

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Брянский государственный аграрный университет»

Кисель Ю.Е.

## **ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Методическое пособие по курсовому проектированию  
для студентов всех направлений подготовки

Брянская область, 2022

УДК 621.3:63 (076)  
ББК 31.26:40.72  
К 44

Кисель, Ю. Е. Эксплуатация электрооборудования сельского хозяйства: методическое пособие по курсовому проектированию для студентов всех направлений подготовки / Ю. Е. Кисель. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2015. – 54 с.

Методические указания по выполнению курсового проекта для студентов факультета энергетики и природопользования направлений 140400 и 110800 составлены в соответствии с программами «Эксплуатация электрооборудования» и «Эксплуатация систем электроснабжения».

Основой методических указаний явились рекомендации по выполнению курсового проекта по дисциплине «Эксплуатация электрооборудования» Московского ГАУ им. Горячкина В.П.

В методических указаниях приведены исходные данные, рекомендации, порядок выполнения, литература и справочные материалы.

Рецензент канд. техн. наук, доцент Безик В.А.

*Рекомендовано методической комиссией факультета энергетики и природопользования Брянского государственного аграрного университета, протокол № 9 от 22.04.2022 года.*

## Содержание

Введение.....	4
1 Задание, исходные данные и последовательность выполнения работы ..	5
2 Методические рекомендации и порядок выполнения работы проекта..	10
3 Расчет узлов нагрузки с/х потребителей на устойчивость .....	17
4 Сушка электродвигателей и трансформаторов .....	22
5 Определение надежности систем управления и защиты электродвигателя. Диагностика электрооборудования .....	26
Приложения .....	35
Список литературы .....	53

## **ВВЕДЕНИЕ**

Курсовой проект является одним из важных этапов изучения студентом дисциплины "Эксплуатация электрооборудования". Целью проекта является закрепление и углубление знаний по эксплуатации электрооборудования сельскохозяйственных предприятий.

Курсовой проект должен состоять из расчётно-пояснительной записки с приложением необходимых таблиц, рисунков, схем, графического материала. Написание и оформление работы необходимо производить в соответствии с требованиями ГОСТ (например, ГОСТ 2.105-95 или др.).

Курсовой проект выполняется в соответствии с заданием, в объёме и по вариантам, указанным в табл. 1, 2, 3. Номер варианта и задание выдаются на кафедре. Получив номер варианта, студент должен выполнить работу, ответив 9 вопросов задания, изложенных в исходных данных для выполнения работы. При этом количественные значения вариантов взять из таблиц 1, 2, 3.

## 1 Задание, исходные данные и последовательность выполнения работы

1. Для заданных электропотребителей (рис. 1) определить их электрические параметры исполнение по условиям окружающей среды и степени защиты в соответствии с характером (индексом) помещения, указанного в таблице 2. Выбрать аппаратуру защиты и управления, тип светильников, марки и сечения проводов (кабелей) при заданном коэффициенте загрузки ( $k_3$ ).

2. Заполнить журнал учёта электрооборудования, установленного в помещении (табл. 2).

3. Определить оптимальную периодичность ( $\eta_{\text{опт}}$ ) выполнения текущего ремонта электродвигателя ( $M_1$ ) при его эксплуатации по системе планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования СХП (ППРЭС.х.). Описать типовые операции при выполнении текущего ремонта, применяемые приборы, испытательные установки, приспособления, а также контролируемые параметры и их допустимые значения.

4. Определить годовые трудозатраты ( $T'_{\text{год}}$ ) в чел.-часах на проведение ТО и ремонта электропотребителей, указанных в табл. 3, при использовании электродвигателей в течении суток -  $\tau_{\text{раб}}$ .

5. Определить необходимое количество электромонтёров в хозяйстве с заданной годовой трудоёмкостью эксплуатации парка электрооборудования ( $T''_{\text{год}}$ ), чел.-ч.

6. По результатам расчёта годовой трудоёмкости эксплуатации парка электрооборудования в хозяйстве, (п. 4.5) определить объём электрохозяйства в усл. ед. на основании которого рассчитать численность ИТР и структуру энергетической службы, приняв объём работ по эксплуатации теплотехнического оборудования в размере 80% от объёма работ по эксплуатации ЭО (в условных единицах). Спроектировать базу (пункт) ТО электротехнического оборудования. Описать возможный вариант формы организации труда в сфере эксплуатации ЭО в СХП.

7. Проверить устойчивость узла нагрузки, состоящего из трансформатора ТМ 160/10-0,4-4,5%, линии электропередачи длиной 50 м проводом А-35 и электродвигателей, указанных в задании. Время пуска электродвигателей 2,5...3 сек, момент трогания рабочей машины  $M_{\text{тр}}=0,8...0,9$ . Степень нагрузки работающего двигателя принять равной  $\beta=0,7...0,8$ .

8. рассчитать намагничивающую обмотку для сушки статора одного из двигателей методом потерь в стали статора (индукционная сушка) и показать схему сушки изоляции.

9. Определить надёжность системы управления и защиты электродвигателя и установить оптимальный набор проверок для отыскания неисправного элемента.

Пояснительная проверка к проекту: 30-50 листов А4.

Графическая часть: 2 листа формата А1.

Лист 1 – График ТО и ТР электропотребителей.

Лист 2 – План пункта ТО и Р электрооборудования, функциональная схема электроприемника с таблицей кодовых чисел диагностирования системы управления и защиты; схема сушки изоляции электродвигателя.

Таблица 1 – Исходные данные к заданию

№ пункта задания	Заданный параметр	ВАРИАНТЫ															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	К	0,65	0,7	0,75	0,8	0,82	0,85	0,9	0,72	0,95	0,68	0,98	1	0,92	0,68	0,78	0,88
2	тип помещения	Принимается по таблице 2															
3	Г	7200	9000	10800	12600	14400	16200	18000	9800	8100	2160	2340	9500	13000	17500	18500	2050
№ пункта задания	Заданный параметр	ВАРИАНТЫ															
		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	К	0,65	0,7	0,75	0,8	0,82	0,85	0,9	0,72	0,95	0,68	0,98	1	0,92	0,68	0,78	0,88
2	тип помещения	Принимается по таблице 2															
3	Г	7200	9000	10800	12600	14400	16200	18000	9800	8100	2160	2340	9500	13000	17500	18500	2050

Таблица 2 – Варианты заданий по характеру помещений (к п.2 задания)

Помещения	Варианты															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Гараж	■															
Склад цемента		■	■													
Овощехранилище			■	■												
Комбикормовый цех				■	■											
Неотапливаемый склад					■	■										
Кормоцех влажных кормов						■	■									
Доильный зал							■	■								
Теплица								■	■							
Коровник									■	■						
Птичник										■	■					
Отапливаемый склад											■	■				
Котельная												■	■			
Мастерская													■	■		
Молочная ферма														■	■	
Парник															■	■
Открытый воздух																■
Помещения	Варианты															
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Гараж	■															
Склад цемента		■	■													
Овощехранилище			■	■												
Комбикормовый цех				■	■											
Неотапливаемый склад					■	■										
Кормоцех влажных кормов						■	■									
Доильный зал							■	■								
Теплица								■	■							
Коровник									■	■						
Птичник										■	■					
Отапливаемый склад											■	■				
Котельная												■	■			
Мастерская													■	■		
Молочная ферма														■	■	
Парник															■	■
Открытый воздух																■

Таблица 3 – Варианты задания по потребителям

№ варианта	№ потреби- теля	Потребитель	Кол-во потребителей	Длина	Способ прокладки	Примеча- ние
1	1	4AI32M4	1	35	На скобах	Электродвигатели работают в одно и тоже время Освещение аварийное
	2	4AK160M4	1	45	В трубе	
	3	НБ-220-240-100		35	На тросу	
2	1	4AI00S4	1	30	В лотке	
	2	4AKI80M6	1	40	В трубе	
	3	НБ-220-240-150		50	На тросу	
3	1	4AI80M2	1	45	В трубе	
	2	4AKI60S6	1	30	На скобах	
	3	НБ-220-240-200		50	На тросу	
4	1	4AI2M2	1	45	В трубе	
	2	4AKI60S4	1	35	В лотке	
	3	НБ-220-240-100		25	На тросу	
5	1	4AI00S2	1	40	На скобах	
	2	4AKI60M6	1	30	В трубе	
	3	НБ-220-240-150		20	На тросу	
6	1	4A80B6	1	40	В лотке	
	2	4AK200M4	1	40	В трубе	
	3	НБ-220-240-60		35	На тросу	
7	1	4AI I2M2	1	35	На скобах	
	2	4AK460M4	1	40	В трубе	
	3	НБ-220-240-150		50	На тросу	
8	1	4AI2M4	1	30	В лотке	
	2	4AK200M4	1	35	В трубе	
	3	НБ-220-240-100		50	На тросу	
9	1	4A71B4	1	30	На скобах	
	2	4AKI60S6	1	25	В трубе	
	3	НБ-220-240-200		60	На тросу	
10	1	4AI00S4	1	40	В лотке	
	2	4AKI80M6	1	30	В трубе	
	3	НБ-220-240-60		45	На тросу	
11	1	4A90L6	1	40	В трубе	
	2	4AK200M4	1	50	В лотке	
	3	НБ-220-240-100		40	На тросу	
12	1	4AI32M6	1	35	В трубе	
	2	4AK160M6	1	45	В коробе	
	3	НБ-220-240-150		45	На тросу	
13	1	4AI00L4	1	50	В коробе	
	2	4AK160S4	1	35	В трубе	
	3	НБ-220-240-200		50	Скрыто	
14	1	4AI12M4	1	45	В трубе	
	2	4AK200M4	1	40	В коробе	
	3	НБ-220-240-200		30	На тросу	
15	1	4AI60M6	1	40	В лотке	
	2	4AK160S6	1	35	В трубе	
	3	НБ-220-240-150		25	Скрыто	
16	1	4A90L6	1	45	В коробе	
	2	4AKI80M6	1	40	В трубе	
	3	НБ-220-240-60	5	35	На тросу	



Продолжение таблицы 3

№ варианта	№ потреби- теля	Потребитель	Кол-во потребителей	Длина	Способ прокладки	Примеча- ние
17	1	4AI32M4	1	35	На скобах	Электродвигатели работают в одно и тоже время Освещение аварийное
	2	4AK160M4	1	45	В трубе	
	3	НБ-220-240-100		35	На тросу	
18	1	4AI00S4	1	30	В лотке	
	2	4AKI80M6	1	40	В трубе	
	3	НБ-220-240-150		50	На тросу	
19	1	4AI80M2	1	45	В трубе	
	2	4AKI60S6	1	30	На скобах	
	3	НБ-220-240-200		50	На тросу	
20	1	4AI2M2	1	45	В трубе	
	2	4AKI60S4	1	35	В лотке	
	3	НБ-220-240-100		25	На тросу	
21	1	4AI00S2	1	40	На скобах	
	2	4AKI60M6	1	30	В трубе	
	3	НБ-220-240-150		20	На тросу	
22	1	4A80B6	1	40	В лотке	
	2	4AK200M4	1	40	В трубе	
	3	НБ-220-240-60		35	На тросу	
23	1	4AI I2M2	1	35	На скобах	
	2	4AK460M4	1	40	В трубе	
	3	НБ-220-240-150		50	На тросу	
24	1	4AI2M4	1	30	В лотке	
	2	4AK200M4	1	35	В трубе	
	3	НБ-220-240-100		50	На тросу	
25	1	4A71B4	1	30	На скобах	
	2	4AKI60S6	1	25	В трубе	
	3	НБ-220-240-200		60	На тросу	
26	1	4A100S4	1	40	В лотке	
	2	4AKI80M6	1	30	В трубе	
	3	НБ-220-240-60		45	На тросу	
27	1	4A90L6	1	40	В трубе	
	2	4AK200M4	1	50	В лотке	
	3	НБ-220-240-100		40	На тросу	
28	1	4AI32M6	1	35	В трубе	
	2	4AK160M6	1	45	В коробе	
	3	НБ-220-240-150		45	На тросу	
29	1	4A100L4	1	50	В коробе	
	2	4AK160S4	1	35	В трубе	
	3	НБ-220-240-200		50	Скрыто	
30	1	4A112M4	1	45	В трубе	
	2	4AK200M4	1	40	В коробе	
	3	НБ-220-240-200		30	На тросу	
31	1	4A160M6	1	40	В лотке	
	2	4AK160S6	1	35	В трубе	
	3	НБ-220-240-150		25	Скрыто	
32	1	4A90L6	1	45	В коробе	
	2	4AKI80M6	1	40	В трубе	
	3	НБ-220-240-60	5	35	На тросу	



гут использоваться 3-полюсные и 1-полюсные (2 или 3) реле.

В общем виде условия выбора электрических аппаратов следующие:

$$U_{н.а} \geq U_p \quad (1)$$

$$I_{н.а} \geq I_{раб.макс} \quad (2)$$

$$I_{н.расц} \geq I_{раб.макс} \quad (3)$$

$$I_{уст.тр} = I_{раб.макс} \quad (4)$$

$$I_{уст.эм} \geq 1,5 \cdot I_{пуск} \quad (5)$$

$$U_k = U_{упр} \quad (6)$$

где  $U_{н.а}$ ,  $U_k$ ,  $I_{н.а}$ ,  $I_{н.расц}$  - номинальные напряжения аппарата (автоматического выключателя, теплового реле и катушки магнитного пускателя), номинальный ток аппарата и расцепителя соответственно;  $I_{уст.тр}$ ,  $I_{уст.эм}$  - уставки теплового и магнитного разделителей.

Учитываются условия:

при выборе автоматического выключателя - (1), (2), (3), (4), (5);

при выборе теплового реле - (1), (2), (3), (4),

при выборе магнитного пускателя - (1), (2), (6).

Кроме того, при выборе магнитного пускателя дополнительно учитывается предельная мощность управляемого пускателем электродвигателя в зависимости от номинального напряжения в сети.

Максимальный рабочий ток, используемый в условиях выбора (2), (3) и (4), принимается для одиночных электродвигателей:

$$I_{раб.макс} = 1,1 \cdot K_3 \cdot I_n \quad \text{при } K_3 < 0,7$$

$$I_{раб.макс} = I_n \quad \text{при } K_3 > 0,7$$

Для участков сети с несколькими электродвигателями или другими электроприемниками  $I_{раб.макс\Sigma}$  определяется с учетом одновременности включения электроприемников, а пусковой ток - из предположения, что электродвигатель с наибольшим пусковым током  $I_{пуск.макс}$  запускается, а все остальные электроприемники, работающие в это время, имеют  $I_{раб.макс}$ :

$$I_{раб.макс} = K_{од} \cdot \sum_{i=1}^k I_{раб.макс.i}$$

$$I_{пуск.макс} = K_{од} \cdot \sum_{i=1}^k I_{раб.макс.i} + I_{пуск.макс.n}$$

где:  $K_{од}$  - коэффициент одновременности работы электроприемников;  $k$  - число присоединенных к линии электроприемников;  $I_{пуск.макс.n}$  - максимальный пусковой ток самого мощного электродвигателя.

