Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Соловьев Дмитрий Александрович
Должность: ректор ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ
Дата подписания: 26.04.2021 13:15:53
Уникальный программный ключ:
5b8335c1f3d6e7bd91a51b28834cdf2b81866538

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»

В.А. ТРУШКИН
О.В. ЛОГАЧЁВА
С.В. ШЛЮПИКОВ

ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Учебное пособие

Саратов 2019

УДК 631.173
ББК 31.261

Рецензенты:

Соколов О. А., главный инженер Центрального производственного отделения филиала ПАО «Межрегиональная распределительная сетевая компания Волги» - «Саратовские распределительные сети»

Кифарак С. А., начальник СИЗПИ (Служба изоляции, защиты перенапряжений и испытаний) Центрального производственного отделения филиала ПАО «Межрегиональная распределительная сетевая компания Волги» - «Саратовские распределительные сети»

Технология ремонта электрооборудования: методическое пособие для обучающихся направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» / Сост.: В.А. Трушкин, О.В. Логачёва, С.В. Шлюпиков// ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ – Саратов: 2019. – 114 с.

В учебном пособии рассмотрены вопросы проектирования электроремонтных предприятий и расчет асинхронных электродвигателей в процессе выполнения капитального ремонта. А так же представлены структура, содержание и оформление курсовой работы, даны методические рекомендации по выполнению отдельных разделов работы, методические указания по выполнению лабораторных работ.

Учебное пособие предназначено для обучающихся высших учебных заведений направления подготовки «Агроинженерия» профиль «Электрооборудование и электротехнологии».

УДК 631.173
ББК 31.261

© В.А. Трушкин, О.В. Логачёва, С.В. Шлюпиков 2019

© ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Введение……...……..……5
1. Структура, содержание и оформление курсовой работы…….....……7
2. Требования безопасной работы при выполнении лабораторной работы в учебной лаборатории……..……9
3. Методические рекомендации к выполнению отдельных разделов работы……....….11
3.1. Технологическая компоновка электроремонтного предприятия……...…11
3.1.1 Расчет годовой программы электроремонтного предприятия……..…...…11
3.1.2 Выбор способа организации капитального ремонта……...….14
3.1.3 Определение состава производственных участков и штата предприятия……...……16
3.1.4 Расчет площадей производственных участков предприятия…….…...…..18
3.1.5 Разработка схемы технологического процесса ремонта электрооборудования……...……19
3.1.6 Технологическая компоновка электроремонтного предприятия…….....22
3.2 Расчет обмоток асинхронного двигателя при капитальном ремонте…..…...26
3.2.1 Последовательность расчета……...……26
3.2.2 Подготовка исходных данных к расчету…….……..…….26
3.2.3 Определение ориентировочной мощности двигателя……...…..……30
3.2.4 Электрический расчет обмоток……..…….30
3.2.5 Поверочный расчет магнитных нагрузок……..…….31
3.2.6 Выбор типа обмоток……...……..33
3.2.7 Определение обмоточных данных двигателя……...…….33
3.2.8 Определение паспортных данных двигателя…….……..…..35
3.2.9 Конструкторский расчет обмоток…….……..…36
3.2.10 Определение размеров катушек и массы обмотки…….….36
3.2.11 Выбор пазовой изоляции……..….37
3.2.12 Составление схемы обмотки…….……38
3.2.13 Проверка основных параметров …….....…….……39

3.2.14 Линейная электрическая нагрузка……..……39
3.2.15 Тепловая нагрузка…….…….……40
3.2.16 Ток холостого хода…….……40
Лабораторная работа № 1. Определение неисправностей и номинальных параметров трансформатора……..…..……..43
Лабораторная работа № 2. Определение неисправностей в обмотках машин постоянного тока…….……..……59
Лабораторная работа № 3. Послеремонтные испытания асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором…….……..70
Лабораторная работа № 4. Соединение схем обмоток трехфазного асинхронного двигателя……...…….82
Лабораторная работа № 5. Определение неисправностей асинхронного двигателя ……...…….…….. 87
Лабораторная работа № 6. Выбор электромагнитных нагрузок…….....101
Список литературы…….……..……...……104
Приложения…….…..……105

ВВЕДЕНИЕ

Технология ремонта электрооборудования – одна из основных дисциплин при подготовке бакалавров профиля «Электрооборудование и электротехнологии». Полученные знания и навыки обучающиеся используют при выполнении выпускной квалификационной работы.

В настоящее время в сельскохозяйственном производстве эксплуатируется достаточно большое количество электрооборудования. В процессе эксплуатации электрооборудования отдельные его детали и узлы изнашиваются, в результате чего наступает его отказ. Вышедшее из строя электрооборудования подвергаются капитальному ремонту. Капитальный ремонт призван восстановить технические показатели электрооборудования до уровня первоначальных значений.

Капитальный ремонт электродвигателей, сварочных и силовых трансформаторов, а также автотракторного электрооборудования выполняются как специализированными ремонтными предприятиями, так и небольшими ремонтными цехами или частными фирмами.

Централизованный ремонт электрооборудования выполняют в крупных электроремонтных мастерских или цехах, где обеспечивается соблюдение передовой технологии. За счёт применения механизации и автоматизации отдельных операций технологического процесса ремонта, а также рационального использования оборудования и площадей, достигается снижение себестоимости и повышения качества ремонта. Как правило, надежность отремонтированных машин на таких предприятиях не уступает надежности новых.

Не централизованный капитальный ремонт электрооборудования выполняют в небольших мастерских, не имеющих преимуществ перед крупными специализированными предприятиями.

При капитальном ремонте электрических машин возникает необходимость выполнить разного вида расчеты. Например, когда ставится задача определения паспортных данных машины при их отсутствии или заказчик желает иметь машину с другими параметрами (напряжение, частота вращения). Кроме того, в ремонтной практике часто приходится перематывать машины, а заводские обмоточные данные отсутствуют, например, в машинах устаревших типов или иностранных фирм.

В методических указаниях рассматриваются основные вопросы проектирования централизованных электроремонтных предприятий и расчет асинхронных электродвигателей в процессе выполнения капитального ремонта.

1. СТРУКТУРА, СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Завершающим этапом изучения дисциплины «Технология ремонта электрооборудования» является курсовое проектирование, цель которого расширить и закрепить теоретические знания обучающихся. В процессе работы обучающийся приобретает навыки проектирования электроремонтных предприятий и расчета асинхронных электродвигателей при капитальном ремонте.

Курсовая работа включает в себя расчётно-пояснительную записку и графическую часть. Каждый обучающийся получает от преподавателя индивидуальное задание.

При выполнении курсовой работы обучающемуся следует использовать справочный и нормативный материал, а также типовые проекты.

Курсовая работа по дисциплине «Технология ремонта электрооборудования» состоит из двух частей: технологической компоновки электроремонтного предприятия и расчета обмоток асинхронного двигателя при капитальном ремонте.

Технологическая компоновка электроремонтного предприятия содержит расчет годовой программы электроремонтного предприятия, выбор способа организации капитального ремонта, определение состава производственных участков предприятия, расчет площадей производственных участков предприятия, разработку схемы технологического процесса ремонта электрооборудования.

Расчет обмоток асинхронного двигателя при капитальном ремонте включает в себя определение ориентировочной мощности двигателя, электрический расчет обмоток, конструкторский расчет обмоток, проверку основных параметров двигателя.

Расчетно-пояснительная записка содержит задание на проектирование электроремонтного предприятия, а так же исходные данные для расчета асинхронных электродвигателей в процессе выполнения капитального ремонта,

список используемой литературы. Каждый раздел необходимо заканчивать краткими выводами, подтверждающих правильность принятых технических решений. Все расчеты приводятся в международной системе единиц (СИ). Объем расчетно-пояснительной записки 20-30 страниц на листах формата А4. При оформлении расчетно-пояснительной записки все справочные и нормативные материалы должны иметь ссылку на литературные источники.

Графическая часть работы содержит чертеж на одном листе формата А3, на котором должен быть изображен план электроремонтного предприятия (рекомендуемые масштабы 1:100, 1:200 или 1:400). На чертеже приводят экспликацию помещений предприятия, а также стрелками указывают последовательность продвижения грузового потока ремонтируемого электрооборудования в ходе выполнения капитального ремонта. Данные, не указанные в плане предприятия, а также справочный материал, позволяющий дополнить сведения о предприятии, указывать на чертеже в виде примечаний.

2. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ В УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Все лабораторные работы выполняются с соблюдением инструкций по технике безопасности в учебной лаборатории кафедры. Кроме того необходимо соблюдать следующие требования:

1. Выполнение работы разрешается только после получения инструктажа по технике безопасности на рабочем месте, при этом обучающийся должен знать:

– цель работы;

– порядок выполнения;

– ожидаемый результат.

2. При работе с электрооборудованием необходимо убедится в его исправности.

3. Перед сборкой схемы нужно убедиться в том, что лабораторный стенд обесточен.

4. При испытании трансформатора и электродвигателя измерение мегаомметром проводят два человека.

5. Для присоединения мегаомметра к измеряемым цепям следует применять гибкие провода, имеющие на концах изолирующие рукоятки с зажимами.

6. При работе с прибором ППЯ необходимо убедиться в том, что щуп для контроля изоляции находится в гнезде прибора ППЯ.

7. В процессе работы переключатель типа проверки должен находиться в положении "Контроль коллектора". Нельзя касаться руками щупов контроля изоляции.

8. Переключать схему только после отключения ее от сети.

9. Не касаться руками неизолированных проводов и контактов, если схема находится под напряжением.

10. Посла подачи напряжения на испытываемый статор не касаться соединенных между собой концов катушечных групп.

11. Переключать катушечные группы только после отключения статора от сети.

12. После окончания выполнения лабораторной работы необходимо отключить её от сети, разобрать схему, убрать рабочее место.

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Требования к оформлению лабораторной работы: отчет по лабораторной работе должен содержать:

– название лабораторной работы;

– цель работы;

– порядок выполнения лабораторной работы;

– электрические схемы и рисунки;

– результаты выполнения экспериментальной части работы;

– выводы по работе.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ОТДЕЛЬНЫХ РАЗДЕЛОВ РАБОТЫ

3.1.ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КОМПОНОВКА ЭЛЕКТРОРЕМОНТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

3.1.1 РАСЧЕТ ГОДОВОЙ ПРОГРАММЫ ЭЛЕКТРОРЕМОНТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Для определения годовой программы электроремонтного предприятия (ЭРП) необходимо иметь сведения о количестве установленного электрооборудования в зоне обслуживания проектируемого предприятия. Зоной обслуживания электроремонтного предприятия называется территория близлежащих административных районов, хозяйства которых сдают в капитальный ремонт электрооборудование на данное ЭРП.

При курсовом проектировании в задании указывается количество электрооборудования, установленного в зоне обслуживания ЭРП по видам и условиям эксплуатации. Задача заключается в том, какое количество из установленного электрооборудования в зоне обслуживания предприятия ежегодно будет подвергаться капитальному ремонту. Это количество электрооборудования является годовой программой ЭРП.

Годовую программу предприятия рассчитывают в физических единицах или в условных единицах ремонта (у.е.р.), либо через трудоемкость - в чел.–ч. При курсовом проектировании годовую программу предприятия рекомендуется предварительно рассчитать в физических единицах, а затем переводить ее в у.е.р.

Для определения годовой программы предприятия в физических единицах сначала определяют ремонтный цикл оборудования $Т_{цij}$, где i – вид оборудования (электродвигатели, сварочные трансформаторы и т.д.), j – условия эксплуатации электрооборудования.

Ремонтным циклом называют календарную продолжительность работы электрооборудования между капитальными ремонтами или от начала эксплуатации до первого капитального ремонта. Ремонтный цикл определяют по справочным данным [6]. Он зависит от вида электрооборудования и условий

его эксплуатации. Так, например, ремонтный цикл электродвигателей, работающих в сухих помещениях составляет 8 лет, в особо сырых 5 лет, а также ремонтный цикл силовых трансформаторов составляет 15 лет.

Количество каждого вида электрооборудования, подлежащего ежегодно капитальному ремонту (ремонтный фонд предприятия в физических единицах) определяют по выражению:

$$N_{pi} = \left(\frac{N_{i1}}{T_{ци1}} + \frac{N_{i2}}{T_{ци2}} + ... + \frac{N_{in}}{T_{цin}} \right) \quad (3.1)$$

где N_{i1}, N_{i2} … N_{in} – количество установленного i-го вида электрооборудования в зоне обслуживания ремонтного предприятия (приложение 1); $T_{ци1}$, $T_{ци2}$ … $T_{цin}$ – ремонтные циклы соответствующего вида электрооборудования.

Результаты расчета ремонтного фонда предприятия целесообразно оформить в виде таблицы 1.

Таблица 1 - Расчет годового ремонтного фонда предприятия

№ п/п	Наименование оборудования и его характеристики	Для оборудования по группам, %	Количество ремфонда, шт.	Категория сложности, у.е.р.	Объем ремфонда в у.е.р.
1	2	3	4	5	6
1	Электродвигатели				
	всего	100			
	в т.ч. мощностью в кВт				
	до 1	12		0,8	
	1,1 … 3,0	22		0,9	
	3,1 … 5,0	28		1,0	
	5,1 … 10, 0	20		1,5	
	10,1 … 20,0	10		2,0	
	более 20	8		2,5	
2	Трансформаторы силовые				
	всего	100			
	в т.ч. мощностью в кВА				
	до 100	30		11	
	101 … 250	40		13	
	251 … 630	25		20	
	более 630	5		25	
3	Сварочные трансформаторы на ток				
	всего	100			
	до 300 А	60		3	
	более 300 А	40		5	
4	Автотракторное электрооборудование				
	всего	100		3	

Как правило, объем ремонтного фонда предприятия оценивается не в физических единицах, а в условных единицах ремонта (у.е.р.).

За одну у.е.р. приняты трудовые затраты на один ремонт трехфазного асинхронного короткозамкнутого двигателя закрытого исполнения мощностью 5 кВт, напряжением 380/220 В и частотой вращения магнитного поля статора 1500 мин$^{-1}$. Таким образом, трудозатраты на капитальный ремонт любого другого оборудования сравнивается с трудозатратами ремонта одной у.е.р. через категорию сложности. Категорию сложности для каждого вида оборудования определяют по справочной литературе [6] и записывают в графу 5. Для перевода ремонтного фонда в у.е.р. умножают количество ремонтного фонда в физических единицах на категорию сложности по каждому виду оборудования и результат записывают в графу 6.

$$Q_n = N_{1i} \cdot R_{1i} + N_{2i} \cdot R_{2i} + ... + N_{mi} \cdot R_{mi}, \quad (3.2)$$

где N_{1i}, N_{2i} … N_{mi} - количество ремонтного фонда в физических единицах по каждому виду оборудования; R_{1i}, R_{2i} … R_{mi} - категория сложности соответствующего оборудования

В проекте приводится пример перевода в у.е.р. для одного вида электрооборудования.

Годовая программа электроремонтного предприятия определяется суммированием годовых объемов работ в у.е.р. по каждому виду оборудования.

$$Q_Г = \sum_{i=1}^{n} Q_{Гi} = Q_{Г1} + Q_{Г2} + ... + Q_{Гn}, \quad (3.3)$$

где $Q_{Г1}$, $Q_{Г2}$ … $Q_{Гn}$ - годовой объем ремонтного фонда в у.е.р. по каждому виду оборудования.

Далее необходимо знать к какому типу относиться разрабатываемое ЭРП. Существует три типа электроремонтных предприятий – электроремонтная мастерская (ЭРМ), электроремонтный цех (ЭРЦ) и электроремонтный завод (ЭРЗ).

Для оценки типа электроремонтного предприятия основным показателем является годовая программа предприятия. ЭРМ следует организовывать с

годовой программой до 2000 у.е.р./год, ЭРЦ – до 14000 у.е.р./год и ЭРЗ – более 15000 у.е.р./год.

ЭРМ проектируют с небольшим объемом работ, как правило, организовывают частными фирмами или они существуют как структурные единицы предприятий электроэнергетической направленности. ЭРЦ – более крупные предприятия. Зона обслуживания таких предприятий составляет 5-6 муниципальных административных районов. ЭРЗ создаются для выполнения централизованного капитального ремонта электрооборудования и сельскохозяйственных предприятий.

3.1.2 ВЫБОР СПОСОБА ОРГАНИЗАЦИИ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА

Под способом ремонта подразумевается установленная на ремонтном предприятии форма организации производственного процесса ремонта электрооборудования. Способ ремонта характеризуется степенью разделения операций технологического процесса ремонта электрооборудования. В связи с этим различаются следующие способы ремонта: индивидуальный, бригадно-узловой и поточный.

При индивидуальном способе все операции технологического процесса ремонта электрооборудования выполняются одним рабочим. Эта самая простейшая и несовершенная форма организации ремонта. Оборудование и площади предприятия при этом способе используются не рационально; контроль качества ремонта затрудняется. Этот метод ремонта ограничивает возможность разделения труда и механизации производственных процессов, что приводит к низкой производительности труда. Это удлиняет сроки пребывания и себестоимость ремонта машин.

При бригадно-узловом способе весь комплекс работ по ремонту электрооборудования делится на отдельные части технологического процесса (разборка, сборка, испытание и т.д.). Каждая операция выполняется на

специализированных, соответственно оборудованных рабочих местах, за которыми закрепляется определенная группа рабочих или бригада.

Этот способ является наиболее прогрессивной формой организации ремонта. Он не имеет тех недостатков, которые присущи индивидуальному методу. Бригадно-узловой способ нашел широкое применение на ремонтных предприятиях.

При поточном способе ремонт электрооборудования производится не на постоянных рабочих местах, а на тележках (конвейерах), передвигаемых от одного рабочего места к другому. Рабочие места размещаются параллельно пути перемещения тележек в технологической последовательности.

Этот способ является самым прогрессивным способом ремонта. Применение поточного способа ремонта дает большой экономический эффект, что является следствием повышения производительности труда рабочих, улучшения качества ремонта, сокращения длительности ремонта и в конечном счете – снижения себестоимости ремонта.

Для обоснования способа ремонта рассчитывают основные показатели производственного процесса: такт ремонта (t), продолжительность ремонта (П) и фронт ремонта (f). С целью упрощения расчет выполняют на одну условную единицу ремонта.

Под тактом ремонта понимается период времени, по истечении которого на предприятие должен поступать в ремонт или выйти из ремонта очередное оборудование в одну у.е.р.:

$$t = \frac{Ф}{Q_г}, \text{ ч/у.е.р.} \qquad (3.4)$$

где Ф – годовой фонд рабочего времени предприятия, час.; $Q_г$ - годовая программа предприятия, у.е.р.

Продолжительность пребывания в ремонте – это время от начала первой операции до конца последней. Приближенно можно считать, что для ЭРЦ – $П = (0{,}9...1{,}0)\tau_к$, для ЭРЗ - $П = (0{,}8...0.9)\tau_к$, где $\tau_к$ - трудоемкость капитального

ремонта, у.е.р. - $\tau_к = 12,5$ ч. Более точно продолжительность пребывания в ремонте можно определить по графику согласования работ.

Фронт ремонта – это количество электрооборудования, одновременно находящееся в ремонте.

$$f = \frac{П}{t}, \quad \text{у.е.р.} \qquad (3.5)$$

где П - продолжительность пребывания электрооборудования в ремонте, час; t - такт ремонта, ч/у.е.р.

Зная такт ремонта t, продолжительность пребывания в ремонте П, длительность $t_{макс}$ - наиболее трудоемкой и длительность $t_{мин}$ - наиболее трудоемкой операций технологического процесса ремонта электрооборудования, можно выбрать способ ремонта.

$t \leq \tau_к$ - индивидуальный; $t_{макс} < t < \tau_к$ – бригадно-узловой;

$t_{мин} < t < t_{макс}$ – поточный ($t_{мин} = 0,08$ ч.; $t_{макс} = 2,0$ ч.).

3.1.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УЧАСТКОВ И ШТАТА ПРЕДПРИЯТИЯ

Производственным участком называется часть площади ЭРП, на которой размещается однотипное оборудование и выполняется одна или несколько смежных операций (работ) технологического процесса. ЭРП проектируется в составе производственных участков и бытовых помещений. Состав производственных участков зависит от принятой схемы технологического процесса ремонта и специализации предприятия.

Под специализацией понимают номенклатуру ремонтного фонда предприятия.

Специализированные предприятия выполняют ремонт только одного вида оборудования, например, электродвигателей или трансформаторов. Неспециализированные ЭРП могут выполнять ремонт многих видов оборудования (электродвигателей, сварочных трансформаторов и т.д.).

Обычно на специализированном по ремонту электродвигателей ЭРП имеются следующие участки: разборочный, обмоточный, сборочный, испытательный, слесарно-механический, пропитки и сушки.

Неспециализированные ЭРП дополнительно имеют участки ремонта силовых и сварочных трансформаторов, ремонта ПЗА, ремонта автотракторного оборудования.

Состав бытовых помещений включает: душевые, гардеробные, помещения инженерно – технических работников (ИТР), счетно-конторского персонала (СКП), а так же склады (ремонтного фонда, готовой продукции, инструментов и материалов).

Штатный состав предприятия включает: производственных рабочих, инженерно – технический персонал (ИТР), обслуживающий персонал.

К производственным рабочим относятся станочники, электрослесари и электромонтеры, обмотчики, пропитчики и т.д.

Численность производственного персонала предприятия определяют по типовым штатным нормативам и инструкциям или рассчитывают по годовой трудоемкости работ и годовому фонду рабочего времени на одного производственного рабочего.

$$N = \frac{T_г}{Ф} \ , \qquad (3.6)$$

где $T_г$ - годовая трудоемкость работ предприятия, чел.-ч; Ф – годовой фонд рабочего времени, ч.

Годовая трудоемкость работ зависит от годовой производственной программы предприятия и определяется по выражению

$$T_г = Q_г \cdot \tau_к \ , \qquad (3.7)$$

где $Q_г$ - годовая производственная программа, у.е.р.; $\tau_к$ = 12,5 чел.-ч – трудоемкость капитального ремонта одной у.е.р.

Годовой фонд рабочего времени выбирают по рекомендациям Министерства труда и социального развития или определяют по выражению

$$Ф = (d_к - d_в - d_п - d_о) \cdot t \cdot \eta - \Delta t \cdot d_{пп},$$

где $d_к$, $d_в$, $d_п$, $d_о$, $d_{пп}$ - соответственно число календарных, выходных, праздничных, отпускных и предпраздничных дней; t = 8,2 – продолжительность смены; Δt – сокращение предпраздничного дня, (обычно 1 час); η - коэффициент использования рабочего времени (η =0,95…0,96), учитывающий потери рабочего времени по уважительным или другим причинам.

Производственный персонал по специальностям от их общего количества в процентном отношении примерно должен быть: электрослесарей – 20%, обмотчиков – 40%, электромонтеров – 10%, станочников – 15%, работников других специальностей – 15%.

Количественный состав ИТР, и вспомогательного персонала зависит от численности производственного персонала и в процентном отношении примерно должен быть: ИТР – 8%, вспомогательный персонал – 3-4%

3.1.4 РАСЧЕТ ПЛОЩАДЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УЧАСТКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

Расчет площадей целесообразно выполнять в три этапа.

На первом этапе определяют общую производственную площадь (F) предприятия, включая складские помещения, по удельной норме ($f_у$) на одного производственного рабочего:

$$F = f_у \cdot N, \qquad (3.8)$$

где N – численность производственных рабочих; $f_у$=10…20 - удельная площадь на одного производственного рабочего (для мелких ЭРЦ - $f_у$ = 20м^2 на одного рабочего, для крупных ЭРЦ - $f_у$ = 16 м^2, для ЭРЗ - $f_у$ = 10м^2 на одного рабочего).

На втором этапе суммарную площадь распределяют между отделениями, участками, бытовыми площадями и т.д. При этом рекомендуется пользоваться данными таблицы 2. Для более точного распределения необходимо учитывать

площади, занятые технологическим оборудованием; номенклатуру ремонтного фонда и особенности технологического процесса.

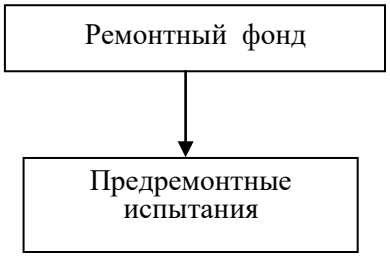
Таблица 2 - Рекомендуемые площади участков предприятия

Наименование участка	Площадь в долях от общей
Разборочный	0,15…0,20
Сборочный	0,10…0,20
Слесарно-механический	0,07…0,10
Обмоточный	0,10…0,30
Пропитки и сушки	0,02…0,03
Испытательный	0,04…0,08
Аккумуляторная, АТЭ и т.п.	0,03…0,04
Склады (всего)	0,04…0,05

Дополнительно определяют площади бытовых помещений. Расчёт этих помещений производят по удельной норме на одного работника: для комнат ИТР - $5м^2$ на человека, комнат вспомогательного персонала – 3 $м^2$, гардеробных помещений – 0,2 $м^2$, под умывальники – 0,05 $м^2$. Душевые помещения выбирают из расчета $1м^2$ на 15 рабочих, а туалетные – $2,5м^2$ на 25 рабочих.

3.1.5 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕМОНТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Схема технологического процесса определяет последовательность и взаимосвязь операций при выполнении ремонта. Для ЭРП, специализирующихся по ремонту одного вида, например, электродвигателей или трансформаторов, применяют типовые схемы. На рисунках 1 и 2 приведены схемы технологического процесса ремонта электродвигателей с короткозамкнутым ротором и силовых трансформаторов.



