

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Соловьев Дмитрий Александрович  
Должность: ректор ФГБОУ ВО Вавиловский университет  
Дата подписания: 09.06.2026 15:46:53  
Уникальный программный ключ:  
528682d78e674e566ab07f01fe1ba2172f735a12

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и  
инженерии имени Н.И. Вавилова»**

**О.В. ЛОГАЧЁВА**

**ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА  
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

**методические указания для выполнения курсовой работы**

УДК 631.173  
ББК 31.261

**Рецензенты:**

профессор кафедры «Техническое обеспечение АПК» ФГБОУ ВО Вавиловский университет, доктор технических наук В.В. Сафонов

Кифарак С. А., начальник СИЗПИ (Служба изоляции, защиты перенапряжений и испытаний) Центрального производственного отделения филиала ПАО «Россети Волга»

**Технология ремонта электрооборудования:** методические указания для выполнения курсовой работы для обучающихся направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» / Сост.: О.В. Логачёва // ФГБОУ ВО Вавиловский университет – Саратов: 2026. – 52 с.

В методическом указании 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.

Методическое указание предназначено для обучающихся высших учебных заведений направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электроснабжение».

УДК 631.173  
ББК 31.261

© О.В. Логачёва, 2026

© ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2026

## 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
Список литературы.....	42
Приложения.....	43

## ВВЕДЕНИЕ

Технология ремонта электрооборудования – одна из основных дисциплин при подготовке бакалавров профиля «Электроснабжение». 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 убедиться 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. После 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  $T_{цик}$ , 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:

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

где  $N_{i1}, N_{i2} \dots N_{in}$  – количество установленного  $i$ -го вида электрооборудования в зоне обслуживания ремонтного предприятия (приложение 1);  $T_{ци1}, T_{ци2} \dots T_{цин}$  – 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 в т.ч. мощностью в кВт до 1 1,1 ... 3,0 3,1 ... 5,0 5,1 ... 10, 0 10,1 ... 20,0 более 20	100  12 22 28 20 10 8		0,8 0,9 1,0 1,5 2,0 2,5	
2	Трансформаторы силовые всего в т.ч. мощностью в кВА до 100 101 ... 250 251 ... 630 более 630	100  30 40 25 5		11 13 20 25	
3	Сварочные трансформаторы на ток всего до 300 А более 300 А	100 60 40		3 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  $1500 \text{ мин}^{-1}$ . 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.

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

где  $N_{1i}, N_{2i} \dots N_{mi}$  - количество ремонтного фонда в физических единицах по каждому виду оборудования;  $R_{1i}, R_{2i} \dots R_{mi}$  - 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.

$$Q_{\Gamma} = \sum_{i=1}^n Q_{\Gamma i} = Q_{\Gamma 1} + Q_{\Gamma 2} + \dots + Q_{\Gamma n}, \quad (3.3)$$

где  $Q_{\Gamma 1}, Q_{\Gamma 2} \dots Q_{\Gamma n}$  - 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 ( $\Pi$ ) 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.:

$$t = \frac{\Phi}{Q_r}, \text{ ч/у.е.р.} \quad (3.4)$$

где  $\Phi$  – годовой фонд рабочего времени предприятия, час.;  $Q_r$  – 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 –  $\Pi = (0,9...1,0)\tau_k$ , для ЭРЗ -  $\Pi = (0,8...0,9)\tau_k$ , где  $\tau_k$  - трудоемкость капитального

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

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

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

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

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

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

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

$$N = \frac{T_r}{\Phi}, \quad (3.6)$$

где  $T_r$  - годовая трудоемкость работ предприятия, чел.-ч;  $\Phi$  – годовой фонд рабочего времени, ч.

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

$$T_r = Q_r \cdot \tau_k, \quad (3.7)$$

где  $Q_r$  - годовая производственная программа, у.е.р.;  $\tau_k = 12,5$  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

$$\Phi = (d_k - d_b - d_p - d_o) \cdot t \cdot \eta \cdot \Delta t \cdot d_{пп},$$

где  $d_k$ ,  $d_b$ ,  $d_p$ ,  $d_o$ ,  $d_{пп}$  - соответственно число календарных, выходных, праздничных, отпускных и предпраздничных дней;  $t = 8,2$  – продолжительность смены;  $\Delta t$  – сокращение предпраздничного дня, (обычно 1 час);  $\eta$  - коэффициент использования рабочего времени ( $\eta = 0,95 \dots 0,96$ ), 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 ( $f_y$ ) на одного производственного рабочего:

$$F = f_y \cdot N, \tag{3.8}$$

где  $N$  – численность производственных рабочих;  $f_y = 10 \dots 20$  - удельная площадь на одного производственного рабочего (для мелких ЭРЦ -  $f_y = 20 \text{ м}^2$  на одного рабочего, для крупных ЭРЦ -  $f_y = 16 \text{ м}^2$ , для ЭРЗ -  $f_y = 10 \text{ м}^2$  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.

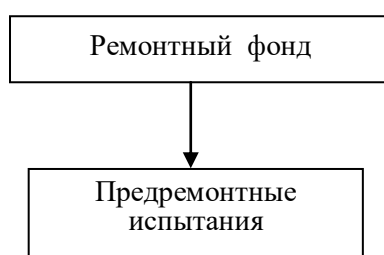
Таблица 2 - Рекомендуемые площади участков предприятия

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 -  $5\text{м}^2$  на человека, комнат вспомогательного персонала -  $3\text{ м}^2$ , гардеробных помещений -  $0,2\text{ м}^2$ , под умывальники -  $0,05\text{ м}^2$ . Душевые помещения выбирают из расчета  $1\text{м}^2$  на 15 рабочих, а туалетные -  $2,5\text{м}^2$  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.



