8,019-5	9,679-5	1,158-4	1,372-4
0,95	6,683-6	9,074-6	1,211-5	1,592-5	2,063-5	2,637-5	3,328-5	4,151-5	5,121-5	6,253-5	7,562-5
1,00	2,734-6	3,841-6	5,294-6	7,173-6	9,562-6	1,256-5	1,626-5	2,078-5	2,623-5	3,276-5	4,043-5
1,05	1,070-6	1,558-6	2,221-6	3,106-6	4,267-6	5,766-6	7,670-6	1,006-5	1,301-5	1,661-5	2,097-5
1,10	4,006-7	6,053-7	8,941-7	1,293-6	1,834-6	2,553-6	3,494-6	4,706-6	6,244-6	8,171-6	1,055-5
1,15	1,434-7	2,253-7	3,454-7	5,174-7	7,584-7	1,089-6	1,536-6	2,128-6	2,901-6	3,893-6	5,151-6
1,20	4,906-8	8,035-8	1,280-7	1,990-7	3,019-7	4,482-7	6,519-7	9,303-7	1,304-6	1,797-6	2,439-6

84

Значения B для следующих $\sigma_{\bar{U}_z}$											
U_z	0,220	0,225	0,230	0,235	0,240	0,245	0,250	0,255	0,260	0,265	0,270
Для $\bar{U}_c = 0,2167$; $\sigma_{\bar{U}_c} = 0,0600$											
1,25	1,605-8	2,744-8	4,554-8	7,352-8	1,157-7	1,777-7	2,671-7	3,930-7	5,672-7	8,038-7	1,120-6
1,30	5,020-9	8,975-9	1,554-8	2,611-8	4,266-8	6,793-8	1,056-7	1,604-7	2,387-7	4,482-7	4,987-7
1,35	1,501-9	2,811-9	5,085-9	8,907-9	1,514-8	2,502-8	4,028-8	6,329-8	9,720-8	1,461-7	2,154-7
1,40	4,28-10	8,43-10	1,596-9	2,920-9	5,169-9	8,879-9	1,483-8	2,412-8	3,829-8	5,939-8	9,017-8
Для $\bar{U}_c = 0,3250$; $\sigma_{\bar{U}_c} = 0,0900$											
0,40	1,058-2	1,096-2	1,134-2	1,171-2	1,208-2	1,245-2	1,281-2	1,316-2	1,351-2	1,386-2	1,420-2
0,45	7,379-3	7,728-3	8,076-3	8,423-3	8,770-3	9,115-3	9,457-3	9,798-3	1,014-2	1,047-2	1,080-2
0,50	4,966-3	5,264-3	5,564-3	5,867-3	6,172-3	6,479-3	6,787-3	7,096-3	7,405-3	7,713-3	8,022-3
0,55	3,224-3	3,462-3	3,707-3	3,957-3	4,211-3	4,469-3	4,731-3	4,997-3	5,265-3	5,535-3	5,808-3
0,60	2,017-3	2,198-3	2,387-3	2,582-3	2,783-3	2,990-3	3,203-3	3,420-3	3,642-3	3,868-3	4,098-3
0,65	1,216-3	1,347-3	1,485-3	1,630-3	1,782-3	1,940-3	2,104-3	2,275-3	2,451-3	2,632-3	2,818-3
0,70	7,061-4	7,959-4	8,922-4	9,950-4	1,104-3	1,220-3	1,342-3	1,469-3	1,603-3	1,743-3	1,888-3
0,75	3,948-4	4,535-4	5,176-4	5,872-4	6,624-4	7,432-4	8,297-4	9,217-4	1,019-3	1,123-3	1,231-3
0,80	2,125-4	2,491-4	2,848-4	3,349-4	3,845-4	4,387-4	4,976-4	5,613-4	6,299-4	7,035-4	7,819-4

85

Значения B для следующих $\sigma_{\bar{U}_z}$											
U_z	0,220	0,225	0,230	0,235	0,240	0,245	0,250	0,255	0,260	0,265	0,270
Для $\bar{U}_c = 0,3250$; $\sigma_{\bar{U}_c} = 0,0900$											
0,85	1,101-4	1,319-4	1,566-4	1,846-4	2,159-4	2,508-4	2,894-4	3,318-4	3,782-4	4,287-4	4,833-4
0,90	5,489-5	6,726-5	8,166-5	9,827-5	1,173-4	1,388-4	1,631-4	1,903-4	2,206-4	2,540-4	2,908-4
0,95	2,632-5	3,305-5	4,107-5	5,054-5	6,159-5	7,441-5	8,913-5	1,059-4	1,249-4	1,463-4	1,702-4
1,00	1,214-5	1,565-5	1,993-5	2,510-5	3,128-5	3,861-5	4,720-5	5,720-5	6,873-5	8,194-5	9,696-5
1,05	5,385-6	7,132-6	9,322-6	1,204-5	1,536-5	1,939-5	2,422-5	2,996-5	3,671-5	4,460-5	5,373-5
1,10	2,297-6	3,130-6	4,205-6	5,373-6	7,290-6	9,423-6	1,204-5	1,522-5	1,904-5	2,359-5	2,896-5
1,15	9,416-7	1,323-6	1,829-6	2,491-6	3,344-6	4,431-6	5,798-6	7,497-6	9,584-6	1,212-5	1,518-5
1,20	3,711-7	5,380-7	7,665-7	1,074-6	1,483-6	2,016-6	2,705-6	3,581-6	4,683-6	6,053-6	7,739-6
1,25	1,405-7	2,106-7	3,097-7	4,473-7	6,351-7	8,877-7	1,222-6	1,659-6	2,221-6	2,937-6	3,836-6
1,30	5,113-8	7,933-8	1,206-7	1,797-7	2,629-7	3,780-7	5,347-7	7,448-7	1,022-6	1,384-6	1,849-6
1,35	1,787-8	2,875-8	4,522-8	6,963-8	1,051-7	1,557-7	2,265-7	3,242-7	4,566-7	6,335-7	8,667-7
1,40	6,000-9	1,001-8	1,634-8	2,604-8	4,059-8	6,202-8	9,294-8	1,368-7	1,979-7	2,817-7	3,949-7

Примечание. Пример пользования таблицей: при $\bar{U}_c = 0,1625$ кВ, $\sigma_{\bar{U}_c} = 0,0450$; $U_z = 1,1$ кВ; $\sigma_{U_z} = 0,230$; $B = 4,292 \cdot 10^{-7}$; принимается $B = 4,292 \cdot 10^{-7}$.

Приложение 3

Учебное издание

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Кафедра практической
подготовки студентов**

**ДИАГНОСТИКА
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

Составители:
**Русан Викентий Иванович,
Селюк Юрий Николаевич,
Довнар Ирина Викторовна**

Курсовая работа
на тему «Диагностирование ...»

Ответственный за выпуск *В. В. Лисовский*
Редактор *В. М. Воронович*
Компьютерная верстка *Д. И. Панотчик*

Выполнил: студент ... курса
... группы
Руководитель:

Подписано в печать 26.09.2013 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 5,11. Уч.-изд. л. 4,0. Тираж 170 экз. Заказ 57.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.
ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.
Пр. Независимости, 99–2, 220023, Минск.

Минск – 2013