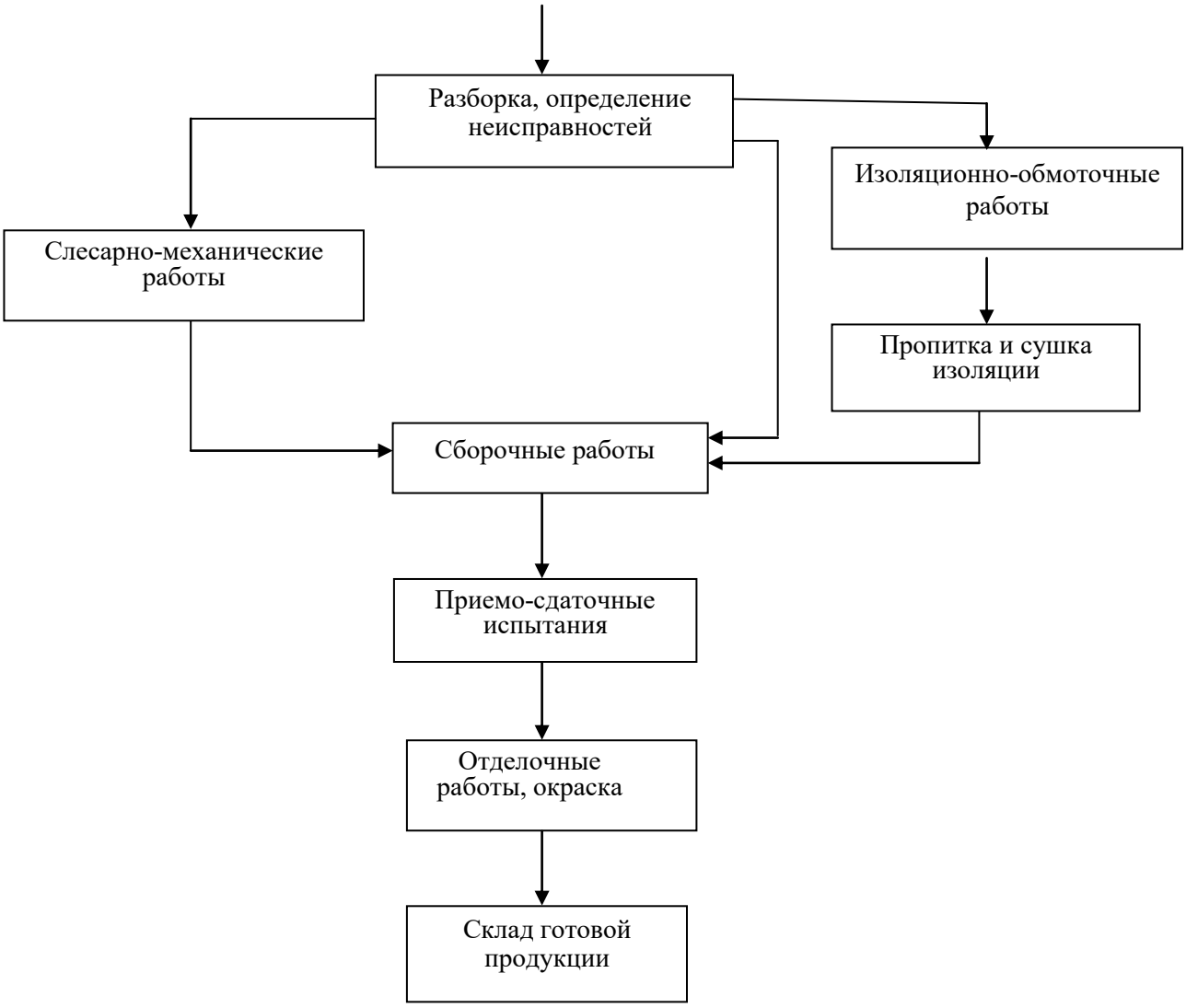


Рисунок 1 - Схема технологического процесса ремонта электродвигателей с короткозамкнутым ротором

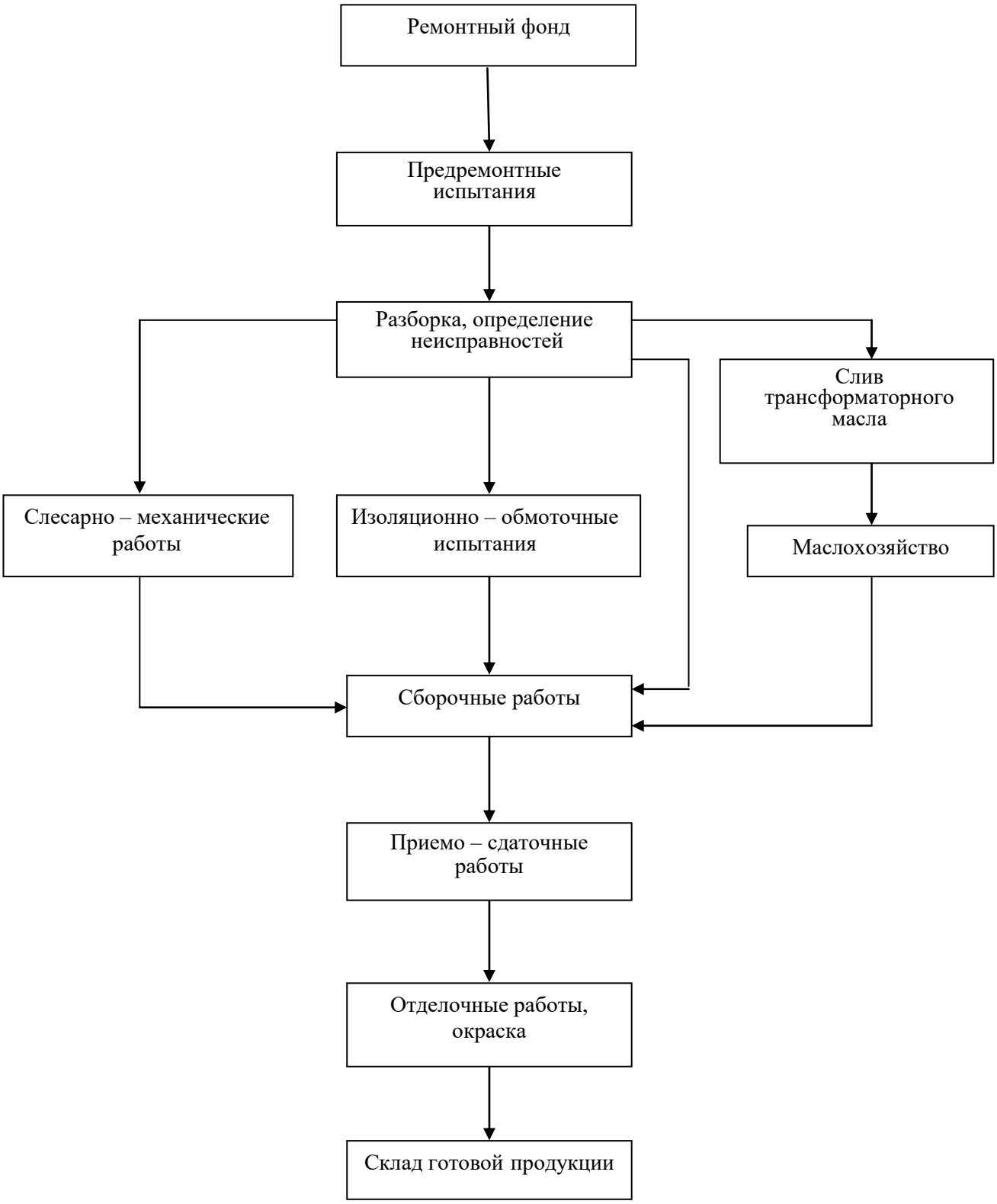


Рисунок 2 - Схема технологического процесса ремонта силовых трансформаторов

В неспециализированных ЭРП для каждого оборудования принимают свою схему или разрабатывают совмещенную схему технологического процесса ремонта всех видов ремонтируемого электрооборудования. В курсовой работе рекомендуется разработать совмещенную схему

технологического процесса ремонта электродвигателей, силовых и сварочных трансформаторов, а так же ремонта автотракторного электрооборудования.

3.1.6 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КОМПОНОВКА ЭЛЕКТРОРЕМОНТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

На третьем этапе по известным площадям производственных участков и в целом предприятия приступают к его технологической компоновке.

Основные размеры здания должны соответствовать строительным нормам (ширина должна быть кратна 3 или 6, а отношение длины к ширине не более 3:1). Длина здания определяется по заданной ширине по выражению L=F/a, где F-общая площадь предприятия, а – заданная ширина здания.

Все производственные участки необходимо условно разделить на основные, через которые проходит основной грузопоток предприятия (разборочное, сборочное, обмоточное, испытательное и др.) и вспомогательные, в которых выполняют дополнительные операции (слесарно-механическое, бытовое и т.п.)

Размещение всех участков должно строго соответствовать технологическому процессу ремонта по принятой схеме движения грузового потока (прямой поток или П, Г, Т – образцовый поток).

С целью максимального обеспечения грузового потока подъемными и транспортными средствами основные производственные участки должны размещаться в главном пролете без разделения их капитальными стенами.

Бытовые помещения обычно отгораживают капитальными стенами или строят как отдельные помещения.

Участки ремонтного предприятия, как правило, проектируются в одноэтажном здании. Такая планировка считается наиболее экономичным проектным решением.

При вычерчивании планов здания нужно соблюдать следующие строительные нормы:

1. Толщина наружных стен определяется условиями создания достаточного ограждения внутренних помещений от воздействия внешней

среды. Согласно этому стены могут иметь следующую толщину, см: в 2 кирпича – 51; в 2,5 кирпича – 64; из крупных блоков – 40-50.

2. Внутренние перегородки выполняют, как правило, из гипсокартона или кирпича толщиной 10-12,5 см.

3. Габаритные размеры здания указывают по разбивочным осям, по которым также привязывают внутренние перегородки здания.

4. Если чертеж выполняют в масштабе 1:200 и меньше, то внутренние перегородки наносятся одной линией.

5. Оси по длине здания маркируют цифрами, по ширине – буквами русского алфавита. Последовательность маркировки осей принимают слева направо и снизу вверх.

6. Согласно строительным нормам площадь окон зависит от площади пола и должна быть:

для производственных помещений – 1/6 - 1/8;

для подсобных помещений и коридоров – 1/10 – 1/14;

стандартная ширина окон, мм – 1770, 1185, 885.

Определив размеры окна, необходимо расположить их по периметру здания таким образом, чтобы выдержать определенный ритм между проемами и простенками.

7. Двери производственных помещений должны иметь следующую ширину, мм: 1790 или 1390, а ворота в здание – 2500 мм. На чертежах в масштабе 1:400 и меньше открывание дверей и ворот показывать не обязательно.

На рисунке 3 в качестве примера приведен один из вариантов компоновки ЭРП со схемой движения деталей и узлов по замкнутому потоку с расстановкой технологического оборудования на одном из участков; на рисунке 4 – схема движения потока.

За основу компоновки ЭРП принимают соответствие между схемой технологического процесса ремонта и перемещением грузов между участками. Направление движения ремонтируемых деталей и узлов должно совпадать с

ходом технологического процесса ремонта. Участки производственного здания ЭРП размещают так, чтобы основная масса деталей и узлов транспортировалась по наикратчайшему пути. Оптимальным вариантом компоновки производственных участков считается такой, при котором перемещение деталей и узлов осуществляется по наикратчайшему пути с наименьшим числом оборотных и перекрещивающихся потоков.

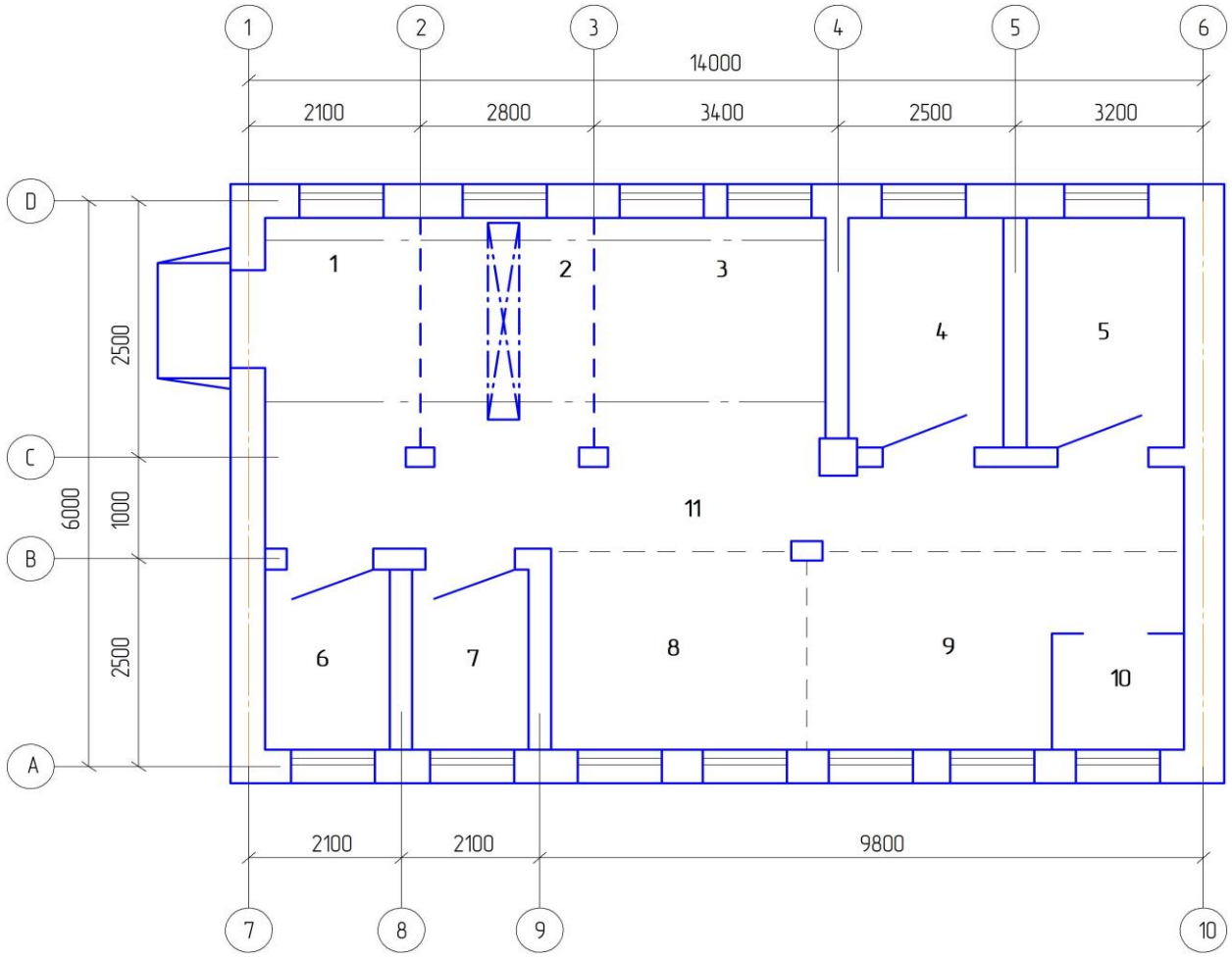


Рисунок 3 - Компоновка электроремонтного предприятия:
1 – склад ремонтного фонда; **2** – участок очистки и разборки; **3** – ремонт электротермического оборудования; **4** – участок ремонта ПЗА; **5** – комната для персонала; **6** – склад готовой продукции; **7** – окрасочный участок; **8** – сборочный участок; **9** – слесарно-механический участок; **10** – сварочный участок; **11** - коридор

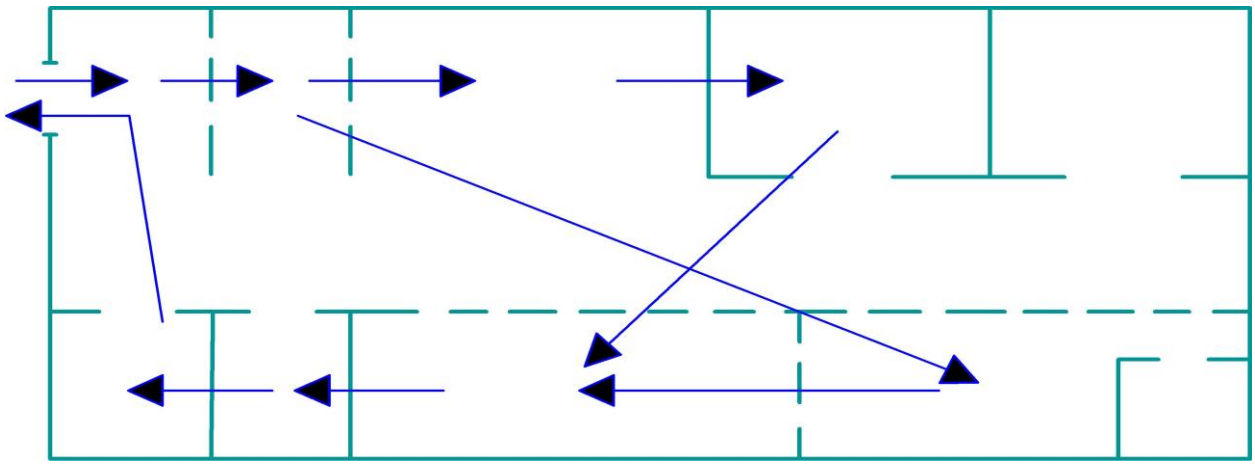


Рисунок 4 - Схема движения деталей и узлов по замкнутому потоку

3.2. РАСЧЕТ ОБМОТОК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ

3.2.1 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА

В данной работе приведен вариант расчета при капитальном ремонте, когда у ремонтируемого двигателя отсутствуют паспортные данные. Заданными величинами для расчета являются геометрические размеры сердечника статора и ротора. Их получают при подготовке исходных данных к расчету в результате обмера.

В методическом плане расчет разделен на две части: электрический и конструкторский. Целью электрического расчета является определение номинального тока и мощности двигателя. Последняя зависит от правильного выбора электромагнитной нагрузки. Нагрузку магнитной системы двигателя определяет индукция в воздушном зазоре, а электрическая нагрузка двигателя характеризуется плотностью тока. Поэтому правильный их выбор является ответственным этапом расчета. Целью конструкторского расчета является определение геометрических размеров катушек. Этот этап включает также выбор типа обмотки, составление схемы и определение массы меди обмоток.

На последнем этапе основные расчетные параметры двигателя проверяются с аналогичными параметрами типовых двигателей. Отклонение расчетных параметров от допустимых норм указывает на допущенную ошибку при расчете.

3.2.2 ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ К РАСЧЕТУ

Геометрические размеры статора и ротора сердечника, полученные в результате обмера, приведены в приложении 2:

- наружный и внутренний диаметр пакета статора $D_н$, $D_{вн}$;
- полная длина статора и ротора, l_1, l_2;
- число пазов статора и ротора, Z_1, Z_2;
- размеры паза статора и ротора;
- воздушный зазор между статором и ротором, δ;

- диаметр вала, $D_в$;

- толщина листов электротехнической стали – 0,8 мм;

- изоляция стали – лак;

- марка стали – сталь 2013.

Технические требования заказчика:

- напряжение 380/220 В;

- серия двигателя – 4А;

- частота вращения пола статора, n_1;

- номинальное напряжение обмотки статора, U.

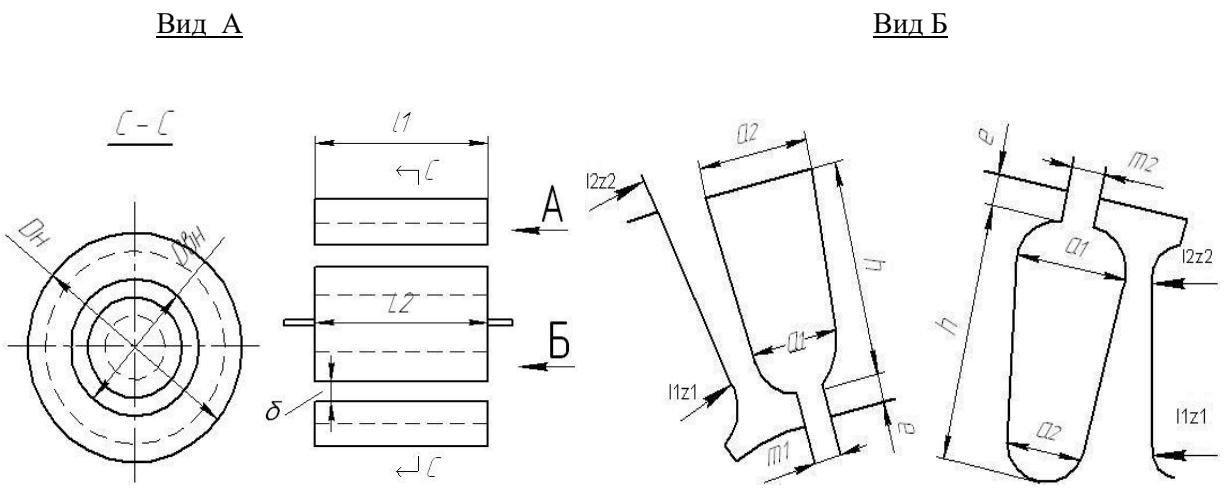


Рисунок 5 - Эскиз магнитной системы

В целях упрощения и придания расчету последовательности, предварительно необходимо данные обмера привести к расчетным данным магнитопровода, последние используются в соответствующих расчетных формулах. Ниже приведен порядок подготовки исходных данных к расчету.

Полюсное деление статора

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_{вн}}{2p}, \qquad (3.9)$$

где $p = \frac{60f}{n_1}$ - число пар полюсов.

Активная длина сердечника статора

$$l_0 = K_з \cdot l_1, \qquad (3.10)$$

где $K_з$ = 0,93 – коэффициент заполнения пакета сталью, зависящий от вида изоляции и толщины листов стали.

Высота зубца статора

$$h_{z1} = h + e, \tag{3.11}$$

где h – высота паза статора, e - высота “усика” паза.

Высота спинки статора

$$h_{сс} = \frac{1}{2}(Д_н - 2h_{z1} - Д_{вн}) \tag{3.12}$$

Площадь спинки статора

$$S_{сс} = h_{сс} \cdot l_0 \tag{3.13}$$

Длина силовой линии в спинке статора

В электрических машинах картина распределения магнитного поля повторяется для каждой пары полюсов. Поэтому определение длины силовой линии производится обычно для пары полюсов.

$$L_{сс} = \frac{\pi \cdot (Д_н - h_{сс})}{2p}, \tag{3.14}$$

где 2p - число полюсов.

Средняя расчетная ширина зубца

При трапецеидальных пазах ширина зубца статора по его высоте не остается постоянной. В нижней части паза она шире, а в верхней части наоборот,- уже. Поэтому за расчетную ширину зубца принимают среднее значение от верхней и нижнее части.

$$b_{cpz1} = \frac{b_{1z1} + b_{2z1}}{2} \tag{3.15}$$

где $b_{1z1} = \frac{\pi \cdot (Д_{вн} + 2 \cdot e + a_1)}{z_1} - a_1$ - ширина зубца в верхней части паза;

$b_{2z1} = \frac{\pi \cdot (Д_{вн} + 2 \cdot h_{z1} + a_2)}{z_1} - a_2$ - ширина зубца в нижней части паза.

Площадь паза статора

Площадь паза статора трапецеидальной формы представляется как площадь, состоящая из площадей двух геометрических фигур – трапеции и

половины окружности, геометрическим суммированием площадей указанных фигур получаем искомую площадь.

$$S_{пс} = \frac{a_1 + a_2}{2} \cdot (h - \frac{a_1}{2}) \cdot \frac{\pi \cdot a_1^2}{8} \qquad (3.16)$$

Ниже определены расчетные геометрические размеры ротора. Они находятся аналогично путем простых арифметических действий по геометрическим размерам ротора. Поэтому дополнительные разъяснения по приведенным выражениям не приводятся.

Высота зубца ротора

$$h_{z2} = h + e \qquad (3.17)$$

Высота спинки ротора

$$h_{ср} = \frac{Д' - Д_в + \frac{1}{6} \cdot Д_в}{2} - h_{z2} \qquad (3.18)$$

Где $Д' = Д_{вн} - 2\delta$ - внешний диаметр ротора, величина $\frac{1}{6} Д_в$ учитывает, что магнитный поток проходит и по частям вала; $Д_В$ – диаметр вала.

Площадь спинки ротора

$$S_{ср} = h_{ср} \cdot l_2 \cdot k_з \qquad (3.19)$$

где l_2 - длина ротора (в расчете принимается $l_1 = l_2$)

Длина силовой линии в спинке ротора

$$L_{ср} = \frac{\pi \cdot (Д_в + h_{ср})}{2p} \qquad (3.20)$$

Средняя расчетная ширина зубца ротора

$$b_{срz2} = \frac{b_{1z2} + b_{2z2}}{2} \quad , \qquad (3.21)$$

$$b_{1z2} = \frac{\pi \cdot (Д' - 2 \cdot e - a_1)}{z_2} - a_1 , \qquad (3.22)$$

$$b_{2z2} = \frac{\pi \cdot (Д' - 2 \cdot h_{z2} + a_2)}{z_2} - a_2 \qquad (3.23)$$

3.2.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТИРОВОЧНОЙ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

Мощность двигателя зависит от его основных параметров – внутреннего диаметра $Д_{вн}$ и скорости вращения поля статора n_1, чем больше указанные величины, тем выше мощность двигателя. Соответственно, между этими размерами должно быть правильное соотношение. В относительно длинной машине получается лучшее использование меди за счет меньшей длины лобовых частей обмотки. Однако, чем длиннее машина, тем хуже условия охлаждения. Кроме того, в длинных машинах коэффициент мощности (cos φ) хуже и перегрузочная способность меньше. С другой стороны, в длинной машине конструктивные детали (щиты, станина) получаются легче и, следовательно, дешевле.

Ориентировочная мощность, определяемая по главным размерам

$$P \approx \lambda \cdot Д_{вн}^2 \cdot l_1 \cdot n_1 \cdot 10^{-6}, \text{ Вт} \qquad (3.24)$$

где λ_1=1 и λ_2 =2 – постоянная мощности.

В двигателях серии 4А предусмотрена следующая шкала мощностей: 0,37; 0,55; 0,75; 1,1; 1,5; 2,2; 3,0; 4,0; 5,5; 7,5; 11,0; 15,0; 18,5; 22,0; 30,0; 37,0; 45,0; 55,0; 75,0; 90,0 кВт.

По этой шкале определяется ближайшая номинальная мощность $P_н$, а за тем по каталогу выбирается предполагаемый тип рекомендуемого двигателя.

