

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева»

**Кафедра электропривода и автоматизации**

Составитель

**С. Г. Филимонов**

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

**Методические указания к курсовому проекту**

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления  
13.03.02 (140400.62) «Электроэнергетика и электротехника»  
в качестве электронного издания  
для самостоятельной работы

Кемерово 2014

## Рецензенты

Старовойтов В. А. – доцент кафедры электропривода и автоматизации

Семыкина И. Ю. – председатель учебно-методической комиссии направления подготовки 13.03.02 (140400.62) «Электроэнергетика и электротехника»

**Филимонов Сергей Гаврилович. Электрические машины переменного тока:** методические указания к курсовому проекту [Электронный ресурс] по дисциплине «Электрические машины» для студентов направления 13.03.02 (140400.62) «Электроэнергетика и электротехника», образовательные программы «Электропривод и автоматика», «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» и специальности 21.05.04 (130400.65) «Горное дело», образовательная программа «Электрификация и автоматизация горного производства», очной формы обучения / сост.: С. Г. Филимонов – Кемерово : КузГТУ, 2014. – Систем. требования : Pentium IV ; ОЗУ 8 Мб ; Windows XP ; мышь. – Загл. с экрана.

Даны требования к содержанию курсового проекта, методические указания по эскизному проектированию асинхронного двигателя, варианты заданий и контрольные вопросы для защиты проекта

## Содержание

1	Основные положения.....	4
2	Техническое задание.....	4
3	Содержание курсового проекта.....	4
4	Учебные пособия.....	5
5	Указания к выполнению отдельных разделов проекта.....	6
	5.1. Синтез электромагнитной подсистемы.....	6
	5.2. Анализ электромагнитной подсистемы.....	8
	5.3. Разработка конструкции. Синтез механической и тепло- вентиляционной подсистем.....	9
	5.4. Анализ механической подсистемы.....	11
	5.5. Анализ тепловентиляционной подсистемы.....	12
	5.6. Исследовательская часть проекта .....	12
6	Указания к оформлению пояснительной записки.....	13
7	Использование вычислительной техники .....	13
8	Защита проекта.....	13
9	Контрольные вопросы.....	15
10	Литература.....	
	Варианты проектных заданий.....	18
	ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Титульный лист курсового проекта.....	20
	ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Сводные данные расчета асинхронного двигателя.....	21

## **1. Основные положения**

Учебное проектирование асинхронных двигателей проводится студентами, обучающимися по направлению подготовки бакалавров 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника», профилям 02 «Электропривод и автоматика» и 03 «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» и по программе подготовки специалистов 130400.65 «Горное дело», специализации 130400.65.10.01 «Электрификация и автоматизация горного производства». При выполнении курсового проекта студенты приобретают практические навыки синтеза электромагнитной, тепловентиляционной и механической подсистем асинхронного двигателя, разработки их конструкции и анализа работоспособности, принятия проектных решений на основе знаний, полученных при изучении теоретических курсов по теоретическим основам электротехники, электрическим машинам, проектированию электрических машин и ряда других, входящих в программы специализаций. Курсовой проект состоит из основной и исследовательской частей и рассчитан на выполнение в течение одного учебного семестра.

## **2. Техническое задание**

Задание на курсовой проект выдается руководителем проекта, назначенным кафедрой. В задании указываются номинальные данные машины, ее режим работы, исполнения по способам монтажа и охлаждения, степени защиты от окружающей среды. Помимо этого могут быть заданы дополнительные требования, например, наименьшее допустимое значение кратностей пускового и максимального моментов, предельные значения пускового тока и т. п. Требования к проектируемой машине, не оговоренные в задании, должны удовлетворять соответствующим ГОСТам.

Задание на исследовательскую часть проекта выдается руководителем исходя из результатов, полученных при выполнении основной части проекта.

При работе над проектом, если нет специальных указаний руководителя, следует ориентироваться на конструктивное исполнение, принятое в двигателях серий 4А или АИ.

## **3. Содержание курсового проекта**

Курсовой проект выполняется на основании технического задания. В таблице указан в процентах примерный объем работы, необходимой для выполнения каждого раздела проекта. График выполнения проекта с указанием сроков выполнения отдельных разделов по неделям семестра сообщается студентам при выдаче задания.

Отдельные части проекта должны быть выполнены и представлены для проверки руководителю в сроки, указанные в графике. Это дает возможность своевременно исправить допущенные студентами ошибки и ор-

ганизовать равномерную работу над проектом в течение семестра.

К защите проекта должны быть представлены чертежи спроектированной машины и пояснительная записка.

### Объем и график выполнения основных разделов курсового проекта

№ п/п	Разделы проекта	Объем в %	Сроки выполнения
1	Выбор главных размеров	5	1 неделя
2	Обмотка и зубцовая зона статора	10	2 неделя
3	Воздушный зазор. Обмотка и зубцовая зона ротора	10	4 неделя
4	Расчет рабочих и пусковых характеристик	15	6 неделя
5	Разработка конструкции	25	7 неделя
6	Механические расчеты	5	8 неделя
7	Тепловой и вентиляционный расчеты	5	10 неделя
8	Исследовательская часть проекта	20	14 неделя
9	Оформление пояснительной записки, завершение чертежей	5	16 неделя
	<b>Итого</b>	<b>100</b>	<b>17 неделя</b>

#### 4. Учебные пособия

Основным учебным пособием при выполнении учебных проектов асинхронных машин является учебник «Проектирование электрических машин» [1], в котором рассмотрена конструкция машин и приведена методика их проектирования. Для более глубокой проработки материала следует использовать также и другую специальную литературу.