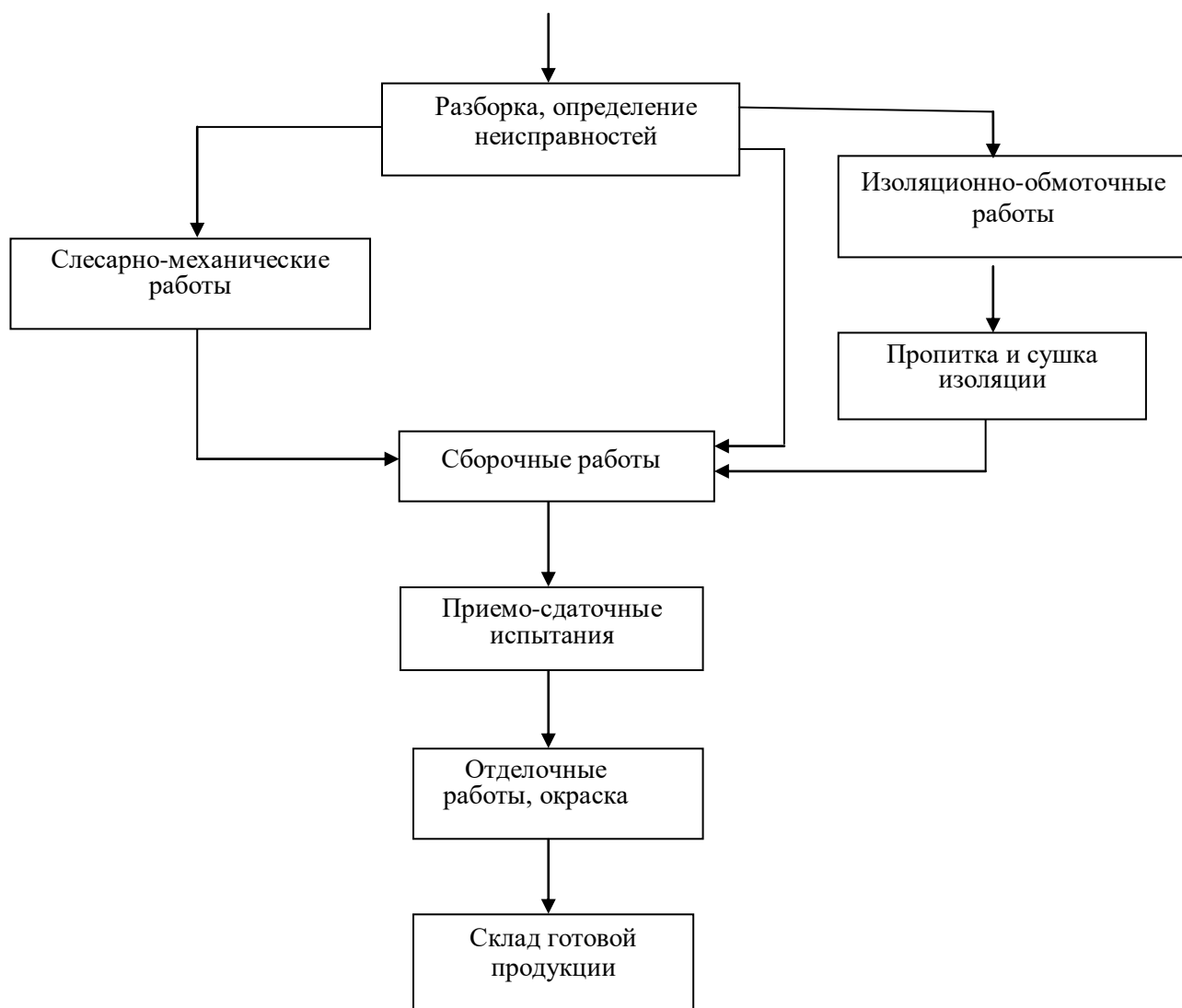


Рисунок 1 - Схема технологического процесса ремонта электродвигателей с короткозамкнутым ротором