3.2.4 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОБМОТОК

Электрический расчет обмоток направлен на определения номинальной мощности двигателя. Предварительно выполняют поверочный расчет магнитной индукции в воздушном зазоре, зубцах статора и ротора; спинки статора и ротора. Затем сравнивают полученные значения с допустимыми.

3.2.5 ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ МАГНИТНЫХ НАГРУЗОК

Расчет выполняют путем последовательного приближения. Руководствуясь данными таблицы 3, задаются значением индукции в воздушном зазоре $B_δ$ и рассчитывают магнитный поток Ф в воздушном зазоре

и значение индукции в зубцах статора и ротора B_{z1}, B_{z2}, в спинке статора и ротора B_{cc}, B_{cp}. Выбор магнитной индукции в воздушном зазоре является ответственным этапом расчета. При больших значениях B_{δ} потери в стали сильно возрастают и приводит к ухудшению энергетических характеристик машины: КПД (η) и коэффициента мощности ($\cos\varphi$). С другой стороны, при малых значениях происходит уменьшение максимального момента двигателя и его перегрузочной способности из-за увеличения индуктивного сопротивления рассеяния.

Таблица 3 - Электромагнитные нагрузки для двигателя серии 4А

Наименование	Обозн.	Ед.изм.	Номинальная мощность, кВт		
			до 1,0	1,0-10	10-100
Индукция в воздушном зазоре	B_{δ}	Тл	0,3-,06	0,6-0,8	0,8-0,9
Индукция в зубцах статора	B_{z1}	Тл	1,3-1,6	1,4-1,6	1,4-1,8
Индукция в спинке статора	B_{cc}	Тл	1,1-1,5	1,2-1,6	1,3-1,6
Индукция в зубцах ротора	B_{z2}	Тл	1,2-1,5	1,3-1,6	1,5-1,9
Индукция в спинке ротора	B_{cp}	Тл	1,0-1,5	1,1-1,5	1,2-1,6
Плотность тока	j	А/мм ²	6-8	4-6	3-5
Линейная нагрузка	A	А/см	100-250	250-400	400-500
Ток холостого хода	I_{xx}	%	40-60	30-50	20-40

Магнитный поток в воздушном зазоре, Вб

$$\Phi=\alpha_{\delta}\cdot B_{\delta}\cdot\tau\cdot l_{1}\cdot 10^{-6}, \qquad (3.25)$$

где α_{δ} = 0,65 – 0,75 – коэффициент полюсного деления; B_{δ} - магнитная индукция в воздушном зазоре, Тл.

В машине с приведенной в работе формой паза сечения зубца по его высоте не остается постоянной. Там, где сечение меньше (у основания паза) – индукция больше, и наоборот, где больше сечение (у воздушного зазора) – индукция меньше. Поэтому определяется среднее значение индукции по высоте зубца.

$$B_{z1}=B_{\delta}\cdot\frac{t_{1}\cdot l_{1}}{b_{cpz1}\cdot l_{0}} \qquad (3.26)$$

где $t_1=\frac{\pi\cdot Д_{вн}}{Z_1}$ – зубцовое деления статора; l_0 – длина активной стали статора.

Магнитная индукция в спинке статора, Тл

$$B_{cc} = \frac{\Phi}{2 \cdot S_{cc} \cdot 10^{-6}} \quad (3.27)$$

Магнитный поток в спинке ротора делится на две части: одна половина потока через воздушный зазор замыкается по участку спинки статора, приходящаяся на одну пару полюсов, а другая половина на другую пару полюсов. Поэтому при определении индукции в спинке статора учитывается две ее площади. При этом считаем, что поток по всему сечению спинки статора распределяется равномерно.

Магнитная индукция в спинке ротора, Тл

$$B_{cp} = \frac{\Phi}{2 \cdot S_{cp} \cdot 10^{-6}}, \quad (3.28)$$

где S_{cp} - площадь спинки ротора.

Магнитная индукция в зубцах ротора, Тл

$$B_{z2} = B_{\delta} \cdot \frac{t_2 \cdot l_2}{b_{cpz2} \cdot l_0}, \quad (3.29)$$

где $t_2 = \frac{\pi \cdot Д'}{Z_2}$ - зубцовое деление ротора, l_0 –активная длина ротора.

Полученные значения индукции по участкам магнитной цепи сравнивают с нормативными данными таблицы 3. Если на каком-то участке индукция не укладывается в допустимые нормы, необходимо выбрать другое значение индукции в воздушном зазоре B_{δ} и повторить расчет до тех пор, пока индукция на всех участках не будет отличаться от значений, приведенных в таблице 3.

3.2.6 ВЫБОР ТИПА ОБМОТОК

Обмотки машин переменного тока классифицируется по ряду признаков:

- по применению – обмотки статора и ротора;
- расположение в пазах – однослойные и двухслойные;
- форме катушек – концентрические и равнокатушечные;

- форме лобовых частей – двухполюсные, трехполюсные;

- форме сечения провода – мягкие (всыпные из круглого провода) и расположению выводов катушек – петлевые и волновые;

- шагу обмотки – с диаметральными, укороченными и удлиненными шагами;

- числу пазов на полюс и фазу – с целым и дробным.

Тип обмотки зависит в основном от номинального напряжения и мощности двигателя.

В электрических двигателях серии 4А мощностью до 11 кВт используются однослойные концентрические обмотки, а в остальных двигателях применяют двухслойную обмотку с укороченным шагом.

3.2.7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБМОТОЧНЫХ ДАННЫХ ДВИГАТЕЛЯ

Число витков в фазе

Число последовательно соединенных витков в фазной обмотке определяется величиной подводимого к двигателю фазного напряжения $U_ф$ и величиной потока Ф, создаваемого в двигателе:

$$W=\frac{E}{4{,}44\cdot f\cdot K_{об}\cdot Ф}=\frac{K_l\cdot U_ф}{222\cdot K_{об}\cdot Ф} \qquad (3.30)$$

Относительная величина ЭДС K_l зависит от габарита и мощности двигателя, от типа обмотки, степени насыщения магнитной цепи и составляет K_l=0,90-0,98.

$K_{об}=K_у\cdot K_р=\sin(\frac{y}{\tau}\cdot 90)\cdot\frac{\sin\left(\frac{\alpha\cdot q}{2}\right)}{q\cdot\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$ - обмоточный коэффициент,

где $K_у$ – коэффициент укорочения; $K_р$ – коэффициент распределения.

Обычно однослойные концентрические обмотки выполняют диаметральным шагом ($K_у$=1). В этих обмотках шаг обмотки равен полюсному делению (y = τ). Шаг двухслойной обмотки выбирается, как правило,

укороченным, то есть меньше диаметрального. Величина шага составляет при 2p=4 и более примерно 80% от диаметрального (y = 0,8τ), а для двухполюсных обмоток – 56 до 75% от диаметрального y=(0,56-0,75)τ.

$$\tau = \frac{z_1}{2p} \text{ – полюсное деление,}$$

$$q = \frac{z_1}{2p \cdot m} \text{ – число пазов на полюс и фазу,}$$

$$\alpha = \frac{360 \cdot p}{z_1} \text{ – угол, приходящийся на один паз, в град.}$$

Число проводников в одном пазу

$$n_{пр} = \frac{2 \cdot m \cdot W}{z_1} \qquad (3.31)$$

Сечение изолированного провода, мм²

$$q_{из} = \frac{S_{пс} \cdot К_{зп}}{n_{пр}} \qquad (3.32)$$

где $К_{зп}$ – коэффициент заполнения проводниками площади паза

Проводники, заложенные в паз, располагаются по его сечению неравномерно, оставляя незаполненные пространства. Критерием использования площади паза служит коэффициент $К_{зп}$. Он зависит от конструкции пазовой изоляции, применяемых изоляционных материалов, типа обмотки и т.д.

Коэффициент заполнения площади паза однослойных обмоток изменяется от 0,4 до 0,43 для двухслойных обмоток от 0,37 до 0,40.

Диаметр изолированного провода обмотки, мм

$$d_{из} = 1{,}14\sqrt{q_{из}} \qquad (3.33)$$

Диаметр голого провода, мм

$$d'_г = d_{из} - \Delta_{из}, \qquad (3.34)$$

где $\Delta_{из}$ – двухсторонняя толщина изолированного провода. $\Delta_{из}$ = 0,06 – 0,13 для проводов марки ПЭВТД, ПЭТВ.

Наибольший диаметр изолированного проводника, используемого в современных двигателях, равен 2,50 мм. В том случае, когда расчетное сечение проводника и его диаметр $d_{из}$ превышает максимальное значение проводника, катушки фазных обмоток наматывают из нескольких параллельных проводников. При этом сумма сечений проводников должна равняться примерно расчетному сечению провода.

По величине $d'_г$ из справочника (приложение 3) выбирают ближайший стандартный провод и записывают его данные ($d_г$, $q_г$).

3.2.8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАСПОРТНЫХ ДАННЫХ ДВИГАТЕЛЯ

При известном сечении голого провода $q_г$ сила номинального фазного тока определяется по допустимой плотности тока j:

$$I_ф = q_г \cdot j, \text{ А} \qquad (3.35)$$

Величина допустимой плотности тока имеет вполне определенные пределы и зависит от мощности и типа двигателя. С целью уменьшения потерь в меди и увеличения к.п.д. желательно выбирать меньшее значение плотности тока. Однако при малых j увеличивается расход меди и уменьшается мощность при тех же габаритах машины.

С другой стороны, большее значение j приводит к перегреву обмотки и выходу из строя.

Оптимальная плотность тока приведена в таблице 3.

Номинальная мощность на валу двигателя, кВт

$$P_{2н} = \sqrt{3} \cdot U_н \cdot I_н \cdot \eta \cdot \cos\varphi \cdot 10^{-3}, \qquad (3.36)$$

где $U_н$ - линейное номинальное напряжение, В; $I_н$ - линейное значение силы тока, А; ($I_н = I_ф$ при соединении обмоток звездой); η и $\cos\varphi$ выбирают по предполагаемому типу двигателя (пункт 3.2.3 и приложение 6).

Полученное значение сравнивают с ранее рассчитанной мощностью, определенной по геометрическим размерам (пункт 3.2.3) и принимают окончательное решение.

3.2.9 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАСЧЕТ ОБМОТОК

Если электрический расчет обмоток направлен на определение мощности двигателя, то конструкторский расчет имеет цель решения конструктивных задач, а именно, определение геометрических размеров катушек, выбор пазовой изоляции, составление схемы обмотки.

3.2.10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ КАТУШЕК И МАССЫ ОБМОТКИ

Число катушек

$n_{кат} = \frac{z_1}{2}$ - для однослойной обмотки

$n_{кат} = z_1$ - для двухслойной обмотки

Число витков в катушке

$$\omega_{кат} = \frac{3 \cdot W}{n_{кат}},$$

где W - число витков в фазе

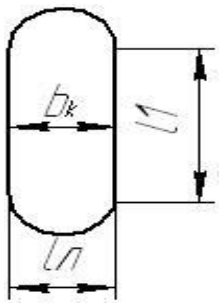


Рисунок 6 - Геометрические размеры катушки

Средняя ширина катушки

$$b_к = \frac{\pi \cdot (Д_{вн} + h_{z1})}{2p} \cdot \frac{y}{\tau} \qquad (3.37)$$

Длина лобовой части

$$l_л = 30 + К \cdot b_к \qquad (3.38)$$

Коэффициент К выбирают из таблицы.

2p	2	4	6	8
К	1,2	1,3	1,4	1,5

Средняя длина витка

$$l_{вит}=2\cdot(l_1 + l_л) \quad (3.39)$$

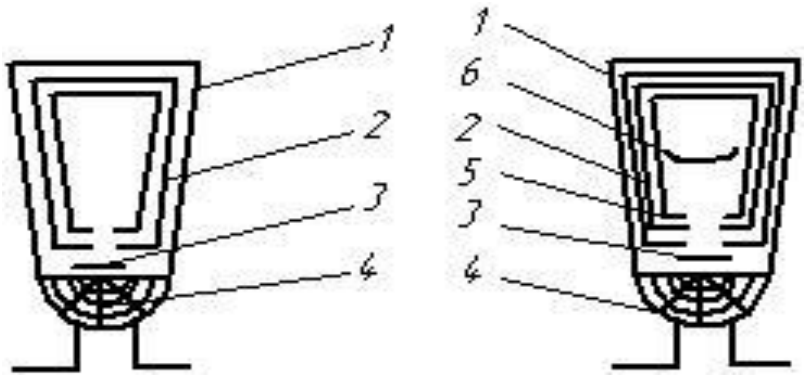
Масса меди в обмотках статора

$$G_м=8{,}9\cdot q_г \cdot l_{вит} \cdot n_{пр} \cdot z_1 \cdot 10^{-6}, \text{ кг} \quad (3.40)$$

3.2.11 ВЫБОР ПАЗОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Применение того или иного вида изоляции зависит главным образом от номинального напряжения, от назначения и условий работы машины. Для двигателей мощностью до 11 кВт выбирают изоляцию, соответствующую классу нагревостойкости В (допустимая рабочая температура до 130 Cº), а для двигателей мощностью выше II кВт - изоляция соответствующая классу нагревостойкости (допустимая рабочая температура до 155 Cº).

Конструкция пазовой изоляции однослойных и двухслойных обмоток двигателей серии 4А показаны на рисунке 7, а используемые при этом изоляционные материалы приведены в таблице 4.



а) б)

Рисунок 7 - Конструкция пазовой изоляции: а - однослойной обмотки; б - двухслойной обмотки; 1,2,5 - пазовая изоляция; 3 - изоляционная прокладка;'4 - изоляционный клин; 6— катушечная прокладка

Таблица 4 - Пазовая изоляция однослойных и двухслойных обмоток

Позиция на рисунке	Тип обмотки	
	однослойная	двухслойная
1	Стеклоткань	Электрокартон
2	Гибкий стекломиканит	Гибкий слюдинит
3	Стеклотекстолит	Стеклотекстолит
4	Клин из тектолита	Клин из текстолита
5		Стеклоткань, стеклолакоткань
6		Лакостеклослюдопласт

3.2.12 СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ ОБМОТКИ

Для составления схемы обмотки предварительно определяют основные параметры обмотки.

Основные параметры однослойной обмотки:

n = p - число катушечных групп в каждой фазе,

$q = \frac{z_1}{2p \cdot m}$ - число катушек в катушечной группе,

$\tau = \frac{z_1}{2p}$ - полюсное деление,

$y = 2 \cdot (q+N) - 1$ - шаг катушки, где N - порядковый номер катушки,

$\alpha = \frac{360 \cdot p}{z_1}$ - угол между соседними пазами, в град.

Угол между началами катушечных групп составляет 360°.

Основные параметры двухслойной обмотки:

n = 2p - катушечных групп в каждой фазе,

$q = \frac{z_1}{2p \cdot m}$ - число катушек в катушечной группе,

$\tau = \frac{z_1}{2p}$ - полюсное деление,

$y = \beta \cdot \tau$ - шаг укорочения, где β - коэффициент укорочения,

$\alpha = \frac{360 \cdot p}{z_1}$ - угол между соседними пазами, в град.

Угол между началами катушечных групп составляет 180°.

После определения основных параметров для выбранного типа обмотки вычерчивают развернутую схему обмотки, которая дает наглядное представление о соединении отдельных катушек и катушечных групп, Целесообразно каждую фазу схемы вычертить своим цветом. На листе со схемой затем необходимо привести основные ее параметры и данные обмотки: $n_{кат}$, n, q, τ, y, α.

Более подробно об основных параметрах и способах составления схем обмоток приведено [2].

3.2.13 ПРОВЕРКА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Надежность двигателя в эксплуатации зависит от ряда факторов, в том числе от линейной электрической и тепловой нагрузки, токе холостого хода. Указанные параметры нормированы. Превышение этих параметров над допустимыми нормами приводят к отказу двигателя в процессе эксплуатации.

3.2.14 ЛИНЕЙНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА

Правильность выбора плотности тока и коэффициента заполнения паза проверяются по линейной нагрузке (А). Эта величина представляет собой число ампер-витков, приходящихся на единицу длины внутренней расточки статора

$$A=\frac{m\cdot I_{фн}\cdot 2W}{\pi\cdot Д_{вн}},\ А/см \qquad (3.41)$$

где m – число фаз; $I_{фн}$ – расчетный ток электродвигателя, А; W – число витков в фазе, шт.

Величина А нормируется (таблица 3). Если будет расхождение, то необходимо изменить плотность тока в обмотке и уточнить коэффициент заполнения паза.

3.2.15 ТЕПЛОВАЯ НАГРУЗКА

Произведение (A*j) дает возможность оценить тепловую нагрузку двигателя, которая также нормируется

$$A \cdot j = 1000 - 2400,$$

где j – плотность тока, А/мм^2 (таблица 3).

3.2.16 ТОК ХОЛОСТОГО ХОДА

В симметричных электрических машинах картина распределения магнитного поля аналогична для каждой пары полюсов. Поэтому расчет выполняют обычно для пары полюсов.

Предварительно вычерчивают эскиз магнитной цепи и показывают картину распределения магнитного поля для пары полюсов. Для расчета магнитную цепь разбивают на следующие участки:

1 - воздушный зазор; 2 - зубцы статора; 3 - зубцы ротора; 4 -спинка статора; 5 - спинка ротора.

Порядок расчета следующий. По ранее определенным значениям индукции по кривым намагничивания стали (или по специальным таблицам) находят напряженность магнитного поля на каждом участке цепи.

Затем определяют м.д.с. на каждом участке и их сумму, по которой рассчитывают намагничивающий ток.

М.Д.С. в воздушном зазоре, А

$$F_\delta = 1{,}6 \cdot B_\delta \cdot K_\delta \cdot \delta \cdot 10^3, \qquad (3.42)$$

где B_δ - индукция в воздушном зазоре (выбирается из таблицы 3); δ - величина воздушного зазора; K_δ - коэффициент воздушного зазора, учитывающий увеличение магнитного сопротивления воздушного зазора в зубчатом якоре. Коэффициент K_δ > 1. В асинхронных двигателях пазы имеются и на статоре и на роторе, поэтому коэффициент K_δ определяется по формуле:

$$K_\delta = K_{\delta 1} \cdot K_{\delta 2} \qquad (3.43)$$

где $K_{\delta_1} = \frac{t_1 + 10 \cdot \delta}{b_{cpZ1} + 10 \cdot \delta}$; $K_{\delta_2} = \frac{t_2 + 10 \cdot \delta}{b_{cpZ2} + 10 \cdot \delta}$, t_1 и t_2 - зубцовые деления по окружности статоре и ротора; δ - величина воздушного зазора.

М.Д.С. в зубцах статора, А

$$F_{z1} = 2 \cdot H_{z1} \cdot h_{z1} \cdot 10^{-3}, \qquad (3.44)$$

где h_{z1} - полная высота зубца статора, мм; H_{z1} - напряженность электрического поля в зубцах статора (А/м), которая определяется по кривым намагничивания (приложение 4).

М.Д.С. в зубцах ротора, А

$$F_{z2}=H_{z2}\cdot h_{z2}\cdot 10^{-3} \quad (3.45)$$

где h_{z2} - полная высота зубца ротора, мм; H_{z2} - напряженность электрического поля в зубцах ротора (А/м), определяется по приложению 4.

М.Д.С. в спинке статора, А

$$F_{cc}=H_{cc}\cdot L_{cc}\cdot 10^{-3} \quad (3.46)$$

где H_{cc} - напряженность электрического поля в спинке статора (А/м), определяется по приложению 5, L_{cc} - длина силовой линии в спинке статора, мм.

М.Д.С. в спинке ротора, А

$$F_{ср}=H_{ср}\cdot L_{ср}\cdot 10^{-3} \quad (3.47)$$

где $H_{ср}$ - напряженность электрического поля в спинке ротора (А/м), определяется по приложению 5, $L_{ср}$ - длина силовой линии в спинке ротора, мм.

Магнитодвижущая сила двигателя на два полюса подсчитывается как сумма М.Д.С. всех участков:

$$F = F_{\delta}+F_{z1}+F_{z2}+F_{cc}+F_{ср} \quad (3.48)$$

Ток холостого хода

$$I_{xx}=\frac{P\cdot F}{0{,}9\cdot m\cdot W\cdot K_{об}},\ А \quad (3.49)$$

где P – номинальная мощность электродвигателя, кВт; F – суммарная магнитодвижущая сила.

Ток холостого хода обычно считают в % от номинального:

$$I^{*}_{xx}=\frac{I_{xx}}{I_{н}}\cdot 100,\ \% \quad (3.50)$$

Полученные значения тока сравнивают с допустимыми нормами (таблица 3).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ И НОМИНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы: приобрести навыки обнаружения неисправностей и определения номинальных параметров трансформатора.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Трансформаторы служат для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты. Они широко применяются в системе электроснабжения сельскохозяйственных потребителей и в различных установках.

Трансформаторы имеют большую номенклатуру типоразмеров. По мощности и напряжению выделяют 8 габаритов. По способу охлаждения различают: трансформаторы с воздушным естественным, с масляным естественным, с масляным обдуваемым охлаждением и естественной циркуляцией масла, с масляным обдуваемым охлаждением и принудительной циркуляцией масла. По форме сердечников различают трансформаторы стержневые и броневые. По количеству обмоток: двух-, трех- и многообмоточные. По расположению обмоток: концентрические и чередующиеся.

Условное обозначение трансформаторов состоит из букв, которые означают (в порядке написания): А - автотрансформатор (трансформатор не имеет обозначения), Т - трехфазный, О - однофазный, С - естественное воздушное охлаждение (сухой), М - масляное естественное охлаждение, Д - масляное охлаждение с дутьем, ДЦ - масляное охлаждение с дутьем и принудительной циркуляцией масла, Т - трехобмоточный, Н - с регулированием напряжения под нагрузкой. Числитель дроби - номинальная мощность (кВ*А), знаменатель - номинальное высшее напряжение (кВ). Например: ТМН 630/10 - трехфазный с естественным масляным охлаждением и

регулированием под нагрузкой, мощностью 630 кВ*А, высшим напряжением 10 кВ.

Трансформаторы - самые распространенные электрические аппараты, так как электрическая энергия на пути от электростанций к потребителям подвергается многократному (4-5 раз) преобразованию. Поэтому они должны иметь высокие показатели энергопреобразования (КПД, cosφ) и надежности (безотказность, долговечность). Новые трансформаторы отвечают этим требованиям, но в процессе эксплуатации названные показатели ухудшаются. Чтобы поддерживать их требуемые значения, необходимо рационально использовать и обслуживать трансформаторы, своевременно выявлять и устранять неисправности.

1.1 СВЕДЕНИЯ ОБ УСТРОЙСТВЕ ТРАНСФОРМАТОРА. ТРЕБОВАНИЯ К ЕГО КОНТРОЛИРУЕМЫМ ПАРАМЕТРАМ

Трансформатор с масляным охлаждением состоит из магнитопровода, обмоток, переключателя ответвлений, бака с вводами и измерительными устройствами.

Магнитопровод служит для усиления электромагнитной связи между обмотками. Он также является остовом для крепления всех основных элементов. Магнитопровод изготовляют из листовой электротехнической стали, которая имеет высокую магнитную проницаемость, малые магнитное потери, высокое электрическое сопротивление и изоляцию поверхности каждого листа.

Трехфазный магнитопровод имеет три стержня, на которых размещаются обмотки и два ярма, которые служат для создания замкнутой магнитной цепи. Стержень (ярмо) набирается из листов стали в виде пакета, которые в поперечном сечении имеет ступенчатую фигуру. При сборе магнитопровода листы стержней и ярма отдельных слоев обычно укладываются в переплет - штихтуются. Ярма стягиваются с помощью балок и шпилек, изолированных от пакета стали. Стержни прессуются (стягиваются) за счет деревянных клиньев (планок), вставленных между обмоткой и пакетами стали.

Определяющими параметрами, оценивающими магнитопровода, являются сопротивления изоляции стяжных шпилек и ярмовых балок, которое должно быть более 2,0 МОм, а также свойства электротехнической стали (удельные потери, индукция насыщения и т.д.).

Внешними признаками исправного состояния магнитопровода служат плотная прессовка листов активной стали, отсутствие на его поверхности мест перегрева и спекания пластин, а также надежное соединение (заземление) активной стали с ярмовой балкой.

Обмотки служат для электромагнитной связи первичной питающей сети с сетью вторичного преобразованного напряжения.

Обмотки изготавливают обычно в виде цилиндрических катушек из изолированного медного или алюминиевого провода. Для трансформаторов I и II габаритов обмотки низшего напряжения (НН) выполняют двухслойными, а высшего напряжения (ВН) - многослойными. Обмотки одной фазы занимают отдельный стержень и располагаются концентрически: внутри - обмотка НН, снаружи - обмотка ВН. Между магнитопроводом и обмоткой НН, а также между обмотками разных напряжений создают с помощью изолированных планок кольцевые каналы для циркуляции масла.

Начала фаз трехфазных обмоток ВН маркируют прописными буквами А, В, С, а концы - Х, У, Z. Начала фаз обмоток НН маркируют строчными буквами а, b, с, а концы - х, у, z. Если концы обмоток НН соединяют, то образуется нулевая точка, которую обозначают буквой о. Изоляция между соседними витками одной и той же обмотки называется продольной или витковой. Изоляция между обмотками разных напряжений, а также между обмотками и магнитопроводом называется главной.

Определяющим параметром состояния обмотки является ее витковая изоляция. Сопротивление изоляции витков должно соответствовать требованиям технических условий.

Внешними признаками исправного состояния обмоток являются правильная их геометрическая форма, плотная осевая стяжка, равномерные

радиальные каналы, надежное крепление сводов, а также прокладок, клиньев и других изолирующих деталей.

Переключающее устройство служит для регулирования напряжения на вторичной стороне трансформатора путем переключения ответвлений обмоток ВН. Устройствами ПБВ (без возбуждения) снабжаются почти все трансформаторы небольшой мощности. Они позволяют регулировать напряжение ступенями относительно номинального в диапазоне ±5% с помощью ручных трехфазных и однофазных переключателей.

Регулирование под нагрузкой позволяет переключать ответвления обмотки трансформатора безе разрыва цепи. Устройство РПН предусматривает регулирование напряжения в различных пределах в зависимости от мощности и напряжения трансформаторов (от ±10 до ±16% ступенями приблизительно по 1,5%).