В [2] приведены технические данные и описаны особенности конструкции и области применения электрических машин, дана классификация электрических машин, системы их охлаждения, типы и конструкция обмоток, приведены методы испытаний электрических машин, основные сведения по стандартизации в электромашиностроении, по вопросам надежности и по организации технического обслуживания и ремонта электрических машин.

Справочный материал по обмоточным данным и размерам активной части асинхронных двигателей серии 4А [3] рекомендуется использовать для сопоставления с результатами, полученными при выполнении курсового проекта. В [4] дана характеристика асинхронных двигателей серии АИ, приводится описание их конструкции и технологии производства, подробно разобраны расчетные методики. Новые принципы разработки и

освоения единых серий асинхронных двигателей с учетом современной конъюнктуры рыночной экономики в нашей стране на примере серии РА рассмотрены в [5].

Основные принципы синтеза конструкции асинхронного двигателя при выбранных размерах активной части машины и стандартных установочных и присоединительных размерах рассмотрены в [6]. При разработке конструкции можно руководствоваться имеющимися в кабинете проектирования чертежами асинхронных машин, близких по мощности и габаритам к заданным в проектном задании, и их деталей. Следует также более подробно познакомиться с конструкцией изоляции и изоляционными материалами, применяемыми в асинхронных двигателях различных мощностей и напряжений.

## **5. Указания к выполнению отдельных разделов проекта**

### **5.1. Синтез электромагнитной подсистемы**

#### **5.1.1. Выбор электромагнитных нагрузок и главных размеров**

Предварительно электромагнитные нагрузки  $A$  и  $B_{\delta}$  следует выбирать в пределах значений, рекомендованных в [1] для выбранного типоразмера, класса нагревостойкости изоляции и исполнения двигателя по способу охлаждения. При проектировании допускается относительно широкое варьирование их величин. Выбор больших (по верхним пределам допускаемых областей) значений  $A$  и  $B_{\delta}$ , приводит к уменьшению габаритов машины и ее массы, но одновременно увеличивает нагрев обмотки и снижает энергетические показатели двигателя. При низких значениях  $A$  и  $B_{\delta}$  размеры машины увеличиваются, и объем ее активной части используется не полностью.

Для правильного выбора электромагнитных нагрузок следует, кроме того, учесть, что от соотношения их значений в значительной мере зависят особенности характеристик двигателя, определяемые дополнительными требованиями технического задания или предполагаемыми условиями работы проектируемой машины.

Выбранные значения  $A$  и  $B_{\delta}$  определяют только необходимый «объем» активной части машины  $D^2 l_{\delta}$ , который может быть получен при различных соотношениях главных размеров.

Поэтому в начале проектирования выбирают несколько вариантов значений  $D$  и  $l_{\delta}$ , связанных между собой величиной машинной постоянной. После сравнительного анализа вариантов принимают наиболее удачный из них, при котором спроектированный двигатель будет удовлетворять требованиям технического задания и ГОСТов. При этом величина

наружного диаметра сердечника статора  $D$  должна быть увязана с высотой оси вращения из стандартного ряда.

Дальнейшее проектирование может показать целесообразность некоторого изменения предварительно выбранных главных размеров двигателя.

**5.1.2. Обмотка и зубцовая зона статора.** Основной задачей настоящего раздела является синтез обмотки статора и размещение ее в пазах. Предварительно должен быть решен вопрос о конструкции обмотки (из мягких, жестких или полужестких секций), который определяет форму паза (полузакрытый, полуоткрытый или открытый). Далее задаются величиной зубцового деления статора [1] и выбирают число пазов  $Z_1$ . При этом число пазов на полюс и фазу  $q$  должно быть целое, так как в асинхронных двигателях дробное число  $q$  применяют редко, только для тихоходных многополюсных машин. На этой стадии выбирается тип обмотки: однослойная концентрическая, двухслойная равносекционная или однодвухслойная концентрическая (для механизированной намотки). Одновременно выбирается шаг обмотки и уточняется обмоточный коэффициент.

Число эффективных проводников в пазу  $u_n$  целесообразно выбирать по принятой ранее линейной нагрузке. Полученное значение  $u_n$  округляется в зависимости от особенностей принятого типа обмотки. После этого необходимо рассчитать число витков в фазе, уточнить линейную нагрузку, поток и индукцию в воздушном зазоре.

Вновь полученные величины  $A$  и  $B_\delta$  могут несколько отличаться от принятых в начале расчета, но не должны выходить за пределы допустимых значений. При больших расхождениях следует проверить правильность проведенных вычислений. Дальнейший расчет проводится при уточненных в этом разделе значениях  $A$  и  $B_\delta$ .

При выборе материалов и конструкции изоляции обмотки необходимо руководствоваться данными, приведенными в [1].