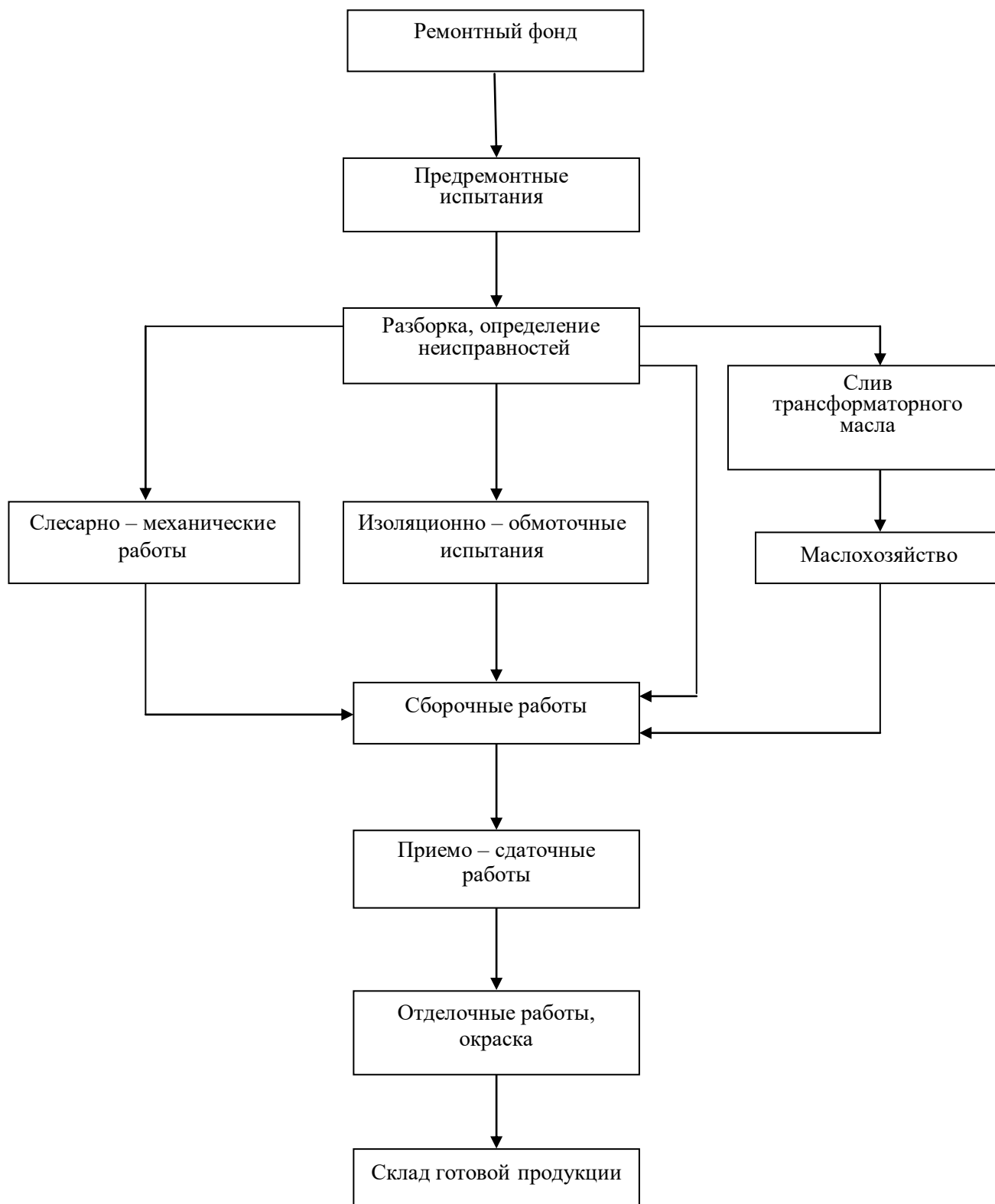


Рисунок 2 - Схема технологического процесса ремонта силовых трансформаторов

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.

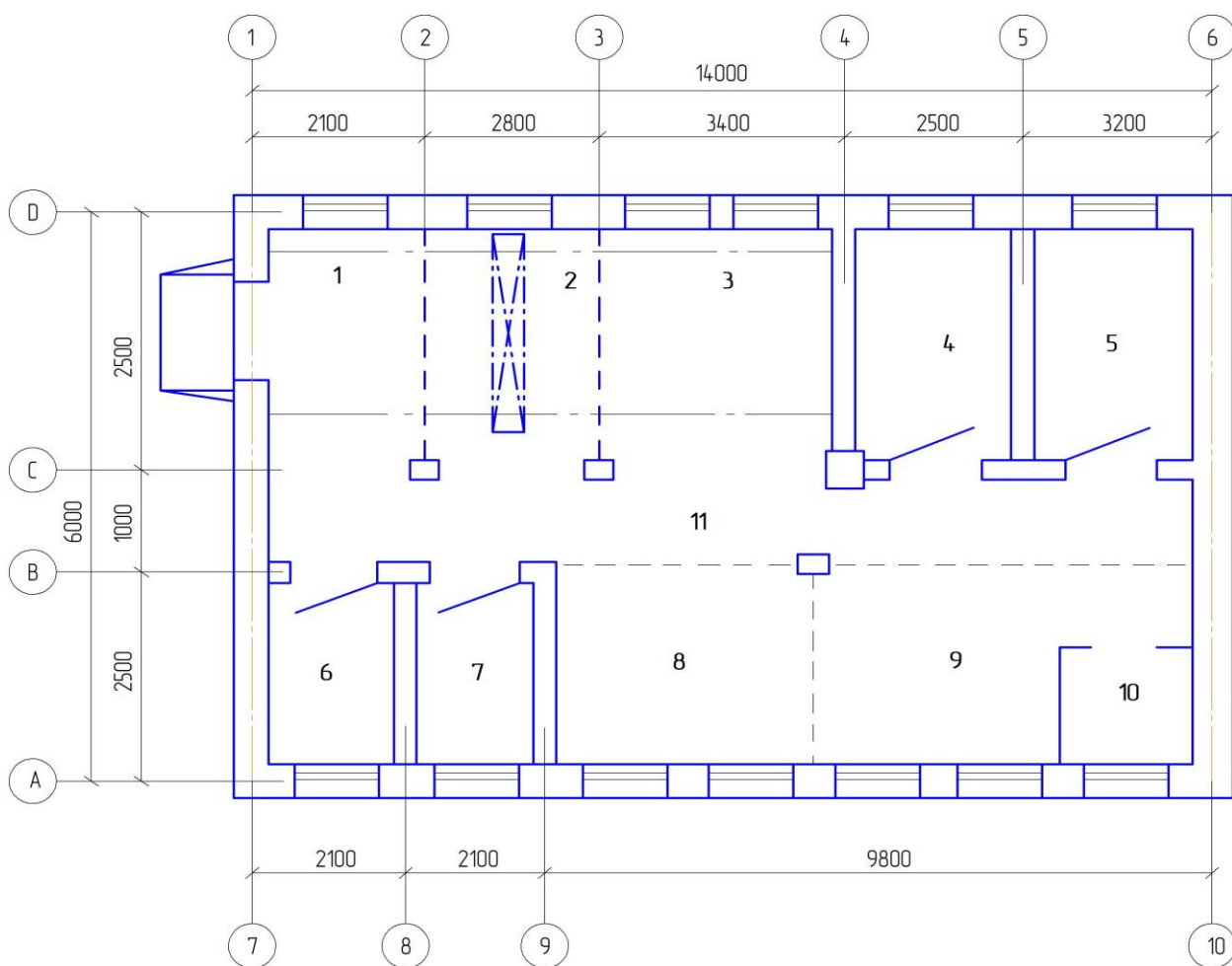


Рисунок 3 - Компоновка электроремонтного предприятия:

**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

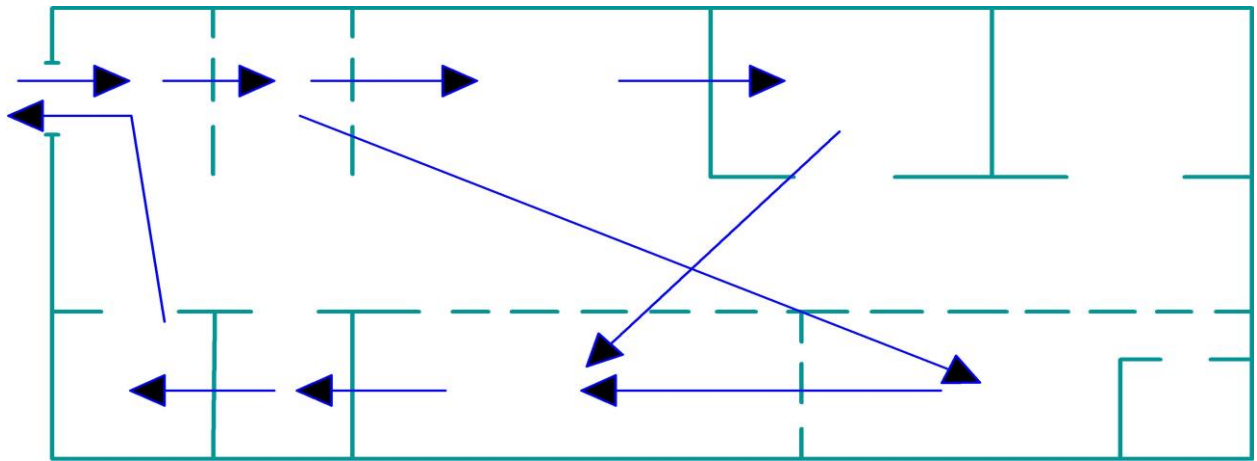


Рисунок 4 - Схема движения деталей и узлов по замкнутому потоку

## **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  $D_n, D_{вн}$ ;
- 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,  $\delta$ ;

- диаметр вала,  $D_B$ ;
- 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 поля статора,  $n_1$ ;
- номинальное напряжение обмотки статора,  $U$ .