Сечение проводов и кабелей для силовых и осветительных электроприемников при их защите, как от коротких замыканий, так и от перегрузок, определяется по таблицам допустимых токовых длительных нагрузок  $I_{н.длит}$ , приведенных в [7] и частично в таблицах приложения П-1, П-2.

Расчетное значение допустимой нагрузки на провод или кабель при нор-

мальных условиях прокладки выбирается как большая величина из соотношений:

$$I_{н.длит} \geq I_{длит} \quad (7)$$

$$I_{н.длит} \geq K_3 \cdot I_3 \quad (8)$$

где:  $I_{н.длит}$  - длительный максимальный ток, протекающий по линии;  $I_3$  - номинальный ток срабатывания (уставки) защитного аппарата;  $K_3$  - кратность длительно допустимого тока для провода или кабеля по отношению к номинальному току или току срабатывания (току уставки) защитного аппарата.

Значение коэффициента  $K_3$ , в зависимости от условий прокладки и типа защитного аппарата приведено в табл. П-3.

Кроме выбора электрооборудования по электрическим параметрам, оно должно выбираться по условиям окружающей среды. Для этого необходимо знать классификацию производственных помещений по условиям окружающей среды, климатические исполнения электрооборудования, категории размещения и степени его защиты. Эти вопросы изложены в [1, 2, 5 и др.]. Там же даются рекомендации по выбору электродвигателей по условиям окружающей среды, характеристика проводов и кабелей, применяемых в сельском хозяйстве, рекомендации по применению различных марок проводов и кабелей в различных сельскохозяйственных помещениях с различными способами прокладки.

Типы и области применения светильников с лампами накаливания приведены в табл. П-4.

Некоторые необходимые для выполнения этого раздела сведения содержатся также в табл. П-5, П-6, П-7, П-8.

При выполнении этого пункта задания целесообразно ознакомиться с [2,5 и др.].

Журнал учёта электрооборудования заполняется после выполнения п. 1 задания

Таблица 5 – Форма журнала

Инв №	Объект и электрооборудование	Характеристика электрооборудования	Единица измерения	Количество	Дата установки	Среда, в которой работает электрооборудование	Число часов работы в сутки, ч	Число месяцев работы электрооборудования в году	Удаленность электрооборудования от центрального пункта ГО
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

При заполнении журнала инвентарные номера присваиваются студентами самостоятельно (гр.1). Объект размещения электрооборудования (гр.2) берется из задания. Перечень электрооборудования принимается из задания и по результатам расчета п. 1 задания. В характеристику электрооборудования включаются параметры, влияющие на годовые затраты труда на эксплуатацию соответствующего вида электрооборудования: для электродвигателей - тип, мощность, частота вращения; для пускозащитной аппаратуры - тип, ток; для электропроводок - тип, сечение, способ прокладки и т.п. Дата установки (гр.6) ука-

зывается на момент выполнения работы. Удаленность электрооборудования от центрального пункта технического обслуживания принимается самостоятельно в пределах до 15 км.

Текущий ремонт электродвигателей является основным профилактическим мероприятием, предусмотренным системой ППРЭсх, выполнение которого направлено на обеспечение или восстановление работоспособности изделия (замена и (или) восстановление отдельных частей, кроме базовых). В объем работ по текущему ремонту входит разборка электродвигателя, контроль его технического состояния, восстановление отдельных деталей и узлов, послеремонтные испытания и т.п. При выполнении данного раздела необходимо описать все основные операции текущего ремонта с перечислением контролируемых параметров, их номинальных и предельно-допустимых значений; привести схемы, приборы и приспособления.

Перечисленный объем работ выполнить в виде таблицы (формат А4). При выполнении этого раздела ознакомиться с необходимыми данными по технической документации на текущий ремонт, например, [1...12]. Для повышения качества текущего ремонта и наиболее полного восстановления его ресурса он осуществляется на центральном пункте технического обслуживания и ремонта хозяйства или в специализированной мастерской.

При эксплуатации электродвигателя по системе ППРЭсх основным параметром, влияющем на его надежность и эксплуатационные затраты, является периодичность проведения текущего ремонта - интервал времени или наработки между двумя текущими ремонтами.

В настоящее время периодичность проведения текущих ремонтов регламентирована системой ППРЭсх, однако регламентированные периодичности носят усредненный характер и не учитывают многие конкретные факторы при эксплуатации электродвигателей.

Годовые плановые трудозатраты на выполнение технического обслуживания (ТО), текущего (ТР) и капитального (КР) ремонтов определяются по формуле:

$$T'_{\text{год}} = \sum_{i=1}^k (m_{\text{ТО}i} \cdot t_{\text{ТО}i} + m_{\text{ТР}i} \cdot t_{\text{ТР}i}) + T_{\text{КР}},$$

где:  $m_{\text{ТО}i}$  и  $m_{\text{ТР}i}$  - количества ТО и ТР в году  $i$ -го вида электрооборудования ( $i=1,2,3,\dots,k$ );  $t_{\text{ТО}i}$  и  $t_{\text{ТР}i}$  - трудоёмкости ТО и ТР  $i$ -го вида электрооборудования соответственно, в 1 ч;  $T_{\text{КР}}$  - трудоемкость КР силовых и осветительных электропроводок.

Количества ТР и ТО в году  $i$ -го вида электрооборудования определяется из выражений:

$$m_{\text{ТР}i} = \frac{12}{n_{\text{ТР}i}}; \quad m_{\text{ТО}i} = \frac{12}{n_{\text{ТО}i}} - m_{\text{ТР}i},$$

где  $n_{\text{ТР}i}$  и  $n_{\text{ТО}i}$ , - периодичность выполнения ТР и ТО  $i$ -го вида электрооборудования, мес;

$$T_{\text{КР}} = \sum_{i=1}^k m_{\text{КР}i} \cdot t_{\text{КР}i},$$

где:  $m_{\text{КР}i}$  - количество капитальных ремонтов  $i$ -го вида электропроводки;  
 $t_{\text{КР}i}$  - трудоёмкость капитального ремонта  $i$ -го вида электропроводки;

$$m_{\text{КР}i} = \frac{12}{n_{\text{КР}i}}$$

где  $n_{\text{КР}i}$ , - периодичность выполнения КР  $i$ -го вида электропроводки.

Трудоёмкости и периодичности проведения ТО, ТР и КР даются в системе ППРЭсх [5,6,15 и др.]. Некоторые извлечения из нее приведены в таблицах П-11...П-16. Результаты расчетов годовых плановых трудозатрат на выполнение ТО, ТР и КР необходимо свести в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты расчетов

№ п/п	Показатели	электродвигатели	автоматические выключатели	магнитные пускатели	тепловые реле	осветительные установки	силовые электропроводки	осветительные электропроводки
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Тип	+	+	+	+	+	+	+
2	Мощность, кВт	+	+	+	+	+	-	-
3	Частота вращения, мин <sup>-1</sup> .	+	-	-	-	-	-	-
4	Номинальный ток, А	-	+	+	-	-	-	-
5	Протяженность, м	-	-	-	-	-	+	+
6	Характер помещения	+	+	+	+	+	+	+
7	Количество часов работы в сутки	+	-	-	-	-	-	-
8	Количество месяцев работы в году	+	+	+	+	+	+	+
9	Базовая периодичность ТО по системе ППРЭсх	+	+	+	+	+	+	+
10	Значение поправочных коэффициентов на ТО	+	-	-	-	-	-	-
11	Переодичность ТО с учетом поправочных коэф.	+	-	-	-	-	-	-
12	Базовая переодичность Тр по системе ППРЭсх	+	+	+	+	+	+	+
13	Значение поправочных коэффициентов на ТР	+	-	-	-	-	-	-
14	Преодичность ТР с учетом поправочных коэф.	+	-	-	-	-	-	-
15	переодичность КР по системе ППРЭсх	-	-	-	-	-	+	+
16	Число ТО в году	+	+	+	+	+	+	+
17	Число ТР в году	+	+	+	+	+	+	+
18	Трудоёмкость ТО	+	+	+	+	+	+	+
19	Трудоёмкость ТР	+	+	+	+	+	+	+
20	Трудоёмкость КР	-	-	-	-	-	+	+
21	Годовые трудозатраты	+	+	+	+	+	+	+

Примечание к таблице 4. Суммарные годовые трудозатраты

$$T'_{\text{год}} = (3) + (4) + (5) + (6) + (7) + (8).$$

Базовыми являются периодичности ТО и ТР, взятые из табл. П-14. Поправочные коэффициенты принимаются в соответствии с примечанием к этой таблице.

При определении численности электромонтеров в целом по хозяйству необходимо иметь в виду, что кроме выполняемых электромонтерами плановых профилактических работ, они затрачивают определенное время на оперативные (внеплановые) работы и на разъезды, связанные с разбросанностью электрооборудования по производственным объектам.

Поэтому численность электромонтеров в целом по хозяйству определяется по выражению:

$$N_э = \frac{T_{\Sigma}}{\Phi}$$

где  $T_{\Sigma} = 1,15kT'_{\Sigma}$ ,  $T'_{\Sigma} = T'_{\text{год}} + T''_{\text{год}}$ ;

1,15 - коэффициент, учитывающий затраты времени электромонтеров на оперативное обслуживание;

k - коэффициент, учитывающий затраты времени на разъезды, значения которого принимаются в зависимости от среднего расстояния обслуживаемых объектов до пункта технического обслуживания или электроцеха.

При L=5 км, k=1,14; L=10 км, k=1,23; L=15км, k=1,32.

Годовой объем эксплуатационных работ в условных единицах определяется делением суммарной трудоемкости обслуживания электрооборудования  $T_{\Sigma}$  на коэффициент 18,6, означающий трудовое содержание одной условной единицы.  $Q = T_{\Sigma}/18,6$  усл. ед.

Численность инженерно-технических работников (ИТР) и должностная структура определяются отдельно по электротехнической и теплотехнической службам в соответствии с таблицей П-17. После определения численности ИТР по службам определяется общая численность ИТР энергетической службы. При суммарной трудоемкости обслуживания энергетического оборудования 2500 усл. ед. и выше энергетическую службу возглавляет главный энергетик, должность которого вводится за счет общей численности ИТР, т.е. в пределах общей численности ИТР энергетической службы за счет одной из штатных единиц. При суммарной трудоемкости обслуживания энергетического оборудования меньше 2500 усл. ед. энергетическую службу возглавляет ответственный за энергохозяйство (главный инженер, инженер и др.).

При проведении в хозяйствах работ по техническому обслуживанию и ремонту энергетического оборудования организация этих работ может принимать различные формы в зависимости от видов и объемов этих работ и от того, кем они производятся. Если в хозяйстве предусмотрена должность инженера-электрика, возглавляющего электротехническую службу (объем работ в усл. ед. более 900), существует необходимый штат электромонтеров и имеется производственно-техническая база, все работы по техническому обслуживанию и текущему ремонту целесообразно выполнять силами внутрихозяйственной энерге-

тической службы. Такую форму организации обычно называют хозяйственной. При небольшом объеме электрохозяйства и слабой инженерно-технической службе к выполнению работ по техническому обслуживанию и текущему ремонту привлекаются специализированные (сторонние) организации. Степень их участия в работах зависит от объема электрохозяйства и состояния инженерно-технической службы хозяйства. При объеме эксплуатационных работ в хозяйстве до 300 уел. ед. полноценную инженерную службу в хозяйстве создать невозможно, поэтому все виды эксплуатационных работ целесообразно передать сторонней (специализированной) организации (комплексное обслуживание).

При объеме эксплуатационных работ в хозяйстве в пределах 300...900 уел. ед. также затруднено создание полноценной самостоятельной инженерной службы, поэтому для выполнения отдельных, наиболее сложных работ привлекаются сторонние организации (типа Агропромэнерго). Другие, менее сложные работы, не требующие высококвалифицированных кадров и применения сложного испытательного или наладочного оборудования, могут выполняться имеющимся в хозяйстве электротехническим персоналом. Такая форма организации работ получила название "специализированная".

При выполнении этого раздела курсовой работы студент должен описать типовые ситуации, влияющие на выбор организационной формы выполнения эксплуатационных работ и с учетом полученных при прохождении эксплуатационной практики данных обосновать применение той или иной формы обслуживания.

Среди многих факторов, определяющих успешную деятельность электротехнической службы хозяйства, важную роль имеет производственно-техническая база, которая формируется из 4-х групп технических средств, отличающихся назначением и производительностью.

Технические средства первого уровня предназначены для проведения технического обслуживания, мелкого ремонта и несложных слесарных работ энергооборудования на участках хозяйства (отделение, ферма, зерноток и т.д.) Они включают в себя посты электрика в 3-х вариантах и электроучастки пунктов технического обслуживания оборудования ферм.

Технические средства второго уровня предназначены проводить текущий ремонт, наладку и несложные контрольные измерения, мелкомонтажные работы. Они включают в себя базы ремонта электрооборудования I, II и III категорий, стационарные пункты технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования (ПТОРЭ) на 2100 и 4200 условных ремонтов в год, электроучастки в центральных мастерских хозяйствах и пунктах технического обслуживания оборудования животноводческих комплексов, а также мобильные технические средства. Детальная разработка перечисленных стационарных технических средств имеется в типовых проектах. В табл. П-18 и П-19 приведены некоторые сведения по техническим средствам, предназначенным специально для технического обслуживания энергетического оборудования в хозяйствах. На рис.3 приведены планы этих технических средств с размещением технологического оборудования.

Технические средства третьего уровня предназначены для оснащения



подразделений районных сервисных служб (Агропромэнерго). Они включают в себя специализированные мастерские по ремонту энергооборудования на 12,5, 25,5 и 50,0 тыс. условных ремонтов в год на станции технического обслуживания животноводческого оборудования.

Технические средства четвертого уровня предназначены для оснащения областных подразделений "Агропромэнерго".

Выполняя задание п.6 необходимо использовать технологии ремонта, выбрать оборудование и начертить план базы (пункта) и обозначить оборудование.

Расчёт общей площади приближённо может быть произведён по объёму выполняемых работ в УЕЭ:

$$F = f \cdot Q$$

где: F - общая площадь помещений;

f - удельная норма на единицу УЕЭ;

(f = 0,1 м<sup>2</sup>, при Q < 1000 УЕЭ), (f = 0,1 ... 0,75 м<sup>2</sup>, при Q > 1000 УЕЭ);

Q - количество УЕЭ.

Распределение площади между отдельными участками может быть принято:

- участок разборки и очистки ЭО 10%;
- участок ремонта электродвигателей 15%;
- участок ремонта ПЗА 30%
- участок пропитки и сушки 20%.
- складские помещения 10%;
- помещения для персонала 15%;

Наиболее полные данные базы технического обслуживания и ремонта электрооборудования представлены в типовых проектах №816-122 и №816-123.