Размеры пазов и зубцов статора в штампе уточняются после выбора размеров обмоточного провода, проверки коэффициента заполнения паза и индукций в зубцах и ярме с учетом припуска на штамповку листов и шихтовку сердечника.

**5.1.3. Воздушный зазор.** Магнитное напряжение воздушного зазора в основном определяет МДС машины, требуемую для обеспечения выбранной величины  $B_\delta$ , увеличение зазора приводит к возрастанию намагничивающего тока и снижению  $\cos\varphi$ . Чрезмерное уменьшение зазора вызывает резкое возрастание поверхностных и пульсационных потерь, которое может привести к ухудшению КПД двигателя. Необходимо учесть также и технологические возможности выполнения воздушного зазора. Поэтому величину воздушного зазора следует выбирать, ориентируясь на

заводские исполнения аналогичных по типу и мощности асинхронные двигатели новых серий [1 – 5].

**5.1.4. Обмотка и зубцовая зона ротора.** При расчете короткозамкнутого ротора вначале выбирается число пазов ротора в соответствии с рекомендациями о допустимых соотношениях  $Z_1/Z_2$  и  $2p$ . Далее следует принципиально решить вопрос о форме паза ротора с учетом мощности машины и требований к пусковым характеристикам. После этого выбираются площади поперечных сечений стержней и КЗ колец, размеры пазов и зубцов и рассчитываются индукции в зубцах и ярме ротора.

В роторах с двойной клеткой или с фигурными пазами размеры пусковой клетки или, соответственно, соотношения размеров фигурных пазов выбираются с учетом заданного пускового момента.

При проектировании фазного ротора число витков его обмотки выбирается по допустимому напряжению на контактных кольцах, которое регламентируется в зависимости от мощности и условий эксплуатации двигателя с целью обеспечения его надежной работы. Наименьшее значение напряжения при двухслойной обмотке на роторе достигается при двух эффективных проводниках в пазу. В этом случае выполняется стержневая волновая обмотка, в которой количество межгрупповых соединений по сравнению с петлевой для машин с  $2p > 2$  существенно уменьшается.

В некоторых случаях максимальная индукция в зубцах ротора превышает рекомендованный предел. Большей частью это является следствием неудачно выбранных размерных соотношений пазов, особенно при применении фигурных пазов (лопаточных, колбообразных и др.), или чрезмерно глубоких прямоугольных (и в короткозамкнутых и в фазных роторах). В этих случаях нужно проверить правильность выбора плотности тока и сечения обмотки ротора и, если ошибка не обнаружена, то изменить соотношение размеров паза таким образом, чтобы минимальная ширина зубца возросла. Попытка уменьшить индукцию в зубцах ротора путем уменьшения числа его пазов практически не дает эффекта, особенно в короткозамкнутых роторах.

В двигателях, сердечники роторов которых посажены непосредственно на вал, часто после расчета зубцовой зоны выясняется, что индукция в ярме ротора существенно ниже допустимых значений. Если при этом на других участках магнитопровода индукция соответствует нормам, то принимать какие-либо искусственные меры для повышения индукции в ярме ротора (установка втулки на валу и т. п.) не следует. Они приводят к усложнению конструкции и увеличению стоимости двигателя.

## 5.2. Анализ электромагнитной подсистемы

Анализ работоспособности электромагнитной подсистемы асинхронного двигателя выполняется на основе расчета рабочих и пусковых характеристик. Он включает в себя три этапа: расчет магнитной цепи, рас-

чет параметров схемы замещения и непосредственно расчет характеристик.

Расчет магнитной цепи выполняется по амплитудным значениям индукций основной гармонической пространственного распределения магнитного поля. Учет уплощения магнитного поля проводится методом Пунга с использованием специально рассчитанной кривой намагничивания для зубцов. Синусоидальность пространственного распределения индукций в ярмах учитывается с помощью специальной кривой намагничивания для них.

Параметры схемы замещения рассчитываются для номинального режима работы двигателя. Их значения принимают постоянными при изменении нагрузки двигателя от холостого хода до номинальной. При скольжении больше номинального следует учесть возможные изменения величин ряда параметров, вызванных эффектом вытеснения тока в стержнях обмотки ротора и насыщением коронок зубцов потоками пазового рассеяния.

Значения параметров схемы замещения в относительных единицах позволяют судить о правильности выбранных размерных соотношений в машине и ее обмоточных данных. Результаты расчета параметров схемы замещения должны быть обязательно обсуждены с руководителем проекта, после чего можно перейти к расчету характеристик двигателя.

Расчет рабочих характеристик двигателя проводится по величинам параметров для номинального режима. После построения характеристик уточняют номинальные ток статора, скольжение, КПД и  $\cos \varphi$ .

Пусковые характеристики двигателей с короткозамкнутыми роторами рассчитывают с учетом влияния эффекта вытеснения тока в пазах ротора и насыщения коронок зубцов полями пазового рассеяния, корректируя для этого соответствующие параметры схемы замещения.