Переключающее устройство имеет систему подвижных и неподвижных контактов. К неподвижным контактам присоединены ответвления обмотки. При повороте привода подвижные контакты входят в соприкосновение с неподвижными, осуществляя нужное соединение витков обмотки ВН.

Внешними признаками исправного состояния переключающего устройства являются плотное прилегание подвижных и неподвижных контактов, отсутствие оплавлений и подгораний; прочное соединение отводов с контактами. Переход из одного положения в другое должен достигаться при небольшом усилии и сопровождаться пружинящим скачком.

Вводы служат для соединения выводных концов обмоток трансформатора с внешними сетями. Ввод состоит из фарфорового изолятора, внутри которого проходит сквозной токопроводящий стержень с резьбой на концах, служащий для присоединения отводов обмотки к внешней электрической цепи.

Определяющим параметром исправности ввода является сопротивление $R_{из}$ и электрическая прочность $U_п$ его изоляции, которые должны быть соответственно $R_{из}$>300 МОм (при температуре 20 °С), $U_п$>>25 кВ при напряжении трансформатора 6 кВ и $U_п$> 35 кВ при 10 кВ.

Внешними признаками исправного состояния вводов являются прочное закрепление их на крышке, отсутствие нарушения резьбы и обгорания токоведущих соединений в местах их соединений с отводами; отсутствие на поверхности фарфорового изолятора кольцевых и продольных трещин, а также сколов площадью более 0,75> его поверхности.

Бак с арматурой. Бак трансформатора служит резервуаром для масла. Трансформаторы до 63 кВ*А имеют гладкие, а большей мощности — трубчатые баки.

К арматуре трансформатора относятся: 1) термосифонный фильтр, который служит для постоянной очистки масла от продуктов старения и влаги; 2) расширитель, предназначенный для уменьшения поверхности соприкосновения масла с воздухом и приема лишнего масла из бака при его нагревании; 3) газовое реле, обеспечивающее защиту при коротких замыканиях внутри бака.

Исправный бак не имеет коробления и вмятин. В нем отсутствует течь масла из сварных швов или уплотняющих прокладок. Внутренняя и внешняя поверхности бака не имеют следов коррозии или повреждения лакокрасочного покрытия. Крепежные детали (болты, гайки, винты) находятся в хорошем состоянии.

Измерительные устройства служат для контроля уровня и измерения температуры верхних слоев масла в баке. Маслоуказатель крепится к расширителю. На масломерном стекле имеются отметки, соответствующие нормальному уровню масла в расширителе при температуре окружающего воздуха -45, +15, +45 °С.

Термометр установлен в металлической гильзе, пропущенной через крышку трансформатора внутри бака.

Погрешность измерительных устройств должна быть в пределах допуска требований технических условий. Они на должны иметь подтеканий масла в местах их соединения с баком.

Трансформатор в сборе считается исправным при следующих значениях контролируемых параметров:

- сопротивление изоляции, но ниже 300 МОм (при температуре 20 °С), а коэффициент абсорбции не ниже 1,3;

- сопротивление проводов постоянному току у обмоток разных фаз, но одного напряжения, отличаются не более чем на ± 2 %

- параметры холостого хода и короткого замыкания соответствуют значениям, приведенным в таблицах 1.1 и 1.2;

- главная изоляция выдерживает напряжение 25 кВ (при напряжении трансформатора 6 кВ), 35 кВ (при 10 кВ) в течение 1 мин., а витковая изоляция - 130 % номинального в течение 5 мин.;

- трансформаторное масло имеет пробивное напряжение не ниже 25 кВ при напряжении трансформатора до 10 кВ.

Таблица 1.1 - Параметры холостого хода и короткого замыкания трансформатора

Тип трансформатора	Номинальная мощность, кВ*А	Номинальное напряжение, кВ		Схема и группа соединения обмоток	Потери		Напряжение к.з., % от номинального напряжения	Ток х.х., % от номинального тока
		ВН	НН		х.х. при номинальном напряжении, Вт	к.з. при номинальном токе, Вт		
ТМ-25	25	6-10	0,4	Y/Y - 0	170	600	4,5	5,15
ТМ-40	40				240	880	4,5	4,5
ТМ-63	63				360	1280	4,5	4,5
ТМ-100	100				490	1970	4,5	4,15
ТМ-160	160				730	2650	4,5	3,85
ТМ-250	250				1050	2350	4,5	3,7

Таблица 1.2 - Допустимые отклонения параметров, %

Потери холостого хода	Потери короткого замыкания	Суммарные потери	Ток холостого хода	Напряжение короткого замыкания	Коэффициент трансформации
+15	+10	+10	+30	+10	±0,5

Внешними признаками исправного состояния трансформатора являются его полная укомплектованность, в том числе табличкой паспортных данных; отсутствие трещин, сколов изоляторов и течи масла из сварных швов и фланцевых соединений.

Таблица 1.3 - Характерные неисправности трансформатора

Неисправности	Способ обнаружения неисправностей, приборы и инструменты	Способ ремонта
1.Отсутствие деталей и узлов	Осмотр	Комплектация деталями и узлами
2.Отсутствие паспортных данных	Осмотр. Измерение геометрических размеров (п. 2.2.9)	Восстановление паспортных данных
3.Снижение уровня изоляции обмоток	Измерение сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции. Мегаомметр 2500 В (п.2.2.1)	Сушка изоляции обмоток
4.Отключение омического сопротивления обмоток от расчетных данных	Измерение сопротивления обмоток постоянному току. Мост постоянного тока (п. 2.2.2)	Капитальный ремонт
5.Повышение значения тока и потерь холостого хода	Измерение тока и потерь холостого тока (п. 2.2.5)	Капитальный ремонт
6.Повышенное значение потерь и напряжения короткого замыкания	Измерение потерь и напряжения короткого замыкания (п. 2.2.6)	Капитальный ремонт
7.Замыкания и обрывы обмоток	Измерение. Мегаомметр. Мост постоянного тока (п. 2.2.2)	Капитальный ремонт
8.Низкая электрическая прочность главной изоляции	Испытание электрической прочности изоляции. Испытательная установка (п. 2.2.4)	Текущий, капитальный ремонт
9.Низкая электрическая прочность витковой изоляции	Испытание витковой изоляции. Испытательная установка (п. 2.2.4)	Текущий, капитальный ремонт
10.Низкая электрическая прочность трансформаторного масла	Испытание трансформаторного масла на пробой	Текущий, капитальный ремонт

Таблица 1.4 - Характерные неисправности деталей и узлов трансформатора

Неисправности	Способ обнаружения неисправностей, приборы и инструменты	Способ ремонта
1.Спекание пластин торцевых пакетов	Осмотр	Капитальный ремонт
2.Нарушение изоляции стяжных шпилек и ярмовых балок	Измерение изоляции стяжных шпилек и ярмовых балок, мегаомметр на 1000 в (п. 2.2.7)	Капитальный ремонт
3.Ослабление прессовки активной стали ярм	Проверка плотности прессовки (п. 2.2.8)	Стяжка ярм
4.Нарушение заземления активной стали	Осмотр	Установка заземляющей полоски

Обмотка		
5.Ослабление осевой прессовки, обрыв или ослабление бандажей в торцевых частях	Осмотр, проверка прессовки	Прессовка обмоток, замена бандажей
6.Видимые повреждения изоляции	Осмотр	Изолировка витков
7.Ослабление клиньев в масляных каналах	Осмотр, проверка клиньев	Замена клиньев
Переключающее устройство		
8.Неплотное прилегание подвижного и неподвижного контактов	Нажатие, проверка зазора, измерение переходного сопротивления	Замена устройства
9.Оплавление или выгорание контактных поверхностей	Осмотр	Замена устройства
Вводы и отводы		
10.Трещины, сколы и разрушение изоляторов	Осмотр	Замена изоляторов
11.Срыв резьбы стержня	Осмотр	Замена стержня
12.Разрушение прокладки между фланцем и крышкой	Осмотр	Замена прокладки
13.Нарушение изоляции отводов	Осмотр	Изолирование отводов
14.Обгорание отводов в местах их соединения	Осмотр	Замена отводов
Бак		
15.Нарушение прочности сварных швов	Осмотр. Течь масла	Заварка швов
16.Разрушение или потеря эластичности уплотняющей прокладки	Осмотр	Замена прокладки
17.Коррозия или отслаивание краски от поверхности	Осмотр	Окраска бака
18.Коробление, вмятины	Осмотр	Рихтовка

2. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРА

Состояние трансформатора оценивают по значениям его контролируемых параметров. Те из них, которые непосредственно определяют работоспособность, называются определяющими параметрами (сопротивление изоляции, потери холостого хода и короткого замыкания и т.п.). Параметры, от

которых работоспособность зависит косвенно, называются внешними (состояние окраски, уровень вибрации и т.п.).

Различают следующие способы определения неисправностей:
1) внешний осмотр; 2) испытания (исследование) с помощью контрольно-измерительной аппаратуры; 3) проверка работоспособности по внешний признакам. В ремонтной практике обычно используют первый и второй способы, а в процессе применения трансформаторов - первый и третий.

Сущность этих способов состоит в определении фактических значений контролируемых параметров и сравнении с требованиями, предъявляемыми к этим параметрам. В результате составляется заключение о состоянии трансформатора.

2.1. ВНЕШНИЙ ОСМОТР

Внешний осмотр заключается во всесторонней визуальной проверке и оценке состояния трансформатора в сборе и его деталей. Рекомендуемая последовательность осмотра: 1 - изучить устройство и рабочий процесс трансформатора; 2 - изучить требования к внешним параметрам исправного трансформатора по таблице 1.1 или 1.2; 3 - создать безопасные условия осмотра (отключить трансформатор или установить ограждение); 4 - проверить комплектность деталей и надежность их крепления; 5 - проверить состояние деталей и узлов, т.е. определить фактическое значения внешних параметров; 6 - сравнить полученные данные с требуемыми и сделать заключение о состоянии трансформатора или его деталей.

2.2. ИСПЫТАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРА

Испытание (исследование) с помощью контрольно-измерительной аппаратуры заключается во всестороннем исследовании состояния трансформатора (его деталей) при различных режимах работы. Они обеспечивают определение всех контролируемых параметров и позволяют сделать строгое обоснованное заключение о состоянии трансформатора.

Среди различных видов испытаний трансформаторов основными являются контрольные. Их выполняют в такой последовательности: 1) внешний осмотр в соответствии с п. 2.1; 2) испытание пробы масла; 3) измерение сопротивления изоляции обмоток; 4) измерение омического сопротивления обмоток; 5) проверка коэффициента трансформации; 6) проверка группы соединения обмоток; 7) испытание электрической прочности изоляции; 8) измерение потерь и тока холостого хода; 9) измерение напряжения и потерь короткого замыкания; 10) проверка бака на плотность.

Перед ремонтом состав испытаний может быть уменьшен или дополнен испытаниями деталей и узлов трансформатора. После ремонта испытания проводятся в полном указанном объеме.

2.2.1. Измерение сопротивления изоляции позволяет определить неисправности главной изоляции обмоток, переключателя напряжения и выводов.

Сопротивление изоляции измеряют мегаомметром на напряжение 1000... ...2500 В. Перед началом испытания следует убедиться в исправности мегаомметра и кратковременно (на 1-2 мин) заземлить обмотки. В двухобмоточном трансформаторе измеряют сопротивления изоляции по схемам (рисунок 1.1) между: 2 - обмотками ВН и корпусом ($R_{вн}$), *2* - обмотками НН и корпусом ($R_{нн}$), 3 - обмотками ВН и НН ($R_{вн-нн}$).

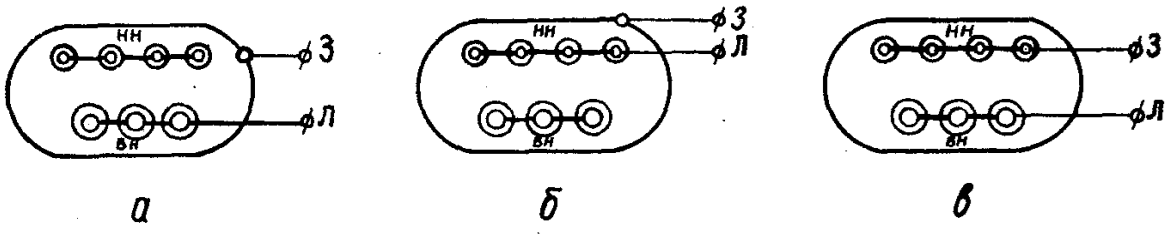


Рисунок 1.1 - Схема измерения сопротивления изоляции обмоток трансформатора между: *а* - обмотками ВН и корпусом; *б* - обмотками НН и корпусом; *в* - обмотками ВН и НН

Сопротивление изоляции (класс напряжения 6-10 кВ) в зависимости от температуры обмоток должно быть не меньше значений, приведенных в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Допустимые значения сопротивления изоляции при различной температуре

Температура обмоток, °С						
10	20	30	40	50	60	70
Допустимые значения сопротивления изоляции, МОм						
450	300	200	130	90	60	40

2.2.2. Измерение сопротивления обмоток постоянному току позволяет определить обрывы в обмотках, вводах и переключателе напряжения, а также некачественные соединения (пайки) между указанными элементами.

Сопротивление обмоток измеряют мостовым методом или методом амперметра-вольтметра. Величина тока при измерении не должна превышать 20 % номинального тока обмотки. Обычно измеряют сопротивление между линейными зажимами, а если доступна нулевая точка, то фазные сопротивления. В исправном трансформаторе сопротивления обмоток различных фаз одного напряжения должны отличаться друг от друга не более чем на 2 %. Если требуется сравнить абсолютные значения фактического и расчетного сопротивлений обмоток, то они приводятся к одинаковой температуре +75 °С:

$$R_{75} = R_t \frac{a}{b+t}$$

где R_t - сопротивление при температуре измерения (расчета), a = 310, b= 235 - для обмотки из меди; a = 320, b= 245 - для обмотки из алюминия.

2.2.3 Проверка коэффициента трансформации и группы соединения выполняется для трансформаторов, у которых при ремонте производится капитальный ремонт обмоток. Допускается отклонение измеренного коэффициента трансформации от расчетного не более ±1 %; для трансформаторов с фазным коэффициентом трансформации 3 и менее и не более ±0,5 % - для всех остальных трансформаторов.

2.2.4 Испытание электрической прочности изоляции позволяет определить ее запас электрической прочности или местные дефекты.

Испытание главной изоляции проводят повышенным напряжением номинальной частоты: 1 - между обмотками ВН и корпусом, 2 - между обмотками НН и корпусом, 3 -между обмотками ВН и НН. При испытании

напряжение подводят к точкам, указанным на рисунке 1.1, и плавно повышают от нуля до испытательного значения: 25 кВ при напряжении трансформатора 6 кВ и 35 кВ - при 10 кВ, выдерживают в течение 1 мин, затем плавно снижают. Трансформатор считается исправным, если за указанное время не произошло пробоя или перекрытия изоляции, снижения испытательного напряжения, выделения газов или дама.

Испытание продольной (витковой) изоляции производят повышенным напряжением по схеме опыта холостого хода. При испытании напряжение плавно повышают от нуля до $1{,}3U_н$ (50 Гц), выдерживают в течение 5 мин, а затем плавно снижают. Трансформатор считают исправным, если за указанное время не будет наблюдаться бросков тока, разрядов в баке и других явлений, свидетельствующих о нарушении изоляции.

2.2.5 Измерение потерь и тока холостого хода позволяет определить неисправности в обмотке и магнитопроводе трансформатора, а именно: несоответствие числа витков обмотки расчетному значению, не качественную штиховку, замыкание листов и старение стали магнитопровода, замыкание между витками одной из обмоток и т.п.

Потери и ток холостого хода измеряют следующим образом. На обмотку НН подают симметричное напряжение (50 Гц) при разомкнутой обмотке ВН и плавно поднимают от нуля до номинального. При этом напряжения измеряют мощность, потребляемую трансформатором, фазные токи.

В исправном трансформаторе среднее арифметическое значение фазного тока холостого тока не должно отличаться от заводских значений (таблица 1.2) более чем на +30 %, а потери холостого хода на +15 %.

2.2.6 Измерение напряжения и потерь короткого замыкания позволяет определить неисправности в обмотках трансформатора: обрыв одного из параллельных проводов, плохой контакт в соединении обмотки с переключающим устройством или вводом, заниженное сечение провода обмотки и т.п.

Чтобы измерить напряжение и потери короткого замыкания, вводы стороны НН замыкают накоротко (рисунок 1.2). На обмотку ВН подают

симметричное напряжение (50 Гц) и плавно поднимают до значения, при котором в обмотках устанавливается номинальный ток. Полученные при измерения потери и напряжение короткого замыкания сравнивают с допустимыми (таблица 1.2). В исправном трансформаторе отклонение полученных данных от заводских допускается не более чем на 10 %.

2.2.7 Измерение сопротивления изоляция стяжных шпилек и ярмовых балок позволяет определить неисправности их изоляции.

Сопротивление изоляции измеряют мегаомметром между ярмовыми балками и стяжными шпильками, а также менаду ярмовыми балками и магнитопроводом. В исправном трансформаторе сопротивление изоляции должно быть не ниже 2,0 МОм.

2.2.8 Проверка плотности прессовки магнитопровода позволяет определять степень стяжки ярма магнитопровода. Плотность прессовки считается удовлетворительной, если лезвие ножа не входит между пластинами от усилия руки. Кроме того, при постукивании по стали деревянным молотком пластины не должны издавать дребезжащий звук.

2.2.9 Определение паспортных данных трансформатора. Основные номинальные параметры поступившего в ремонт трансформатора восстанавливают в такой последовательности: 1) определяют значение высшего напряжения по величине изолирующих расстояний; 2) рассчитывают значение номинальных токов по площади сечения проводов обмоток и плотности тока; 3) рассчитывают номинальную мощность по формуле геометрического подобия; 4) округляют полученные значения до ближайших стандартных, указанных в таблице 1.1.

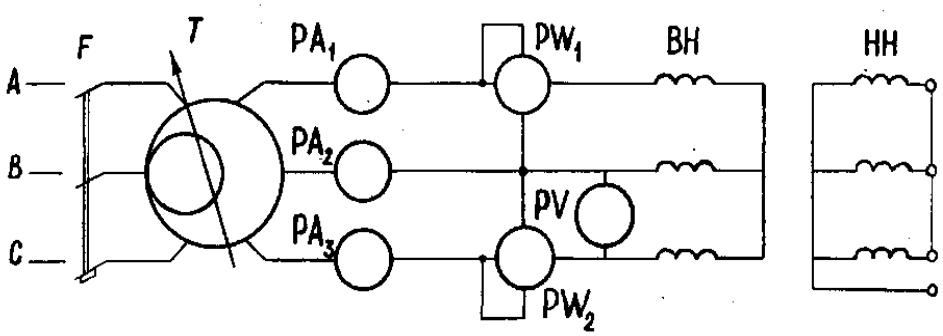
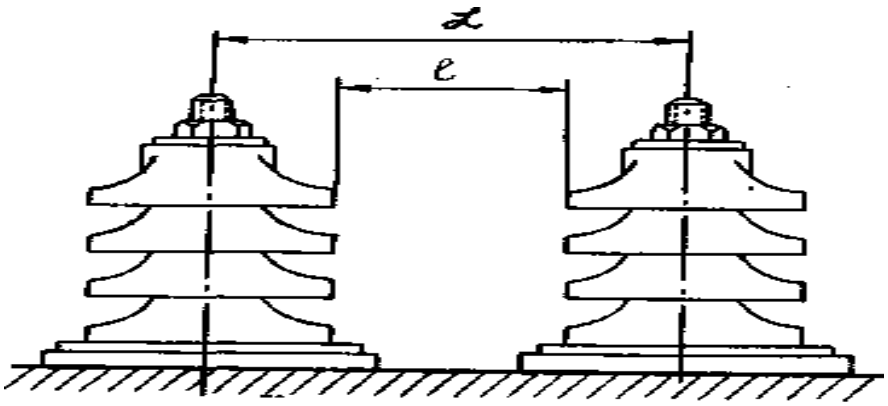
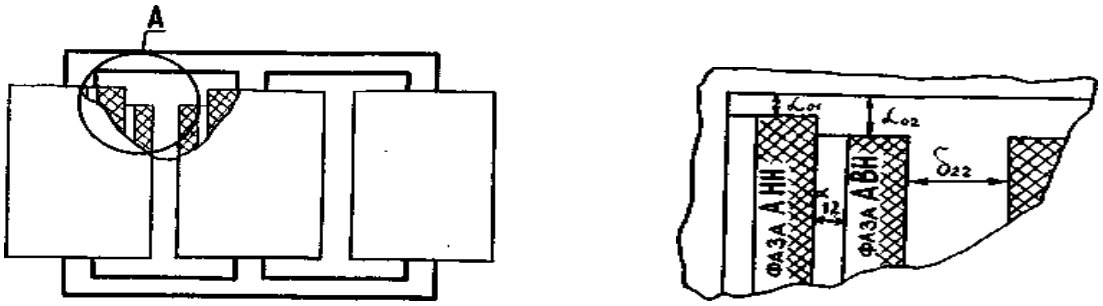


Рисунок 1.2 - Схема измерения напряжения и потерь короткого замыкания



Крышка бака

а)



б)

Рисунок 1.3 - Изолирующие расстояния в трансформаторе: а - в воздухе; б - в масле

Изолирующие расстояния в трансформаторе строго зависят от класса напряжения. На изучаемом трансформаторе эти расстояния определяют в соответствии с рисунком 1.3, а затем с помощью таблиц 1.6 и 1.7 устанавливают номинальное высшее напряжение трансформатора.

Таблица 1.6 - Изолирующие расстояния в воздухе, мм

L	*L*	Класс напряжения, кВ
80	27	6
110	35	10
300	100	35

Таблица 1.7 - Изолирующие расстояния в масле, мм

α_{01}	α_{02}	α_{12}	α_{22}	Класс напряжения, кВ
20	20	8,5	10	6
30	30	12	14	10
60	60	27	30	35

Для определения номинальных токов определяют площадь сечений проводов обмоток и выполняют расчет:

$$I = q * j, \qquad A$$

где q- сечение провода обмотки, мм^2; j-допустимая плотность тока j = 3,0...4,5 А/мм^2 - из медного провода, j = 1,7...2,5 А/ мм^2 - из алюминиевого провода.

Для определения номинальной мощности измеряют диаметр стержня магнитопровода и рассчитывают интервал возможных значений мощности:

$$S_{мин} = 3*\left(\frac{D_{ст}}{5{,}5}\right)^4, \ кВ\,А\ ; \ S_{макс} = 3*\left(\frac{D_{ст}}{4{,}5}\right)^4, \ кВ\ А$$

где $D_{ст}$- диаметр стержня магнитопровода, см.

По таблице 1.1 принимают ближайшие стандартные значения номинальной мощности.

Таким образом, по результатам внешнего осмотра и испытаний (исследований) с помощью контрольно-измерительной аппаратуры выявляют вид ремонта. Предусмотрено несколько видов ремонта трансформаторов: текущий, средний и капитальный. Ремонт, связанный с вскрытием и разборкой, является капитальным.

Капитальные ремонты трансформаторов I - II габаритов, как правило, производят в специализированных ремонтных предприятиях. Он может быть без замены обмоток, с заменой обмоток, частичным или полным ремонтом магнитопровода.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Получить допуск к работе. Для этого необходимо оформить рабочую тетрадь (указать цель и порядок выполнения работы, а также схемы и таблицы).

3.2. Определить состояние трансформатора

3.2.1. Записать паспортные данные и выполнить внешний осмотр. Результаты записать в форме таблицы 1.3. По фактическим и нормативным данным, изложенным в п. 1.1, сделать заключение о состоянии бака, расширителя и вводов.

3.2.2. Испытать трансформатор (в неполном объеме). Для этого измерить сопротивление, коэффициент абсорбции изоляции. Схемы и результаты измерений показать в отчете в форме рисунка 1.1. По фактическим и нормативным данным, изложенным в таблице 1.2, сделать заключение о состоянии трансформатора в целом.

3.3. Определить неисправности деталей и узлов трансформатора

3.3.1. Получить детали и узлы трансформатора. Выполнить внешний осмотр магнитопровода, обмоток и переключающего устройства. Результаты записать в форме таблицы 1.4. По фактическим и нормативным данным, изложенным в п. 1.1, сделать заключение об их состоянии.

3.4. Определить основные номинальные параметры трансформатора по его геометрическим размерам в соответствии с п. 2.2.9. Величины доступных промежутков показать в отчете в форме рисунка 1.3 и таблиц 1.6 и 1.7.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

1. Краткие сведения об устройстве трансформатора.
2. Требования к исправному трансформатору.
3. Требования к исправным деталям и узлам трансформатора.
4. Характерные неисправности трансформатора.
5. Характерные неисправности деталей и узлов трансформатора.
6. Методика определения неисправностей трансформатора.
7. Определение неисправностей трансформатора внешним осмотром.
8. Определение неисправностей трансформатора испытанием (исследованием).
9. Испытание электрической прочности изоляции.
10. Измерение потерь и тока холостого хода.
11. Измерение напряжения и потерь короткого замыкания.
12. Как определяют номинальные параметры трансформатора при отсутствии его паспортных данных?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ОБМОТКАХ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: изучить способы и приобрести навыки определения неисправностей в обмотках машин постоянного тока.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Машины постоянного тока служат для преобразования электрической энергии в механическую (двигатели) или преобразования механической энергии в электрическую (генераторы).

В сельском хозяйстве машины постоянного тока составляют основу электрооборудования тракторов, автомобилей, комбайнов и другой сельскохозяйственной техники.

Машина постоянного тока состоит из статора, якоря, щеточного аппарата и подшипниковых щитов.

Статор состоит из станины, главных и добавочных полюсов. Станина служит для крепления полюсов и подшипниковых щитов. Она также является частью магнитной цепи и изготавливается из специальной стали. Главные полюса набирают из пластин электротехнической стали. На них размещаются обмотки возбуждения машины. Для уменьшения искрения под щетками машины имеют добавочные полюса. Катушки добавочных полюсов включаются последовательно с обмоткой якоря.