### 3 Расчет узлов нагрузки с.-х. потребителей на устойчивость

Характерной особенностью асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором является сравнительно незначительная величина пускового момента и большой, в 5...7 раз превышающий номинальный, пусковой ток.

Момент асинхронных электродвигателей пропорционален квадрату приложенного фазного напряжения:

$$M = \frac{3 \cdot U_{\phi}^2 \cdot \frac{r_2'}{s}}{\omega_0 \cdot \left[ \left( r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right]}$$

где  $U_{\phi}$  - напряжение, приложенное к фазе двигателя, В;  $r_2'$  - активное сопротивление одной фазы ротора приведенное к статору, Ом;  $s$  - скольжение;  $r_1$  - активное сопротивление одной фазы обмотки статора, Ом;  $x_1$  - индуктивное сопротивление одной фазы обмотки статора, Ом;  $x_2'$  - индуктивное сопротивление рассеяния одной фазы обмотки ротора, приведенное к статору, Ом;

$\omega_0 = \pi \cdot f$ , где  $f$  - частота питающей сети,  $f = 50$  Гц,  $\pi = 3,14$ .

Так как сельские электрические сети обладают большим сопротивлением,

а мощность питающих трансформаторов практически всегда соизмерима с мощностью одного или нескольких подключаемых к нему асинхронных к.з. электродвигателей, то при их пуске в сети возникают большие потери напряжения.

Величина потери напряжения при пуске асинхронного электродвигателя с к.з. ротором, в относительных единицах, может быть определена по формуле:

$$\Delta U_* = \frac{Z_{\text{тр}} + Z_{\text{л}}}{Z_{\text{тр}} + Z_{\text{л}} + Z_{\text{дв}}},$$

а величина напряжения на двигателе при пуске может быть определена по формуле

$$U_* = \frac{Z_{\text{дв}}}{Z_{\text{тр}} + Z_{\text{л}} + Z_{\text{дв}}},$$

где  $\Delta U_*$  - величина потери напряжения при пуске асинхронного электродвигателя в относительных единицах;

\* - обозначаются величины, приведенные в относительных единицах, например,  $U_{\text{н}*} = 1$ ;

$$I_{\text{н}*} = 1 \text{ и т. д.};$$

$Z_{\text{тр}}$  - сопротивление короткого замыкания трансформатора, Ом

$$Z_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{н.тр}} \cdot U_{\text{к}}}{I_{\text{н.тр}}},$$

где  $U_{\text{н.тр}}$  - номинальное фазное напряжение трансформатора со стороны низкого напряжения, В. Для трансформаторов 10/0,4 кВ оно равно  $400/\sqrt{3} = 231$  В;

$U_{\text{к}}$  - напряжение короткого замыкания трансформатора в относительных единицах;  $I_{\text{н.тр}}$  - номинальный фазный ток трансформатора, А  $I_{\text{н.тр}} = \frac{S_{\text{н.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}$ ;

$Z_{\text{л}}$  - сопротивление линии, зависящее от марки, сечения, протяженности и конфигурации проводов, Ом;

$S_{\text{н.тр}}$  - номинальная мощность трансформатора, В · А.

$$Z_{\text{л}} = \sqrt{r_0^2 + x_0^2} \cdot L,$$

где  $r_0$  - активное сопротивление 1 км. линии, Ом;  $x_0$  - индуктивное сопротивление 1 км. линии, Ом;

$$Z_{\text{дв}} = \frac{U_{\text{нф}}}{K_i \cdot I_{\text{н.дв}}},$$

где  $U_{\text{нф}}$  - номинальное фазное напряжение двигателя, В. Обычно при соединении обмоток двигателя в Звезду, при напряжении питания 380/220 В, оно принимается равным 220 В; при соединении обмоток двигателя в треугольник - 380 В;  $I_{\text{н.дв}}$  - номинальный фазный ток двигателя, А;  $K_i$  - кратность пускового тока двигателя, о.е.

Чрезмерная потеря напряжения в сети при пуске асинхронных короткозамкнутых электродвигателей может привести к следующим явлениям, которые проявляются как в сочетании, так и по одному.

Запускаемый электродвигатель не преодолеет момент трогания электро-

привода. Чтобы этого не произошло; минимальное допустимое напряжение на его клеммах, в относительных единицах,  $U_*$  должно удовлетворять условиям

$$U_* \geq \sqrt{\frac{1,1 \cdot m_{\text{тр}}}{m_{\text{п}}}},$$

где  $m_{\text{тр}}$  – момент трогания электропривода, о.е.;  $m_{\text{п}}$  – пусковой момент электродвигателя, о.е.

Уже работающие от той же сети двигатели могут потерять устойчивость, т.к. перейдут на неустойчивую часть механической характеристики вследствие увеличения скольжения (уменьшения частоты вращения). Для обеспечения их устойчивости минимально допустимое напряжение на их клеммах должно удовлетворять неравенству:

$$U_* \geq \sqrt{\frac{1,1 \cdot \beta}{m_{\text{кр}}}},$$

где  $\beta$  - отношение момента сопротивления привода ( $M_c$ ) к  $M_n$  - номинальному моменту двигателя ( $M_n$ ) (степень загрузки работающего двигателя);  $m_{\text{кр}}$  - величина критического момента работающего двигателя.

Если работающий электродвигатель или другие электроустановки имеют электромагнитные устройства автоматики, то для устойчивой работы необходимо, чтобы минимальное, допустимое напряжение на катушках удовлетворяло неравенству:

$$U_* \geq 0,8.$$

Силовой питающий трансформатор может перегреваться за время пуска двигателя соизмеримой мощности. Чтобы не допустить этого, необходимо выполнить условие:

$$K^2 \cdot t \leq 240 \text{ с.}$$

где  $K = \frac{I'_n}{I_{\text{н.тр}}}$  - кратность действительного пускового линейного тока двигателя ( $I'_n$ ), по отношению к номинальному линейному току трансформатора ( $I_{\text{н.тр}}$ );  $t$  - время пуска электропривода.

Запускаемый электродвигатель может перегреться, так как при снижении напряжения уменьшается избыточный момент электропривода, вследствие чего время пуска может недопустимо большим.

Будем считать, что электродвигатель имеет правильно выбранную и настроенную защиту от перегрузок и поэтому допустимое время пуска ограничено временем срабатывания защиты. Допустимую длительность пуска можно определить по формуле:

$$t \leq \frac{120}{\alpha^2 - 1},$$

где  $\alpha = \frac{I'_n}{I_{\text{н.дв}}}$  - степень перегрузки двигателя во время пуска; где  $I'_n$  - действительный пусковой ток двигателя, т.е. ток определяемый с учетом снижения

напряжения -  $I'_n = I_n \cdot U_*$ ; где  $U_*$  - относительное значение напряжения на клеммах электродвигателя во время пуска.

Пример. Проверить устойчивость узла нагрузки состоящего из трансформатора ТМ 250/10-0,4, линии электропередачи длиной 50 метров, электродвигателей АИР200М2 и АНР90Л2. Двигатель подключен к трансформатору через ВЛ-0,4 кВ сечением 35 мм<sup>2</sup> (провод А-35), длина линии равна 50м. Электродвигатель АИР200М2 имеет следующие паспортные данные:  $P_{2н} = 37$  кВт;  $n_n = 2940$  мин<sup>-1</sup>;  $\eta_n = 91,5\%$ ;  $\cos \varphi = 0,87$ ;  $K_n = 1,6$ ;  $K_{min} = 1,5$ ;  $K_{max} = 2,8$ ;  $K_i = 7,0$ . Трансформатор ТМ250/10 - 0,4;  $U_{к\%} = 4,7\%$ ; Время пуска электродвигателя равно 2,5 секунды и момент трогания рабочей машины равен 0,8. Номинальный момент двигателя  $m_n = 1,6$ .

Решение.

1. Определим полное сопротивление короткого замыкания трансформатора. Определим номинальный ток силового трансформатора:

$$I_{н.тр} = \frac{S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 361 \text{ А.}$$

Определим сопротивление трансформатора

$$Z_{тр} = \frac{U_{н.тр} \cdot U_k}{I_{н.тр}} = \frac{400 \cdot 0,047}{\sqrt{3} \cdot 361} = 0,0301 \text{ Ом.}$$

2. Определить полное сопротивление линии электропередачи напряжением 0,4кВ.

$$Z_l = \sqrt{r_0^2 + x_0^2} \cdot L = \sqrt{0,83^2 + 0,41^2} \cdot 0,05 = 0,0370 \text{ Ом}$$

3. Определим полное сопротивление двигателя во время пуска. Определим номинальный ток двигателя

$$I_{н.дв} = \frac{P_{2н}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{37000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,915 \cdot 0,87} = 70,7 \text{ А.}$$

Сопротивление двигателя при пуске будет равно

$$Z_{дв} = \frac{U_{нф}}{K_i \cdot I_{н.дв}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 7,5 \cdot 70,7} = 0,414 \text{ Ом.}$$

4. Определим величину потери напряжения при пуске двигателя.

$$\Delta U_* = \frac{Z_{тр} + Z_l}{Z_{тр} + Z_l + Z_{дв}} = \frac{0,0301 + 0,0370}{0,0301 + 0,0370 + 0,414} = 0,140 ,$$

$$\Delta U = U_n \cdot \Delta U_* = 380 \cdot 0,140 = 53,0 \text{ В.}$$

5. Определим величину напряжения на двигателе при его запуске.

$$U_* = \frac{Z_{дв}}{Z_{тр} + Z_l + Z_{дв}} = \frac{0,414}{0,0301 + 0,0370 + 0,414} = 0,860 ,$$

напряжение на зажимах двигателя в именованных единицах равно:

$$U = U_n \cdot U_* = 380 \cdot 0,860 = 327,0 \text{ В.}$$

6. Для определения устойчивости узла нагрузки проверим следующие условия:

Преодолеет ли запускаемый двигатель момент трогания электропривода? Допустим, что момент трогания рабочей машины равен номинальному моменту двигателя, тогда

$$U_* \geq \sqrt{\frac{1,1 \cdot m_{\text{тр}}}{m_{\text{п}}}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 0,8}{1,6}} = 0,74$$

Полученное ранее значение  $U_*$  (см. пункт 5 в задаче 8.5) равно 0,86, значит, приведенное условие выполняется.

Проверим устойчивость работающего от той же сети электродвигателя АИР90L2.

Для обеспечения его устойчивости должно выполняться условие:

$U_* \geq \sqrt{\frac{1,1 \cdot \beta}{m_{\text{кр}}}}$ , нам известно, что степень загрузки работающего электродвигателя АИР90L2 равна 0,7, а величина критического момента  $m_{\text{кр}}=2,2$ . Тогда:

$$U_* = 0,86 \geq \sqrt{\frac{1,1 \cdot 0,7}{2,2}} = 0,592, \text{ т. е. } 0,86 > 0,592.$$

Условие выполняется, электродвигатель АИР90L2 "не опрокинется" при пуске двигателя большой мощности.

Проверим устойчивость работы электромагнитных устройств автоматики (магнитных пускателей, промежуточных реле и т.п.)  $U_{\text{min}*} \geq 0,8$ .

$$0,86 \geq 0,80$$

Это условие выполняется, электромагнитные устройства автоматики будут работать устойчиво.

Проверим тепловой режим силового трансформатора при пуске двигателя АИР200М2.

а) Определим номинальный ток трансформатора.

$$I_{\text{н.тр}} = \frac{S_{\text{н.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 361 \text{ А.}$$

б) Определим номинальный ток двигателя

$$I_{\text{н.дв}} = \frac{P_{2\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{37000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,915 \cdot 0,87} = 70,7 \text{ А.}$$

в) Если известно, что время пуска составляет 2,5 секунды, проверим условие:

$$K^2 \cdot t \leq 240 \text{ с.}$$

$$\left( \frac{I_{\text{н.дв}} \cdot K_i}{I_{\text{н.тр}}} \right)^2 \cdot t = \left( \frac{70,7 \cdot 7,0}{361} \right)^2 \cdot 2,5 \leq 240 \text{ с.}$$

В результате вычислений мы получим, что  $4,7 < 240$  с. Значит условие выполняется. Трансформатор при пуске двигателя не перегревается.

Проверим, каким образом поведет себя правильно настроенная тепловая защита электродвигателя при его пуске. Для этого определим допустимую длительность пуска:

$$\alpha = \frac{I'_{\Pi}}{I_{\text{н.дв}}} = \frac{U_* \cdot I_{\Pi}}{I_{\text{н.дв}}} = \frac{0,86 \cdot 7,0 \cdot 70,7}{70,7} = 6,02 ,$$

$$t \leq \frac{120}{\alpha^2 - 1} = \frac{120}{6,02^2 - 1} = 3,41 \text{ с.}$$

В нашем случае время пуска равно 2,5 секунды, а допустимое время пуска равно 3,41 сек, значит, правильно настроенная тепловая защита не отключит электродвигатель от сети во время его пуска.

Справочные данные для решения приведены в приложении П-20.

#### 4 Сушка электродвигателей и трансформаторов

В процессе эксплуатации и хранения происходит увлажнение изоляции обмоток электрических машин. Если это происходит, то сопротивление изоляции электрических машин снижается, чтобы остановить этот процесс электрические машины необходимо сушить. Существуют следующие способы сушки: сушка внешним нагреванием или сушка косвенным способом; сушка током от посторонних источников или токовая сушка; сушка потерями в активной стали статора; сушка потерями в корпусе статора.

При сушке внешним нагреванием или сушка косвенным способом для нагрева используют различные нагревательные устройства: сопротивления, лампы накаливания, сушильные шкафы и т.д.

Второй способ сушки, током от посторонних источников или токовая сушка, может быть использован для сушки электрических двигателей и силовых трансформаторов. При этом способе сушки ток сушки должен быть не более  $(0,5...0,7) I_{\text{н}}$ .

При этом способе сушки нельзя отключать ток рубильником или автоматическим выключателем во избежание пробоя изоляции. Включение нужно производить, постепенно повышая, а отключение, постепенно понижая подводимое напряжение.

При третьем способе сушки, сушка потерями в активной стали статора, нагревание машин осуществляется индукционными токами, возникающими при прохождении переменного тока по специальной обмотке, намотанной на статоре (см. рисунок 3). Специальная обмотка рассчитывается следующим образом:

Определяют сечение активной стали статора, м<sup>2</sup>:

$$Q = K \cdot L_c \cdot h_c = K \cdot (L_c - n \cdot b) \cdot h_c$$

где  $K = 0,97$  - коэффициент заполнения пакета стали статора железом;  $L_c$  - длина активной стали статора без вентиляционных каналов, м;  $n$  - число вентиляционных каналов;  $b$  - ширина вентиляционных каналов, м; вентиляционные каналы имеются у электродвигателей с высотой оси вращения более 250 мм;  $h_c$  - высота активной стали статора (высота спинки статора) м. Размеры пакета железа статора можно найти в справочниках или в приложении.