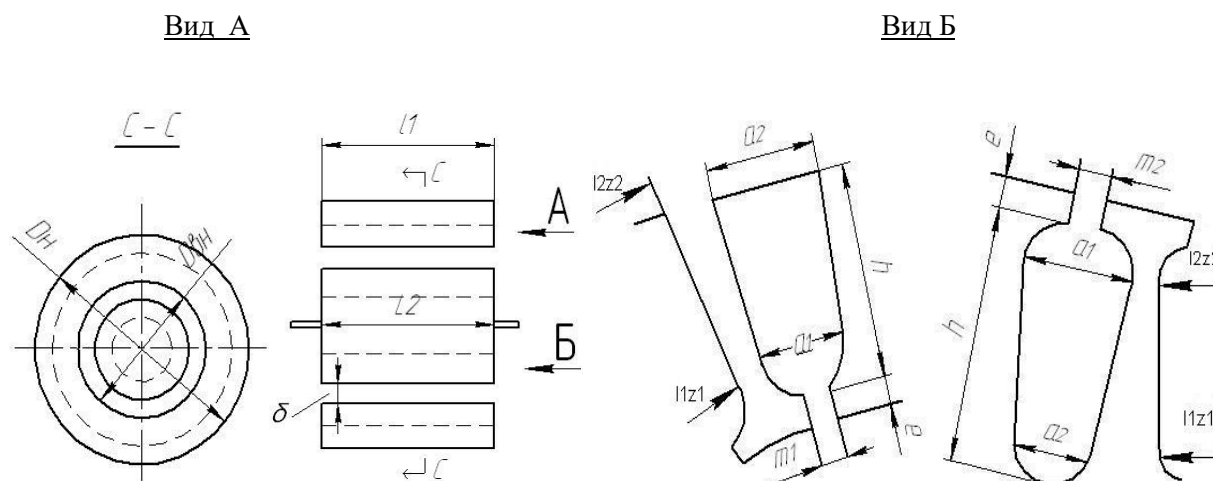


Рисунок 5 - Эскиз магнитной системы

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

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

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

Активная длина сердечника статора

$$l_0 = K_s \cdot l_1, \quad (3.10)$$

где  $K_3 = 0,93$  – коэффициент заполнения пакета сталью, зависящий от вида изоляции и толщины листов стали.

Высота зубца статора

$$h_{z1} = h + e, \quad (3.11)$$

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

Высота спинки статора

$$h_{cc} = \frac{1}{2}(D_n - 2h_{z1} - D_{вн}) \quad (3.12)$$

Площадь спинки статора

$$S_{cc} = h_{cc} \cdot l_0 \quad (3.13)$$

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.

$$L_{cc} = \frac{\pi \cdot (D_n - h_{cc})}{2p}, \quad (3.14)$$

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 нижней части.

$$b_{срз1} = \frac{b_{1z1} + b_{2z1}}{2} \quad (3.15)$$

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

$b_{2z1} = \frac{\pi \cdot (D_{вн} + 2 \cdot h_{z1} + a_2)}{z_1}$  –  $a_2$  – 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.

$$S_{\text{ис}} = \frac{a_1 + a_2}{2} \cdot \left( h - \frac{a_1}{2} \right) \cdot \frac{\pi \cdot a_1^2}{8} \quad (3.16)$$

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

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

Высота спинки ротора

$$h_{\text{сп}} = \frac{D' - D_{\text{в}} + \frac{1}{6} \cdot D_{\text{в}}}{2} - h_{z2} \quad (3.18)$$

Где  $D' = D_{\text{вн}} - 2\delta$  - внешний диаметр ротора, величина  $\frac{1}{6} D_{\text{в}}$  учитывает, что магнитный поток проходит и по частям вала;  $D_{\text{в}}$  - диаметр вала.

Площадь спинки ротора

$$S_{\text{сп}} = h_{\text{сп}} \cdot l_2 \cdot k_3 \quad (3.19)$$

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

Длина силовой линии в спинке ротора

$$L_{\text{сп}} = \frac{\pi \cdot (D_{\text{в}} + h_{\text{сп}})}{2p} \quad (3.20)$$

Средняя расчетная ширина зубца ротора

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

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

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

### 3.2.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТИРОВОЧНОЙ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

Мощность двигателя зависит от его основных параметров – внутреннего диаметра  $D_{\text{вн}}$  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 ( $\cos \phi$ ) 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

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

где  $\lambda_1=1$  и  $\lambda_2=2$  – 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  $P_n$ , а затем 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  $B_g$  и рассчитывают магнитный поток  $\Phi$  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  $B_{\delta}$  потери в стали сильно возрастают и приводит к ухудшению энергетических характеристик машины: КПД ( $\eta$ ) 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	$B_{\delta}$	Тл	0,3-0,6	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 <sup>2</sup>	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

$$\Phi = \alpha_{\delta} \cdot B_{\delta} \cdot \tau \cdot l_1 \cdot 10^{-6}, \quad (3.25)$$

где  $\alpha_{\delta} = 0,65 - 0,75$  – коэффициент полюсного деления;  $B_{\delta}$  – 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.

$$B_{z1} = B_{\delta} \cdot \frac{t_1 \cdot l_1}{b_{cpz1} \cdot l_0} \quad (3.26)$$

где  $t_1 = \frac{\pi \cdot D_{gn}}{Z_1}$  – 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  $t_2 = \frac{\pi \cdot D'}{Z_2}$  - 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  $B_{\delta}$  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 классифицируются 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 диаметрными, 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  $U_\phi$  и величиной потока  $\Phi$ , создаваемого в двигателе:

$$W = \frac{E}{4,44 \cdot f \cdot K_{об} \cdot \Phi} = \frac{K_l \cdot U_\phi}{222 \cdot K_{об} \cdot \Phi} \quad (3.30)$$

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

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

где  $K_y$  – коэффициент укорочения;  $K_p$  – коэффициент распределения.