### **5.3. Разработка конструкции. Синтез**

#### **механической и тепловентиляционной подсистем**

Основным материалом для разработки конструкции асинхронного двигателя являются заводские чертежи машины заданного исполнения по степени защиты (ГОСТ 17494-87), способу охлаждения (ГОСТ 20459-87) и способу монтажа (ГОСТ 2479-79), которые имеются в кабинете проектирования. В [6] рассмотрены этапы конструирования асинхронных двигателей, анализируются типовые конструкторские решения для деталей и сборочных единиц, даются рекомендации по их выбору, приведены конструкции и их краткое описание для основных исполнений асинхронных двигателей.

Подобрав заводской чертеж и получив консультацию у руководителя проекта о возможности его использования, как основы для конструкторской проработки проектируемой машины, нужно детально изучить общую

компоновку двигателя, уяснить назначение отдельных узлов и деталей, их конструкцию, познакомиться с другими возможными вариантами конструктивного исполнения этих же деталей в аналогичных машинах. Большую помощь в этой работе окажут стенды с деталями электрических машин и учебные плакаты, имеющиеся на кафедре электромеханики. Лишь после этого можно приступить к составлению чертежа, начав эту работу с вычерчивания активных частей машины по размерам, полученным при расчете.

Масштаб чертежа желательно выбрать таким, чтобы продольный и поперечные виды машины разместились на одном листе формата А1. Однако следует иметь в виду, что при выполнении проекта малых машин целесообразно выбирать масштаб более 2,5:1, а при выполнении проекта крупных машин — масштаб меньше чем 1:5. В этих случаях число листов с общими видами машин может быть уменьшено или, соответственно, увеличено.

При конструировании механической подсистемы асинхронного двигателя необходимо обратить особое внимание на увязку размещения активной части машины с установочными и присоединительными размерами, на конструкторские и технологические решения, обеспечивающие выполнение выбранного воздушного зазора с эксцентриситетом не более 10–15%.

При конструировании проверяются размерные соотношения, полученные или принятые ранее при расчетах, причем в процессе разработки конструкции в них могут быть внесены частичные изменения, например, изменено количество или диаметр аксиальных каналов в сердечнике ротора или их расположение. Так как в проекте не проводится подробный механический расчет всех деталей, размеры отдельных конструктивных элементов двигателя могут быть определены приближенно на основе размерных соотношений заводского чертежа, взятого за основу при конструировании. Необходимо обратить внимание на замыкающие размеры основных размерных цепей, чтобы они не были чрезмерно велики или малы [4].

При синтезе тепловентиляционной подсистемы машины необходимо обеспечить требуемый расход охлаждающего воздуха в вентиляционных контурах в соответствии с заданным способом охлаждения.

На чертежах двигатель должен быть представлен в продольном и поперечном видах с разрезами. На продольном виде разрез в большинстве случаев выполняется в верхней части чертежа до осевой линии. На поперечном виде разрез выполняется справа от осевой линии через сердечники статора и ротора. На этих разрезах должны быть показаны конструкция сердечников корпуса, торцевых щитов, вала, подшипниковых узлов, расположение лобовых частей обмоток статора и ротора, конструкция и расположение диффузоров и вентилятора, контактных колец и т. п.

Кроме общих видов должны быть начерчены зубец и паз статора и ротора в увеличенном масштабе с указанием размеров и расположения проводников и пазовой изоляции и, по согласованию с руководителем, элемент схемы обмотки статора или условная схема соединений катушечных групп одной фазы. При проектировании двигателя с фазным ротором обязательно выполняется условная схема обмотки статора (или одной ее фазы) и полная схема-развертка обмотки ротора. На этом же чертеже приводятся рабочие и пусковые характеристики двигателя. Пусковые характеристики (зависимость тока и момента от скольжения) строятся в относительных единицах.

На этом же листе графически отображаются результаты, полученные при выполнении исследовательской части проекта.

По указанию руководителя объем графической части проекта может быть расширен с целью более четкой разработки конструкции отдельных узлов машины.

Все чертежи должны быть выполнены в соответствии с правилами Единой системы конструкторской документации ЕСКД. На каждом листе в правом нижнем углу необходимо поместить основную надпись (угловой штамп). Спецификация, содержащая 15–20 наименований основных деталей конструкции, располагается либо на листе № 1 над основной надписью, либо выполняется на отдельном листе формата А4 и подшивается в конце текста пояснительной записки.

#### **5.4. Анализ механической подсистемы**

Анализ механической подсистемы включает в себя следующие расчеты:

- на прочность;
- деформаций;
- критической частоты вращения;
- подшипников;
- виброускорений;
- размерных цепей.

Объем механического расчета определяется руководителем проекта. В первую очередь необходимо выполнить расчет вала, выбор подшипников, при проектировании двигателя с фазным ротором расчет бандажей крепления лобовых частей обмотки ротора. Следует помнить, что большинство механических расчетов выполняется на угонную частоту вращения двигателя, которая для асинхронных машин согласно ГОСТ на 20% выше номинальной. Может быть выполнен расчет одной или нескольких размерных цепей, при этом на все составляющие размеры должны быть назначены допуски.

Механические расчеты нужно проводить параллельно с выполнением чертежных работ при отработке конструкции, так как их результаты определяют размеры ряда деталей машины.

Основными пособиями по этому разделу являются книги [1, 4].

### **5.5. Анализ тепловентиляционной подсистемы**

Анализ тепловентиляционной подсистемы включает в себя тепловой и вентиляционные расчеты.