Определяют число витков в намагничивающей обмотке:

$$W = \frac{0,0045 \cdot U}{Q \cdot B} ,$$

где  $U$  - напряжение на концах намагничивающей обмотки, В;  
 $Q$  - сечение активной стали статора, см<sup>2</sup>;  $B$  - величина индукции, Тл,  
 $B = 0,6 \dots 0,8$  Тл, см. таблицу 5.

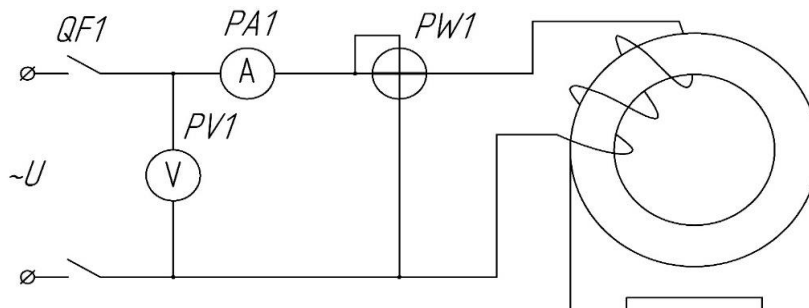


Рисунок 3 – Схема сушки изоляции обмоток электрических машин потерями в стали статора

Определяют средний диаметр активной стали статора, м:

$$D_{\text{ср}} = D_{\text{а}} - h_{\text{с}},$$

где  $D_{\text{а}}$  – внешний диаметр пакета стали статора, м.

Определяют магнитодвижущую силу намагничивающей обмотки, А:

$$F = \pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot H,$$

где  $\pi = 3,14$ ;

$H$  – напряженность магнитного поля (см. таблицу 5), А/м.

Определяют силу тока в намагничивающей обмотке, А:

$$I = \frac{F}{W},$$

В таблице 7 приведены значения напряженности магнитного поля в зависимости от марки стали и расчетного значения индукции.

Таблица 7 – Значения индукции в магнитопроводе и напряженности магнитного поля при сушке электродвигателей

В, Тл	0,6	0,7	0,8	Марка стали
Н, А/м	140	180	220	среднелегированная
Н, А/м	220	280	370	диамонная сталь

Примечание: для изготовления магнитопровода используется среднелегированная сталь.

Выбирают провод для намотки, намагничивающей обмотки. Намагничивающая обмотка изготавливается из провода марок ПР или ПРГ. Применение проводов с оболочкой и экранированных недопустимо. Допустимая плотность тока в проводах этих марок может изменяться от 2 до 6 А/мм. Сечение провода можно определить из выражения:

$$q = \frac{I}{j}, [\text{мм}^2]$$

где  $q$  - сечение провода, [мм<sup>2</sup>];

$j$  - допустимое значение плотности тока,  $j = 2 \dots 6$ , А/мм<sup>2</sup>.

При сушке методом потерь в корпусе нагревание машины достигается за счет индукционных потерь в корпусе статора от воздействия тока намагничивающей обмотки, наматываемой на корпус. Эта обмотка питается однофазным переменным током. В качестве источников питания наиболее удобным являются сварочные трансформаторы, дающие низкое напряжение и позволяющие регулировать силу тока. Намагничивающую обмотку накладывают поверх утепленного асбестом корпуса. При сушке электродвигателей, большую часть витков горизонтальной обмотки рекомендуется располагать в нижней части корпуса. Регулирование температуры нагрева производится периодическим включением тока.

Расчет намагничивающей обмотки для сушки потерями в корпусе электродвигателей выполняют по следующей методике:

- 1) Определяют площадь поверхности электродвигателя, м<sup>2</sup>.

$$F = \pi \cdot d_{30} \cdot (l_{30} - l_1),$$

где  $d_{30}$  - диаметр электродвигателя, м;  $l_{30}$  - наибольшая длина электродвигателя, м;  $l_1$  - длина вала электродвигателя, м. Габаритные размеры электродвигателей серии 4А приведены в приложении П-22.

- 2) Определяют мощность необходимую для сушки (кВт).

$$P = k \cdot F \cdot (100 - t_0) \cdot 10^{-3},$$

где  $k = 12$  для не утепленного корпуса электродвигателя,  $k = 5$  для утепленного корпуса электродвигателя.

- 3) Определяют площадь поверхности двигателя, охватываемую обмоткой, м<sup>2</sup>

$$F_0 = (0,4 \dots 0,6) \cdot F$$

- 4) Определяют величину удельных потерь, кВт/м<sup>2</sup>

$$\Delta P = \frac{P}{F_0}.$$

- 5) Определяют значение длины витка приходящейся на 1 В приложенного напряжения  $A = 1,83 \cdot \Delta P^{-0,351}$  м/В, эту величину можно определить и по приложению П-23.

- 6) Определяют число витков намагничивающей обмотки (витков).

$$W = \frac{A \cdot U}{L} = \frac{A \cdot U}{2 \cdot (l_{30} - l_1 + d_{30})}.$$

- 7) Определяют ток в намагничивающей обмотке при не утепленном электродвигателе, А:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi}.$$

Выбирают марку провода и определяют его сечение, мм<sup>2</sup>.

$$q = \frac{I}{j}.$$

Расчет намагничивающей обмотки для сушки потерями в корпусе трансформаторов выполняют по следующей методике:



- 1) Рассчитывают площадь поверхности бака трансформатора, м<sup>2</sup>

$$F = L \cdot H .$$

где  $L$  - периметр бака, м.;

$H$  - высота бака, м. Данные о размерах бака трансформатора приведены в приложении П-24.

- 2) Определяют мощность необходимую для сушки (кВт):

$$P = K_T \cdot F \cdot (t_k - t_0) ,$$

где  $K_T$  - коэффициент теплопередачи,  $K_T = 5$  для утепленного бака и  $K_T = 12$  - для не утепленного бака;

$F$  - площадь поверхности бака трансформатора, м<sup>2</sup>;

$t_k = 100$  °С - температура нагрева бака;

$t_0$  - температура окружающей среды, °С.

- 3) Определяют площадь поверхности бака, охватываемую намагничивающей обмоткой, м<sup>2</sup>:

$$F_0 = L \cdot h ,$$

где  $h$  - высота поверхности бака, занятая намагничивающей обмоткой, м,  
 $h = (0,4 \dots 0,6) \cdot H$ .

- 4) Удельный расход мощности определяется из выражения, кВт/м<sup>2</sup>:

$$\Delta P = \frac{P}{F_0} .$$

- 5) По графикам зависимости удельной мощности от длины намагничивающей обмотки, приходящейся на 1В подводимого напряжения [ $\Delta P = f(A)$ , см. приложение П-23] определяем значение коэффициента "А". Значение коэффициента А можно определить из выражения

$$A = 1,83 \cdot \Delta P^{-0,351} ,$$

где  $\Delta P$  - удельный расход мощности, кВт/м<sup>2</sup>.

- 6) Зная значение коэффициента "А" и подводимое напряжение "U" определяют число витков намагничивающей обмотки:

$$W = \frac{A \cdot U}{L} ,$$

где  $A$  - длина намагничивающей обмотки приходящаяся на 1В подводимого к обмотке напряжения.

- 7) Ток сушки определяют из выражения:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} ,$$

где  $\cos \varphi$  принимается в диапазоне от 0,5 до 0,7.

- 8) Выбор сечения и марки провода для намагничивающей обмотки производится следующим образом:

Для изготовления намагничивающей обмотки используются провода марки "ПР", "ПРГ" или "АПР", кроме этих проводов можно использовать провода марки ПДА. Плотность тока для проводов марок "ПР" и "ПРГ" колеблется в диапазоне от 3 до 6 А/мм<sup>2</sup>, а для проводов марки "АПР" - от 2 до 5 А/мм<sup>2</sup>. Зная допустимое значение плотности тока в намагничивающей обмотке можно определить сечение проводника из следующего выражения:

$$q = \frac{I}{j}$$

где  $q$  - сечение проводника, мм<sup>2</sup>;  $I$  - ток сушки, А;  $j$  - плотность тока, А/мм<sup>2</sup>.

*Пример.* Рассчитать намагничивающую обмотку для сушки статора асинхронного двигателя, методом потерь в стали статора, со следующими размерами:  $D_a = 2,50$  м,  $D_i = 2,50$  м;  $h_1 = 0,1$  м; полная длина пакета стали статора  $L_c = 0,95$  м; вентиляционных каналов  $n = 15$ , их ширина  $b = 1$  см.

Решение. 1. Определим сечение активной стали:

$$Q = K \cdot L_c \cdot h_c = K \cdot (L_c - n \cdot b) \cdot h_c = K \cdot (L_c - n \cdot b) \cdot \frac{D_a - D_i - 2 \cdot h_1}{2} =$$

$$= 0,95 \cdot (0,95 - 0,15 \cdot 1) \cdot \frac{2,50 - 1,77 - 2 \cdot 0,10}{2} = 0,2014 \text{ м}^2$$

2. Определим число витков в обмотке: примем индукцию и напряжение на обмотке равными  $B=0,6$  Тл и  $U=380$  В.

$$W = \frac{0,0045 \cdot U}{Q \cdot B} = \frac{0,0045 \cdot 380}{0,2014 \cdot 0,6} = 14 \text{ витков.}$$

3. Определим величину магнитодвижущей силы, приняв при  $B=0,6$  Тл;  $H=140$  А/м.

$$F = \pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot H = \pi \cdot \frac{D_a + (D_i + 2 \cdot h_1)}{2} \cdot H = 3,14 \cdot \frac{2,50 + (1,77 + 2 \cdot 0,10)}{2} \cdot 140$$

$$= 980 \text{ А.}$$

4. Определим силу тока:

$$I = \frac{F}{W} = \frac{980}{14} = 70 \text{ А.}$$

5. Определим марку и сечение провода.

$$q = \frac{I}{j} = \frac{70}{2 \div 6} = 35 \div 11,7 \text{ мм}^2 .$$

Принимаем для обмотки провод марки ПР сечением 35 мм<sup>2</sup> и намотаем 14 витков. Кроме провода этого сечения можно взять провод сечением 25, 16 или 12 мм<sup>2</sup>.

## 5 Определение надежности систем управления и защиты электродвигателя. Диагностика электрооборудования

Одной из основных задач диагностики электрооборудования является поиск неисправных элементов. Различают два основных метода поиска - последовательный и комбинационный.

*Метод последовательных поэлементных проверок*

При использовании данного метода система рассматривается  $I$  в виде последовательной цепочки элементов, выход каждого из  $j$  которых приводит к отказу изделия. Для каждого элемента должны быть известны данные о надежности и времени проведения проверок.

Идея метода поэлементных проверок состоит в том, что поиск отказавше-

го узла ведется путем диагноза каждого из элементов в определенной, заранее установленной, последовательности. При обнаружении отказавшего элемента поиск прекращается и производится замена элемента, а затем проверка работоспособности объекта. Если проверка показывает, что объект имеет еще один отказ, то поиск продолжается с той позиции, на которой был обнаружен отказавший элемент. Операции продолжаются, пока не будет обнаружен последний неисправный элемент.

Основная задача, решаемая при использовании метода последовательных поэлементных проверок, заключается в определении последовательности проверок. При этом в общем виде рассматривается объект, состоящий из  $N$  элементов, произвольным образом последовательно соединенных между собой, с известными интенсивностями отказов  $\lambda_i, i = 1, 2, \dots, N$ . Обычно предполагается, что неработоспособным может быть только один элемент. Известны также продолжительности проверок каждого элемента  $t_i$ . Необходимо найти такую последовательность проверок, при котором среднее время поиска неисправности будет минимальным.

Имеющиеся в технической литературе рекомендации по использованию метода предусматривают применение в качестве критерия оптимальности минимума отношения  $\alpha_i/t_i$ , где  $\alpha_i = \sum_{i=1}^N \lambda_i$  - коэффициент отказа  $i$ -го элемента.

Для обеспечения минимального среднего времени поиска отказавшего элемента проверки следует осуществлять в соответствии с последовательностью  $\alpha_1/t_1 > \alpha_2/t_2 > \dots > \alpha_N/t_N$ , где порядковые номера от 1 до  $N$  обозначают очередность проведения проверок.

#### *Метод последовательных групповых проверок*

Метод групповых проверок заключается в том, что путем проверки одного или нескольких параметров определяется часть изделия, в которой находится неисправный элемент, затем проводится другая серия проверок, позволяющая выявить следующую подгруппу элементов, включающую в себя неисправный элемент, и так далее до тех пор, пока последний не будет локализован и однозначно определен.

Если исходные данные по надежности элементов отсутствуют, то наиболее приемлемым методом поиска отказавшего элемента является метод половинного разбиения. Сущность метода заключается в том, что участок схемы с последовательно соединенными элементами делится на две равные части и равнозначно выбирается для проверки левая или правая ветвь. Если в результате проверки, например, левой части схемы, окажется, что неисправный элемент находится в правой ветви, то для локализации отказавшего элемента правая ветвь дополнительно делится на два равнозначных участка. Такое деление будет продолжаться до тех пор; пока не будет обнаружен отказавший элемент.

Критерий половинного разбиения учитывает только одну из характеристик проверок - число элементов, охваченных проверкой. Он может дать оптимальное решение только при равных вероятностях отказов элементов и одинаковом времени проверок групп. Поскольку надежность элементов, входящих в систему, может отличаться, лучше использовать метод разбиения последова-

тельной системы на две части с равными суммарными вероятностями отказа или интенсивностями отказов.

Аналитическое решение задачи поиска отказавшего элемента с использованием метода групповых проверок при условии, если интенсивности отказов элементов и продолжительности проверок различны, не найдено. Для практического использования метода вводят следующие ограничения: в системе может отказаться только один элемент, время проверок различных групп элементов одинаково. В этом случае в качестве критерия оптимальности при проведении диагноза можно использовать выражение  $|P(\Pi_k^*) - 0,5| = \min$ , где  $P(\Pi_k^*)$  - вероятность отрицательного исхода.

$$P(\Pi_k^*) = \sum_{i=1}^r \alpha_i, \alpha_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^N \lambda_i},$$

где  $r$  - число элементов, охваченных проверкой.

Подсчитав значение  $P(\Pi_k^*)$  для всех проверок и используя предложенный критерий, можно выбрать место первой проверки. После проведения первой проверки схема разбивается на две части, которые рассматриваются как самостоятельные объекты. Для каждого из них определяются коэффициенты отказа  $\alpha$  (сумма коэффициентов отказа должна быть равна 1), составляется перечень возможных проверок и выбирается проверка, для которой вероятности исходов близки к 0,5. Указанный процесс продолжается до однозначного определения отказавшего элемента.