Обычно однослойные концентрические обмотки выполняют диаметрными шагом ( $K_y = 1$ ). В этих обмотках шаг обмотки равен полюсному делению ( $y = \tau$ ). Шаг двухслойной обмотки выбирается, как правило,

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

$$\tau = \frac{Z_1}{2p} \text{ – полюсное деление,}$$

$$q = \frac{Z_1}{2p \cdot m} \text{ – число пазов на полюс и фазу,}$$

$$\alpha = \frac{360 \cdot p}{Z_1} \text{ – угол, приходящийся на один паз, в град.}$$

Число проводников в одном пазу

$$n_{\text{пр}} = \frac{2 \cdot m \cdot W}{Z_1} \quad (3.31)$$

Сечение изолированного провода, мм<sup>2</sup>

$$q_{\text{из}} = \frac{S_{\text{ис}} \cdot K_{\text{зп}}}{n_{\text{пр}}} \quad (3.32)$$

где  $K_{\text{зп}}$  – коэффициент заполнения проводниками площади паза

Проводники, заложенные в паз, располагаются по его сечению неравномерно, оставляя незаполненные пространства. Критерием использования площади паза служит коэффициент  $K_{\text{зп}}$ . 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

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

Диаметр голого провода, мм

$$d'_{\text{г}} = d_{\text{из}} - \Delta_{\text{из}}, \quad (3.34)$$

где  $\Delta_{\text{из}}$  – двухсторонняя толщина изолированного провода.  $\Delta_{\text{из}} = 0,06 - 0,13$  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  $d'_r$  из справочника (приложение 3) выбирают ближайший стандартный провод и записывают его данные ( $d_r$ ,  $q_r$ ).

### 3.2.8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАСПОРТНЫХ ДАННЫХ ДВИГАТЕЛЯ

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

$$I_\phi = q_r \cdot j, \text{ А} \quad (3.35)$$

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

$$P_{2н} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \cdot \eta \cdot \cos\varphi \cdot 10^{-3}, \quad (3.36)$$

где  $U_n$  - линейное номинальное напряжение, В;  $I_n$  - линейное значение силы тока, А; ( $I_n = I_\phi$  при соединении обмоток звездой);  $\eta$  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

$$n_{\text{кат}} = \frac{Z_1}{2} - \text{для однослойной обмотки}$$

$$n_{\text{кат}} = Z_1 - \text{для двухслойной обмотки}$$

Число витков в катушке

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

где  $W$  - число витков в фазе

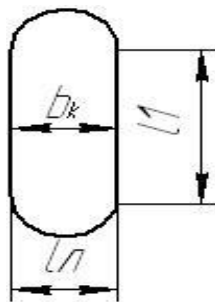


Рисунок 6 - Геометрические размеры катушки

Средняя ширина катушки

$$b_k = \frac{\pi \cdot (D_{\text{вн}} + h_{z1})}{2p} \cdot \frac{y}{\tau} \quad (3.37)$$

Длина лобовой части

$$l_{\text{л}} = 30 + K \cdot b_k \quad (3.38)$$

Коэффициент К выбирают из таблицы.

2р	2	4	6	8
К	1,2	1,3	1,4	1,5

Средняя длина витка

$$l_{\text{вит}} = 2 \cdot (l_1 + l_2) \quad (3.39)$$

Масса меди в обмотках статора

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

### 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 С°), а для двигателей мощностью выше 11 кВт - изоляция соответствующая классу нагревостойкости (допустимая рабочая температура до 155 С°).

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

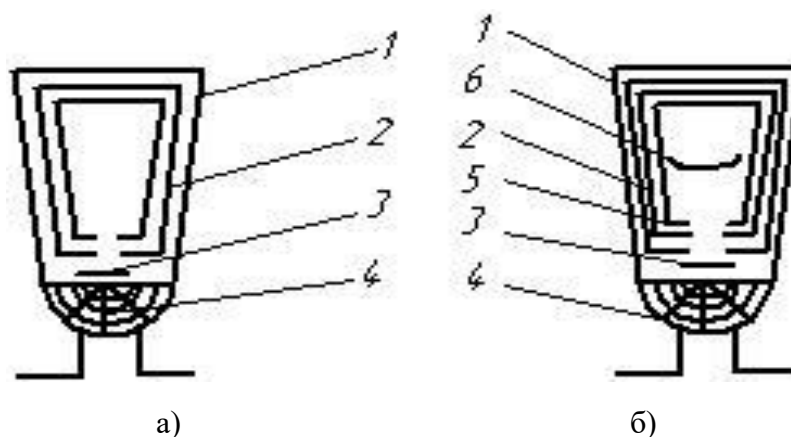


Рисунок 7 - Конструкция пазовой изоляции: а - однослойной обмотки; б - двухслойной обмотки; 1,2,5 - пазовая изоляция; 3 - изоляционная прокладка; 4 - изоляционный клин; 6 — катушечная прокладка

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:

$p = r$  - 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  $360^\circ$ .

#### Основные параметры двухслойной обмотки:

$p = 2r$  - 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  $\beta$  - коэффициент укорочения,

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

Угол между началами катушечных групп составляет  $180^\circ$ .

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:  $n_{\text{кат}}$ ,  $n$ ,  $q$ ,  $\tau$ ,  $u$ ,  $\alpha$ .

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, тока 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 ( $A$ ). Эта величина представляет собой число ампер-витков, приходящихся на единицу длины внутренней расточки статора

$$A = \frac{m \cdot I_{\text{фн}} \cdot 2W}{\pi \cdot D_{\text{вн}}}, \text{ A/cm} \quad (3.41)$$

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

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

### 3.2.15 ТЕПЛОВАЯ НАГРУЗКА

Произведение ( $A \cdot j$ ) дает возможность оценить тепловую нагрузку двигателя, которая также нормируется

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

где  $j$  – плотность тока, А/мм<sup>2</sup> (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

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

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

$$K_{\delta} = K_{\delta_1} \cdot K_{\delta_2} \quad (3.43)$$

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;  $\delta$  - величина воздушного зазора.

М.Д.С. в зубцах статора, А

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

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

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

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

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

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

Ток холостого хода

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

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

Ток холостого хода обычно считают в % от номинального:

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

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

## 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 трансформаторного масла
24	4,0	8,0	0,6	1,5	настройка коммутации МПТ

Примечание:

- 60% электродвигателей установлено в животноводстве;  
30% - в растениеводстве;  
10% - в подсобных предприятиях.
- 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	2р	Ул	$\frac{D_n}{D_{нв}}$	L <sub>1</sub>	δ	статор				ротор				D <sub>в</sub>
						Z <sub>1</sub>	a <sub>1/a<sub>2</sub></sub>	h	e/m <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	a <sub>1/a<sub>2</sub></sub>	h	e/m <sub>2</sub>	
		В	$\frac{D_{нв}}{D_{нв}}$	мм	мм		мм/мм	мм	мм/мм		мм/мм	мм	мм/мм	мм
1	4	380	$\frac{81}{46}$	42	0,25	12	$\frac{9,7}{12,4}$	11,0	$\frac{0,5}{1,8}$	15	$\frac{4,8}{1,5}$	9,4	$\frac{0,75}{1,0}$	9
2	2	380	$\frac{89}{48}$	56	0,25	24	$\frac{4,5}{5,8}$	8,0	$\frac{0,5}{1,5}$	18	$\frac{4,1}{1,5}$	10,2	$\frac{0,5}{1,0}$	11
3	4	380	$\frac{89}{55}$	56	0,25	24	$\frac{4,8}{6,4}$	9,8	$\frac{0,5}{1,8}$	18	$\frac{4,4}{1,5}$	10,8	$\frac{0,5}{1,0}$	
4	2	380	$\frac{100}{54}$	65	0,3	24	$\frac{4,8}{6,3}$	9,0	$\frac{0,5}{1,8}$	18	$\frac{4,4}{1,9}$	10,5	$\frac{0,8}{1,0}$	14
5	4	380	$\frac{100}{61}$	65	0,25	24	$\frac{4,8}{6,5}$	10,4	$\frac{0,5}{1,8}$	18	$\frac{4,4}{1,5}$	11,5	$\frac{0,5}{1,0}$	
6	6	380	$\frac{100}{85}$	75	0,25	36	$\frac{3,5}{4,9}$	10,9	$\frac{0,5}{1,8}$	28	$\frac{3,4}{1,5}$	11,4	$\frac{0,5}{1,0}$	19
7	2	380	$\frac{116}{65}$	75	0,35	24	$\frac{5,9}{7,5}$	9,3	$\frac{0,5}{2,0}$	20	$\frac{5,0}{2,5}$	11,8	$\frac{0,5}{1,0}$	
8	4	380	$\frac{116}{70}$	65	0,25	24	$\frac{5,2}{7,3}$	11,6	$\frac{0,5}{2,0}$	17	$\frac{5,0}{1,5}$	12,6	$\frac{0,8}{1,0}$	22
9	6	380	$\frac{116}{76}$	65	0,25	36	$\frac{3,9}{5,5}$	12,2	$\frac{0,5}{2,0}$	28	$\frac{3,8}{1,9}$	11,4	$\frac{0,8}{1,0}$	
10	8	380	$\frac{116}{76}$	90	0,25	48	$\frac{3,9}{5,5}$	12,2	$\frac{0,5}{2,0}$	28	$\frac{3,8}{1,9}$	11,4	$\frac{0,8}{1,0}$	22
11	2	380	$\frac{131}{74}$	74	0,35	24	$\frac{6,8}{8,5}$	11,6	$\frac{0,5}{3,0}$	20	$\frac{6,1}{3,3}$	13,6	$\frac{0,8}{1,0}$	
12	4	380	$\frac{131}{84}$	78	0,25	36	$\frac{4,4}{6,0}$	12,1	$\frac{0,5}{2,5}$	28	$\frac{4,5}{1,5}$	16,4	$\frac{0,8}{1,0}$	24
13	6	380	$\frac{131}{88}$	78	0,25	36	$\frac{4,3}{6,0}$	13,0	$\frac{0,5}{2,5}$	28	$\frac{4,3}{1,7}$	14,8	$\frac{0,8}{1,0}$	
14	2	380	$\frac{149}{84}$	100	0,4	24	$\frac{8,1}{10,1}$	12,6	$\frac{0,5}{3,2}$	20	$\frac{6,8}{3,4}$	16	$\frac{0,8}{1,0}$	28
15	4	380	$\frac{149}{95}$	100	0,25	36	$\frac{4,8}{6,5}$	12,9	$\frac{0,5}{3,0}$	28	$\frac{4,9}{1,9}$	16,6	$\frac{0,8}{1,0}$	
16	6	380	$\frac{149}{100}$	110	0,25	36	$\frac{4,7}{6,6}$	13,8	$\frac{0,5}{2,7}$	28	$\frac{5,0}{2,1}$	16,5	$\frac{0,8}{1,0}$	32
17	2	380	$\frac{168}{95}$	100	0,45	24	$\frac{9,1}{11,3}$	14,1	$\frac{0,5}{3,5}$	20	$\frac{7,4}{4,0}$	16,5	$\frac{0,8}{1,0}$	
18	4	380	$\frac{168}{105}$	100	0,3	36	$\frac{4,9}{7,1}$	15,8	$\frac{0,5}{3,0}$	28	$\frac{5,1}{1,5}$	19,3	$\frac{0,8}{1,0}$	28
19	6	380	$\frac{168}{113}$	120	0,3	36	$\frac{5,4}{7,5}$	15,4	$\frac{0,5}{3,0}$	28	$\frac{6,0}{3,0}$	17,9	$\frac{0,8}{1,0}$	
20	2	380	$\frac{191}{110}$	125	0,6	36	$\frac{10,5}{12,6}$	15,1	$\frac{0,5}{3,7}$	22	$\frac{8,0}{3,4}$	21,6	$\frac{0,75}{1,5}$	