Якорь состоит из вала, сердечника, обмотки и коллектора. Сердечник собран из листов электротехнической стали определенной формы и насажен на вал якоря. Обмотка якоря выполняется из медных проводов круглого или прямоугольного сечения и состоит из заранее заготовленных секций, концы которых припаивают к катушкам пластин коллектора.

Обмотку делают двухслойной: в каждом пазу размещают две стороны различных секций - одну поверх другой. Коллектор представляет собой

цилиндрическое тело, набранное из медных пластин, изолированных друг от друга прокладками из миканита. Коллекторные пластины крепят при помощи изолированных металлических нажимных конусов.

Щеточный аппарат состоит из траверсы, щеткодержателей и щеток. Он крепится к подшипниковому щиту. Обмотка якоря - важнейший элемент машины. Она представляет собой систему изолированных проводников, строго определенным образом расположенных в пазах якоря и присоединенных к коллекторным пластинам.

Виток - часть обмотки, состоящая из двух проводников, расположенных в пазах на расстоянии первого частичного шага обмотки.

Секция - наименьшая часть обмотки, присоединенная своими концами к коллекторным пластинам.

Наибольшее распространение имеют одноходовые петлевые и волновые обмотки, которые характеризуются первым частичным ($У_1$), вторым частичным ($У_2$), результирующим шагом (У) и коллекторным делением ($У_К$) (рисунок 2.1); количеством пазов Z, коллекторных пластин К и полюсов 2 р. Эти параметры рассчитывают по следующим уравнениям:

$$y_1 = \frac{z}{2p} \tag{2.1}$$

$$y_2 = y - y_1 \tag{2.2}$$

$y = y_к = \pm 1$ - для петлевой обмотки (2.3)

$y = y_к = \frac{K \pm 1}{p}$ - для волновой обмотки (2.4)

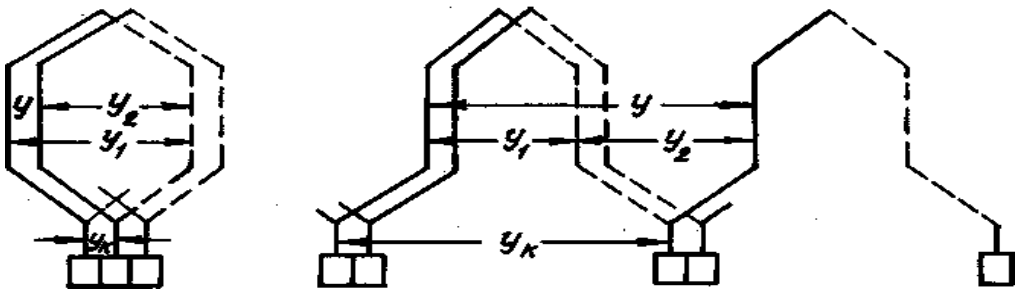
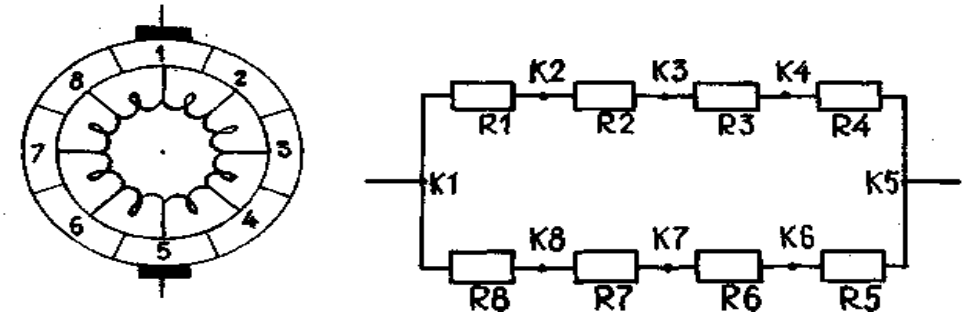


Рисунок 2.1 - Схемы секций обмоток машины постоянного тока: а - петлевая, б – волновая

Обмотки изображаются в виде торцевой (рисунок 2.2, а) или упрощенной (рисунок 2.2, б) схемы. В последнем случае каждую секцию обозначают произвольным условным элементом и при построении основное внимание уделяют наглядному изображению связи между секциями и параллельных ветвей обмоток. Такие схемы удобны для изучения способов определения неисправностей обмоток.



а) б)

Рисунок 2.2 - Схема петлевой обмотки: а - торцевая, б - упрощенная

Внешними признаками исправной обмотки служат правильная форма и плотное крепление ее лобовых частей, плотное расположение пазовых клиньев, отсутствие повреждения изоляционного покрытия лобовых частей обмотки видимых обрывов, замыканий проводников между собой на магнитопровод, нарушения состояний секций обмотки с коллекторными пластинами и т.п.

Определяющими параметрами являются величина сопротивления изоляции обмотки и значения сопротивлений проводов секций.

2. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ОБМОТКАХ ЯКОРЕЙ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Различают следующие способы определения неисправностей обмотки якоря: 1 - внешний осмотр; 2 - испытания (исследование) с помощью контрольно-измерительной аппаратуры. Сущность этих способов состоит в том, что определяются фактические значения контролируемых параметров обмотки якоря и сравниваются с требованиями, предъявляемыми к этим параметрам. В результате составляется заключение о состоянии обмотки.

2.1. ВНЕШНИЙ ОСМОТР

Внешний осмотр заключается во всесторонней визуальной проверке и оценке состояния обмотки якоря. Рекомендуемая последовательность осмотра: 1 - определить тип обмотки и основные ее обмоточные данные; 2 - изучить требования к внешним параметрам исправной обмотки по п. 1; 3 - определить фактическое значение внешних параметров; 4 - сравнить полученные данные с требуемыми и сделать заключение о состоянии обмотки якоря по внешнему осмотру.

Тип обмотки якоря можно установить по направлению выхода начал и концов секций со стороны коллектора. В петлевой обмотке начало, и конец каждой секции направлены внутрь секции, т.к. они присоединяются к двум смежным коллекторным пластинам в ее центре, а в волновой обмотке начало, и конец каждой секции расходятся в разные стороны, т.к. они присоединяются к коллекторным пластинам, находящимся друг от друга на расстоянии 2τ.

$$2p = \frac{z}{y_1} \tag{2.5}$$

где Z - число пазов якоря; y_1 - шаг секции, выраженный числом пазов. Остальные обмоточные данные определяют по уравнениям 2.1 - 2.4.

Таблица 2.1 - Характерные неисправности обмотки якоря

Неисправность	Способ обнаружения неисправностей, приборы и инструменты	Способ ремонта
1. Сгорание, обугливание изоляции	Осмотр	Капитальный ремонт
2. Повреждение изоляционного покрытия лобовых частей обмотки	Осмотр	Нанесение лака на поврежденные участки
3. Ослабление пазовых клиньев в пазах	Осмотр	Замена клиньев
4. Нарушение соединений проводников с коллекторными пластинами	Осмотр. Способ падения напряжения (п. 2.2)	Пайка проводников к коллекторным пластинам
5. Замыкание проводников секций между собой	Способы падения напряжения или индукционный (п. 2.2)	Капитальный ремонт
6. Замыкание проводников секций на магнитопровод или обрывы секций	Способы падения напряжения или индукционный (п. 2.2)	Капитальный ремонт

2.2. ИСПЫТАНИЕ ОБМОТКИ ЯКОРЯ

Контролируемые параметры обмотки якоря определяют способом падения напряжения и индукционным способом.

Метод определения неисправностей по падению напряжения заключается в том, что по обмотке пропускают ток, измеряют падение напряжения на каждой секции, сравнивают результаты между собой расчетным падением напряжения, определяют характер и место неисправности.

В исправной обмотке все секции имеют одинаковое омическое сопротивление, а сама обмотка образует замкнутый контур. При подключении диаметральных точек k_1 k_5 такой обмотки к источнику в ней образуется две симметричные параллельные ветви, в которых устанавливаются одинаковые токи. Поэтому падения напряжения на всех секциях будут одинаковы и равны расчетному падению напряжения:

$$U_i = I_n R_i = \Delta U_p = \frac{2U}{\kappa} = const \qquad (2.6)$$

где U- напряжение источника; k- число секций; R_i - сопротивление i-той секции.

В неисправной обмотке отсутствует симметрия параллельных ветвей и падение напряжения на секциях не одинаково. Наибольшее отклонение от расчетного падения напряжения наблюдается в неисправной секции.

Напряжение источника принимают такой величины, при которой ток обмотки не превышает 10 % от номинального значения. Питание подводят в петлевых обмотках к любым диаметрально противоположным пластинам коллектора, в волновых - к любым пластинам, расположенным на расстоянии половины коллекторного шага или одного полюсного деления. Падения напряжения измеряют милливольтметром на смежных коллекторных пластинах (рисунок 2.3, б). В петлевой обмотке это будет соответствовать падению напряжения в одной секции, а в волновой - в p-последовательных секциях.

При определении неисправностей главной изоляции, т.е. изоляции между обмоткой (коллектором) и магнитопроводом (валом) якоря поочередно

измеряют падение напряжения между каждой коллекторной пластиной и магнитопроводом (валом) (рисунок 2.3, а).

Для нахождения межвитковых замыканий в секции путем определения падения напряжения в данной лабораторной работе используется прибор «Нептун-2» совместно с милливольтметром. Методика настройки приборов, и исследования в целом, описана в пункте 3: «Порядок выполнения работы».

Обработка результатов измерений позволяет установить характер и место неисправности.

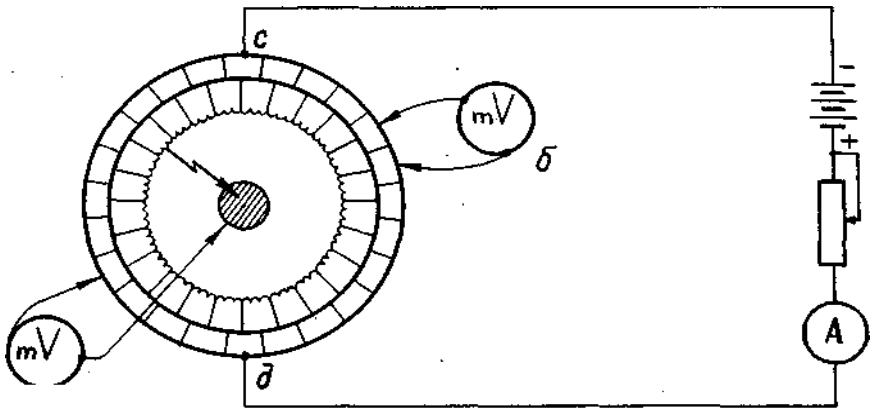
В ряде случаев для определения места неисправности необходимо измерять падения напряжения дважды - при разных положениях на коллекторе точек подвода напряжения. Например, при замыкании только одной секции R2 на магнитопровод в результатах измерения наименьшее падение напряжения будет на двух пластинах, симметрично расположенных относительно точек питания. Одно из них выявляет истинное замыкание, а второе - ложную точку замыкания. По результатам одного опыта их различить нельзя. Поэтому надо сместить на произвольное число коллекторных пластин точки питания и повторить опыт. В точке истинного замыкания вновь будет наименьшее напряжение, а ложная точка переместится на другую пластину. Это и даст возможность выявить действительное место замыкания.

Аналогичный прием необходим при определении двух обрывов в петлевой обмотке и при других сложных неисправностях.

Межвитковые замыкания в секции определяют также индукционным способом. Суть его в том, что в секциях испытываемого якоря с помощью специального электромагнита наводят э.д.с., контролируют прохождение в них тока и по нему определяют месторасположение виткового замыкания.

Сущность способа поясняет рисунок 2.4. На полюсные наконечники электромагнита П-образной формы 1 устанавливают испытываемый якорь 2, а обмотку электромагнита присоединяют к источнику переменного тока. Магнитный поток Φ_1, создаваемый электромагнитом, охватывает исследуемую секцию и индуктирует в ней э.д.с. При отсутствии замкнутых витков ток в

исследуемой секции будет равен нулю, тогда как при витковом замыкании в контуре замкнутых витков появляется переменный ток. Тонкая стальная пластинка 3, наложенная на два зубца, между которыми расположена вторая активная сторона поврежденной секции на расстоянии первого частичного шага, будет притягиваться и вибрировать под воздействием переменного тока $Ф_2$ созданного током короткозамкнутых витков.



а

Рисунок 2.3 - Схема определения неисправностей изоляции: а - главной, б – витковой

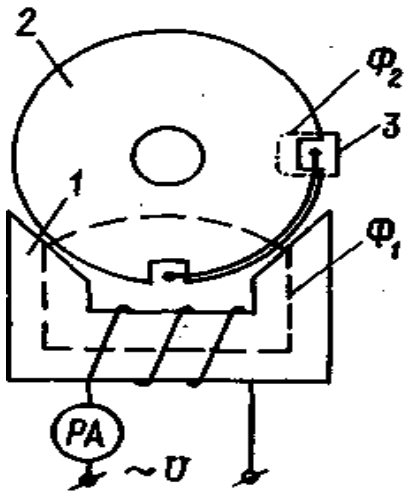


Рисунок 2.4 - Схема определения неисправностей индукционным способом

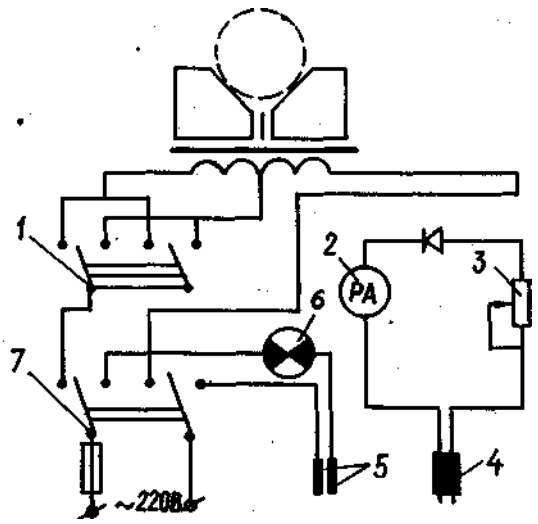


Рисунок 2.5 - Схема прибора ППЯ

В ремонтной практике индукционный способ определения неисправностей реализован в приборе проверки якоря (ППЯ), принципиальная схема которого приведена на рисунке 2.5.

Прибор ППЯ смонтирован в металлическом корпусе. Над верхней частью корпуса выступает сердечник электромагнита в виде двух призм, на который укладывается испытуемый якорь. На панели расположены переключатель режимов 1, переключатель типа проверки 7, контрольная лампа 6 и миллиамперметр 2. На боковой стенке установлены реостат 3 и провод со щупом 5 для контроля изоляции. Через другую боковую стенку выведен провод со щупом 4 для контроля коллектора. Питание прибор получает от сети переменного тока напряжением 220 В.

Для определения замкнутых витков в секциях обмотки испытываемый якорь укладывают на призмы электромагнита. Переключатель режимов 1 устанавливают в положение "Якорь генератора", а переключатель типа проверки 7 - в положение "Контроль коллектора". Стальную пластину накладывают вдоль паза на расстоянии y_1 от нижнего паза на два зубца испытываемого якоря. Вибрация стальной пластины указывает на наличие замкнутых витков в секции. Такой проверке подвергают каждую секцию испытываемого якоря, проворачивая его на призме электромагнита.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Получить допуск к работе. Для чего необходимо оформить рабочую тетрадь (записать цель и порядок выполнения работы, а также привести таблицы 2.2, 2.3 и 2.4).

3.2. Определить тип обмотки и привести расчет основных ее параметров. Выполнить внешний осмотр в соответствии с п. 2.1. Результаты записать в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 - Характерные неисправности обмотки якоря

Номер якоря	Тип обмотки	z	k	2p	y_1	y_2	y_k	Заключение

3.2.1. Порядок включения в схему прибора «Нептун-2».

а) Подключить сетевую вилку к розетке 220 В 50 Гц.

б) Включить тумблер питания устройства. После прохождения начальных тестов устройство должно выйти в режим тестера канала напряжения. На индикаторе будет отображен режим канала, соответствующий положению переключателя (переменное или постоянное напряжение), а также текущие значения напряжения и тока.

в) Выставить необходимый диапазон постоянного напряжения:

- «=0÷70 В» или «=0÷320 В». Выбор предела осуществляется переключателем «Диапазон выходного напряжения». При работе на пределе «=70 В» переключатель режима работы канала тока должен стоять в положении «25 А», в противном случае максимальное выходное напряжение окажется в 2 или 4 раза меньше.

г) Подключаем клеммы соединительных проводов, идущих на пазы якоря к разъемам: «Выход напряжения».

д) Включаем тумблер «Нагрузка», тем самым подаем напряжение на разъемы «Выход напряжения». После этого схема считается «под напряжением».

е) Плавная регулировка выходного значения напряжения осуществляется ручкой автотрансформатора «Регулировка тока и напряжения». При этом следует перед включением нагрузки устанавливать минимальное значение выходных тока и напряжения (крайнее левое положение), а после включения – плавно увеличивать выходные параметры вращением ручки по часовой стрелке.

В положении переключателя «25 А» максимальное напряжение на нагрузке составит около 50 В.

ж) Поднимаем значение напряжения до величины ____, отслеживая ее на дисплее прибора.

3.2.2. Измерить падения напряжения между смежными коллекторными пластинами (рисунок 2.3, б). Результаты записать в форме таблицы 2.3 и сделать заключение о характере и местах повреждения каждой обмотки.

Таблица 2.3 - Результаты испытания витковой изоляции

Номер якоря и тип обмотки	Точки питания на коллекторе	Падения напряжения в секциях, В						Заключение
		1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	и т.д.	

3.2.3. Измерить падения напряжения между каждой коллекторной пластиной и магнитопроводом для двух схем подвода напряжения (рисунок 2.3, а). Результаты записать в таблицу 2.4 и сделать заключение о характере и местах повреждения каждой обмотки.

Таблица 2.4 - Результаты испытания главной изоляции

Якорь № _____ Тип обмотки _____

Питание через коллекторные пластины №_____	Номер коллекторной пластины	1	2	3	4	5	6	7	и т.д.
	мВ								

Заключение _____

3.2.4. Испытать витковую изоляцию индуктированным напряжением на приборе ППЯ в соответствии с п. 2.2. Определить места витковых замыканий каждой обмотки и сравнить с результатами п. 3.2.2.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие основные требования предъявляются к исправной обмотке якоря?

2. Укажите характерные неисправности обмотки якоря.

3. Методика определения неисправностей в обмотке якоря.

4. Сущность способа падения напряжения.

5. Сущность индукционного способа определения неисправностей.

6. По результатам измерений обосновать место неисправности в испытываемой обмотке якоря.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3
ПОСЛЕРЕМОНТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ АСИНХРОННОГОДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Цель работы: приобрести навыки послеремонтных испытаний асинхронного двигателя.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Важным условием для обеспечения высокого качества капитального ремонта двигателей является правильное проведение обязательных испытаний, которые могут быть разделены на три группы: предремонтные, операционные и послеремонтные (контрольные и типовые) испытания.

Предремонтные испытания проводят с целью определить, какие узлы и детали двигателя являются исправными, в каком объеме они подлежат ремонту, а в отдельных случаях - выявить исправные двигатели, которые поступили в ремонт по ошибке.

Предремонтные испытания включают измерения геометрических размеров узлов и деталей, механических взносов и отклонений (эксцентриситет, биение, конусность и т.д.), а также в необходимых случаях электрические испытания (измерение сопротивления изоляции, проверку электрической прочности изоляции, измерение сопротивления обмоток при постоянном токе) и проверку состояния сердечника статора (определение потерь в стали).

Операционные испытания служат для того, чтобы на различных стадиях ремонта определить качество работ, выявить неисправности и своевременно устранить их.

В объем операционных испытаний при капитальном ремонте входит испытание электрической прочности изоляции обмоток до и после укладки в пазы, а также после пайки и изолировки соединений. После пайки соединений производят проверку правильности схемы. После пропитки и сушки проверяют

также значения сопротивлений изоляции всей обмотки относительно корпуса и между фазами обмотки.

Послеремонтные контрольные испытания проводят для всех электрических машин, отремонтированных без изменения мощности или частоты вращения (машины, у которых при ремонте сохранены электрические и магнитные нагрузки). Типовым испытаниям должны подвергаться машины, поступившие в ремонт без заводских щитков и выпущенные из ремонта с изменением мощности и частоты вращения.

В объем послеремонтных испытаний асинхронных двигателей после капитального ремонта входят:

измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса двигателя и между обмотками (фазами);

измерение сопротивлений обмоток при постоянном токе;

обкатка двигателей на холостом ходу;

определение тока и потерь холостого хода;

определение тока и потерь короткого замыкания;

испытание межвитковой изоляции обмоток на электрическую прочность;

испытание изоляции обмоток относительно корпуса двигателя и между обмотками (фазами) на электрическую прочность.

В объем типовых испытаний асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором после капитального ремонта входят, кроме указанных выше послеремонтных испытаний, испытания на нагрев, на кратковременную нагрузку по току и испытание при повышенной частоте вращения (только при замене обмотки ротора).

Последовательность проведения испытания, указанная выше, не является обязательной. Однако в требованиях стандартов указывается, что испытанию изоляции обмоток на электрическую прочность относительно корпуса машины, между обмотками и между витками должны предшествовать измерение сопротивления изоляции, определение тока и потерь короткого замыкания, а при типовых испытаниях - также испытание кратковременной перегрузкой по

току. При типовых испытаниях, кроме того, испытания при повышенной частоте вращения должны проводиться непосредственно после испытания на нагревание.

2. МЕТОДИКА ПОСЛЕРЕМОНТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

2.1. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Состояние изоляции обмоток двигателя проверяют мегаомметром. До начала измерений следует убедиться в его исправности. Для этого прибор устанавливают в горизонтальное положение, замыкают зажимы мегаомметра и вращают его ручку. У исправного прибора стрелка должна устанавливаться на нуль. Затем размыкают зажимы и продолжают вращать ручку мегаомметра. Если стрелка устанавливается на отметку 'бесконечность'; то это подтверждает исправность мегаомметра.

Для измерения сопротивления изоляции обмотки один зажим мегаомметра присоединяют к выводу обмотки фазы, а второй - к станине двигателя (в не закрашенном месте). Переключатель пределов измерения устанавливают на предел «МОм».

Измерение следует производить отдельно для каждой фазы относительно станины и между обмотками разных фаз.

Сопротивление изоляции обмоток относительно корпуса двигателя и между обмотками (фазами) должно быть при рабочей температуре изоляции (70 °С) не менее значения, получаемого по формуле

$$R_{из} = \frac{U}{1000 + 0{,}01P} \qquad (3.1)$$

где U - номинальное линейное напряжение машины, В; P - номинальная мощность машины, кВт.

Для двигателей с номинальным напряжением 380 В сопротивление изоляции обмоток должно быть не менее 0,5 МОм.

Если сопротивление изоляции измерено при температуре обмоток, ниже рабочей, то ее приводят к ней по формуле

$$R_{из} = \frac{20 * C * R_{изi}}{t_p - t_i} \quad при \ t_i \le 70° \tag{3.2}$$

где $R_{из}$ - сопротивление изоляции, приведенное к рабочей температуре, $R_{ИЗ\ I}$- сопротивление изоляции, полученное при измерении; t_i - температура обмоток (окружающей среды) при измерении; C - постоянная, зависящая от класса изоляции. Для машины до 1000 В принимают С = 0,5.

2.2. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТОК ПРИ ПОСТОЯННОМ ТОКЕ

Такое измерение преследует проверку целости проводов, надежности и соответствия параметров обмотки требованиям технических условий

Сопротивления обмоток при постоянном токе измеряют по методу амперметра-вольтметра или электрическими мостами; в данной лабораторной работе - по методу амперметра-вольтметра (рисунок 3.1).

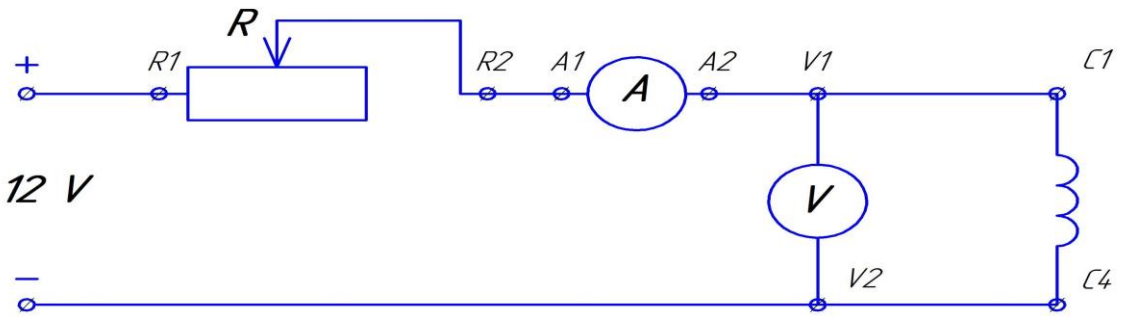


Рисунок 3.1 - Схема измерения сопротивления обмоток при постоянном токе

Сопротивления измеряют при практически холодном состоянии обмоток (температура обмоток не должна отличаться от температуры окружающей среды более чем на 3 °С).

Сопротивление обмоток измеряют при неподвижном роторе. Если у двигателя начала и концы трех фаз выведены на клеммную панель, то измеряют сопротивления каждой фазы.

Величина постоянного тока, протекающего по обмотке, не должна превышать 20 % номинального тока машины. По измеренным значениям тока и

напряжения сопротивление фазы обмотки определяют по следующему выражению:

$$R = \frac{U}{I - \frac{U}{R_{ВН}}} \qquad (3.3)$$

где U - измеренное напряжение, В; I - ток, проходящий через обмотку, А; $R_{вн}$- внутреннее сопротивление вольтметра, Ом.

Когда внутреннее сопротивление вольтметра превосходит измеряемое сопротивление более чем в 100 раз, можно с достаточной точностью принять, что R= U/I.

Допустимое отклонение сопротивления фазы обмотки от расчетной не более ± 2 %, а допустимая величина расхождения сопротивления отдельных фаз - не более 2 % среднего значения сопротивления фаз.