#### *Комбинационный метод поиска отказавшего элемента*

Сущность комбинационного метода заключается в том, что в процессе поиска неисправного элемента проводят измерения определенного набора параметров, и по их результатам в зависимости от сочетания параметров, находящихся в норме или не в норме однозначно устанавливают неисправный элемент.

При анализе состояния системы с использованием комбинационного метода могут возникнуть три вопроса:

- достаточно ли взятого набора проверок для однозначного определения неисправного элемента;
- нельзя ли сократить число измеряемых параметров;
- если данного набора параметров недостаточно, то какие параметры необходимо еще добавить, чтобы осуществить полный контроль.

Для решения задач подобного рода необходимо составить таблицу, показывающую зависимость выходных параметров системы от состояния элементов. При этом в клетках на пересечении строки, соответствующей данному элементу; и колонки, соответствующей рассматриваемому параметру, будем ставить 1, если отказ элемента влечет за собой выход данного параметра, за пределы допуска, и 0, если условие не выполняется. Пример заполнения таблицы для системы, состоящей из  $N$  элементов обозначаемых  $1, 2, \dots, N$  и проверок, обозначаемых  $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ , показан в таблице 8.

Таблица 8 – Пример заполнения таблицы для системы

Номер элемента	Параметры	Кодовые числа	
	$\Pi_1 \Pi_2 \Pi_3 \dots \Pi_n$	исходные	оптимальные
1	1, 0, 0, ... 1	1	n
2	0, 1, 0, ... 0	2	2
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

Исходные кодовые числа в  $i$ -й строке ( $i=1, 2, \dots, N$ ) образуются из номеров параметров, которые изменяются при отказе  $i$ -го элемента.

Если полученные кодовые числа не содержат нулей и повторяющихся комбинаций цифр, то выбранная совокупность параметров обеспечивает однозначное определение неисправного элемента. Такая совокупность называется полной, а условие отсутствия нулей и повторяющихся кодовых чисел - условием достаточности набора элементов для отыскания неисправности.

При наличии одинаковых кодовых чисел появляется неоднозначность в определении отказавшего элемента. Если кодовое число равно нулю, значит, данный элемент не контролируется. Поэтому возникает необходимость введения дополнительных параметров. После ввода параметров вновь составляется таблица и проверяется условие достаточности.

Полная совокупность параметров, являясь достаточной, не всегда может быть необходимой. Возможно, что некоторые параметры могут быть исключены из проверки, что сократит время поиска неисправности. Параметр  $\Pi_i$  может быть исключен из полной совокупности контролируемых параметров, если после вычеркивания  $i$ -й цифры из кодовых чисел элементов новые кодовые числа будут по-прежнему удовлетворять условию достаточности. После проверки возможности исключения из совокупности контролируемых параметров каждого из них получают набор параметров, необходимый и достаточный для однозначного определения неисправного элемента. В колонке таблицы с наименованием «оптимальные» проставляется комбинация кодовых чисел после исключения лишних проверок.

Использование комбинационного метода удобно при применении ЭВМ, но методом можно пользоваться и вручную, если иметь специальную тестовую таблицу.

#### *Решение типовых примеров*

Пример 1. Система автоматического управления технологическим процессом состоит из 14 элементов, соединенных в структурной схеме надежности последовательно (рисунок 4).

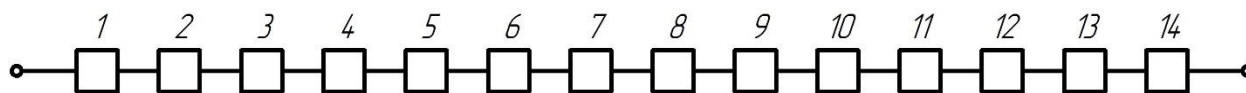


Рисунок 4 – Структурная схема надежности системы автоматического управления

Выход каждого из элементов приводит к отказу системы. Заданы интенсивности отказов элементов ( $\lambda_i \cdot 10^{-5} \text{ч}^{-1}$ ):  $\lambda_1 = 7, \lambda_2 = 3, \lambda_3 = 4, \lambda_4 = 5, \lambda_5 = 4, \lambda_6 = 5, \lambda_7 = 6, \lambda_8 = 1, \lambda_9 = 1, \lambda_{10} = 2, \lambda_{11} = 1, \lambda_{12} = 2, \lambda_{13} = 2, \lambda_{14} = 1$ . Время поиска отказавшего элемента одинаково для всех проверок и составляет 5 мин. Используя метод последовательных поэлементных проверок, установить оптимальную последовательность диагностирования системы управления.

Решение. 1. Определяем суммарную интенсивность отказов системы

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \lambda_i = 44 \cdot 10^{-5} \text{ч}^{-1}.$$

2. По формуле  $\alpha_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^N \lambda_i}$  находим значение показателя  $\alpha_i$  для всех элементов, в результате получаем  $\alpha_1 = 0,16, \alpha_2 = 0,068, \alpha_3 = 0,09, \alpha_4 = 0,1, \alpha_5 = 0,09, \alpha_6 = 0,11, \alpha_7 = 0,136, \alpha_8 = 0,022, \alpha_9 = 0,022, \alpha_{10} = 0,045, \alpha_{11} = 0,022, \alpha_{12} = 0,045, \alpha_{13} = 0,045, \alpha_{14} = 0,022$ .

3. Определяем отношения  $\alpha_i/t_i$ , с учетом того, что  $t_i = t = 5$  мин,  $\alpha_1/t = 0,032, \alpha_2/t = 0,0136, \alpha_3/t = 0,018, \alpha_4/t = 0,022, \alpha_5/t = 0,018, \alpha_6/t = 0,022, \alpha_7/t = 0,028, \alpha_8/t = 0,0046, \alpha_9/t = 0,0046, \alpha_{10}/t = 0,009, \alpha_{11}/t = 0,0046, \alpha_{12}/t = 0,009, \alpha_{13}/t = 0,009, \alpha_{14}/t = 0,0046$ ,

4. В соответствии с принятым критерием оптимальности располагаем полученные отношения  $\alpha_i/t_i$  в порядке возрастания. Окончательно устанавливаем следующую последовательность проверок

8 → 9 → 11 → 14 → 10 → 12 → 13 → 2 → 3 → 5 → 4 → 6 → 7 → 1.

Пример 2. Основными элементами электропривода вентилятора (рисунок 2) являются: аппарат защиты от токов короткого замыкания (1), вводное коммутационное устройство (2), силовые контакты магнитного пускателя (3), электродвигатель (4), устройство дистанционного включения и отключения электропривода (5), катушка магнитного пускателя (6).

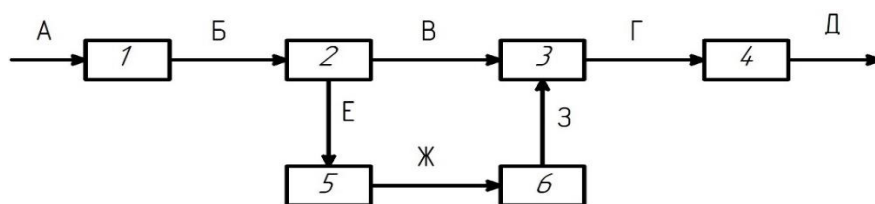


Рисунок 5 – Функциональная схема электропривода вентилятора

Буквами А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З обозначены входные и выходные сигналы элементов. Известны коэффициенты отказов элементов  $\alpha_1 = 0,3, \alpha_2 = 0,1, \alpha_3 = 0,1, \alpha_4 = 0,2, \alpha_5 = 0,1, \alpha_6 = 0,2$ . Используя метод групповых проверок, требуется составить алгоритм поиска отказавшего элемента, обеспечивающий минимальное среднее количество проверок (таблица 9).

Решение. 1. Составляем перечень возможных проверок. В таблицу также для каждой проверки поместим вероятности отрицательного исхода  $P(\Pi_k^*)$  рассчитанные по формуле:  $P(\Pi_k^*) = \sum_{i=1}^r \alpha_i$ .

Из анализа последнего столбца таблицы 9 видно, что минимальное значение критерия  $|P(\Pi_k^*) - 0,5|$  соответствует проверкам  $\Pi_4, \Pi_9, \Pi_{19}$ . Выбираем проверку  $\Pi_{19}$  т.к. ее легче реализовать. При положительном исходе проверки  $\Pi_{19}$  отказавший элемент будет находиться в группе, состоящей из 1,2 и 5 элементов, а при отрицательном исходе - группе элементов 3, 6, 4.

Таблица 9 – Алгоритм поиска отказавшего элемента

$\Pi_k$	Входной сигнал	Выходной сигнал	Проверяемые элементы	$P(\Pi_k^*)$
1	2	3	4	5
$\Pi_1$	А	Б	1	0,3
$\Pi_2$	А	В	1,2	0,4
$\Pi_3$	А	Г	1,2,3,5,6	0,8
$\Pi_4$	А	В Ж	1,2,5	0,5
$\Pi_5$	А	В З	1,2,5,6	0,7
$\Pi_6$	Б	В Е	2	0,1
$\Pi_7$	Б	В Ж	2,5	0,2
$\Pi_8$	Б	В З	2,5,6	0,4
$\Pi_9$	Б	Г	2,3,5,6	0,5
$\Pi_{10}$	Б	Д	2,3,4,5,6	0,7
$\Pi_{11}$	В З	Г	3	0,1
$\Pi_{12}$	Г	Д	4	0,2
$\Pi_{13}$	Е	Ж	5	0,1
$\Pi_{14}$	Ж	З	6	0,2
$\Pi_{15}$	Е	З	5,6	0,3
$\Pi_{16}$	Е В	Г	3,5,6	0,4
$\Pi_{17}$	Е В	Д	3,4,5,6	0,6
$\Pi_{18}$	В Ж	Г	3,6	0,3
$\Pi_{19}$	В Ж	Д	3,4,6	0,5
$\Pi_{20}$	В З	Д	3,4	0,3

2. Составляем перечни возможных проверок и вероятности их отрицательных исходов для вновь полученных групп, состоящих из 1, 2, 5 и 3, 6, 4 элементов. Результаты показаны в таблице 10 и таблице 11.

Таблица 10 – Перечни возможных проверок

$\Pi_k$	Входной сигнал	Выходной сигнал	Проверяемые элементы	$P(\Pi_k^*)$
$\Pi_1$	А	Б	1	0,6
$\Pi_2$	А	В Е	1,2	0,8
$\Pi_6$	Б	В Е	2	0,2
$\Pi_7$	Б	В Ж	2,5	0,4

Таблица 11 – Перечни возможных проверок

$\Pi_k$	Входной сигнал	Выходной сигнал	Проверяемые элементы	$P(\Pi_k^*)$
$\Pi_{11}$	В З	Г	3	0,2
$\Pi_{12}$	Г	Д	4	0,4
$\Pi_{18}$	В Ж	Г	3,6	0,6
$\Pi_{20}$	В З	Д	3,4	0,6

3. Проводим анализ материалов таблиц 8 и 9. Данные таблицы 8 свидетельствуют о том, что наиболее информативными являются проверки  $\Pi_1$  и  $\Pi_7$ . Для обеих проверок  $|P(\Pi_k^*) - 0,5| = 0,1$ . Выбираем проверку  $\Pi_1$ . При отрицательном исходе ее неисправен элемент 1, при положительном исходе - неисправный элемент находится в группе элементов 2 и 5. Так как в последнем случае остается только 2 элемента, то дальнейшая последовательность проверок безразлична. Аналогичный подход применим при рассмотрении таблице 9. Выбираем проверку  $\Pi_{12}$ . При положительном исходе ее нужно проверить элементы 3 и 6, при отрицательном - неисправен элемент 4.

4. Строим алгоритм проверок (рис.6).

Пример 3. Качеству технологического процесса проведения сварочных работ с использованием сварочного полуавтомата зависит от технического состояния 5 элементов: источника питания (1), преобразователя (2), установки подачи электрода (3), дуги (4), шва (5). Контролируемыми параметрами могут быть: отклонение напряжения источника питания  $\Pi_1$  изменение скорости подачи проволоки  $\Pi_2$ , изменение силы сварочного тока  $\Pi_3$ , качество дуги  $\Gamma_Ц$ , качество шва  $\Pi_5$ . Необходимо составить таблицу поиска отказавшего элемента с использованием комбинационного метода.

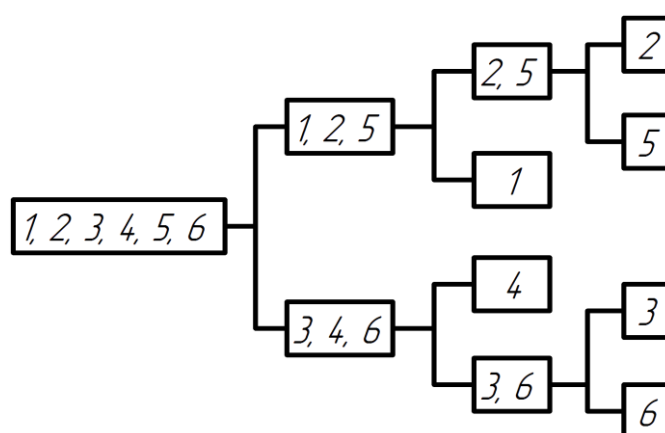


Рисунок 6 – Алгоритм проверок

Решение. 1. Исходя из условия задачи, чертим функциональную схему установки (рисунок 7).



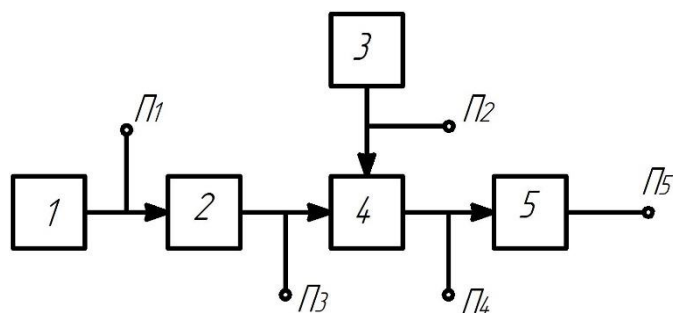


Рисунок 7 – Функциональная схема установки

2. Составляем таблицу зависимости измеряемых параметров от состояния элементов (таблица 12).

Таблица 12 – Перечни возможных проверок

Номер элемента	Параметры	Кодовые числа	
	П <sub>1</sub> П <sub>2</sub> П <sub>3</sub> П <sub>4</sub> П <sub>5</sub>	исходные	оптимальные
1	1 0 1 1 1	1345	1345
2	0 0 1 1 1	345	345
3	0 1 0 1 1	245	245
4	0 0 0 1 1	45	45
5	0 0 0 0 1	5	5

Пример 4. Функциональная схема управления водонагревателем - термосом типа ВЭТ имеет вид, показанный на рисунке 8.