Тепловой расчет заключается в определении превышения температуры активных частей машины над окружающим воздухом. Расчет рекомендуется проводить по тепловым схемам замещения.

Вентиляционный расчет заключается в определении требуемого для охлаждения двигателя расхода воздуха и напора вентилятора, обеспечивающего этот расход.

По согласованию с руководителем проекта можно использовать упрощенные методы теплового и вентиляционного расчетов [I]. Упрощенный метод теплового расчета базируется на использовании средних значений коэффициентов теплопроводности изоляции, теплоотдачи с поверхности и коэффициентов подогрева воздуха, характерных для асинхронных двигателей серии 4А и АИ.

При упрощенном вентиляционном расчете требуемый для охлаждения расход воздуха сопоставляется с расходом, который может быть достигнут при данных размерах двигателя.

### **5.6. Исследовательская часть проекта**

Для более полной проработки материала выполняется исследовательская часть проекта, задание на которую выдается руководителем после завершения расчета основного варианта двигателя. Если проведенные расчеты показали, что энергетические или пусковые характеристики спроектированного двигателя не удовлетворяют требованиям задания или ГОСТов, то по согласованию с руководителем проекта принимаются решения об изменении размеров или обмоточных данных двигателя.

Задание на исследовательскую часть может включать в себя анализ чувствительности характеристик двигателя к изменению параметров активных материалов (например, при замене марки электротехнической стали), высоты оси вращения, размерных соотношений активной части, величины воздушного зазора, обмоточных данных, колебаний напряжения и частоты сети, влияние на характеристики спроектированного двигателя различных соотношений электромагнитных нагрузок  $A$  и  $B_{\delta}$  и т. п. Может быть также задано исследование работы двигателя при регулировании напряжения для обеспечения эксплуатации двигателя с наибольшим КПД при различных нагрузках.

Результаты расчетов приводятся в самостоятельном разделе поясни-

тельной записки. Там же дается их анализ, критическое сравнение рассчитанных вариантов и выводы.

## **6. Указания к оформлению пояснительной записки**

Пояснительная записка должна быть выполнена на стандартных листах бумаги формата А4 и сброшюрована вместе с рисунками. Обратная сторона листов не используется. Титульный лист к записке составляется по форме приложения 2. На первой странице должно быть помещено задание на проект, выданное в начале работы. Далее следуют оглавление и текст записки. В конце записки помещается список использованной литературы, причем на каждую из приведенных в списке книг или статей должна быть ссылка в тексте. Страницы записки необходимо пронумеровать, рисунки (эскизы, графики) выполнить на отдельных листах.

В тексте записки следует избегать многословных пояснений и общих рассуждений. Необходимые по ходу расчета пояснения и обоснования следует делать кратко и ясно. При записи расчетов нужно обязательно привести расчетную формулу, затем ту же формулу с заменой символов соответствующими числами и, наконец, численный результат с указанием размерности.

## **7. Использование вычислительной техники**

Вычислительная техника с согласия руководителя проекта может применяться на всех этапах выполнения и оформления курсового проекта с использованием программного обеспечения, имеющегося в распоряжении студента на кафедре или разработанного самим студентом. Расчетная часть проекта может быть выполнена с использованием MATCAD или аналогичного программного продукта, но перед записью расчетных формул необходимо вывести для контроля входящие в них величины, если они были определены вне пределов экрана. Руководитель проекта может потребовать на отдельных этапах выполнения ручного контрольного расчета. Пояснительная записка может быть оформлена также на MATCAD или с использованием любой имеющейся в распоряжении студента программы-редактора. Чертежи и графики также могут быть выполнены с использованием соответствующего программного продукта. Разработанное самим студентом программное обеспечение обычно используется в исследовательской части проекта. Для текущей проверки выполненные работы могут быть представлены с согласия руководителя проекта на электронных носителях, однако окончательное оформление может быть только на бумаге.

## **8. Защита проекта**

К защите допускаются проекты, подписанные автором и утвержденные руководителем. Подписи руководителя должны быть на всех чертежах и пояснительной записке. Пояснительная записка во время защиты передается в комиссию вместе с зачетной книжкой.

В начале защиты студент делает 4–5-минутное сообщение о выполненной работе, которое должно содержать следующие разделы:

- задание на проект;
- главные размеры, их привязка к высоте оси вращения;
- основные конструкторские и расчетные решения, принятые при проектировании электромагнитной подсистемы (конструкция и схема обмотки статора, марка провода, класс нагревостойкости изоляции, форма и число пазов статора, число пазов на полюс и фазу, воздушный зазор, тип обмотки ротора, ее материал, форма и число пазов ротора, материал и конструкция сердечников статора и ротора);
- основные характеристики: КПД, коэффициент мощности, кратности пускового и максимального моментов, кратность пускового тока;
- основные конструкторские решения, принятые при проектировании механической и тепловентиляционной подсистем (исполнения по степени защиты и способу охлаждения, исполнение по способу монтажа, материал корпуса и подшипниковых щитов, подшипниковые узлы, система вентиляции);
- задание исследовательской части проекта, результаты проведенных исследований и выводы на основе их сопоставления с основным вариантом.