Отклонение фактического сопротивления от требуемого (расчетного) может быть вызвано ошибкой в выборе числа витков катушки или диаметра провода. Разные значения сопротивлений отдельных фаз могут быть следствием многих причин - ошибок в схеме соединения катушек и катушечных групп, витковых замыканий и плохого качества паек.

2.3. ОБКАТКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Цель - проверить работу подшипников двигателя. Проводят ее перед опытом холостого хода. При обкатке двигатель должен проработать без нагрузки в течение времени, указанного ниже.

Мощность двигателя, кВт	до 1 кВт	от 1 до 10	от 10 до 100
Продолжительность обкатки, мин.	5	15	30

Установившаяся температура подшипников качения не должна превышать 70 °С.

Если при обкатке двигателя выявляются шумы, стуки, недопустимое повышение температуры подшипников, сильная вибрация или другие

неисправности, то двигатель останавливают для выявления и устранения дефектов.

2.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА И ПОТЕРЬ ХОЛОСТОГО ХОДА

Ток и потери холостого хода определяют с целью проверки качества ремонта двигателя и неисправности его отдельных частей - обмотки, активной стали, подшипников.

Опыт холостого хода проводят по схеме, показанной на рисунке 3.2, При этом измеряют ток статора в каждой из трех фаз, потребляем двигателем мощность при одном номинальном значении напряжения.

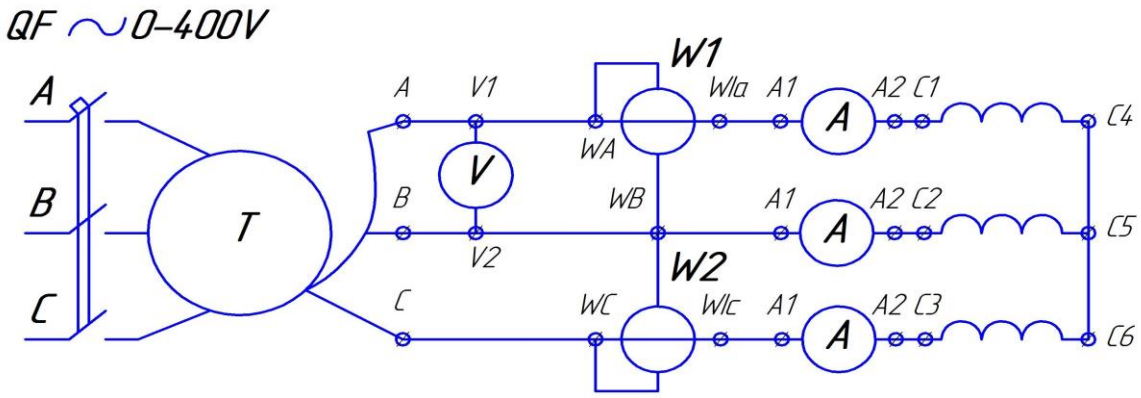


Рисунок 3.2 - Схема опыта холостого хода и короткого замыкания

Отклонение токов холостого хода по фазам должно быть не более 5 %; большие отклонения указывают, как правило, на несоответствие числа витков по фазам или на ошибки допущенные при соединении обмоток после их ремонта. Равномерно увеличенный во всех фазах ток указывает на больший, чем нужно, воздушный зазор между статором и ротором, или на уменьшенное число витков обмотки статора, или на замыкание листов стали статора между собой.

За действительное значение тока холостого хода принимают среднее арифметическое тока из трех фаз. Для конкретного, двигателя это значение сравнивают с его нормативным значением. В зависимости от мощности и частоты вращения двигателя ток холостого хода может быть в пределах от 30 до 60 % номинального тока двигателя (с увеличением мощности двигателя ток

холостого хода уменьшается, а с уменьшением частоты вращения - увеличивается).

Мощность, потребляемая двигателем на холостом ходу (потери холостого хода), затрачивается на покрытие потерь в двигателе, которые в основном состоят из потерь в стали (на гистерезис и вихревые токи), механических и добавочных потерь в машине (потери в подшипниках, потери на трение о воздух). Измеренные по ваттметру потери холостого хода должны быть меньше нормативных потерь для данного двигателя. Увеличение потерь имеет место из-за механических повреждений или неисправности магнитной системы двигателя.

2.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА И ПОТЕРЬ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Токи и потери короткого замыкания двигателя определяют (рисунок 3.2) с целью проверки состояния соединений обмотки (катушечных групп и вводов), а также качества заливки короткозамкнутого ротора.

Опыт короткого замыкания проводится при таком пониженном напряжении, при котором в обмотке статора устанавливается номинальный ток двигателя. Это напряжение называют напряжением короткого замыкания. При опыте измеряют подводимое напряжение, ток статора и потребляемую двигателем мощность.

Полученные при измерении потери короткого замыкания сравнивают с нормативными данными. Повышенные потери указывают на плохую пайку соединений обмотки статора.

Во время проведения опыта короткого замыкания проверяют также исправность обмотки короткозамкнутого ротора. В роторах с литыми алюминиевыми обмотками могут быть такие дефекты - пузыри, трещины, обрывы стержней, которые трудно обнаружить при наружном осмотре. Проверка заключается в том, что при включении обмотки статора на трехфазное напряжение, пониженное настолько, что ротор еще не вращается, а

ток настолько мал, что не вызывает заметного перегрева обмоток, ротор медленно проворачивают вручную и следят за показаниями трех амперметров, включенных в фазы статора.

Если обмотка ротора исправна, то его проворачивание не вызывает изменение показания амперметров; при неисправном роторе стрелки амперметров поочередно колеблются.

По данным опыта короткого замыкания определяют также коэффициент мощности и вращающий момент при коротком замыкании, потери в обмотке ротора, статора и другие характеристики режима короткого замыкания.

2.6. ИСПЫТАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ

Испытание проводят с целью выявления в машине ослабленных мест в главной и витковой изоляции.

Испытание витковой изоляции проводят путем повышения напряжения на зажимах машины при холостом ходе на 30 % выше номинального и выдержки в течение 3 минут (рисунок 3.3).

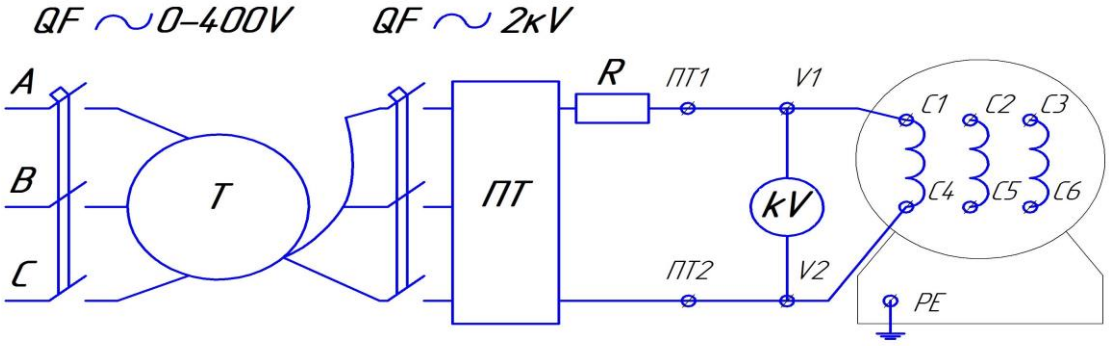


Рисунок 3.3 - Схема испытания витковой изоляции обмоток двигателя

Двигатель считается выдержавшим испытание, если в течении указанного времени не произошло увеличение тока в одной из фаз, появления небольшого гудения, местного нагрева и дыма.

Электрическую прочность главной изоляции обмоток испытывают (рисунок 3.4) поочередным подключением каждой фазы (относительно корпуса) машины к испытательной установке. При этом один полюс источника

испытательного напряжения присоединяют к выводу испытуемой фазы, а другой - к заземленному корпусу машины, с которым на время испытаний присоединяют две другие, не участвующих в испытаниях обмотки.

Дня испытания электрической прочности изоляции между обмотками испытательное напряжение подводят поочередно к двум фазам двигателя.

Величину испытательного напряжения для двигателей до 100 кВт напряжением выше 100 В принимают равным:

$$U_{исп} = 2U_{н} + 1000 \text{ В}$$

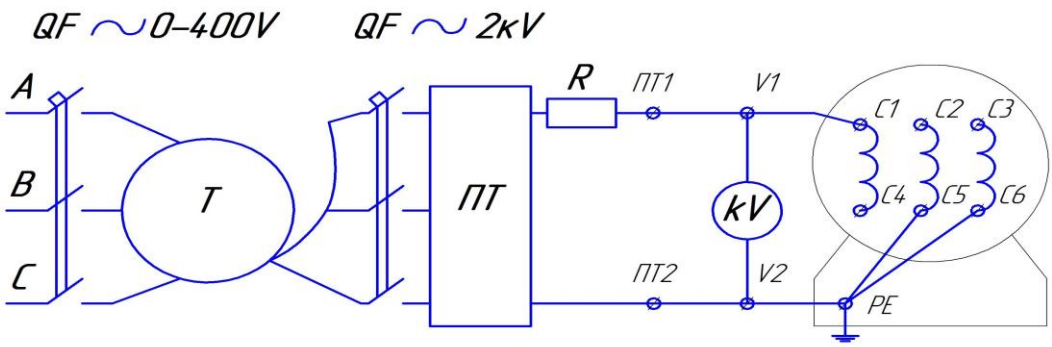


Рисунок 3.4 - Схема испытания главной изоляции обмоток двигателя

Испытательное напряжение не должно прикладываться мгновенно, т.к. при этом может быть пробита исправная изоляция. Начальное напряжение не должно превышать 1/3 испытательного. Напряжение до полного значения испытательного напряжения увеличивают постепенно или ступенями, не превышающими 5 % полного значения. При этом время, допускаемое для подъема испытательного напряжения от половинного до полного значения, должно быть не менее 1 минуты, после чего плавно снижают до 1/3 значения и отключают.

Мощность испытательного трансформатора должна быть не менее 1кВА на 1000 В испытательного напряжения.

Двигатель считается выдержавшим испытание, если во время испытания не произошло пробоя изоляции или ее перекрытия, искрения, дыма и по приборам не наблюдалось резких толчков тока и напряжения, свидетельствующих о частичном повреждении изоляции.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Получить допуск к работе. Дня этого необходимо оформить рабочую тетрадь (записать цель, порядок выполнения работы, а также привести таблицы 3.1, 3.2, 3.3, 3.4).

3.2. Измерить сопротивление изоляции обмоток статора относительно корпуса и между фазами по п. 2.1. Данные записать в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 - Результаты измерения сопротивления изоляции

Сопротивление	Результаты, МОм					
	$R_{из.А}$	$R_{из.В}$	$R_{из.С}$	$R_{из.АВ}$	$R_{из.АС}$	$R_{из.ВС}$
При температуре окружающей среды						
Приведенное к рабочей температуре						
Допустимая величина						

Заключение (об уровне изоляции, о замыкании и т.д.)_____

3.3. Измерить сопротивление обмоток при постоянном токе (п. 2.2, рисунок 3.1). Данные записать в таблицу 3.2. По фактическим и нормативным данным сделать заключение о состоянии обмоток.

Таблица 3.2 - Результаты измерения сопротивления обмоток

Номер фазы	U, В	I, А	$R_ф$, Ом	$R_{ср}$, Ом	$\frac{R_ф - R_{ср}}{R_{ср}} * 100$	Допустимое отклонение $R_ф$ от $R_{ср}$,%
1						
2						
3						

Заключение_____

3.4. Измерить токи и потери холостого хода по схеме рисунка 3.2 при номинальном напряжении. Предварительно провести обкатку двигателя по п. 2.3. Результаты записать в таблицу 3.3. По фактическим и нормативным данным сделать заключение о состоянии двигателя.

Таблица 3.3 - Результаты опыта холостого хода

Параметры	Фаза			Среднее значение	
	А	В	С	Фактическое	Допустимое

Сила тока, о.е.					
Отклонение от среднего значения					
Потери, Вт					

Заключение _____

3.5. Измерить потери короткого замыкания по схеме рисунка 3.2. при номинальном токе двигателя и проверить исправность обмотки короткозамкнутого ротора (п. 2.5). Результаты записать в таблицу 3.4 и сделать заключение о состоянии обмоток статора и ротора.

Таблица 3.4 - Результаты опыта короткого замыкания и проверки короткозамкнутого ротора

Параметры	Результаты			Примечание
	A	B	C	
Ток, А				
Напряжение, В				
Потери, Вт				
Ток при первом положении ротора				
Ток при втором положении ротора				
Ток при третьем положении ротора				

Заключение_____

3.6. Испытать витковую изоляцию двигателя по схеме рисунка 3.3 (п. 2.6). Записать величину испытательного напряжения, продолжительность испытания и сделать заключение о состоянии витковой изоляции.

3.7. Испытать главную изоляцию двигателя по схеме рисунка 3.4 (п. 2.6) Записать величину испытательного напряжения, продолжительность испытания и сделать заключение о состоянии изоляции.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Перечислить состав послеремонтных испытаний двигателя.

2. Как измеряют сопротивление изоляции и проводов обмоток?

3. Какие неисправности определяют при измерении сопротивления обмоток при постоянном токе?

4. Перечислите порядок проведения опыта холостого хода.

5. Перечислите порядок проведения опыта короткого замыкания.

6. Какие неисправности определяют при опыте холостого хода?

7. Какие неисправности определяют при опыте короткого замыкания?

8. Как испытывают изоляцию двигателя?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4
СОЕДИНЕНИЕ СХЕМ ОБМОТОК ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы: приобрести навыки определения параметров и соединения схем обмоток машин переменного тока.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Вращающееся магнитное поле, необходимое для' преобразования энергии в машинах переменного тока, создается за счет особого распределения в пространстве статора проводников и пропускания по ним сдвинутых по времени (по фазе) переменных токов. При трехфазной системе напряжений проводники каждой фазы должны быть сдвинуты в пространстве на 120 эл. градусов относительно друг друга, а токи, протекающие по каждой из них, должны быть сдвинуты во времени на 2/3 периода.

Система проводников, определенным образом размещенная в пазах статора, образует обмотки машины переменного тока. Обмотка фазы состоит из витков, катушек и катушечных групп.

Витком называют часть обмотки, состоящую из двух последовательно соединенных между собой проводников, расположенных под соседними разноименными полюсами. Виток может состоять их нескольких параллельных проводников.

Катушка - часть обмотки, состоящая из нескольких витков (соединенных между собой последовательно) и уложенная соответствующими сторонами в два паза. Части катушки, лежащие в пазах сердечника, называют активными, а расположенные вне пазов - лобовыми.

Шагом катушки называют число пазовых делений, заключенных между центрами пазов, в которые укладываются стороны витка или катушки. Шаг катушки может быть диаметральным или укороченным. Диаметральный - это шаг, равный полюсному делению. Для улучшения кривой магнитодвижущей силы обмотки применяют укороченный шаг обмотки.

Обмотка может быть сосредоточенной или распределенной. У сосредоточенной - активная сторона катушки занимает один паз. Для улучшения формы кривой магнитодвижущей силы обмотку рассредотачивают, т.е. каждую катушку разделяют на несколько катушек, которые образуют катушечную группу.

Катушечная группа представляет собой несколько последовательно соединенных катушек одной фазы, стороны которых лежат под двумя соседними полюсами.

Следовательно, обмотка фазы - это несколько катушечных групп, уложенных в пазы и соединенных по определенной схеме.

По способу заполнения пазов обмотки могут быть однослойными и двухслойными. В однослойной обмотке стороны катушки занимают весь паз по высоте, а в двухслойной - только половину паза, другую половину заполняет соответствующая сторона другой катушки.

Обмотки электрических машин изображают с помощью таблиц, торцевых и развернутых схем.

Для соединения обмотки статора в схему по заданным параметрам статора рассчитывают обмоточные величины. Заданными параметрами являются число пазов статора Z_1, общее число катушечных групп Q, число катушек в катушечной группе q, число фаз m, шаг обмотки y, синхронная скорость вращения поля n_1. Расчетными параметрами являются: угол между соседними пазами α, число пар полюсов p.

Основными параметрами однослойной являются:

$$n = p \tag{4.1}$$

$$q = \frac{z_1}{2p \cdot m} \tag{4.2}$$

$$\tau = \frac{z_1}{2p} \tag{4.3}$$

$$y = 2 \cdot (q+N) - 1 \tag{4.4}$$

$$\alpha = \frac{360 \cdot p}{z_1} \tag{4.5}$$

Угол между началами катушечных групп составляет 360°.

Основными параметрами двухслойной обмотки являются:

$$n = 2p \tag{4.6}$$

$$q = \frac{z_1}{2p \cdot m} \tag{4.7}$$

$$\tau = \frac{z_1}{2p} \tag{4.8}$$

$$y = \beta \cdot \tau \quad , \tag{4.9}$$

Где β – коэффициент укорочения (β=0,8)

$$\alpha = \frac{360 \cdot p}{z_1} \tag{4.10}$$

Угол между началами катушечных групп составляет 180°.

2. МЕТОДИКА СОЕДИНЕНИЯ СХЕМ ОБМОТОК МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Соединение схем обмоток - это одна из операций технологического процесса капитального ремонта. Ее выполняют после укладки катушечных групп в пазы статора.

Для правильного соединения схемы необходимо;

1) в заданном статоре визуально определить число пазов, катушек и катушечных групп, а также шаг катушки;

2) по уравнениям рассчитать обмоточные величины, приняв число фаз m= 3; n_1= 1500 об/мин;

3) составить таблицу обмотки для одной фазы и указать пазы, в которых должны находиться начала и концы других фаз;

4) промаркировать выводные концы катушек заданного статора и соединить их в соответствии с построенной схемой;

5) проверить работоспособность схемы.

На основании теории обмоток разработаны практические рекомендации соединения схемы обмотки фазы: в однослойной обмотке - "конец-начало", т.е. конец первой катушечной группы с налом второй и т.д., а в двухслойной

обмотке - "конец-конец", "начало-начало", т.е. конец первой катушечной группы с концом второй, начало второй -с началом третьей и т.д.

После соединения фаз остаются свободными шесть выводов. В соответствии со схемой им присваивают обозначения: начало и конец первой фазы – С1, С4; второй – С2, С5; третьей – С3, С6. Затем соединяют по схеме "звезда" (C_1,C2,C_3-N) или "треугольником" (C1,C_6-C_2,C_4-C_3,C_5).

Для проверки работоспособности (правильности соединения) обмотки кратковременно подключают трехфазное пониженное ($0{,}3U_н$) напряжение и в расточку статора вводят вертушку, выполненную в виде беличьей клетки. Устойчивое вращение этой вертушки свидетельствует о правильности соединения схемы.

Вместо вертушки можно использовать стальной шарик диаметром 15-20 мм. Его прикладывают к внутренней поверхности статора и отпускают. Если схема собрана верно, то шарик будет иметь круговое перемещение по расточке статора.

Лабораторная установка состоит из источника пониженного трехфазного напряжения, необходимых приборов и нескольких статоров асинхронных двигателей с уменьшенными катушками. От каждой катушечной группы выведены на клеммную панель два вывода - начало и конец. Их используют для соединения схемы обмоток и подключения их к сети.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Получить допуск к работе. Дня этого необходимо оформить рабочую тетрадь (записать цель и порядок выполнения работы, а также привести таблицу 4.1).

3.2. Определить тип обмотки и рассчитать основные ее параметры по выражениям (4.1 – 4.10). Результаты записать в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 - Основные параметры обмоток машин переменного тока

Номер статора	Тип обмотки	Задано						Расчёт	
		Z_1	Q	q	y	m	n	p	α
1									
2									

На основании полученных данных составить схемы - таблицы обмоток.

3.3. Найти начало и конец каждой отдельной катушечной группы и на основании построенной схемы-таблицы соединить обмотки.

3.4. Соединить фазы в "звезду", подключить к трехфазной сети пониженного напряжения и с помощью вертушки или шарика проверить наличие вращающегося магнитного поля.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие условия необходимо выполнить для создания вращающегося магнитного поля статора?

2. Дать определения всех элементов обмотки (проводник, виток, секция, катушечная группа, фазная зона, фаза).

3. Описать преимущества и недостатки однослойных обмоток.

4. Описать преимущества и недостатки двухслойных обмоток.

5. Дать классификацию обмоток по всем признакам.

6. Объясните порядок построения развернутых схем одно- и двухслойных обмоток.

7. Объясните назначение укорочения шага в обмотках.

8. Объясните назначение распределения катушек в обмотках.

9. Объясните порядок соединения катушечных групп одно- и двухслойной обмотки.

10. Укажите область применения одно- и двухслойных обмоток.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы: приобрести навыки определения неисправностей асинхронного двигателя.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Асинхронные двигателя служат преобразователями электрической энергии в механическую и составляют основу электропривода большинства механизмов. Наибольшее распространение в сельском хозяйстве имеют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором различных серий.

Серия 4А охватывает диапазон номинальных мощностей от 0,06 до 400 кВт и имеет 17 высот оси вращения от 50 до 355 мм. Предусмотрены три исполнения по степени механической защиты: 1Р44, 1Р23 и 1Р54 (обозначения согласно ГОСТу 17494-72).

Исполнение 1Р44 (закрытое обдуваемое) - двигатель закрыт от попадания внутрь посторонних тел диаметром I мм и более. Вода, разбрызгиваемая под любым углом к двигателю, не может оказать на него вредного воздействия.

Исполнение 1Р23 (защищенное) - двигатель защищен от попадания внутрь посторонних тел диаметром 12,5 мм и более. Вода, падающая в виде дождя под углом, равным или меньшим 60° к вертикали, не оказывает на двигатель вредного воздействия.

При исполнении 1Р54 двигатель защищен от проникновения пыли. Вода, разбрызгиваемая на изделие в любом направлении, не оказывает на двигатель вредного воздействия.

В серию 4А входят двигатели специализированного исполнения для сельского хозяйства (высота оси вращения 50-180 мм). Двигатели серии 4А сельскохозяйственного назначения выполнены мощностью до 30 кВт при синхронных частотах вращения .3000, 1500, 1000 об/мин на напряжение 380 В. Шкала мощностей соответствует основному исполнению электродвигателей

серии 4А. двигатели сельскохозяйственного назначения могут длительно 87ааботать при пониженном напряжении до 90 и 80 %от номинального значения со снижением мощности соответственно на 5 и 15 %.

В двигателях применены обмоточные и установочные провода, пропиточные и лакокрасочные материалы, антикоррозионные покрытия, стойкие к воздействию повышенной влажности, агрессивных сред животноводческих помещений, дезинфицирующих растворов и аэрозолей.

1.1. ТРЕБОВАНИЯ К ИСПРАВНОМУ ДВИГАТЕЛЮ

Строгое заключение об исправном состоянии двигателя делают на основе данных его контрольного испытания. В ремонтной практике о состоянии двигателя судят по результатам осмотра и измерения его некоторых параметров.

К исправному двигателю предъявляются следующие основные требования:

он должен быть укомплектован всеми деталями и узлами;

на станине, подшипниковых щитах, корпусе и крышке вводного устройства, кожухе вентилятора не должно быть трещин, сколов и вмятин, а также повреждений лакокрасочного покрытия;

не должно быть обгорания контактных болтов клеммной панели вводного устройства;

должны иметь правильную маркировку выводные концы обмотки;

не должно быть осевого смещения ротора и обрыва его стержней;

сопротивление изоляции обмотки одной фазы относительно другой и относительно станины должно быть при рабочей температуре не менее 0,5 МСм;

не должно быть замыкания обмотки на станину и между фазами, обрыва и межвиткового замыкания;

сила тока холостого хода должна составлять 30...60 % от номинального, а неравномерность токов в отдельных фазах не должна превышать -5 % от их среднего арифметического значения;

отклонения между наибольшим и наименьшим воздушным зазором от среднего арифметического значения воздушного зазора не должно превышать - 10 %.

1.2. ТРЕБОВАНИЯ К ИСПРАВНЫМ ДЕТАЛЯМ И УЗЛАМ ДВИГАТЕЛЯ

1.2.1. Короткозамкнутый ротор. Исправный ротор не должен иметь излома и изгиба вентиляционных лопаток, а его вал - износа посадочных мест под подшипники, конусности и овальности шеек, трещин, задиров и царапин шеек, ослабления прессовки пакета сердечника.

К эксплуатации допускаются валы, у которых радиальное биение концов не превышает 0,05 мм, а радиальное биение шеек вала около подшипников не превышает 0,02 мм.

Допустимая овальность шейки не делала превышать 0,014...0,026 мм, а конусность - 0,03 мм.

1.2.2. Подшипники выбраковывают при наличии трещин на кольцах, сепараторах и шариках; осевого и радиального зазоров; забоин или вмятин на поверхности сепаратора; цвета побежалости на поверхности колец, сепараторов, шариков; отпечатков шариков на дорожках качения; признаков шелушения поверхности дорожек качения.

1.2.3. Подшипниковые щиты не должны иметь сколов, трещин, износа посадочных мест под подшипники, повреждения резьб, нарушения лакокрасочных покрытий и т.д. Допустимый зазор между внешней обоймой подшипника и посадочным местом в подшипниковом щите составляет 0,06...0,1 мм.

1.2. 4. Статор. Обмотка статора не должна иметь обугливания изоляции, обрыва или ослабления бандажей лобовых частей обмотки, ослабления пазовых

клиньев в пазах. Активная сталь статора не должна иметь коррозии, вмятин, ослабления запрессовки листов магнитопровода, следов задевания ротора за активную сталь статора.

2. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ДВИГАТЕЛЯ, ЕГО ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ

2.1. Проверка комплектности и состояния деталей Комплектность, повреждение станины и подшипниковых щитов определяют визуальным осмотром. Фактическое состояние двигателя сравнивают с требуемым по п. 1.1, 1.2 и делают заключение о неисправности (исправности) двигателя.

2.2. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТКИ

Состояние изоляции обмоток двигателя проверяют мегомметром. До начала измерений следует убедиться в его исправности. Для этого прибор устанавливают в горизонтальное положение, замыкают зажимы мегомметра и вращают его ручку. У исправного прибора стрелка должна устанавливаться на нуль. Затем размыкают зажимы и продолжают вращать ручку мегомметра. Если стрелка устанавливается на отметку 'бесконечность'; то это подтверждает исправность мегомметра.