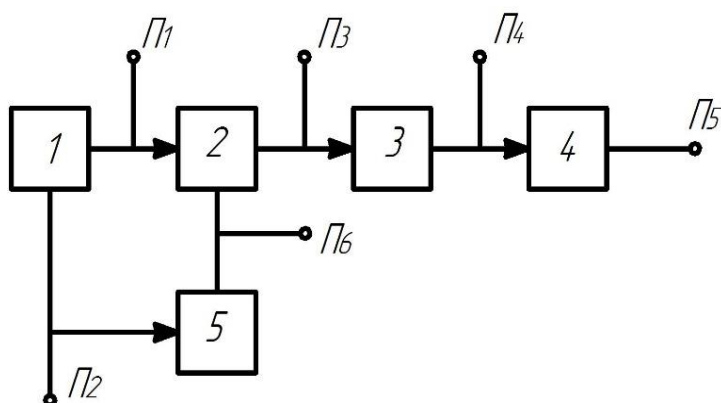


Рисунок 8 - Функциональная схема управления работой ВЭТ:

1 - автоматический выключатель, 2 - катушка магнитного пускателя, 3 - силовые контакты магнитного пускателя, 4 - нагревательный элемент, 5 - термореле.

Определить оптимальное число контролируемых параметров при использовании комбинационного метода поиска отказов.

Решение. 1. Составляем таблицу, показывающую зависимость проверяемых элементов (таблица 13).

Таблица 13 – Зависимость проверяемых элементов

Номер элемента	Параметры	Кодовые числа	
	П <sub>1</sub> П <sub>2</sub> П <sub>3</sub> П <sub>4</sub> П <sub>5</sub> П <sub>6</sub>	исходные	оптимальные
1	1 1 1 1 1 1	123456	23456
2	0 0 1 1 1 0	345	345
3	0 0 0 1 1 0	45	45
4	0 0 0 0 1 0	5	5
5	0 0 1 1 1 1	3456	3456

Как следует из таблицы 11, полная совокупность проверок является достаточной, но не оптимальной. Проверку 1 или 2 можно исключить из перечня. В результате вычеркивания проверки 1 получим оптимальный набор кодовых чисел (правая колонка таблицы 13).

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица П1

Сечение токопроводящей жилы	Ток для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одножильных	трех одножильных	четыре одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного
2,5	24	20	19	19	19	16
4	32	28	28	23	25	21
6	39	36	32	30	31	26
10	60	50	47	39	42	48
16	75	60	60	55	60	55
25	105	85	80	7	75	65
35	130	100	95	85	95	75
50	165	140	130	120	125	105

Примечания:

1. Допустимые длительные токи для проводов, расположенных в коробах и лотках (пучках), принимаются как для проводов, расположенных в трубах.
2. Допустимые длительные токи для проводов, проложенных в лотках при однорядной прокладке (не в пучках), принимаются как для проводов, проложенных в воздухе.
3. При определении количества проводов, прокладываемых в одной трубе (или жил многожильного проводника), нулевой рабочий проводник четырехпроводной системы, а также заземляющий и нулевые защитные проводники в расчет не принимаются.

Таблица П2

Сечение токопроводящей жилы, мм	Ток для кабелей, А				
	одножильных	двухжильных		трехжильных	
		в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе
2,5	23	21	34	19	29
4	31	29	42	27	38
6	33	38	55	32	46
10	60	55	80	47	70
16	75	70	105	60	90
25	105	90	135	75	115
35	13	105	160	90	140
50	165	135	205	110	175

Примечания: Допустимые длительные токи для кабелей, проложенных в коробах и лотках (пучках), принимаются как для кабелей, проложенных в воздухе.

Таблица ПЗ – Минимальные кратности допустимых токов нагрузок на провода и кабели по отношению к номинальным токам или токам срабатывания защитных аппаратов

Значение тока защитного аппарата	Кратность допустимых длительных токов К			
	Сети, для которых защита от перегрузки обязательна			сети не требующие защиты от перегрузки
	Проводники с резиновой или полихлорвиниловой изоляцией		кабели с бумажной изоляцией	
	взрыво- и пожароопасные помещения, жилые, торговые и т.п.	Невзрыво- и непожароопасные помещения промышленных предприятий		
1	2	3	4	5
Номинальный ток плавкой вставки предохранителей	1,25	1	1	0,33
Ток срабатывания электромагнитного расцепителя автомата	1,25	1	1	0,22
Номинальный ток теплового или комбинированного расцепителя автомата с нерегулируемой характеристикой	1	1	1	1
Ток срабатывания электромагнитного расцепителя автомата с регулируемой характеристикой	1	1	0,8	0,66

Таблица П4 – Светильники с лампами накаливания, рекомендованные для применения в сельском хозяйстве.

Тип светильников	Мощность лампы, Вт	Область применения
НСПО-1 X 100/Д23-01УЗ"Астра-1"	До 100	Для помещений с нормальными условиями среды (в сухих и влажных). Степень защиты IP23, климатическое исполнение-У3
НСПО-1 X 100/Д23-07УЗ"Астра-3"	150...200	
НПО-18-1 X 150/Н-06-У4	150	
НПО-18-1 X 60/Н-06-У5	2*60	
НСПО-1 X 200/Д53-08УЗ"Астра-2"	До 200	Для помещений с тяжелыми условиями среды (сырых, особо сырых, пыльных)
ПСХ-60М-У3	60	
ППР-100УЗ, ППР-200УЗ	100 и 200	
ППД-100УЗ, ППД-200УЗ	100 и 200	Степень защиты IP53, IP60
НСПО-1 X 200/Д53-03УЗ	150...200	В сырых, пыльных и с химически активной средой помещениях
"Астра-12", "Астра-32" НСПО-1 X 100/Д53-02УЗ"Астра-11"	100	
ПНП-2 X 100-У3	2*100	
СПО-200-1-У1	200	
НСУ-04-200-001-У1	200	Для наружного освещения
ИСУ-01 X 2000-К63-01-У1	2000	

Таблица П5 – Характеристика степеней защиты электрооборудования IPXX

Цифровое обозначение	Степень защищенности	
	персонала от соприкосновения с токоведущими частями, с движущимися частями оборудования внутри оболочки и от попадания твердых посторонних тел и пыли (первая цифра в условном обозначении)	электрооборудования, расположенного внутри оболочки, от проникновения влаги (вторая цифра в условном обозначении)
0	Защита отсутствует	Защита отсутствует
1	Защита от случайного соприкосновения большого участка поверхности человеческого тела, например, руки с токоведущими или движущимися частями внутри оболочки; защита от попадания в оборудование крупных, твердых тел диаметром не менее 52,5 мм, отсутствует защита от преднамеренного доступа к этим частям	Защита от капель сконденсировавшейся воды (капли, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на оборудование, помещенное в оболочку)
2	Защита от случайного соприкосновения большого участка поверхности человеческого тела, например, руки, помещенное в движущиеся части внутри оболочки; Защита от попадания крупных, твердых тел диаметром не менее 52,5 мм в оборудование, отсутствует защита от преднамеренного доступа к этим частям	Защита от капель воды (капли, падающие на оболочку, наклоненную под углом не более 15 градусов, не должны оказывать вредного воздействия на оборудование, помещенное в оболочку)
3	Защита от соприкосновения инструмента, проволоки или других подобных предметов, толщина которых превышать 2,5 мм, с токоведущими или движущимися частями внутри оболочки; защита оборудования от попадания мелких и твердых посторонних тел диаметром не менее 12,5 мм	Защита от дождя (дождь, падающий на оболочку, наклоненную под углом не более 60 градусов, не должен оказывать вредного воздействия на оборудование помещенное в оболочку)
4	Защита от соприкосновения инструмента, проволоки или других подобных предметов толщина которых превышает 1 мм, с токоведущими или движущимися частями внутри оболочки, защита оборудования от попадания мелких и твердых посторонних тел диаметром не менее 1 мм	Защита от брызг (брызги воды любого направления, падающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на оборудование помещенное в оболочку)
5	Полная защита персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри оболочки; защита оборудования от пыли	Защита от водяных струй (вода, выбрасываемая через наконечник на оболочку в любом направлении, не должна оказывать вредного воздействия на оборудование, помещенное в оболочку)
6	Полная защита персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри оболочки; полная защита оборудования от вредных отложений пыли	Защита от воздействий, характерных для палубы корабля (при захлестывании морской волной, вода не должна попадать в оболочку)
7		Защита при погружении в воду (вода не должна попадать в оболочку при давлении и в течение определенного времени)
8		Защита при неограниченно длительном погружении в воду (вода не должна проникать внутрь оболочки)

Таблица П6 - Климатические исполнения электрооборудования

Климатическое исполнение	Характеристика климатической зоны
У	Для умеренного климата: средняя из ежегодных абсолютных максимумов температуры воздуха равна или ниже 40 градусов, а средняя из ежегодных абсолютных минимумов температуры равна или выше -45 градусов
ХЛ	Для холодного климата 4 средняя из ежегодных абсолютных минимумов температур воздуха ниже -45 градусов
УХЛ	Для умеренного холодного климата; средняя из ежегодных абсолютных максимумов температуры воздуха равна или ниже 40 градусов, а средняя из ежегодных абсолютных минимумов температур воздуха ниже -45 градусов
ТВ	Для влажного тропического климата: сочетание температуры, равной или выше 20 градусов, и относительной влажности, равной или выше 80%, наблюдается примерно 12ч в сутки или более за непрерывный период от 2 до 12 месяцев
ТС	Для сухого тропического климата средняя из ежегодных абсолютных максимумов температур воздуха 40 градусов

Примечание:

1. Устройства, которые могут использоваться одновременно во всех районах (общеклиматическое исполнение), обозначаются символом «О», а в районах с сухим и влажным тропическим климатом – символом «Т».
2. Исполнение ТВ, ТС и Т могут быть обозначены термином «тропическое исполнение».

Таблица П7 – Категории размещения электрооборудования

Категории размещения	Области применения
1	Для работы на открытом воздухе
2	Для работы в помещениях, где колебания температур и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе и имеется сравнительно свободный доступ наружного воздуха
3	Для работы в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, где колебания температуры, влажности воздуха и воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе
4	Для работы в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями, например, в закрытых отапливаемых или охлаждаемых и вентилируемых помещениях
5	Для работы в помещениях с повышенной влажностью

Таблица П8 – Выбор электродвигателей по условиям окружающей среды

Характер помещений	Примерный перечень помещений	Исполнения двигателей				
		У3 IP44	У2 IP44	СУ1 IP44	УПУ3 IP54	У1 IP44
<b>СУХИЕ.</b> Относительная влажность не превышает 60%. Признаки для отнесения помещения к пыльным и с химически активной средой отсутствуют	Конторы, красные уголки, клубы, помещения для обслуживания персонала ферм, жилые комнаты, общежития, инкубатории, отопливаемые склады, подсобные помещения в ремонтно-механических мастерских, гаражи, котельные и т.п.					
<b>ВЛАЖНЫЕ.</b> Пары или конденсирующая влага выделяются лишь временно и при том в небольших количествах. Относительная влажность воздуха более 60%, но не превышает 75%	Залы столовых, лестничные клетки, сени, кухни жилых помещений, неотапливаемые склады, подсобные помещения, мастерские и т.п.					
<b>СЫРЫЕ.</b> Относительная влажность воздуха превышает 75%	Цеха по переработке продуктов животноводства, плодов и овощей					
<b>ОСОБО СЫРЫЕ.</b> Относительная влажность воздуха близка к 100%. Потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении покрыты влагой	Кормоприготовительные цеха для влажных кормов животноводческих ферм и комплексов, доильные залы, молочные отделения ферм, силосные башни, наружные установки под навесами, овощехранилища, моечные отделения цехов по переработке плодов и овощей, парники, теплицы					
<b>ОСОБО СЫРЫЕ С ХИМИЧЕСКИ АКТИВНОЙ СРЕДОЙ</b>	Животноводческие и птицеводческие помещения, склады минеральных удобрений, помещения для протравливания семян					
<b>ПЫЛЬНЫЕ.</b> В условиях производства выделяется технологическая пыль в таком количестве, что она может оседать на провода, проникать внутрь аппаратов, машин и т.д.	Пункты послеуборочной обработки зерна и технических культур, помещения для дробления концентрированных кормов, комбикормовые заводы, склады цемента и других сыпучих материалов					
<b>ОТКРЫТЫЙ ВОЗДУХ</b>	Наружные установки					

Примечание: В помещениях для протравливания семян и в складах минеральных удобрений допускается исполнение «Х» (химостойкие).

Таблица П9 – Типовые штаты службы главного энергетика сельскохозяйственных предприятий

Должность руководителя	Нормативы для введения должности		
	Штатная единица	Количество энергоустановок, у.е.э	Потребляемая на производственные цели электроэнергия, млн. кВт*ч
Гл. энергетик	1	не более 1500	Более 1,5
Старший инженер-энергетик на правах главного	1	1001...1500	Более 1
Старший инженер-энергетик	1	500...1000	Более 0,5
Инженер-энергетик	1	251...500	Менее 0,5
Старший техник-электрик	1	101...250	Менее 0,5

Таблица П10 – Штатные нормативы службы главного энергетика сельскохозяйственных предприятий

Должность ИТР	Нормативы для введения должности
Инженер-электрик	1 должность на каждые 1100 у.е.э
Старший техник электрик (техник-электрик)	1 должность на каждые 650 у.е.э

Таблица П11 – Мощность асинхронных короткозамкнутых электродвигателей серии 4А в исполнении IP44

Типоразмер	$P_{НОМ}$ , кВт при $n_{НОМ}$ , мин <sup>-1</sup>			
	3000	1500	1000	750
4A56A	0,18	0,12	-	-
4A56B	0,25	0,18	-	-
4A63A	0,37	0,25	0,18	-
4A63B	0,55	0,37	0,25	-
4A71A	0,75	0,55	0,37	-
4A71B	1,1	0,75	0,55	0,25
4A80A	1,5	1,1	0,75	0,37
4A80B	2,2	1,5	1,1	0,55
4A90L	3	2,2	1,5	0,75
4A100S	4	3	-	-
4A100L	5,5	4	2,2	1,5
4A112M	7,5	5,5	3	2,2
4A132S	-	7,5	5,5	4
4A132M	11	11	7,5	5,5
4A160S	15	15	11	7,5
4A160M	18,5	18,5	15	11
4A180S	22	22	-	-
4A180M	30	30	18,5	15
4A200M	37	37	22	18,5
4A200L	45	45	30	22



Таблица П12 – Трудоемкости ТО и ТР электродвигателей

Тип электродвигателя	Частота вращения об/мин	Вид работ	Трудоемкость (чел-ч) при мощности электродвигателя, кВт					
			до 1,1	до 3	до 5,5	до 11	до 25	до 40
С короткозамкнутым ротором	Все частоты	ТО	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7
С фазным ротором	Все частоты	ТО		0,5	0,6	0,7	0,8	0,8
С короткозамкнутым ротором	750	ТР	4,1	4,6	5,1	5,8	6,6	8,1
	100	ТР	4	4,4	5	5,6	6,3	7,7
	1500	ТР	3,9	4,3	4,8	5,4	6	7,4
	3000	ТР	3,7	4,1	4,5	5,1	5,6	7
С фазным ротором	750	ТР	-	5,5	6,1	7,1	8	10
	1000	ТР	-	5,2	5,8	6,7	7,6	9,4
	1500	ТР	-	5	5,5	6,4	7,1	8,9
	3000	ТР	-	4,7	5,2	5,9	6,6	8,9

Примечание: Трудоемкости ТО и ТР электродвигателей, установленных в труднодоступных местах, увеличивать в 1,2 раза.