После сообщения защищающемуся могут быть заданы несколько вопросов, относящихся к спроектированной машине и к общей теории, расчету и конструкции машин данного типа. Вопросы также могут касаться исследовательской части проекта. Чтобы правильно ответить на них, необходима серьезная подготовка к защите проекта. Вопросы могут относиться к следующим темам:

1. Выбор главных размеров, электромагнитных нагрузок и конструктивного исполнения асинхронного двигателя.

2. Конструкция отдельных деталей и сборочных единиц спроектированного двигателя, их назначение и факторы, определяющие размеры и конструктивное исполнение.

3. Методы электромагнитного, теплового и механического расчетов отдельных элементов машины; метод вентиляционного расчета, примененный в проекте; уровень допускаемых нагрузок отдельных элементов машины и полученные в проекте результаты.

4. Обмотки статора и ротора, их конструкция, изоляционные материалы, крепление обмоток; схемы обмоток статора и ротора. Конструктивное исполнение обмоток в машинах различной мощности и напряжения.

5. Основы теории асинхронных машин; схемы замещения, влияние различных факторов на величину параметров схемы замещения.

6. Вопросы эксплуатации асинхронных машин, рабочие и пусковые характеристики, методы пуска и реверса, режимы работы.

Для подготовки ответов следует восстановить в памяти сведения,

полученные из курса лекций по проектированию электрических машин, а также изучить соответствующие разделы учебника. Темы 5 и 6 требуют, кроме того, повторения разделов общего курса электрических машин, относящихся к асинхронным машинам.

## **9. Контрольные вопросы**

Ниже в качестве примера приводятся некоторые из вопросов, которые могут быть заданы по каждой из тем при защите проекта.

### **Тема 1.**

1. От чего зависят главные размеры машины? Будут ли отличаться главные размеры машин, спроектированных на одну и ту же мощность, но на различную частоту вращения, на различное номинальное напряжение?
2. Какая индукция в воздушном зазоре допускается в машинах, аналогичных спроектированной, и что ограничивает возможность ее увеличения?
3. Что такое «машинная постоянная» и от чего она зависит?

### **Тема 2.**

1. Какими способами может быть закреплена сталь сердечника статора в корпусе, какая конструкция крепления принята в спроектированном двигателе?
2. Чем обеспечивается точная центровка ротора в расточке статора при сборке двигателя?
3. Какие данные служат исходными при выборе подшипников? Какие подшипники установлены на спроектированной машине?

### **Тема 3.**

1. Какие факторы принимаются во внимание при выборе величины воздушного зазора? Влияет ли его величина: на ток холостого хода двигателя, на поток, на коэффициент мощности?
2. Почему в статорах с обмоткой из круглого провода выполняют зубцы с параллельными стенками? Зависит ли допустимое значение индукции в зубце от его конфигурации?
3. Чем определяются тепловые сопротивления пазовой изоляции и поверхности лобовых частей обмотки?

### **Тема 4.**

1. Что определило выбор числа пазов на полюс и фазу в спроектированной машине? К чему бы привело увеличение или уменьшение этого числа?
2. Обоснуйте выбранную в проекте конструкцию обмотки статора (ротора). Возможны ли другие варианты и чем они хуже или лучше принятого?
3. Перечислите достоинства и недостатки насыщенной обмотки статора. Почему насыщенный обмотку не применяют в асинхронных машинах большой мощности?

### **Тема 5.**

1. Какие параметры схемы замещения спроектированной машины меняются при изменении скольжения от единицы до номинального? Чем объясняется это изменение?

2. Как зависят максимальный и пусковой моменты от активных и индуктивных сопротивлений статора и ротора?

3. Как влияет изменение нагрузки двигателя на основной поток и на поток пазового рассеяния?

### **Тема 6.**

1. Можно ли двигатель, предназначенный для работы при повторно-кратковременном режиме ПВ25%, эксплуатировать с номинальной нагрузкой при режиме ПВ40%?

2. Как изменяются пусковой и максимальный моменты двигателя, если его короткозамкнутый ротор, имеющий прямоугольные пазы, заменить ротором с двойной беличьей клеткой (при равенстве активных сопротивлений обмоток обоих роторов)?

3. Как отразится увеличение или уменьшение напряжения питающей сети на коэффициенте мощности и КПД асинхронного двигателя, работающего с номинальной нагрузкой?

Помимо перечисленных тем вопросы могут касаться результатов, полученных в процессе расчета проекта, например: какая плотность тока выбрана в обмотке статора (ротора); чему равны потери в стали статора; каково номинальное скольжение двигателя и т. п.

Для ответов на эти вопросы не обязательно помнить наизусть все цифры. При защите с разрешения комиссии можно использовать пояснительную записку, как справочный материал. Однако быстро найти в ней нужную цифру часто бывает трудно. В связи с этим рекомендуется при подготовке к защите проекта заполнить приложение 3 к настоящим указаниям для основного и исследовательского вариантов проекта и использовать его при сообщении о выполненном проекте и ответах на вопросы.

## 10. Литература

1. Копылов И. П. Проектирование электрических машин : учебник для бакалавров [для студентов электромех. и электроэнергет. специальностей вузов] / под ред. И. П. Копылова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2012. – 757 с.
2. Справочник по электрическим машинам: в 2 т. Т.1 / под общ. ред. И. П. Копылова, Б. К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.
3. Справочник по электрическим машинам: в 2 т. Т. 2 / под общ. ред. И. П. Копылова, Б. К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 688 с.
4. Асинхронные двигатели серии 4 А : Справочник / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982. – 503 с.
5. Попов В. И. Современные асинхронные электрические машины Новая Российская серия РА / В. И. Попов, Т. А. Ахунов, Л. Н. Макаров. – М.: Знак, 1999. – 256 с.

## ВАРИАНТЫ ПРОЕКТНЫХ ЗАДАНИЙ

№	U <sub>н</sub> , В	P <sub>н</sub> , кВт	η, %	cosφ	M <sub>к</sub> /M <sub>н</sub>	M <sub>п</sub> /M <sub>н</sub>	I <sub>п</sub> /I <sub>н</sub>	n <sub>0</sub> (n <sub>н</sub> ), об/мин
Асинхронный короткозамкнутый электродвигатель								
1.	220/380	7,5	85,5	0,81	2,2	2,0	7,0	1000
2.	220/380	7,5	87,5	0,86	2,2	2,0	7,5	1500
3.	220/380	11	88	0,90	2,2	1,6	7,5	3000
4.	220/380	15	87	0,82	2,0	1,2	6,0	750
5.	220/380	15	89	0,88	2,2	1,4	7,0	1500
6.	220/380	15	88	0,91	2,2	1,2	7,5	3000
7.	380/660	17	87	0,90	2,2	1,3	7,0	3000
8.	220/380	22	90	0,90	2,0	1,2	6,5	1000
9.	380/660	22	88	0,90	2,2	1,3	7,0	3000
10.	220/380	30	90	0,81	2,0	1,2	6,0	750
11.	380/660	30	89	0,90	2,2	1,3	7,0	3000
12.	220/380	37	89	0,81	1,9	1,2	6,0	600
13.	220/380	37	90,5	0,89	2,2	1,2	6,5	1500
14.	220/380	37	91,5	0,89	2,2	1,2	7,0	3000
15.	380/660	40	91	0,88	2,2	1,6	7,0	1000
16.	380/660	40	89	0,90	2,2	1,5	7,0	3000
17.	220/380	45	90	0,88	2,3	1,8	6,2	3000
18.	380/660	45	91,3	0,86	2,2	1,7	6,0	1000
19.	380/660	55	90,5	0,85	2,2	1,8	6,5	1000
20.	380/660	55	90	0,80	2,0	1,8	6,0	750
21.	220/380	75	93	0,90	2,2	1,2	7,0	1500
22.	220/380	75	91	0,89	2,2	1,2	7,5	3000
23.	380/660	75	85	0,76	2,2	1,3	6,0	750
24.	380/660	90	92	0,90	2,6	1,6	7,0	3000
25.	380/660	90	92	0,90	2,5	2,0	6,5	1500
Асинхронный электродвигатель с фазным ротором								
26.	220/380	5,5	80,0	0,70	2,5	-	-	750
27.	220/380	7,5	82,0	0,70	3,0	-	-	750
28.	220/380	7,5	82,5	0,77	3,5	-	-	1000
29.	220/380	10	84,5	0,76	3,8	-	-	1000
30.	220/380	11	86,5	0,86	3,0	-	-	1500
31.	220/380	11	85,5	0,72	3,5	-	-	750

32.	220/380	14	88,5	0,87	3,5	-	-	1500
33.	380/660	15	86,0	0,70	3,0	-	-	750
34.	220/380	18	89,0	0,88	4,0	-	-	1500
35.	380/660	22	90,0	0,87	4,0	-	-	1500
36.	220/380	22	88,0	0,80	3,5	-	-	1000
37.	220/380	30	90,5	0,87	4,0	-	-	1500
38.	380/660	30	89,0	0,85	2,5	-	-	1000
39.	380/660	37	90,0	0,87	3,0	-	-	1500
40.	220/380	37	89,0	0,84	2,5	-	-	1000
41.	380/660	37	89,0	0,80	2,2	-	-	750
42.	380/660	45	91,0	0,88	3,0	-	-	1500
43.	220/380	45	89,0	0,82	2,2	-	-	750
44.	380/660	55	90,5	0,90	3,0	-	-	1500
45.	380/660	55	91,0	0,88	2,5	-	-	1000
46.	380/660	71	91,5	0,86	3,0	-	-	1500
47.	380/660	75	91,5	0,85	2,5	-	-	1000
48.	380/660	75	90,0	0,88	2,3	-	-	1500
49.	380/660	90	91,5	0,87	2,5	-	-	1500
50.	380/660	90	90,5	0,84	1,9	-	-	750

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

**Титульный лист курсового проекта**  
**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
 Федеральное государственное бюджетное образовательное  
 учреждение высшего профессионального образования  
 «Кузбасский государственный технический университет  
 имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра электропривода и автоматизации

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**  
**к проекту асинхронного двигателя**

\_\_\_\_\_.  
 (паспортные данные спроектированного двигателя)

Проект выполнил студент

\_\_\_\_\_.  
 группы \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_.  
 (фамилия, и., о.)

« » \_\_\_\_\_ 20 г.