Для измерения сопротивления изоляции обмотки один зажим мегомметра присоединяют к выводу обмотки фазы, а второй - к станине двигателя (в незакрашенном месте). Переключатель пределов измерения устанавливают на предел "МОм", после чего ручку мегомметра приводят во вращение со скоростью 120 об/мин. Стечет показания по шкале прибора производят после того, как стрелка займет устойчивое положение.

Измерение следует производить отдельно для каждой фазы относительно станины и между обмотками разных фаз.

Сопротивление изоляции обмоток статора относительно станины и между фазами при рабочей температуре, соответствующейклассунагревостойкости изоляции, должно быть не менее значения, получаемого по выражению:

$$R_{из} = \frac{U}{1000 + 0{,}01P}, \qquad МОм$$

где U-номинальное напряжение двигателя, В; Р - номинальная мощность, кВт.

Для двигателей с номинальным напряжением 380 В сопротивление изоляции обмоток должно быть не менее 0,5 МОм.

В случае измерения сопротивления изоляции при температуре ниже рабочей, полученное значение сопротивления изоляции следует удваивать на каждые 20 °С разности между рабочей температурой, при которой выполнено измерение.

2.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАМЫКАНИЙ И ОБРЫВОВ ОБМОТОК СТАТОРА

Указанные неисправности определяют при помощи мегомметра (можно пользоваться также омметром). Замыкания обмотки фазы на станину или на другую фазу выявляются при измерении сопротивления изоляции по п. 2.2. При наличии замыкания стрелка прибора будет находиться на нуле. Измерения выполняют для.всех фаз.

Для определения обрыва обмотки фазы мегомметр присоединяют к ее выводам и выполняют измерение. При наличии обрыва мегомметр покажет значения, близкие к "бесконечности".

Витковые замыкания в обмотках статора определяют при опыте холостого хода.

2.4. МАРКИРОВКА ВЫВОДНЫХ КОНЦОВ ОБМОТКИ

Вводы обмоток двигателя размечают в два этапа.

На первом этапе мегомметром определяют принадлежность выводов к соответствующим фазам. С этой целью к мегомметру подключают один из

шести выводов статорной обмотки двигателя. К другому зажиму мегомметра поочередно подключают каждый из оставшихся пяти выводов. В исправной обмотке два вывода принадлежат к одной фазе тогда, когда стрелка прибора будет находиться на нуле. Таким способом все выводы обмоток разделяются на три пары.

После попарной классификации концов фазных обмоток начинают второй этап - определение начал и концов обмоток. Для этого любой вывод одной из обмоток принимают за начало фазы и прикрепляют бирку С1. Конец этой фазы обозначают биркой С4 и соединяют с любым выводом другой фазы. На эти две последовательно соединенные фазы подают напряжение 220 В. К третьей фазе присоединяют вольтметр. Если первая и вторая фазы соединены между собой одноименными выводами, т.е. концами, то третья фаза не пересекается магнитным потоком от последовательно соединенных обмоток, как показано на рисунке 5.1,а. Поэтому вольтметр, присоединенный к этой фазе, показывает нуль. Ввод второй обмотки, присоединенный к сети, будет начало С2, а вывод, присоединенный к первой обмотке - конец С5. Если фазы соединены разноименными выводами, т.е. конец - начало, то магнитный поток пересекает плоскость третьей обмотки (рис. 5.1,б). В ней наводится э.д.с., и это покажет вольтметр. Тогда вывод второй обмотки, присоединенный к сети, будет конец С5, а другой вывод этой обмотки - начало фазы С2.

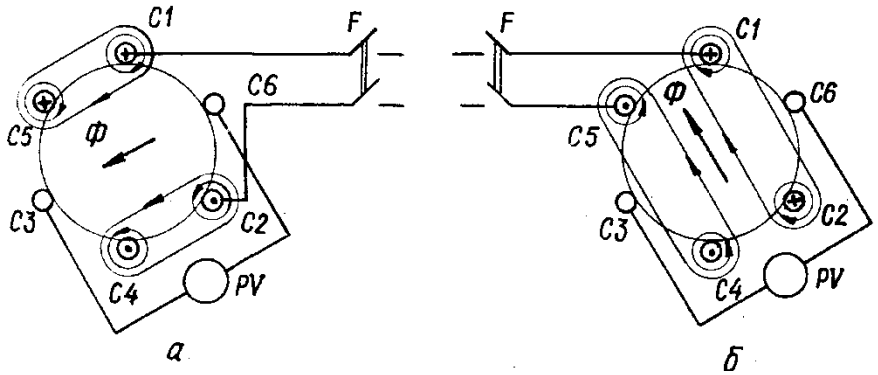


Рисунок 5.1 - К определению начал и концов в трехфазной обмотке

Затем ранее подключенную к вольтметру фазу соединяют последовательно с первой фазой, а ко второй подключают вольтметр и аналогично

маркируют выводы третьей фазы. Найденные начала фаз обозначают С1, С2, С3, концы соответственно С4, С5, С6.

2.5. ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА ХОЛОСТОГО ХОДА

Ток холостого хода измеряют по схеме рисунка 5.2. К ненагруженному двигателю подводят номинальное симметричное напряжение. Двигатель должен проработать в течение 15 мин для прогрева подшипников. После этого измеряют токи по фазам и подводимое линейное напряжение между тремя фазами. По величине тока холостого хода можно обнаружить некоторые неисправности двигателя.

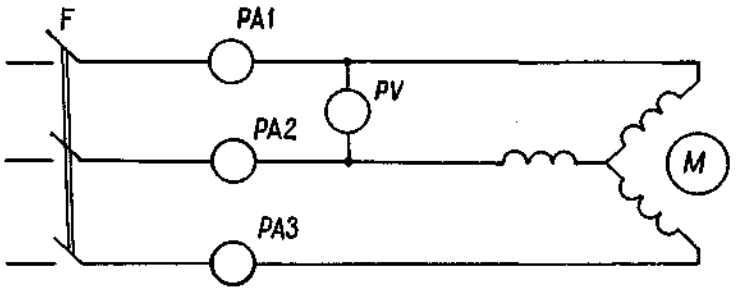
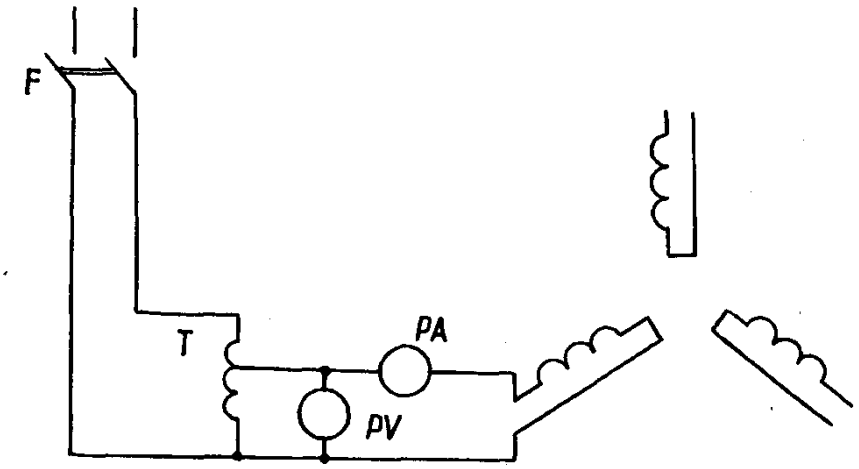


Рисунок 5.2 - Схема измерения тока холостого хода

Повышенный ток холостого хода во всех фазах против допустимого указывает на увеличение воздушного зазора между статором и ротором или осевое смещение ротора. Большая неравномерность токов в отдельных фазах указывает на наличие виткового замыкания. При этом наибольший ток покажет амперметр, включенный в фазу с межвитковым замыканием.

2.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБРЫВА СТЕРЖНЕЙ КОРОТКОЗАМКНУТОЙ ОБМОТКИ РОТОРА

Для определения обрывов стержней ротора одну из фаз двигателя включают в сеть переменного напряжения (10...15 % от номинального) по схеме рисунка 5.3 и медленно проворачивают вал ротора рукой. При этом следят за изменением тока в фазе. Если он остается неизменным, то обмотка ротора исправна.



Рисунке 5.3 - Схема проверки целости стержней короткозамкнутого ротора

Внешним признаком обрыва стрежней является повышенная вибрация и шум при работе двигателя, увеличивающиеся с возрастанием нагрузки.

2.7. ИЗМЕРЕНИЕ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА МЕЖДУ СТАТОРОМ И РОТОРОМ

Зазор измеряют после разборки двигателя. Для этого ротор укладывают на расточку статора и измеряют зазор щупом против верхней точки статора. Поворачивают ротор на 90° и повторяют измерение и так далее в четырех положениях ротора, сдвинутых относительно друг друга по окружности на 90°. За величину зазора принимают половину среднего измеренного расстояния.

2.8. ИЗМЕРЕНИЕ БИЕНИЯ ВАЛА

Биение вала измеряют на его поверхности около подшипников и на свободных концах по рисунку 5.4 с помощью индикатора. Последний представляет собой механизм, преобразующий поступательное движение измерительного стержня во вращательное движение стрелки.

Для измерения биения ротор центрируют на специальном приспособлении и наконечник индикатора упирают непосредственно в вал, ротор медленно вращают и ведут наблюдение за стрелкой индикатора по шкале.

Разность между крайними показаниями стрелки индикатора есть искомое биение.

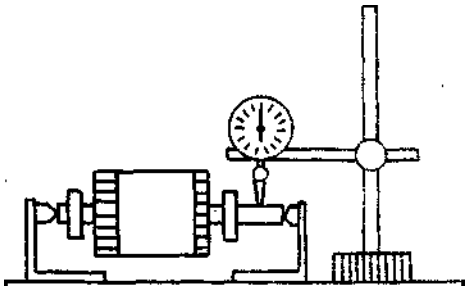


Рисунок 5.4 - Измерение конусности и овальности вала

Конусность и овальность вала измеряют микрометром. Конусность шеек вала измеряется как наибольшая разность диаметров шейки на длине 150 мм. При наименьшей длине шейки делают пересчет на длину 150 мм. Для этого берут разность" между большим и меньшим.диаметрами и умножают на отношение числа 150 к фактической длине вала. Например, если d1= 33,60 мм, d2 = 33,59 мм, а длина шейки вала 50 мм, то конусность шейки, пересчитанная на длину 150 мм, будет равна:

$$(33{,}60 - 33{,}59)\frac{150}{50} = 0{,}03 \text{ мм.}$$

Овальность измеряется как наибольшая разность диаметров в одном и том же радиальном сечении шейки вала.

2.10. ПРОВЕРКА ВЕЛИЧИНЫ СЖАТИЯ ЛИСТОВ АКТИВНОЙ СТАЛИ

Состояние шихтовки считается удовлетворительным, если лезвие ножа не входит между листами при небольшом усилии. При постукивании по стали деревянным молотком пластины не должны издавать дребезжащий звук, а с сердечника не должна выделяться пыль красного цвета, свидетельствующая об ослаблении прессовки или нарушении изоляции листов.

По полученным результатам намечают способы устранения неисправностей.

Двигатели подлежат капитальному ремонту при следующих неисправностях:

трещинах в корпусе и подшипниковых щитах; изгибе вала, износе или повреждении его шеек, а также повреждении посадочных мест подшипниковых щитов; межвитковых замыканиях в обмотках; замыканиях обмоток на корпус или между фазами; обрыве обмоток; обугливании изоляции обмоток.

Таблица 5.1 - Характерные неисправности двигателя

Неисправности	Способ обнаружения неисправностей, приборы и инструменты	Способ ремонта
1. Отсутствие деталей и узлов	Осмотр	Комплектация новыми деталями и узлами
Станина, подшипниковые щиты		
2. Трещины, сколы и вмятины	Осмотр. Измерение длины трещины масштабной линейкой	Капитальный ремонт
3. Повреждение лакокрасочного покрытия поверхностей	Осмотр	Окраска двигателя
4. Излом ламп	Осмотр	Капитальный ремонт
Вводное устройство		
5. Трещины на поверхности корпуса и крышки	Осмотр	Замена корпуса или Крышки
6. Обгорание контактных болтов	Осмотр	Замена болтов
Статор		
7.Нарушение изоляции обмоток	Измерение сопротивления изоляции обмоток статора относительно корпуса и между фазами.	Сушка изоляции обмоток, пропитка, сушка после пропитки
8. Замыкания и обрывы обмоток	Мегомметр на 500 В (п.2.2) Измерение. Мегомметр. Опыт холостого хода (п.2.3,	Капитальный ремонт

9. Отсутствие маркировки выводных концов обмотки	Осмотр (п. 2.4)	Маркировка выводных концов
10. Повышенное значение тока холостого хода	Измерение тока холостого тока	Капитальный ремонт
Ротор		
11. Осевое смещение	Измерение масштабной линейкой	Замена подшипников или ремонт подшипниковых щитов
12. Обрыв стержней	Измерение	Замена ротора
Статор и ротор		
13.Увеличение воздушного зазора между статором и ротором	Измерение величины воздушного зазора. Щуп №6 (п. 2.7)	Капитальный ремонт

Таблица 5.2 - Характерные неисправности деталей и узлов двигателя

Неисправности	Способ обнаружения неисправностей, приборы и инструменты	Способ ремонта
Короткозамкнутый ротор		
1.Излом вентиляционных лопаток	Осмотр	Капитальный ремонт
2.Трещины, задиры и царапины шеек вала	Осмотр	Капитальный ремонт
3.Изгиб вала	Измерение биения вала (рис. 3.4)	Капитальный ремонт
4.Овальность и конусность вала	Индикатор Измерение (п.2.9) Микрометр	Капитальный ремонт
Подшипники		
5. Трещины или повреждения, коррозия на телах качения, беговых дорожках, сепараторах; забоины или вмятины на поверхности сепаратора; цвета побежалости на беговых дорожках	Осмотр	Замена подшипников
Подшипниковые щиты		
6. Сколы и трещины на щите	Осмотр	Капитальный ремонт
7. Износ посадочных мест под подшипник	Измерение зазора между внешней обоймой подшипника и посадочным местом	
Статор		

8. Обрыв или ослабление бандажей лобовых частей обмотки	Осмотр	Замена бандажей
9. Обугливание изоляции	Осмотр,	Капитальный
10. Ослабление пазовых клиньев в пазах	проверка крепления пазовых клиньев	ремонт Замена клиньев
11. Коррозия, следы задевания ротора за активную сталь статора	Осмотр	Зачистка и нанесение лака
12.Вмятины на поверхности пакета активной стали	Осмотр,	Зачистка и
13.Ослабление шихтовки активной стали	проверка величины сжатия листов(п. 2.10)	нанесение лака Капитальный ремонт

3. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ

Работа выполняется с соблюдением инструкций по технике безопасности в лаборатории кафедры электрических машин. Кроме того, необходимо соблюдать следующие требования:

для присоединения мегомметра к измеряемым цепям применять изолированные провода, имеющие на концах изолирующие рукоятки с зажимами;

измерения мегомметром проводят два человека, один из которых вращает ручку мегомметра, а другой - подключает мегомметр к измеряемым участкам схемы;

любые переключения схемы проводить после отключения ее от сети.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4 .1. Получить допуск работе.

Для этого необходимо оформить рабочую тетрадь, ознакомиться с лабораторным стендом и отчитаться лаборанту по I, 2, 3-му контрольным вопросам.

4.2. Определить неисправности асинхронного двигателя

4.2.1. Записать паспортные данные двигателя и проверить его комплектность, состояние станины, подшипниковых щитов, вводного устройства по табл. 2.1. Результаты записать в таблице 5.3.

Таблица 5.3 - Результаты осмотра двигателя

Паспортные данные:_____

Наименование узлов и деталей двигателя	Обнаруженные неисправности	Рекомендуемый способ ремонта
Станина		
Подшипниковые щиты		
и т.д.		

4.2.2. Измерить сопротивление изоляции обмоток двигателя по п. 2.2. Предварительно по п. 2.4 мегомметром определить принадлежность выводов обмоток к соответствующим фазам. Результаты записать в следующей форме: сопротивление изоляции - R_A= ___МОм, $R_в$, $R_с$, R_{AB}, $R_{вс}$, R_{AC}, температура обмоток _____°С, допустимая величина сопротивления изоляции _____ Мом.

Заключение (об уровне изоляции, о замыканиях и т.д.)

4.2.3. Определить возможные обрывы обмоток по п.. 2.3. Записать результаты. _____

4.2.4. Выполнить маркировку выводных концов по п. 2.4. Вычертить схему и указать на ней измеренные значения напряжения и маркировку.

4.2.5. Измерить ток холостого хода при номинальном напряжении (рис. 5.2).

Результаты измерений записать в таблицу 5.4.

Таблица 5.4 - Результаты измерений тока холостого хода

Параметры	Фаза		Среднее	
	А	В	(Фактич	Допуст.
Сила тока, о.е.				
Отклонение от среднего значения				
Заключение				

4.2.6. Определить возможные обрывы стержней короткозамкнутой обмотки ротора по п. 2.6. Записать значения тока и сделать заключение _____

4.3. Определить неисправности деталей и узлов двигателя.

Получить детали и узлы двигателя. Записать их данные.

4.3.1. Измерить воздушный зазор между статором и ротором по п. 2.7 и записать в таблицу 5.5.

Таблица 5.5 - Результаты измерения зазора

Параметры	Положение ротора				Среднее значение
	1	2	3	4	
Зазор, мм					
Отклонение от среднего значения					
Заключение					

4.3.2. Определить неисправности вала ротора. Осмотреть вал. Измерить радиальное биение по п. 2.8 и указать его допустимое значение. Измерить конусность и овальность по п. 2.9 и сравнить их с допустимыми значениями. Сделать заключение.

4.3.3. Определить неисправности подшипников. Записать данные и осмотреть подшипники. Измерить радиальный зазор подшипников и сравнить с допустимыми.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Требования к исправному двигателю.
2. Как определяются замыкания в обмотке статора?
3. Как определяются обрывы обмотки?
4. Методика определения величины воздушного зазора двигателя.
5. Как выполняют маркировку выводных концов обмотки статора?
6. При каких неисправностях проводят капитальный ремонт двигателя?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6.
ВЫБОР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ НАГРУЗОК

Цель работы: приобрести навыки определения ориентировочной мощности асинхронных электродвигателей и расчета магнитных нагрузок.

6.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТИРОВОЧНОЙ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

Мощность двигателя зависит от его основных параметров – внутреннего диаметра $Д_{вн}$ и скорости вращения поля статора n_1, чем больше указанные величины, тем выше мощность двигателя. Соответственно, между этими размерами должно быть правильное соотношение. В относительно длинной машине получается лучшее использование меди за счет меньшей длины лобовых частей обмотки. Однако, чем длиннее машина, тем хуже условия охлаждения. Кроме того, в длинных машинах коэффициент мощности (cos φ) хуже и перегрузочная способность меньше. С другой стороны, в длинной машине конструктивные детали (щиты, станина) получаются легче и, следовательно, дешевле.

Ориентировочная мощность, определяемая по главным размерам

$$P \approx \lambda \cdot Д_{вн}^2 \cdot l_1 \cdot n_1 \cdot 10^{-6}, \text{ Вт} \qquad (6.1)$$

где λ_1=1 и λ_2 =2 – постоянная мощности.

В двигателях серии 4А предусмотрена следующая шкала мощностей: 0,37; 0,55; 0,75; 1,1; 1,5; 2,2; 3,0; 4,0; 5,5; 7,5; 11,0; 15,0; 18,5; 22,0; 30,0; 37,0; 45,0; 55,0; 75,0; 90,0 кВт.

По этой шкале определяется ближайшая номинальная мощность $P_н$, а за тем по каталогу выбирается предполагаемый тип рекомендуемого двигателя.

6.2 ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ МАГНИТНЫХ НАГРУЗОК

Расчет выполняют путем последовательного приближения. Руководствуясь данными таблицы 6.1, задаются значением индукции в воздушном зазоре $B_δ$ и рассчитывают магнитный поток Ф в воздушном зазоре

и значение индукции в зубцах статора и ротора B_{z1}, B_{z2}, в спинке статора и ротора B_{cc}, B_{cp}. Выбор магнитной индукции в воздушном зазоре является ответственным этапом расчета. При больших значениях B_{δ} потери в стали сильно возрастают и приводит к ухудшению энергетических характеристик машины: КПД (η) и коэффициента мощности ($\cos\varphi$). С другой стороны, при малых значениях происходит уменьшение максимального момента двигателя и его перегрузочной способности из-за увеличения индуктивного сопротивления рассеяния.

Таблица 6.1 - Электромагнитные нагрузки для двигателя серии 4А

Наименование	Обозн.	Ед.изм.	Номинальная мощность, кВт		
			до 1,0	1,0-10	10-100
Индукция в воздушном зазоре	B_{δ}	Тл	0,3-,06	0,6-0,8	0,8-0,9
Индукция в зубцах статора	B_{z1}	Тл	1,3-1,6	1,4-1,6	1,4-1,8
Индукция в спинке статора	B_{cc}	Тл	1,1-1,5	1,2-1,6	1,3-1,6
Индукция в зубцах ротора	B_{z2}	Тл	1,2-1,5	1,3-1,6	1,5-1,9
Индукция в спинке ротора	B_{cp}	Тл	1,0-1,5	1,1-1,5	1,2-1,6
Плотность тока	j	А/мм ²	6-8	4-6	3-5
Линейная нагрузка	А	А/см	100-250	250-400	400-500
Ток холостого хода	I_{xx}	%	40-60	30-50	20-40

Магнитный поток в воздушном зазоре, Вб

$$\Phi=\alpha_{\delta}\cdot B_{\delta}\cdot\tau\cdot l_1\cdot 10^{-6}, \qquad (6.2)$$

где α_{δ} = 0,65 – 0,75 – коэффициент полюсного деления; B_{δ} - магнитная индукция в воздушном зазоре, Тл.

В машине с приведенной в работе формой паза сечения зубца по его высоте не остается постоянной. Там, где сечение меньше (у основания паза) – индукция больше, и наоборот, где больше сечение (у воздушного зазора) – индукция меньше. Поэтому определяется среднее значение индукции по высоте зубца.

$$B_{z1}=B_{\delta}\cdot\frac{t_1\cdot l_1}{b_{cpz1}\cdot l_0} \qquad (6.3)$$

где $t_1=\frac{\pi\cdot Д_{вн}}{Z_1}$ – зубцовое деления статора; l_0 – длина активной стали статора.

Магнитная индукция в спинке статора, Тл

$$B_{cc} = \frac{Ф}{2 \cdot S_{cc} \cdot 10^{-6}} \quad (6.4)$$

Магнитный поток в спинке ротора делится на две части: одна половина потока через воздушный зазор замыкается по участку спинки статора, приходящаяся на одну пару полюсов, а другая половина на другую пару полюсов. Поэтому при определении индукции в спинке статора учитывается две ее площади. При этом считаем, что поток по всему сечению спинки статора распределяется равномерно.

Магнитная индукция в спинке ротора, Тл

$$B_{cp} = \frac{Ф}{2 \cdot S_{cp} \cdot 10^{-6}}, \quad (6.5)$$

где S_{cp} - площадь спинки ротора.

Магнитная индукция в зубцах ротора, Тл

$$B_{z2} = B_{\delta} \cdot \frac{t_2 \cdot l_2}{b_{cpz2} \cdot l_0}, \quad (6.6)$$

где $t_2 = \frac{\pi \cdot Д'}{Z_2}$ - зубцовое деление ротора, l_0 –активная длина ротора.

Полученные значения индукции по участкам магнитной цепи сравнивают с нормативными данными таблицы 6.1. Если на каком-то участке индукция не укладывается в допустимые нормы, необходимо выбрать другое значение индукции в воздушном зазоре B_{δ} и повторить расчет до тех пор, пока индукция на всех участках не будет отличаться от значений, приведенных в таблице 6.1.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Методика определения ориентировочной мощности двигателя.
2. Дать определение магнитной индукции.
3. Как определить магнитную индукцию в спинке статора?
4. Как определить магнитную индукцию в спинке ротора?
5. Как определить магнитную индукцию в зубцах ротора?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев, В. А. Эксплуатация и ремонт электрооборудования и средств автоматизации: учебник и практикум для СПО / В. А. Воробьев. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2017. — 338 с. — (Серия: Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-00572-1

2. Лихачев, В.Л. Справочник обмотчика асинхронных электродвигателей [Электронный ресурс] : учеб.пособие /В.Л. Лихачев – М.: Солон-Р, 2014. — 238 с. – 1000 экз. – ISBN978-5-98003-120-6

3. Сибикин, Ю.Д. Безопасность труда при монтаже, обслуживании и ремонте электрооборудования предприятий: справочник [Электронный ресурс] / Ю.Д.Сибикин. — М.: КНОРУС, 2016.— 288 с. -ISBN 978-5-406-00277-3

4. Акимова, Н.А. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования: Учебник / Н.А. Акимова. - М.: Academia, 2018. - 204 с.

5. Сибикин, Ю.Д. Техническое обслуживание, ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий [Электронный ресурс]: учебник для учреждений нач. проф. образования / Ю.Д. Сибикин – 8 изд., испр. - М.-Берлин: Директ-Медиа, 2014.-204 с. – ISBN978-5-4458-8891-8

6. Кисаримов, Р.А. Ремонт электрооборудования: Справочник [Электронный ресурс]: / Кисаримов Р.А. – М.: РадиоСофт, 2014. – 544 с. - 978-5-93037-271-7

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица 1 - Исходные данные по первому разделу курсовой работы
Количество оборудования (тыс.шт.) установленного в зоне обслуживания и темы индивидуального задания

№ варианта	Электродвигатели	Силовые трансформаторы 10/0,4	Сварочные трансформаторы	Генераторы и стартеры автомобилей, комбайнов	Подробно разобрать операцию технологического процесса ремонта и пояснить чертежами
1	20,0	1,0	1,0	0,5	дефектация обмоток электродвигателей
2	16,0	1,5	1,0	0,8	дефектация обмоток трансформаторов
3	15,0	1,0	0,8	1,0	удаление обмоток электродвигателей
4	14,0	1,0	0,8	2,0	восстановление изоляции провода
5	12,0	4,0	0,6	2,0	заготовка пазовой изоляции
6	11,0	4,0	0,5	3,0	изготовление катушек электродвигателя
7	10,0	5,0	0,4	3,0	укладка и соединение обмоток электродвигателя
8	9,0	2,0	0,6	2,0	пропитки обмоток
9	8,0	1,5	0,7	1,5	сушка обмоток трансформатора
10	7,0	1,6	0,8	1,5	сушка обмоток электродвигателей
11	40,0	4,0	0,2	8,0	ремонт подшипниковых щитов
12	35,0	3,5	2,0	6,0	послеремонтные испытания электродвигателей
13	30,0	3,0	1,8	4,0	послеремонтные испытания трансформаторов
14	3,0	8,0	0,4	1,0	испытание изоляции электродвигателей
15	28,0	7,0	0,8	0,5	определение группы соединений трансформаторов
16	36,0	6,0	0,8	0,6	балансировка ротора электродвигателя
17	25,0	4,0	1,0	0,7	испытание электродвигателя на нагрев
18	24,0	3,0	1,0	4,0	изготовление обмоток трансформаторов
19	22,0	2,5	1,5	6,0	сборка электродвигателей
20	20,0	2,0	2,6	4,0	сборка трансформаторов
21	19,0	1,5	2,0	3,0	определение увлажнения обмоток
22	16,0	3,0	1,5	2,5	испытание трансформаторного масла
23	8,0	6,0	1,0	2,0	восстановление трасформаторного масла
24	4,0	8,0	0,6	1,5	настройка коммутации МПТ

Примечание:
1. 60% электродвигателей установлено в животноводстве;
   30% - в растениеводстве;
   10% - в подсобных предприятиях.
2. Электрооборудование, ремонтный фонд которого в У.Е.Р не превышает 10% от общего объема, в расчёте не учитывать.

Таблица 2 - Исходные данные по второму разделу курсовой работы

№ вар	2p	Uл	Дн / Днв	L_1	δ	статор				ротор				
						Z_1	a_1/a_2	h	e/m_1	Z_2	a_1/a_2	h	e/m_2	$Д_в$
		В	Днв	мм	мм		мм/мм	мм	мм/мм		мм/мм	мм	мм/мм	мм
1	4	380	81/46	42	0,25	12	9,7/12,4	11,0	0,5/1,8	15	4,8/1,5	9,4	0,75/1,0	9
2	2	380	89/48	56	0,25	24	4,5/5,8	8,0	0,5/1,5	18	4,1/1,5	10,2	0,5/1,0	
3	4	380	89/55	56	0,25	24	4,8/6,4	9,8	0,5/1,8	18	4,4/1,5	10,8	0,5/1,0	11
4	2	380	100/54	65	0,3	24	4,8/6,3	9,0	0,5/1,8	18	4,4/1,9	10,5	0,8/1,0	
5	4	380	100/61	65	0,25	24	4,8/6,5	10,4	0,5/1,8	18	4,4/1,5	11,5	0,5/1,0	
6	6	380	100/85	75	0,25	36	3,5/4,9	10,9	0,5/1,8	28	3,4/1,5	11,4	0,5/1,0	14
7	2	380	116/65	75	0,35	24	5,9/7,5	9,3	0,5/2,0	20	5,0/2,5	11,8	0,5/1,0	
8	4	380	116/70	65	0,25	24	5,2/7,3	11,6	0,5/2,0	17	5,0/1,5	12,6	0,8/1,0	
9	6	380	116/76	65	0,25	36	3,9/5,5	12,2	0,5/2,0	28	3,8/1,9	11,4	0,8/1,0	
10	8	380	116/76	90	0,25	48	3,9/5,5	12,2	0,5/2,0	28	3,8/1,9	11,4	0,8/1,0	19
11	2	380	131/74	74	0,35	24	6,8/8,5	11,6	0,5/3,0	20	6,1/3,3	13,6	0,8/1,0	22
12	4	380	131/84	78	0,25	36	4,4/6,0	12,1	0,5/2,5	28	4,5/1,5	16,4	0,8/1,0	
13	6	380	131/88	78	0,25	36	4,3/6,0	13,0	0,5/2,5	28	4,3/1,7	14,8	0,8/1,0	22
14	2	380	149/84	100	0,4	24	8,1/10,1	12,6	0,5/3,2	20	6,8/3,4	16	0,8/1,0	
15	4	380	149/95	100	0,25	36	4,8/6,5	12,9	0,5/3,0	28	4,9/1,9	16,6	0,8/1,0	
16	6	380	149/100	110	0,25	36	4,7/6,6	13,8	0,5/2,7	28	5,0/2,1	16,5	0,8/1,0	24
17	2	380	168/95	100	0,45	24	9,1/11,3	14,1	0,5/3,5	20	7,4/4,0	16,5	0,8/1,0	
18	4	380	168/105	100	0,3	36	4,9/7,1	15,8	0,5/3,0	28	5,1/1,5	19,3	0,8/1,0	
19	6	380	168/113	120	0,3	36	5,4/7,5	15,4	0,5/3,0	28	6,0/3,0	17,9	0,8/1,0	28
20	2	380	191/110	125	0,6	36	10,5/12,6	15,1	0,5/3,7	22	8,0/3,4	21,6	0,75/1,5	32

Таблица 3 - Размеры круглой проволоки для обмоточных проводов

d	***S***	***d***	***S***	***d***	***S***	***d***	***S***
0,120	0,0113	0,350	0,0962	0,71	0,396	1,35	1,43
0,125	0,0123	0,355	0,0990	0,72	0,407	1,40	1,54
0,130	0,0133	0,380	0,113	0,74	,0430	1,45	1,65
0,140	0,0154	0,400	0,126	0,75	0,442	1,50	1,77
0,150	0,0177	0,410	0,132	0,77	0,466	1,56	1,91
0,160	0,0201	0,425	0,142	0,80	0,503	1,60	2,01
0,170	0,0227	0,440	0,152	0,83	0,541	1,62	2,06
0,180	0,0254	0,450	0,159	0,85	0,567	1,68	2,22
0,190	0,0284	0,470	0,173	0,86	0,581	1,70	2,27
0,200	0,0314	0,475	0,177	0,90	0,636	1,74	2,38
0,210	0,0346	0,490	0,189	0,93	0,679	1,80	2,54
0,224	0,0394	0,500	0,196	0,95	0,709	1,81	2,57
0,230	0,0415	0,510	0,204	0,96	0,724	1,88	2,78
0,236	0,0437	0,530	0,221	1,00	0,785	1,90	2,84
0,250	0,0491	0,550	0,238	1,04	0,849	1,95	2,99
0,265	0,0552	0,560	0,246	1,06	0,882	2,00	3,14
0,270	0,0573	0,570	0,255	1,08	0,916	2,02	3,20
0,280	0,0616	0,590	0,273	1,12	0,985	2,10	3,46
0,290	0,0661	0,600	0,283	1,16	1,06	2,12	3,53
0,300	0,0707	0,620	0,302	1,18	1,09	2,24	3,94
0,310	0,0755	0,630	0,312	1,20	1,13	2,26	4,01
0,315	0,0779	0,640	0,322	1,25	1,23	2,36	4,37
0,330	0,0855	0,670	0,353	1,30	1,33	2,44	4,68
0,335	0,0881	0,690	0,374	1,32	1,37	2,50	4,91

Обозначения: ***d*** – диаметр проволоки, мм; ***S*** –сечение, мм^2

Таблица 4 - Кривая намагничивания для зубцов асинхронных двигателей. Сталь 1013

B, Тл	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	H, А/м									
0,4	124	127	130	133	136	138	141	144	147	150
0,5	154	157	160	164	167	171	174	177	180	184
0,6	188	191	194	201	201	205	208	212	216	220
0,7	223	226	229	236	236	240	243	247	250	253
0,8	256	259	262	268	268	271	274	277	280	283
0,9	286	290	293	301	301	304	308	312	316	320
1,0	324	329	333	342	342	346	350	355	360	365
1,1	370	375	380	391	391	396	401	406	411	417
1,2	424	430	436	448	448	455	461	467	478	479
1,3	486	485	504	524	524	533	563	574	584	585
1,4	586	598	610	634	634	646	658	670	683	696
1,5	709	722	735	763	763	777	791	805	820	835
1,6	850	878	906	962	962	990	1020	1050	1080	1110
1,7	1150	1180	1220	1290	1290	1330	1360	1400	1440	1480
1,8	1520	1570	1620	1720	1720	1770	1830	1890	1950	2010
1,9	2070	2160	2250	2430	2430	2520	2640	2760	2890	3020
2,0	3150	3320	3500	3680	3860	4040	4260	4480	4700	4920
2,1	5140	5440	5740	6050	6360	6770	7120	7570	8020	8470
2,2	8920	9430	9940	10460	10980	11500	12000	12600	13200	13300
2,3	14400	15100	15800	16500	17200	18000	18800	19600	20500	21400

Таблица 5 - Кривая намагничивания для асинхронных двигателей. Сталь 2211 и 2312

B, Тл	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	H, А/м									
0,4	89	91	93	94	96	98	100	102	104	106
0,5	108	110	113	115	118	120	122	124	126	128
0,6	131	134	136	139	141	144	147	150	153	156
0,7	159	162	166	169	172	176	180	183	186	190
0,8	194	198	201	204	208	212	216	220	223	227
0,9	231	235	239	243	248	252	255	260	265	269
1,0	274	279	284	289	295	300	305	311	318	323
1,1	332	338	344	351	357	367	374	382	390	398
1,2	410	418	426	435	444	455	466	475	487	498
1,3	509	521	533	546	558	572	585	600	618	635
1,4	656	675	695	717	740	763	789	815	843	870
1,5	905	934	965	1000	1040	1090	1130	1190	1240	1290
1,6	1370	1440	1520	1590	1660	1720	1820	1910	2010	2100
1,7	2180	2310	2410	2550	2610	2720	2840	2980	3130	3290
1,8	3460	3630	3800	3970	4140	4301	4490	4670	4850	5040
1,9	5220	5600	6000	6400	6900	7400	7900	8500	9100	9700
2,0	10400	11100	11800	12500	13300	14100	14900	15800	16700	17600

Приложение 6

Таблица 6 - Электродвигатели 4А, 4АМ - основные технические характеристики

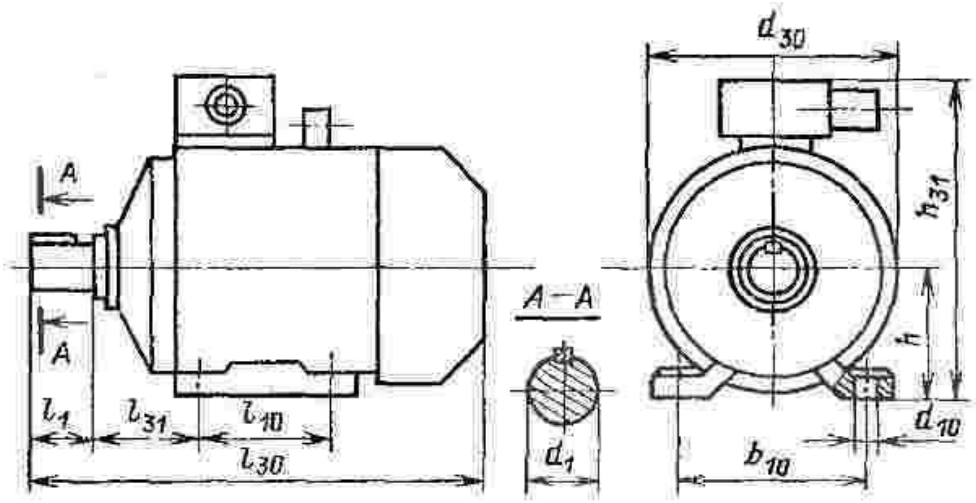
Марка двигателя		Мощн кВт	Скольж %	КПД %	Коэф. мощн.	$M_{макс}/M_н$	$M_п/M_н$	$M_{мин}/M_н$	$I_п/I_н$
Синхронная частота вращения 3000 об/мин									
4АА56А2 У3	4ААМ56А2	0,18	8	66	0,76	2,2	2	1,2	5
4АА56В2 У3	4ААМ56В2	0,25	8	68	0,77	2,2	2	1,2	5
4А63А2 У3	4АМ63А2	0,37	8,3	70	0,86	2,2	2	1,2	5
4А63В2 У3	4АМ63В2	0,55	8,5	73	0,86	2,2	2	1,2	5
4А71А2 У3	4АМ71А2	0,75	5,3	77	0,87	2,2	2	1,2	5,5
4А71В2 У3	4АМ71В2	1,1	6,3	77,5	0,87	2,2	2	1,2	5,5
4А80А2 У3	4АМ80А2	1,5	5	81	0,85	2,2	2	1,2	6,5
4А80В2 У3	4АМ80В2	2,2	5	83	0,87	2,2	2	1,2	6,5
4А90L2 У3	4АМ90L2	3	5,4	84,5	0,88	2,2	2	1,2	6,5
4А100S2 У3	4АМ100S2	4	4	86,5	0,89	2,2	2	1,2	7,5
4А100L2 У3	4АМ100L2	5,5	4	87,5	0,91	2,2	2	1,2	7,5
4А112М2 У3	4АМ112М2	7,5	2,6/2,5	87,5	0,88	2,2	2/2,1	1	7,5
4А132М2 У3	4АМ132М2	11	3,1/2,3	88	0,9	2,2	1,6/1,8	1	7,5
4А160S2 У3	4АМ160S2	15	2,3/3	88	0,91/0,9	2,2/2,7	1,4/1,6	1/1,3	7,5/7
4А160М2 У3	4АМ160М2	18,5	2,3/3	88,5/ 89	0,92/ 0,9	2,2/2,7	1,4/1,6	1/1,3	7,5/7
4А180S2 У3	4АМ180S2	22	2/2,5	88,5	0,91/ 0,89	2,2/2,7	1,4/1,5	1/1,3	7,5
4А180М2 У3	4АМ180М2	30	1,9/2	90,5/ 91	0,9/ 0,89	2,2/2,7	1,4/1,5	1/1,3	7,5
4А200М2 У3	4АМ200М2	37	1,9/2	90/91	0,89	2,2/2,8	1,4	1/1,2	7,5/7
4А200L2 У3	4АМ200L2	45	1,8/2	91	0,9/ 0,89	2,2/2,8	1,4	1/1,2	7,5/7
4А225М2 У3	4АМ225М2	55	2,1/2	91	0,92	2,2/2,8	1,2/1,4	1/1,2	7,5
4А250S2 У3	4АМ250S2	75	1,4/2	91	0,89	2,2/2,8	1,2/1,4	1/1,2	7,5
4А250М2 У3	4АМ250М2	90	1,4/2	92	0,9	2,2/2,8	1,2/1,4	1/1,2	7,5
4А280S2 У3	4АМ280S2	110	2	91	0,89	2,2	1,2	1	7
4А280М2 У3	4АМ280М2	132	2	91,5	0,89	2,2	1,2	1	7
4А315S2 У3	4АМ315S2	160	1,9	92	0,9	1,9	1	0,9	7
4А315М2 У3	4АМ315М2	200	1,9	92,5	0,9	1,9	1	0,9	7
4А355S2 У3	4АМ355S2	250	1,9	92,5	0,9	1,9	1	0,9	7
4А355М2 У3	4АМ355М2	315	2	93	0,91	1,9	1	0,9	7

Синхронная частота вращения 1500 об/мин									
4AA56A4 У3	4AAM56A4	0,12	8	63	0,66	2,2	2	1,2	5
4AA56B4 У3	4AAM56B4	0,18	8,7	64	0,64	2,2	2	1,2	5
4AA63A4 У3	4AAM63A4	0,25	8	68	0,65	2,2	2	1,2	5
4AA63B4 У3	4AAM63B4	0,37	9	68	0,69	2,2	2	1,2	5
4A71A4 У3	4AM71A4	0,55	8,7	70,5	0,7	2,2	2	1,6	4,5
4A71B4 У3	4AM71B4	0,75	8,7	72	0,73	2,2	2	1,6	4,5
4A80A4 У3	4AM80A4	1,1	6,7	75	0,81	2,2	2	1,6	5
4A80B4 У3	4AM80B4	1,5	6,7	77	0,83	2,2	2	1,6	5
4A90L4 У3	4AM90L4	2,2	5,4	80	0,83	2,2	2	1,6	6
4A100S4 У3	4AM100S4	3	5,3	82	0,83	2,2	2	1,6	6,5
4A100L4 У3	4AM100L4	4	5,3	84	0,84	2,2	2	1,6	6
4A112M4 У3	4AM112M4	5,5	5	85,5	0,86	2,2	2	1,6	7
4A132S4 У3	4AM132S4	7,5	3	87,5	0,86	2,2	2	1,6	7,5
4A132M4 У3	4AM132M4	11	2,8	87,5	0,86	2,2	2	1,6	7,5
4A160S4 У3	4AM160S4	15	2,7/2,5	89	0,88	2,2/2,6	1,4/1,6	1/1,3	7/ 7,5
4A160M4 У3	4AM160M4	18,5	2,7/2	90	0,88	2,2/2,6	1,4/1,6	1/1,3	7/7,5
4A180S4 У3	4AM180S4	22	2	90/ 90,5	0,9/ 0,89	2,2/2,5	1,4/1,6	1/1,3	7/ 6,5
4A180M4 У3	4AM180M4	30	2	91	0,89	2,2/2,5	1,4/1,5	1/1,3	7/6,5
4A200M4 У3	4AM200M4	37	1,7/2	91,5	0,9/ 0,89	2,2/2,4	1,4/1,5	1/1,2	7/6,5
4A200L4 У3	4AM200L4	45	1,8/2	92	0,9/ 0,89	2,2/2,4	1,4/1,5	1/1,2	7/6,5
4A225M4 У3	4AM225M4	55	2	92,5	0,9/ 0,89	2,2	1,2/1,4	1/1,2	7/6,5
4A250S4 У3	4AM250S4	75	1,4	93	0,9	2,2	1,2/1,3	1/1,2	7/6,5
4A250M4 У3	4AM250M4	90	1,3	93	0,91	2,2	1,2/1,3	1/1,2	7/6,5
4A280S4 У3	4AM280S4	110	2,3	92,5	0,9	2	1,2	1	7
4A280M4 У3	4AM280M4	132	2,3	93	0,9	2	1,2	1	6,5
4A315S4 У3	4AM315S4	160	2	93,5	0,91	1,9	1	0,9	7
4A315M4 У3	4AM315M4	200	1,7	94	0,92	1,9	1	0,9	7
4A355S4 У3	4AM355S4	250	1,7	94,5	0,92	1,9	1	0,9	7
4A355M4 У3	4AM355M4	315	1,7	94,5	0,92	1,9	1	0,9	7
Синхронная частота вращения 1000 об/мин									
4AA63A6 У3	4AAM63A6	0,18	11,5	56	0,62	2,2	2	1,2	4
4AA63B6 У3	4AAM63B6	0,25	10,8	59	0,62	2,2	2	1,2	4

4A71A6 У3	4AM71A6	0,37	8	64,5	0,69	2,2	2	1,6	4
4A71B6 У3	4AM71B6	0,55	8	67,5	0,71	2,2	2	1,6	4
4A80A6 У3	4AM80A6	0,75	8	69	0,74	2,2	2	1,6	4
4A80B6 У3	4AM80B6	1,1	8	74	0,74	2,2	2	1,6	4
4A90L6 У3	4AM90L6	1,5	6,4	75	0,74	2,2	2	1,6	5,5
4A100L6 У3	4AM100L6	2,2	5,1	81	0,73	2,2	2	1,6	5,5
4A112MA6 У3	4AM112MA6	3	5,5	81	0,76	2,2	2	1,6	6
4A112MB6 У3	4AM112MB6	4	5,1	82	0,81	2,2	2	1,6	6
4A132S6 У3	4AM132S6	5,5	4,1	85	0,8	2,2	2	1,6	7
4A132M6 У3	4AM132M6	7,5	3,2	85,5	0,81	2,2	2	1,6	7
4A160S6 У3	4AM160S6	11	3/2,5	86/ 86,5	0,86/ 0,82	2/2,5	1,2/1,5	1/1,3	6/6,5
4A160M6 У3	4AM160M6	15	3/2,5	87,5/ 88	0,87/ 0,82	2/2,5	1,2/1,5	1/1,3	6/6,5
4A180M6 У3	4AM180M6	18,5	2,7/2,5	88	0,87/0,8 5	2	1,2/1,5	1/1,3	6/6,5
4A200M6 У3	4AM200M6	22	2,5/2	90	0,9/ 0,86	2/2,3	1,2/1,5	1/1,3	6,5
4A200L6 У3	4AM200L6	30	2,3/2	90,5	0,9/ 0,86	2/2,3	1,2/1,5	1/1,3	6,5
4A225M6 У3	4AM225M6	37	2	91	0,89/ 0,86	2	1,2/1,5	1/1,2	6,5
4A250S6 У3	4AM250S6	45	1,5	91,5	0,89/ 0,85	2	1,2/1,3	1/1,1	7/6,5
4A250M6 У3	4AM250M6	55	1,5	92	0,88/ 0,85	2	1,2/1,3	1/1,1	7/6,5
4A280S6 У3	4AM280S6	75	2	92	0,89	1,9	1,2	1	7
4A280M6 У3	4AM280M6	90	2	92,5	0,89	1,9	1,2	1	7
4A315S6 У3	4AM315S6	110	2	93	0,9	1,9	1	0,9	7
4A315M6 У3	4AM315M6	132	2	93,5	0,9	1,9	1	0,9	7
4A355S6 У3	4AM355S6	160	1,8	93,5	0,9	1,9	1	0,9	7
4A355M6 У3	4AM355M6	200	1,8	94	0,9	1,9	1	0,9	7
Синхронная частота вращения 750 об/мин									
4A71B8 У3	4AM71B8	0,25	9,3/10	56/58	0,65/ 0,66	1,7	1,6	1,2	3,5
4A80A8 У3	4AM80A8	0,37	10	61,5/ 62	0,65	1,7	1,6	1,2	3,5
4A80B8 У3	4AM80B8	0,55	10	64	0,65	1,7	1,6	1,2	3,5
4A90LA8 У3	4AM90LA8	0,75	6/7	68/70	0,62/ 0,66	1,7	1,6	1,2	3,5

4A90LB8 У3	4AM90LB8	1,1	7	70/72	0,68/ 0,7	1,7	1,6	1,2	3,5
4A100L8 У3	4AM100L8	1,5	7/10	74/76	0,65/ 0,73	1,7	1,6	1,2	5,5
4A112MA8	4AM112MA8	2,2	6	76,5	0,71	2,2	1,8	1,4	6
4A112MB8	4AM112MB8	3	6,5	79	0,74	2,2	1,8	1,4	6
4A132S8 У3	4AM132S8	4	4,1	83	0,7	2,2	1,8	1,4	6
4A132M8 У3	4AM132M8	5,5	4,5	83	0,74	2,2	1,8/2	1,4	6
4A160S8 У3	4AM160S8	7,5	2,7	86	0,75	2,2	1,4/1,5	1/1,1	6
4A160M8 У3	4AM160M8	11	2,7	87	0,75	2,2	1,4/1,5	1/1,1	6
4A180M8 У3	4AM180M8	15	2,6/2,5	87/88	0,82/ 0,83	2/2,2	1,2/1,4	1/1,1	6/5,5
4A200M8 У3	4AM200M8	18,5	2,5/2	88,5	0,84/ 0,8	2,2/2	1,2/1,4	1/1,1	6/5,5
4A200L8 У3	4AM200L8	22	2,7/2	88,5	0,84/ 0,8	2	1,2/1,4	1/1,1	6/5,5
4A225M8 У3	4AM225M8	30	2	90	0,81/0,8	2	1,2/1,4	1/1,1	6/5,5
4A250S8 У3	4AM250S8	37	1,6/1,5	90/ 90,5	0,83/ 0,8	2	1,2/1,4	1/1,1	6/5,5
4A250M8 У3	4AM250M8	45	1,4/1,5	91,5	0,82/ 0,8	2	1,2/1,3	1/1,1	6/5,5
4A280S8 У3	4AM280S8	55	2,2	92	0,84	1,9	1,2	1	6,5
4A280M8 У3	4AM280M8	75	2,2	92,5	0,85	1,9	1,2	1	6,5
4A315S8 У3	4AM315S8	90	2	93	0,85	1,9	1	0,9	6,5
4A315M8 У3	4AM315M8	110	2	93	0,85	1,9	1	0,9	6,5
4A355S8 У3	4AM355S8	132	2	93,5	0,85	1,9	1	0,9	6,5
4A355M8 У3	4AM355M8	160	2	93,5	0,85	1,9	1	0,9	6,5
Синхронная частота вращения 600 об/мин									
4A250S10 У3	4AM250S10	30	1,9	88/ 88,5	0,81/ 0,8	1,9	1,2	1	6
4A250M10 У3	4AM250M10	37	1,8/1,9	89	0,81/ 0,8	1,9	1,2	1	6
4A280S10 У3	4AM280S10	37	2	91	0,78	1,8	1	1	6
4A280M10 У3	4AM280M10	45	2	91,5	0,78	1,8	1	1	6
4A315S10 У3	4AM315S10	55	2	92	0,79	1,8	1	0,9	6
4A315M10 У3	4AM315M10	75	2	92	0,8	1,8	1	0,9	6
4A355S10 У3	4AM355S10	90	2	92,5	0,83	1,8	1	0,9	6
4A355M10 У3	4AM355M10	110	2	93	0,83	1,8	1	0,9	6
Синхронная частота вращения 500 об/мин									

4А315S12 У3	4АМ315S12	45	2,5	90,5	0,75	1,8	1	0,9	6
4А315М12 У3	4АМ315М12	55	2,5	91	0,75	1,8	1	0,9	6
4А355S12 У3	4АМ355S12	75	2	91,5	0,76	1,8	1	0,9	6
4А355М12 У3	4АМ355М12	90	2	92	0,76	1,8	1	0,9	6



Электродвигатели 4А, 4АМ - габаритно-присоединительные размеры