Таблица П13 – Трудоемкости ТО и ТР светотехнического оборудования

Светотехническое оборудование	Характеристика помещения	Трудоемкость, чел-ч	
		ТО	ТР
Светильники с лампами накаливания	Сухие и влажные	0,10	0,25
	Сырые, особо сырые, с химически активной средой	0,15	0,40
Светильники с газоразрядными лампами	Сухие и влажные	0,13	0,30
	Сырые, особо сырые, с химически активной средой	0,20	0,50

Таблица П14 – Трудоемкости ТО, ТР и КР электропроводок в расчете на 1000 м протяженности

Вид электропроводки	Сечение, мм	Вид прокладки	Трудоемкость, чел-ч.		
			ТО	ТР	КР
Кабели АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ и др.	2,5	На скобах	13	195	812
	6		14	210	875
	10		14,4	216	900
Кабели АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ и др.	2,5	На тросу	4,2	66	262
	6		4,6	69	278
	10		5	75	312
Провода тросовые АВТВ, АРТ	16		4,5	45	187
Провода одножильные или многожильные в общей оплетке	2,5	В стальных трубах	1,2	18	75
	6		1,4	21	87
	10...16		1,8	27	112
	35		2,6	29	162

Продолжение таблицы П14

Провода одножильные	2,5	В стальных трубах в 2 линии	1,7	25,6	106
	6		2	30	125
	10...16		3,2	48	200
	35		3,8	57	237
	2,5	В стальных трубах в 3 линии	2,2	33	137
	6		2,6	39	162
	10...16		3,8	57	237
	35		4,8	72	300
Провода для осветительной сети АППВ, АПВ, АПН	2,5	Открытая	4,8	72	300
	6		5,2	78	325
	2,5	Скрытая	3,6	54	225
	6		4	60	250

Таблица П15 - Периодичность ТО и ТР электрооборудования

Электро-оборудование	Место размещения электрооборудования	Периодичность, мес.	
		ТО	ТР
Электродвигатели серии ЧА	Во всех помещениях, кроме доильных залов и молочных отделений	3	24
	Доильные залы и молочные отделения ферм	2	18
	На открытом воздухе или под навесом	1,5	24
Пускозащитная аппаратура	В сухих и влажных помещениях	1,5	24
	В сырых и пыльных помещениях	2	18
	В особо сырых с химически активной средой, на открытом воздухе или под навесом	1	12
Светильники	В сухих и влажных помещениях	6	24
	В сырых, особо сырых с химически активной средой помещений	3	12
Силовые сборки и щитки освещения	В сухих, влажных, пыльных и сырых помещениях	3	24
	в особо сырых с химически активной средой помещений	1,5	12

Примечание:

1. Для электродвигателей с фазным ротором приведенные периодичности следует уменьшить на 1/3.

2. В таблице даны периодичности ТР при использовании электродвигателей от 8 ч до 16 ч в сутки. При использовании электродвигателей до 8 ч в сутки приведенные периодичности следует уменьшить на 1,7; а при использовании более 16 ч в сутки – на 0,75.

Таблица П16 – Периодичности ТО, ТР и КР электропроводок

Характеристика электропроводки	Характер помещений	Периодичность, мес		
		ТО	ТР	КР
Электропроводка, выполненная кабелем в трубах, коробах, лотках по стенам, фермам и т.п.	Сухие и влажные	6	24	180
	Сырые и пыльные	6	24	120
	Особо сырые с химически активной средой	4	18	96
Электропроводка, выполненная изолированными проводами в трубах, коробах, лотках по стенам, фермам и т.п.	Сухие и влажные	4	18	96
	Сырые и пыльные	4	18	60
	Особо сырые с химически активной средой	3	12	42
Скрытая проводка сети освещения	Все виды помещений	6	24	120

Таблица П17 – Трудоемкости ТО и ТР ИЗА, силовых сборок и осветительных щитков

№ п/п	Электрооборудование		Трудоемкость, чел-ч	
			ТО	ТР
1	2		3	4
1	Силовые сборки с вводным рубильником и числом групп	4...8	0,36...0,6	5,4...9
		10	0,7	10,5
		12	0,8	12
2	Щитки осветительные с числом групп	2...10	0,2...0,52	3...7,8
		12...16	0,6...0,76	9...11,4
3	Автоматические выключатели 3-полюсные с номинальным током, А	до 50	0,25	1,75
		100	0,3	2
		200	0,35	2,5
		600	0,35	2,5
4	Магнитные пускатели с номинальным током, А	До 3	0,21	1,36
		До 10	0,26	1,51
		25	0,28	1,58
		50	0,3	1,81
		100	0,3	2,1
		150	0,35	2,1
5	Контакторы		0,4	2,5
6	Тепловые реле без проверки настройки	Однополюсные	0,18	0,5
		Двухполюсные	0,2	0,65
		Трехполюсные	0,25	0,85
7	Тепловые реле с проверкой настройки	Однополюсные	0,85	1,2
		Двухполюсные	1,1	1,65
		Трехполюсные	1,4	1,9

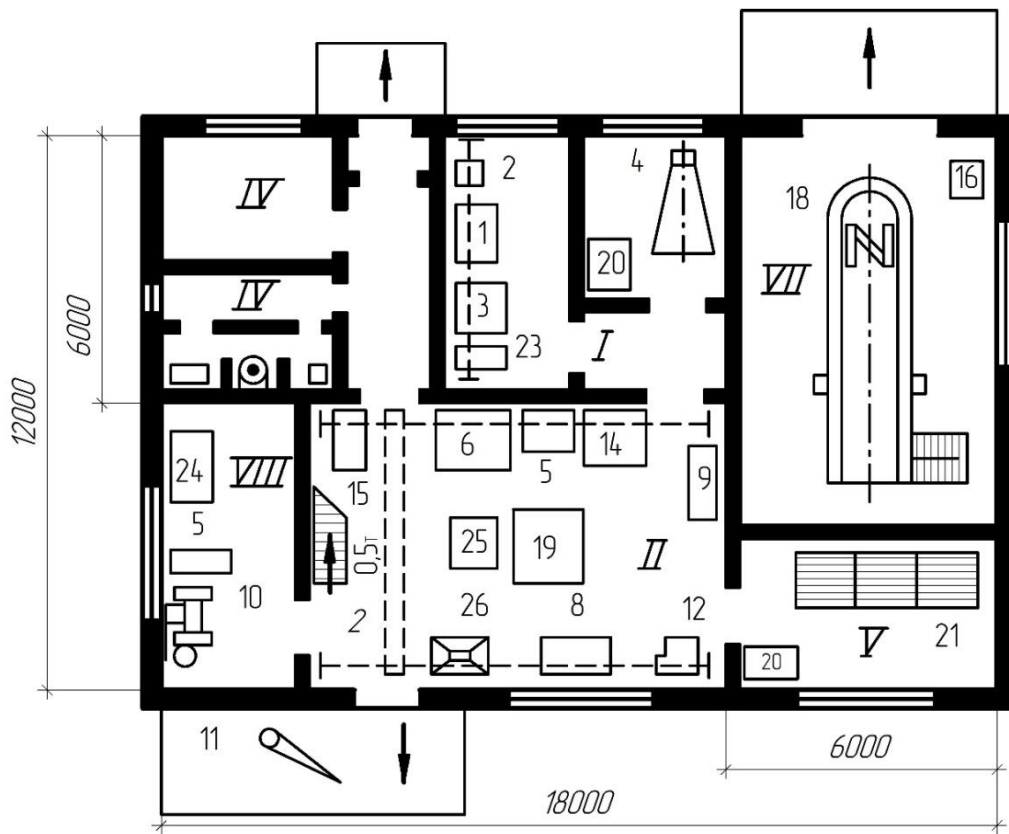
Примечание: Если нет специальных оговорок, то проверка настройки тепловых реле при ТО не осуществляется, а осуществляется эта операция только при ТР.

Таблица П18 – Рекомендованная численность ИТР электротехнической (теплотехнической) службы

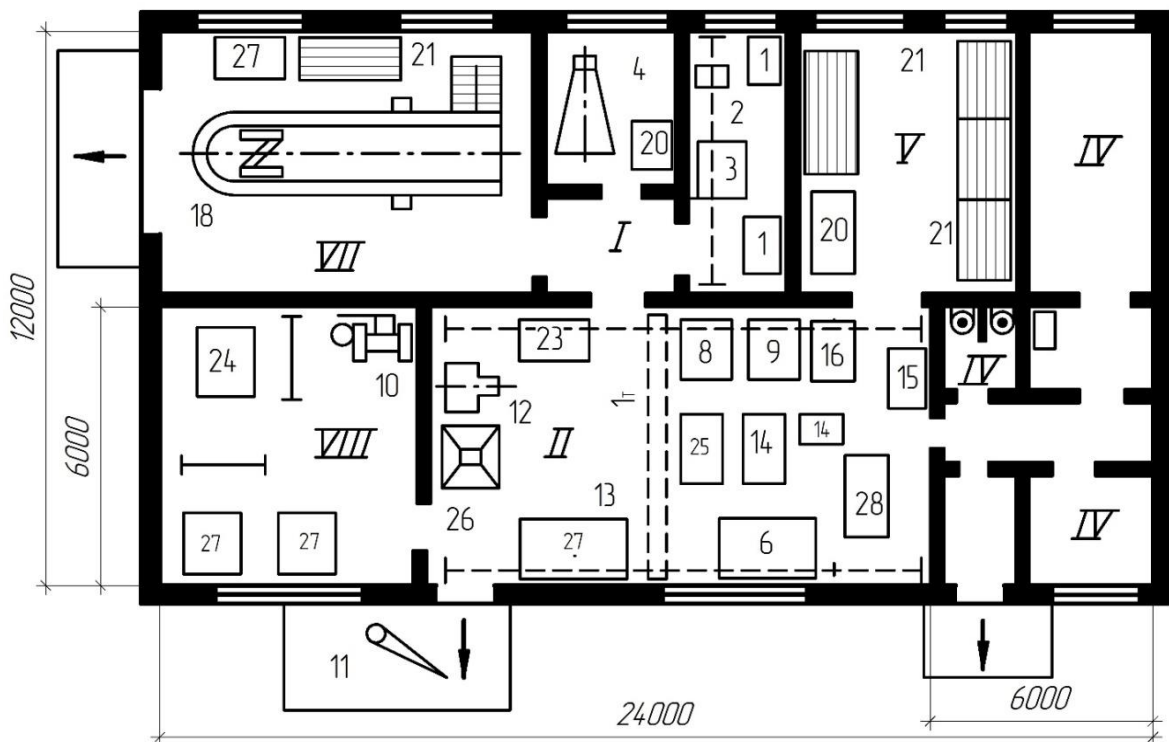
Трудоемкость обслуживания, усл. ед.	Инженерно-технические работники, чел			
	Всего	Вед. Инженеры	Инженеры	Техники
до 750	1	-	-	1
751-1250	1	-	1	-
1251-1750	2	-	1	1
1751-2500	2	1	1	-
2501-3250	3	1	1	1
3251-3500	3	1	2	-
3501-4500	4	1	2	1
4501-5000	4	2	2	-
5001-6000	5	2	2	1

Таблица П19 – Специализированные стационарные технические средства для обслуживания энергетического оборудования в хозяйствах

Основные характеристики	ПТОРЭ		Посты электрика		
	1	2	1	2	3
Типовой проект	316-1-19 816-1-20	816-1-17 816-1-18			
Годовая трудоемкость выполненных работ, чел-ч.	20,2	10,1	до 2000	до 4000	до 6000
Объем выполняемых работ в условный единицах	1200	2100			
Размеры здания, м					4,4*6
Площади помещений (участков), м <sup>2</sup>					
Общая	317	237	15	18,5	26,5
Окраски, пропитки и сушки оборудования	29	26,5			
Ремонтно-монтажного	67,5	53,5			
Боксы для стоянки спецавтомобиля	54	49,5			
Проверки приборов и средств автоматизации	35,5	17,5			
Склада	35	16,00%			
Бытовых помещений	52,5	46,5			
Численность рабочих, чел в том числе рабочих	14 12	7 5			
Применяемость: в хозяйстве с парком электрооборудования, усл. ед.	от 1500 до 3000	от 800 до 1500	до 200	до 400	до 600



а



б

Рисунок П1 – Планы ПТОРЭ с размещением оборудования на условные ремонты в год: а – 2100; б – 4200 (пояснения на следующей странице)

- I- Участок окраски, пропитки и сушки;
- II- Ремонтно-монтажный участок;
- III- Тепловой пункт;
- IV- Общественно бытовые помещения и кабинеты;
- V- Расходный склад (кладовая);
- VI- Участок проверки, ремонта приборов и средств автоматизации;
- VII- Бокс для стоянки спецавтомобиля;
- VIII- Участок заготовки конструкций;
- 1- Сушильный шкаф ПЛ-304.015.2276-с, СНОЛ-3,5-3 УЗ, ЦЭП-282А или ПЛ-18012
- 2- Червячная таль на 0,5 т., ГОСТ 1106-74 или электрическая 73-0,5-133П;
- 3- Пропиточный бак (ванна П-669-02 или 1ЯЛ-00-00) с вытяжным шкафом ШВ.00.000;
- 4- Камера для окраски отремонтированных изделий 4-КП-М-0000, 5КП-М-000, ПЛ-27015 или КО.00.000
- 5- Силовой электрощит 5157.000
- 6- Стенд для ремонта электродвигателей 336Н.000, ОРГ-883 7.000, ОР-3505, ОРГ-8830-00.00
- 7- Станок рядовой намотки СРН-05У или ПР-159М
- 8- Стенд для сборки и настройки пускозащитной и пускорегулирующей аппаратуры П1/35Н-30, Э39Н.000 или 70-7980-2203
- 9- Стенд для ремонта и проверки облучающих и осветительных установок 337Н.000, 21Э6Н или “Фотон”
- 10- Шлифовальный станок 3К634, С-475 или 3Б634 с вентиляционным пылеулавливающим агрегатом ЗИЛ900
- 11- Консольный поворотный кран КПК-0,5-133П, ТЭО-5-311-380 или ОПГ-1153, ГОСТ 15811-82
- 12- Устройство для испытания наружных насосов ТХН-УИ
- 13- Подвесной кран на 1т. ГОСТ 7890-73 или 1А1-6-6-6.6-220
- 14- Стенд для испытания пароводозапорной арматуры 70-7890-2214
- 15- Ванна для разогрева деталей ОКС-1513, П-105-01 или ТЛ-00-00
- 16- Компрессор ГП-0,25/10 или СО 7А
- 17- Установка для сушки электрооборудования 5816-00.00 или УС-8816
- 18- Автомобильный подъемник П-113
- 19- Стенд для проверки и зарядки приборов автоматики ОР-8726М
- 20- Шкаф для инструмента, материалов и принадлежностей 5126, РО-0509, НО-101, ОРГ-1468-07-040 или 1019-554-00
- 21- Секции стеллажей 5152, 000-5154.000
- 22- Трансформатор для пайки медных проводов ОСЭ-5/0,5-74УЗ
- 23- Моечная установка 2031, ОРГ-8728-07.00, 70-7980-2215-00, ОМ-1316, ОРГ-4990 или 0510
- 24- Стол для электросварочных работ ОКС-7523

- 25- Монтажный металлический стол ОРГ – 1468 – 01 – 080А, 70 – 7980 – 2207
- 26- Шкафное укрытие ШУ – 00.000 или ОРГ87 – 16.00.000.