Таблица 3 - Размеры круглой проволоки для обмоточных проводов

<i>d</i>	<i>S</i>	<i>d</i>	<i>S</i>	<i>d</i>	<i>S</i>	<i>d</i>	<i>S</i>
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<sup>2</sup>

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

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

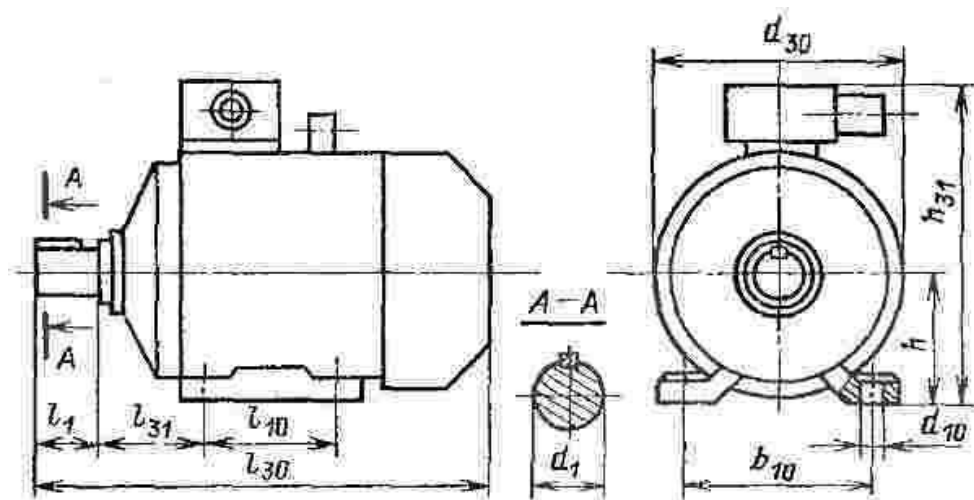
Марка двигателя		Мощн кВт	Скольж %	КПД %	Коэф. мощн.	M <sub>макс</sub> / M <sub>н</sub>	M <sub>п</sub> / M <sub>н</sub>	M <sub>мин</sub> / M <sub>н</sub>	I <sub>п</sub> / I <sub>н</sub>
Синхронная частота вращения 3000 об/мин									
4АА56А2 У3	4ААМ56А2	0,18	8	66	0,76	2,2	2	1,2	5
4АА56В2 У3	4ААМ56В2	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
4А112M2 У3	4АМ112M2	7,5	2,6/2,5	87,5	0,88	2,2	2/2,1	1	7,5
4А132M2 У3	4АМ132M2	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
4А160M2 У3	4АМ160M2	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
4А180M2 У3	4АМ180M2	30	1,9/2	90,5/ 91	0,9/ 0,89	2,2/2,7	1,4/1,5	1/1,3	7,5
4А200M2 У3	4АМ200M2	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
4А225M2 У3	4АМ225M2	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
4А250M2 У3	4АМ250M2	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
4А280M2 У3	4АМ280M2	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
4А315M2 У3	4АМ315M2	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
4А355M2 У3	4АМ355M2	315	2	93	0,91	1,9	1	0,9	7

Синхронная частота вращения 1500 об/мин									
4AA56A4 Y3	4AAM56A4	0,12	8	63	0,66	2,2	2	1,2	5
4AA56B4 Y3	4AAM56B4	0,18	8,7	64	0,64	2,2	2	1,2	5
4AA63A4 Y3	4AAM63A4	0,25	8	68	0,65	2,2	2	1,2	5
4AA63B4 Y3	4AAM63B4	0,37	9	68	0,69	2,2	2	1,2	5
4A71A4 Y3	4AM71A4	0,55	8,7	70,5	0,7	2,2	2	1,6	4,5
4A71B4 Y3	4AM71B4	0,75	8,7	72	0,73	2,2	2	1,6	4,5
4A80A4 Y3	4AM80A4	1,1	6,7	75	0,81	2,2	2	1,6	5
4A80B4 Y3	4AM80B4	1,5	6,7	77	0,83	2,2	2	1,6	5
4A90L4 Y3	4AM90L4	2,2	5,4	80	0,83	2,2	2	1,6	6
4A100S4 Y3	4AM100S4	3	5,3	82	0,83	2,2	2	1,6	6,5
4A100L4 Y3	4AM100L4	4	5,3	84	0,84	2,2	2	1,6	6
4A112M4 Y3	4AM112M4	5,5	5	85,5	0,86	2,2	2	1,6	7
4A132S4 Y3	4AM132S4	7,5	3	87,5	0,86	2,2	2	1,6	7,5
4A132M4 Y3	4AM132M4	11	2,8	87,5	0,86	2,2	2	1,6	7,5
4A160S4 Y3	4AM160S4	15	2,7/2,5	89	0,88	2,2/2,6	1,4/1,6	1/1,3	7/ 7,5
4A160M4 Y3	4AM160M4	18,5	2,7/2	90	0,88	2,2/2,6	1,4/1,6	1/1,3	7/7,5
4A180S4 Y3	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 Y3	4AM180M4	30	2	91	0,89	2,2/2,5	1,4/1,5	1/1,3	7/6,5
4A200M4 Y3	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 Y3	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 Y3	4AM225M4	55	2	92,5	0,9/ 0,89	2,2	1,2/1,4	1/1,2	7/6,5
4A250S4 Y3	4AM250S4	75	1,4	93	0,9	2,2	1,2/1,3	1/1,2	7/6,5
4A250M4 Y3	4AM250M4	90	1,3	93	0,91	2,2	1,2/1,3	1/1,2	7/6,5
4A280S4 Y3	4AM280S4	110	2,3	92,5	0,9	2	1,2	1	7
4A280M4 Y3	4AM280M4	132	2,3	93	0,9	2	1,2	1	6,5
4A315S4 Y3	4AM315S4	160	2	93,5	0,91	1,9	1	0,9	7
4A315M4 Y3	4AM315M4	200	1,7	94	0,92	1,9	1	0,9	7
4A355S4 Y3	4AM355S4	250	1,7	94,5	0,92	1,9	1	0,9	7
4A355M4 Y3	4AM355M4	315	1,7	94,5	0,92	1,9	1	0,9	7
Синхронная частота вращения 1000 об/мин									
4AA63A6 Y3	4AAM63A6	0,18	11,5	56	0,62	2,2	2	1,2	4
4AA63B6 Y3	4AAM63B6	0,25	10,8	59	0,62	2,2	2	1,2	4

4A71A6 Y3	4AM71A6	0,37	8	64,5	0,69	2,2	2	1,6	4
4A71B6 Y3	4AM71B6	0,55	8	67,5	0,71	2,2	2	1,6	4
4A80A6 Y3	4AM80A6	0,75	8	69	0,74	2,2	2	1,6	4
4A80B6 Y3	4AM80B6	1,1	8	74	0,74	2,2	2	1,6	4
4A90L6 Y3	4AM90L6	1,5	6,4	75	0,74	2,2	2	1,6	5,5
4A100L6 Y3	4AM100L6	2,2	5,1	81	0,73	2,2	2	1,6	5,5
4A112MA6 Y3	4AM112MA6	3	5,5	81	0,76	2,2	2	1,6	6
4A112MB6 Y3	4AM112MB6	4	5,1	82	0,81	2,2	2	1,6	6
4A132S6 Y3	4AM132S6	5,5	4,1	85	0,8	2,2	2	1,6	7
4A132M6 Y3	4AM132M6	7,5	3,2	85,5	0,81	2,2	2	1,6	7
4A160S6 Y3	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 Y3	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 Y3	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 Y3	4AM200M6	22	2,5/2	90	0,9/ 0,86	2/2,3	1,2/1,5	1/1,3	6,5
4A200L6 Y3	4AM200L6	30	2,3/2	90,5	0,9/ 0,86	2/2,3	1,2/1,5	1/1,3	6,5
4A225M6 Y3	4AM225M6	37	2	91	0,89/ 0,86	2	1,2/1,5	1/1,2	6,5
4A250S6 Y3	4AM250S6	45	1,5	91,5	0,89/ 0,85	2	1,2/1,3	1/1,1	7/6,5
4A250M6 Y3	4AM250M6	55	1,5	92	0,88/ 0,85	2	1,2/1,3	1/1,1	7/6,5
4A280S6 Y3	4AM280S6	75	2	92	0,89	1,9	1,2	1	7
4A280M6 Y3	4AM280M6	90	2	92,5	0,89	1,9	1,2	1	7
4A315S6 Y3	4AM315S6	110	2	93	0,9	1,9	1	0,9	7
4A315M6 Y3	4AM315M6	132	2	93,5	0,9	1,9	1	0,9	7
4A355S6 Y3	4AM355S6	160	1,8	93,5	0,9	1,9	1	0,9	7
4A355M6 Y3	4AM355M6	200	1,8	94	0,9	1,9	1	0,9	7
Синхронная частота вращения 750 об/мин									
4A71B8 Y3	4AM71B8	0,25	9,3/10	56/58	0,65/ 0,66	1,7	1,6	1,2	3,5
4A80A8 Y3	4AM80A8	0,37	10	61,5/ 62	0,65	1,7	1,6	1,2	3,5
4A80B8 Y3	4AM80B8	0,55	10	64	0,65	1,7	1,6	1,2	3,5
4A90LA8 Y3	4AM90LA8	0,75	6/7	68/70	0,62/ 0,66	1,7	1,6	1,2	3,5

4A90LB8 Y3	4AM90LB8	1,1	7	70/72	0,68/ 0,7	1,7	1,6	1,2	3,5
4A100L8 Y3	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 Y3	4AM132S8	4	4,1	83	0,7	2,2	1,8	1,4	6
4A132M8 Y3	4AM132M8	5,5	4,5	83	0,74	2,2	1,8/2	1,4	6
4A160S8 Y3	4AM160S8	7,5	2,7	86	0,75	2,2	1,4/1,5	1/1,1	6
4A160M8 Y3	4AM160M8	11	2,7	87	0,75	2,2	1,4/1,5	1/1,1	6
4A180M8 Y3	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 Y3	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 Y3	4AM200L8	22	2,7/2	88,5	0,84/ 0,8	2	1,2/1,4	1/1,1	6/5,5
4A225M8 Y3	4AM225M8	30	2	90	0,81/0,8	2	1,2/1,4	1/1,1	6/5,5
4A250S8 Y3	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 Y3	4AM250M8	45	1,4/1,5	91,5	0,82/ 0,8	2	1,2/1,3	1/1,1	6/5,5
4A280S8 Y3	4AM280S8	55	2,2	92	0,84	1,9	1,2	1	6,5
4A280M8 Y3	4AM280M8	75	2,2	92,5	0,85	1,9	1,2	1	6,5
4A315S8 Y3	4AM315S8	90	2	93	0,85	1,9	1	0,9	6,5
4A315M8 Y3	4AM315M8	110	2	93	0,85	1,9	1	0,9	6,5
4A355S8 Y3	4AM355S8	132	2	93,5	0,85	1,9	1	0,9	6,5
4A355M8 Y3	4AM355M8	160	2	93,5	0,85	1,9	1	0,9	6,5
Синхронная частота вращения 600 об/мин									
4A250S10 Y3	4AM250S10	30	1,9	88/ 88,5	0,81/ 0,8	1,9	1,2	1	6
4A250M10 Y3	4AM250M10	37	1,8/1,9	89	0,81/ 0,8	1,9	1,2	1	6
4A280S10 Y3	4AM280S10	37	2	91	0,78	1,8	1	1	6
4A280M10 Y3	4AM280M10	45	2	91,5	0,78	1,8	1	1	6
4A315S10 Y3	4AM315S10	55	2	92	0,79	1,8	1	0,9	6
4A315M10 Y3	4AM315M10	75	2	92	0,8	1,8	1	0,9	6
4A355S10 Y3	4AM355S10	90	2	92,5	0,83	1,8	1	0,9	6
4A355M10 Y3	4AM355M10	110	2	93	0,83	1,8	1	0,9	6
Синхронная частота вращения 500 об/мин									

4A315S12 Y3	4AM315S12	45	2,5	90,5	0,75	1,8	1	0,9	6
4A315M12 Y3	4AM315M12	55	2,5	91	0,75	1,8	1	0,9	6
4A355S12 Y3	4AM355S12	75	2	91,5	0,76	1,8	1	0,9	6
4A355M12 Y3	4AM355M12	90	2	92	0,76	1,8	1	0,9	6



Электродвигатели 4А, 4АМ - габаритно-присоединительные размеры