\_\_\_\_\_.  
 (подпись)

Проект утвердил

« » \_\_\_\_\_ 20 г.

Руководитель \_\_\_\_\_.

(уч. звание, степень, фамилия, и., о.)

\_\_\_\_\_.  
 (подпись)

КЕМЕРОВО 20\_\_

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2****Сводные данные расчета асинхронного двигателя***I. Классификационные показатели*

$$P_{НОМ} = \dots \text{кВт}; U_{НОМ} = \dots \text{В}; n_c = \dots \text{об/мин.}$$

*II. Основные результаты расчета*

№ п/п	Наименование	Обозначение	Размерность	Величина	
				Основной вариант	Исследовательский вариант
1	Номинальный ток	$I_{НОМ}$	А		
2	Номинальный КПД	$\eta_{НОМ}$	-		
3	Номинальный коэффициент мощности	$\cos\varphi_{НОМ}$	-		
4	Номинальное скольжение	$s_{НОМ}$	-		
5	Ток холостого хода	$I_{х.х.}$	А		
6	Отношение тока холостого хода к номинальному	$I_{х.х.}/I_{НОМ}$	-		
7	Коэффициент мощности холостого хода	$\cos\varphi_{х.х.}$	-		
8	Кратность пускового тока	$I_n/I_{НОМ}$	-		
9	Кратность пускового момента	$M_n/M_{НОМ}$	-		
10	Кратность максимального момента	$M_M/M_{НОМ}$	-		

*III. Главные размеры и основные параметры магнитопровода*

№ п/п	Наименование	Обозначение	Размерность	Величина	
				Основной вариант	Исследовательский вариант
1	Высота оси вращения	$h$	мм		
2	Наружный диаметр статора	$D_a$	мм		
3	Внутренний диаметр статора	$D$	мм		
4	Расчетная длина воздушного зазора	$\delta$	мм		
5	Длина сердечника статора	$l_1$	мм		

## Продолжение приложения 2

6	Длина сердечника ротора	$l_2$	мм		
7	Полюсное деление	$\tau$	мм		
8	Воздушный зазор	$\delta$	мм		
9	Отношение расчетной длины воздушного зазора к полюсному делению	$\lambda = l_\delta / \tau$	-		
10	Коэффициент воздушного зазора	$k_\delta$	-		
11	Число пазов статора	$Z_1$	-		
12	Число пазов ротора	$Z_2$	-		

## IV. Электромагнитные нагрузки

№ п/п	Наименование	Обозначение	Размерность	Величина	
				Основной вариант	Исследовательский вариант
1	Индукция в воздушном зазоре	$B_\delta$	Тл		
2	Линейная нагрузка	$A$	А/м		
3	Индукция в зубцах статора	$B_{Z1}$	Тл		
4	Индукция в зубцах ротора	$B_{Z2}$	Тл		
5	Индукция в ярме статора	$B_a$	Тл		
6	Индукция в ярме ротора	$B_j$	Тл		
7	Плотность тока в обмотке статора	$j_1$	А/м <sup>2</sup>		
8	Плотность тока в обмотке ротора	$j_2$	А/м <sup>2</sup>		

## V. Обмоточные данные

Наименование	Обозначения	Статора		Ротора	
		Основной вариант	Исследовательский вариант	Основной вариант	Исследовательский вариант
Число пазов на полюс и фазу	$q$				
Число витков в фазе	$w$				
Укорочение шага	$\beta$				
Площадь поперечного сечения обмоточного провода, мм <sup>2</sup>	$q_{эл}$				

## Продолжение приложения 2

Число элементарных проводников	$n_{эл}$				
Сечение эффективного проводника, мм <sup>2</sup>	$q_a$				
Число эффективных проводников в пазу	$u_n$				
Коэффициент заполнения паза (для насыпных обмоток)	$k_з$				
Средняя длина витка, мм	$l_{ср}$				
Вылет лобовых частей, мм	$l_{выл}$				

## VI. Параметры схемы замещения

Наименования	При номинальном режиме ( $s = s_{ном}$ )				При пуске ( $s = 1$ )	
	<i>О.м.</i>		<i>О.е.</i>		Основной вариант	Исследовательский вариант
	Основной вариант	Исследовательский вариант	Основной вариант	Исследовательский вариант		
$r_1$						
$x_1$						
$r'_2$						
$x'_2$						
$x_{12}$						
$r_{12}$						

## VII. Потери при номинальной нагрузке

№ п/п	Виды потерь	Обозначение	КВт		% к сумме потерь	
			Основной вариант	Исследовательский вариант	Основной вариант	Исследовательский вариант
1	Электрические потери В том числе: в обмотке статора в обмотке ротора	$P_э$  $P_{э1}$ $P_{э2}$				

## Продолжение приложения 2

2	Потери в стали В том числе: основные в статоре дополнительные (поверхностные и пульсационные)	$P_{ст}$ $P_{ст.осн}$ $P_{ст.доб}$				
3	Потери механические	$P_{мех}$				
4	Потери добавочные	$P_{доб}$				
	Сумма потерь	$\Sigma P$				100

Среднее превышение температуры обмоток над температурой окружающей среды

Обмотки статора: °С

Обмотки ротора (для двигателей с фазным ротором): °С