Таблица П20 – Оборудование, приборы и инструменты поста электрика

Оборудование	Тип, марка	Количество		
		Варианты		
		1	2	3
1	2	3	4	5
Оборудование				
Настольно-сверлильный станок	НС-12А	1	1	1
Точильно-шлифовальный	36631А	1	1	1
Верстак слесарный металлический	ОРГ-1468	1	1	2
Шкаф для приборов, инструмента и документации		1	1	2
Шкаф для хранения материалов		1	1	1
Ванночка для промывки деталей	44*300*200	1	1	1
Компрессор диафрагменный (или пылесос)	СО-45А	1	1	5
Стеллаж		1	2	2
Стенд 1ЗУН-1		-	-	1
Приборы				
Прибор комбинированный	Ц-4315	1	2	3
Мегомметр	М4100/3	1	1	1
Тахометр	ТЧ-10-Р	1	1	2
Люксметр	Ю-117	1	1	1
Измеритель сопротивления заземления	М-416	-	-	1
Фазоуказатель	И-517	1	2	3
Индикатор напряжения	МИН-1	1	2	3
Клещи электроизмерительные	Ц-4501	1	1	2
Инструменты				
Комплект монтерского инструмента	ПИМ-4905 или ПИМ-1424	1	2	3
Электрическая дрель	ИЭ-1013	1	1	1
Электропаяльник	ПСН-65	1	1	2
Тиски поворотные		1	1	2
Напильник (комплект)		1	1	2
Набор инструмента для нарезания метрической резьбы (комплект)		1	1	2
Щетка металлическая		1	1	2
Краскораспыскиватель		-	-	1
Набор сверл (комплект)		1	1	2
Штангенциркуль	ШЦ-1-125-0,1	1	1	2
Монтерские когти (пар)		1	1	1
Предохранительный пояс		1	1	1
перчатки (пар) резиновые диэлектрические		1	2	3
Коврики резиновые (штук)		2	4	6
Комплекс защитных средств и набор плакатов по ТБ		1	1	1

Напряжение короткого замыкания двухобмоточных силовых трансформаторов с масляным охлаждением: ТМ25/10-0,4; ТМ40/10-0,4; ТМ100/10-0,4; ТМ160/10-0,4; ТМ250/10-0,4 – 4,7%; ТМ400/10-0,4 – 4,5%; ТМ630/10-0,4 – 5,5%.

Трансформаторы мощностью от 25 до 630 кВ·А на напряжение 6/0,4 кВ, имеют  $U_k=4,5\%$ .

Таблица П21 - Активное и индуктивное сопротивление 1 км линии электропередачи /3/

Марка провод	Сечение провода	$r_0$ , Ом/км	$X_0$ , Ом/км				
			Среднее геометрическое расстояние между проводами, мм				
			2000	2500	3000	3500	4000
1	2	3	4	5	6	7	8
А	16	1,8	0,435	0,449	0,46	0,47	0,478
	25	1,14	0,421	0,435	0,446	0,456	0,464
	35	0,83	0,41	0,424	0,435	0,445	0,453
	50	0,576	0,398	0,413	0,423	0,433	0,441
	70	0,412	0,385	0,399	0,41	0,42	0,428
А	95	0,308	0,376	0,39	0,401	0,411	0,419
	120	0,246	0,368	0,382	0,393	0,403	0,411
	150	0,194	0,363	0,377	0,388	0,398	0,406
АС	16	1,172	-	-	-	-	-
	25	1,146	-	-	-	-	-
	35	0,773	0,403	0,417	0,429	0,438	0,446
	50	0,592	0,382	0,406	0,418	0,427	0,435
	70	0,42	0,392	0,396	0,408	0,417	0,425
	95	0,299	0,371	0,385	0,397	0,406	0,414
	120	0,245	0,365	0,379	0,391	0,4	0,408
	150	0,195	0,358	0,372	0,384	0,398	0,401

Примечание: Для ВЛ до 1 кВ среднее геометрическое расстояние между проводами в 1-3 районах гололёдности должно быть более 1600 мм, а в 4-м и особом районах гололедности – более 3600 мм.

Среднее геометрическое расстояние между проводами определяется из выражения:

$$D_{CP} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{13}},$$

где

$D_{12}$  – расстояние между проводами 1 и 2;

$D_{13}$  – расстояние между проводами 1 и 3;

$D_{23}$  – расстояние между проводами 2 и 3.



Таблица П22 – Размеры пакета железа статора некоторых асинхронных электродвигателей, мм

Тип электродвигателя	Размеры пакета железа статора			Высота паза, $h_n$
	Наружный диаметр, $D_a$	Внутренний диаметр, $D_i$	Длина пакета стали статора, $l_1$	
1	2	3	4	5
4A90L4	149	95	100	13,4
4A90L6	149	100	110	14,3
4A100S2	168	95	100	14,6
4A100L2	168	95	130	14,6
4A100L8Y3	168	113	120	15,9
4A112M2Y3	191	110	125	15,6
4A112M4Y3	191	126	125	14,8
4A112MA6Y3	191	132	100	16,1
4A112MB6Y3	191	132	125	16,1
4A112MA8Y3	191	132	100	18
4A112MB8Y3	191	132	130	18
4A132M2Y3	225	130	130	17
4A132S4Y3	225	145	115	18
4A132M4Y3	225	145	160	18,7
4A132S6Y3	225	158	115	16,9
4A132M6Y3	225	158	160	16,9
4A132S8Y3	225	158	115	18,5
4A132M8Y3	225	158	160	18,5
4A160S2Y3	272	155	110	21
4A160M2Y3	272	155	130	21
4A160S4Y3	272	185	140	21,5
4A160M4Y3	272	185	180	21,5
4A160S6Y3	272	197	145	19,8
4A160M6Y3	272	197	200	19,8
4A160S8Y3	272	197	145	20,1
4A160M8Y3	272	197	200	20,1
4A180S2Y3	313	171	110	25,7
4A180M2Y3	313	171	145	25,7
4A180S4Y3	313	211	145	25
4A180M4Y3	313	211	185	25
4A180M6Y3	313	220	145	27,5
4A180M8Y3	313	220	170	27,5
4A200M2Y3	349	194	130	27,5
4A200L2Y3	349	194	160	29,2
4A200M4Y3	349	238	170	29,2
4A200L4Y3	349	238	215	25,5
4A200M6Y3	349	250	160	25,5

1	2	3	4	5
4A200L6Y3	349	250	185	26,7
4A200M8Y3	349	250	160	26,7
4A200L8Y3	349	250	185	26,7
4A225M2Y3	392	208	180	30,2
4A225M4Y3	392	264	200	28
4A225M6Y3	392	284	175	28,6
4A225M8Y3	392	284	175	28,6
4A250S2Y3	437	232	200	33,3
4A250M2Y3	437	232	230	33,3
4A250S4Y3	437	290	220	35
4A250M4Y3	437	290	260	35
4A250S6Y3	437	317	180	29,6
4A250M6Y3	437	317	200	29,6
4A250S8Y3	437	317	180	29,6
4A250M8Y3	437	317	220	29,6
4A250S10Y3	437	327	170	27,3
4A280S2Y3	520	275	175	47
4A280M2Y3	520	275	205	47
4A280S4Y3	520	335	220	46,1
4A280M4Y3	520	335	240	46,1
4A280S6Y3	520	370	190	37,9
4A280M6Y3	520	370	225	37,9
4A280S8Y3	520	385	185	37,6
4A280M8Y3	520	385	250	37,6
4A280S10Y3	520	400	170	39,1
4A280M10Y3	520	400	180	39,1

Таблица П23 – Габаритные размеры некоторых асинхронных электродвигателей

Тип электродвигателя	Длина вала двигателя	Наибольшая длина двигателя	Наибольший диаметр корпуса	Высота оси вращения
	L <sub>1</sub> , Мм	L <sub>30</sub> , мм	D <sub>30</sub> , мм	h, мм
4A80A	50	300	186	80
4A80B	50	320	186	80
4A80L	50	350	208	90
4A100S	60	365	235	100
4A100L		395		
4A112M	80	452	260	112
4A132S	80	480	302	132
4A132M		530		
4A160S	110	624	358	160

## Продолжение таблицы П23

1	2	3	4	5
4A160M	110	667		
4A180M	110	702	410	180
4A200M2	110	760	535	200
4A200M4,6,8	140	790	535	200
4A225M2	110	810	494	225
4A250S	140	915	554	250
4A250M	140	955	554	250
4A280S2	140	1140	660	280
4A280S4	170	1170	660	280
4A280M	170	1210	660	280
4A250S2	140	915	554	250

Таблица П24 – Зависимость  $A=f(\Delta P)$ 

$\Delta P$ кВт/м <sup>2</sup>	A м/В	$\Delta P$ кВт/м <sup>2</sup>	A м/В	$\Delta P$ кВт/м <sup>2</sup>	A м/В	$\Delta P$ кВт/м <sup>2</sup>	A м/В
0,1	4,21	1	1,85	1,9	1,47	2,8	1,27
0,2	3,2	1,1	1,78	2	1,44	2,9	1,26
0,3	2,76	1,2	1,72	2,1	1,42	3	1,24
0,4	2,48	1,3	1,68	2,2	1,39	3,25	1,2
0,5	2,3	1,4	1,63	2,3	1,37	3,5	1,18
0,6	2,17	1,5	1,6	2,4	1,35	3,75	1,15
0,7	2,06	1,6	1,55	2,5	1,32	4	1,12
0,8	1,97	1,7	1,53	2,6	1,31	-	-
0,9	1,9	1,8	1,49	2,7	1,29	-	-

Таблица П25 – Величина периметра бака трансформатора

Мощность трансформатора, кВ*А	100	160	400	560	630	1000	1800
Периметр бака, м	2,4	2,54	2,75	3,52	3,9	4,04	4,66
Высота бака, м	0,97	1,1	1,4	1,65	2,25	2,5	3,11

Таблица П26 – Интенсивность отказов электротехнических изделий

Тип элемента	Интенсивность отказов, $10^{-6}$ ч <sup>-1</sup>
Транзисторы	0,01
Диоды	0,06
Резисторы	0,001
Конденсаторы	0,006
Контактные соединения	0,001
Интегральные микросхемы	0,006
Катушки индуктивности	1
Реле разные	0,1
Переключатели	0,1
Реостаты	11,3
Контакты	2,5
Плавкие предохранители	0,045
Лампы накаливания	7,8
Нагревательные элементы	7,6
Электрические счетчики	1,3
Измерительные приборы	0,034
Электродвигатели серии 4А	11
Генераторы переменного тока	16
Трансформаторы 6(10) кВ	2,2
Воздушные ЛЭП до 35 кВ	5,7
Аккумуляторы	7,2
Машины постоянного тока	29
Электродвигатели с кольцами	13

## Список литературы

1. Ерошенко Г.П., Кондратьева Н.Т., Эксплуатация электрооборудования: учебник для бакалавров. М.: Инфра, 2014.
2. Эксплуатация электрооборудования / Г.П. Ерошенко, А.П. Коломиец, Н.П. Кондратьева и др. М.: Колос С, 2005. 304 с.
3. Харольский В.Я., Таранов М.А., Медведько Ю.А. Задачник по эксплуатации электрооборудования: учеб. пособие. Ростов н/Д: «Терра Принт», 2006. 216 с.
4. Ерошенко Г.П., Медведько Ю.А., Таранов М.А. Эксплуатация электрооборудования сельскохозяйственных предприятий. Ростов н/Д: «Терра Принт», 2001. 592 с.
5. Справочник инженера-электрика сельскохозяйственного производства: учеб. пособие. М.; информагротех, 1999, 536 с.
6. Таран В.П. Справочник по эксплуатации электрооборудования. Киев: Техника, 1985.
7. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР (ПУЭ). М.: Энергоатомиздат, 1985.
8. Сырых Н.Н. Эксплуатация сельских электроустановок М.: Агропромиздат, 1986. 225 с.
9. Номенклатурный каталог НК-90. Электрооборудование, выпускаемое электротехнической промышленностью и рекомендуемое для применения в сельском хозяйстве. М.: Информэлектро, 1990. 225 с.
10. Электродвигатели асинхронные. Руководство по текущему ремонту. М.: ГОСНИТИ, 1980. 160 с.
11. Таран В.П. Диагностирование электрооборудования. Киев: Техника 1983. 200 с.
12. Таран В.П. Техническое обслуживание электрооборудования в сельском хозяйстве. М.: Колос, 1975. 304 с.
13. Правила эксплуатации электроустановок потребителей / Госэнергонадзор Минтопэнерго РФ. 5-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1992.
14. Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий. М.: Агропромиздат, 1987.
15. Сырых Н.Н. и др. Методические рекомендации по определению потребности в электродвигателях для скользящего реверсирования электроприводов. М.: ВИЭСХ-МИИСП, 1992. 32 с.
16. Медведев А.А. Выбор и эксплуатация аппаратов защиты и управления электроприводов. М.: МГАУ, 1996. 100 с.
17. Дипломное проектирование: метод. пособие по выполнению и оформлению дипломных проектов для студентов очной и заочной форм обучения / В.А. Лаптев, Л.М. Маркарянц, Г.В. Гурьянов и др. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2011. 35 с.

Учебное издание

Кисель Ю.Е.

## **ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Методическое пособие по курсовому проектированию  
для студентов всех направлений подготовки

Редактор Аддылина Е.С.

---

Подписано к печати 07.11.2022 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Усл. п. л. 3,13 Тираж 25 экз. Изд. №.7411

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский