

РОСЖЕЛДОР

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)**

Н.А. Трубицина, А.Е. Кочин

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Учебно-методическое пособие
к лабораторным работам

Ростов-на-Дону

2015

УДК 621.313.001.63(07) + 06

Рецензент – доктор технических наук, профессор А.Д. Петрушин

Трубицина, Н.А.

Проектирование электрических машин: учебно-методическое пособие к лабораторным работам / Н.А. Трубицина, А.Е. Кочин; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2015. – 44 с.: ил. – Библиогр.: с. 42.

Описаны перспективы развития САПР при расчетах и проектировании, а также подробно изучено построение 3D моделей отдельных элементов электрических машин в графическом редакторе AutoCAD.

Предназначено для обучающихся очной и заочной формы обучения всех энергетических и электротехнических направлений и специальностей, изучающих дисциплины «Проектирование электрических машин», «Электрические машины», «Электрический привод».

Одобрено к изданию кафедрой «Электрические машины и аппараты».

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О САПР

В настоящее время в проектах изыскательских организаций начинает стремительно проникать компьютеризация, благодаря которой происходит поднятие проектной работы на высочайший уровень. При этом наблюдается резкое повышение темпов работ и улучшается качество проектирования; на более высоком уровне происходит решение поставленных задач инженерного характера, которые в прошлом затрагивались на упрощенном уровне. Все это стало возможным благодаря применению специальных программ, выступающих в роли как самостоятельных, так и общетехнических.

Деятельность, связанная с созданием средств технического характера и программных продуктов, объединена при помощи одного названия – САПР. Свое начало существования термин САПР берет в 70-х годах прошлого столетия. САПР расшифровывается как *Система Автоматизированного Проектирования*, которая предназначена для выполнения или создания проектных работ с помощью компьютерной техники, позволяющей создавать технологическую и конструкторскую документацию на отдельные изделия.

Область применения системы САПР очень велика. Возможности САПР во многом определяются программным обеспечением, которое, зачастую, делят на уровни, опираясь на сложность системы и область ее возможностей.

С помощью САПР увеличивается эффективность выполняемых проектных работ за счет:

- удобных и принципиально новых средств рисования схем;
- заложения в программное обеспечение автоматического формирования монтажно-коммутационных схем;
- средств, которые управляют проектом и состоят из множества документов;
- повышения уровня качества выпускаемой продукции.

Результатами САПР служат законченные проекты или части его. Они могут быть использованы как другими САПР, так и сделаны в виде уже законченного проекта, который открывается самостоятельно без необходимости установки дополнительного программного обеспечения.

В настоящее время программа *AutoCAD*, созданная компанией Autodesk, является наиболее гибкой из многих существующих графических программных систем для персональных компьютеров. Она способна эффективно работать в различных областях технического проектирования, в том числе и на железнодорожном транспорте. Уникальная возможность легко адаптироваться к разнообразным “человеческим” языкам, включая и те, что используют нелатинский алфавит, поставили AutoCAD вне конкуренции на международном рынке программных продуктов для САПР. В результате AutoCAD используется более чем в 150 странах мира. Уникальный опыт, накопленный специалистами Autodesk, позволяет постоянно расширять функциональные возможности системы. Последние версии AutoCAD включают средства проектирования,

трехмерного моделирования и визуализации пространственных конструкций, доступа к внешним базам данных, интеллектуальные средства нанесения размеров на чертежи, работы с файлами самых разных форматов и многое другое. Программа AutoCAD является базовой для целого ряда более специализированных САПР, используемых в различных областях техники:

- архитектурных САПР, по отношению к которым часто используется аббревиатура АЕС (Architectural, Engineering, Construction – архитектура, планировка, строительство);
- машиностроительных САПР;
- САПР в электротехнике и электронике;
- географических информационных систем (Geographic Information Systems – GIS);
- автоматизированных систем управления ресурсами;
- систем мультимедиа.

AutoCAD представляет собой полную замену арсенала чертёжника и проектировщика. Кульман, листы ватмана, карандаши, линейки, транспортиры, ластик, циркули и прочие инструменты находятся на экране компьютера. А вдобавок к этому пользователь может использовать сотни других инструментов, разработанных уже в цифровой среде.

Основа работы в программе – по-прежнему та же, что и при черчении от руки. То есть построение чертежей любой сложности с помощью простейших графических элементов – отрезков, окружностей, дуг и т.д. Однако помимо этого функционал AutoCAD дополняют уже более 5000 специализированных программ-приложений, разработанных для разных отраслей.

Преимущества AutoCAD перед обычными чертежами:

- абсолютная точность всех линий;
- возможность вносить в чертеж корректировки любых масштабов и сложности;
- неограниченное рабочее пространство;
- удобство электронного формата – чертеж можно быстро скопировать, подготовить его измененную версию, переслать по электронной почте;
- за счет работы со слоями можно создавать сложные чертежи с наложением объектов;
- возможность использовать старые наработки – готовые чертежи и 3D-модели различных типовых объектов;
- автоматизация многих операций при подготовке чертежей;
- богатый инструментарий работы с трехмерными объектами;
- простая интеграция с другими программами компании Autodesk – 3ds Max, Corel Draw, Archicad, Inventor, Civil 3D.

Лабораторные работы, представленные в данном учебно-методическом пособии, включают в себя технические расчеты и построения, как отдельных элементов, деталей и узлов электрических машин, так и всей машины в целом, выполненные в программе AutoCAD.

Лабораторная работа № 1 МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ТРЕХФАЗНОГО КОРОТКОЗАМКНУТОГО И ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Цель работы: исследовать направления магнитных полей трехфазного короткозамкнутого и линейного асинхронных двигателей.

Описание лабораторной установки

Работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Исследуемая установка состоит из статора короткозамкнутого асинхронного двигателя и первичного элемента линейного асинхронного двигателя. Действие кругового вращающегося магнитного поля проявляется посредством вращения «беличьей клетки», в качестве которой служит магнитопроводящий шарик. Действие бегущего магнитного поля обнаруживается при помощи вторичного элемента, выполненного в виде пластины из алюминия. Электроизмерительные приборы смонтированы на лицевой панели стенда. Питание исследуемых двигателей производится трехфазным напряжением, регулируемым фазорегулятором (220 В, 50 Гц), а их номинальные данные представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Номинальные данные трехфазного короткозамкнутого асинхронного двигателя

Трехфазный короткозамкнутый асинхронный двигатель	
Номинальная мощность P_n , кВт	2,8/4,2
Номинальное напряжение U_n , В	127/220
Номинальная частота вращения n_n , об/мин	1440
Число пар полюсов p	2

Таблица 2

Номинальные данные трехфазного линейного асинхронного двигателя

Трехфазный линейный асинхронный двигатель	
Номинальная мощность P_n , Вт	
Номинальное напряжение U_n , В	

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь согласно схеме, представленной на рисунке 1.
2. Подключить статор трехфазного короткозамкнутого асинхронного двигателя. Вставить внутрь статора ротор в виде «беличьей клетки», в качестве

которой служит магнитопроводящий шарик. Включить собранную цепь. Запомнить направление вращения ротора в первом случае. Отключить цепь.

3. Поменять местами две фазы, питающие статорную обмотку трехфазного короткозамкнутого асинхронного двигателя. Вставить внутрь статора ротор в виде «белочьей клетки», в качестве которой служит магнитопроводящий шарик. Включить собранную цепь. Запомнить направление вращения ротора во втором случае. Отключить цепь. Объяснить наблюдаемые явления.

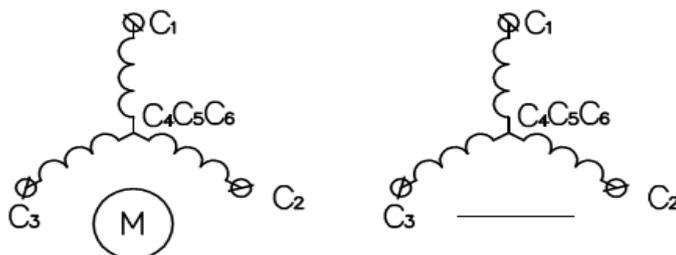
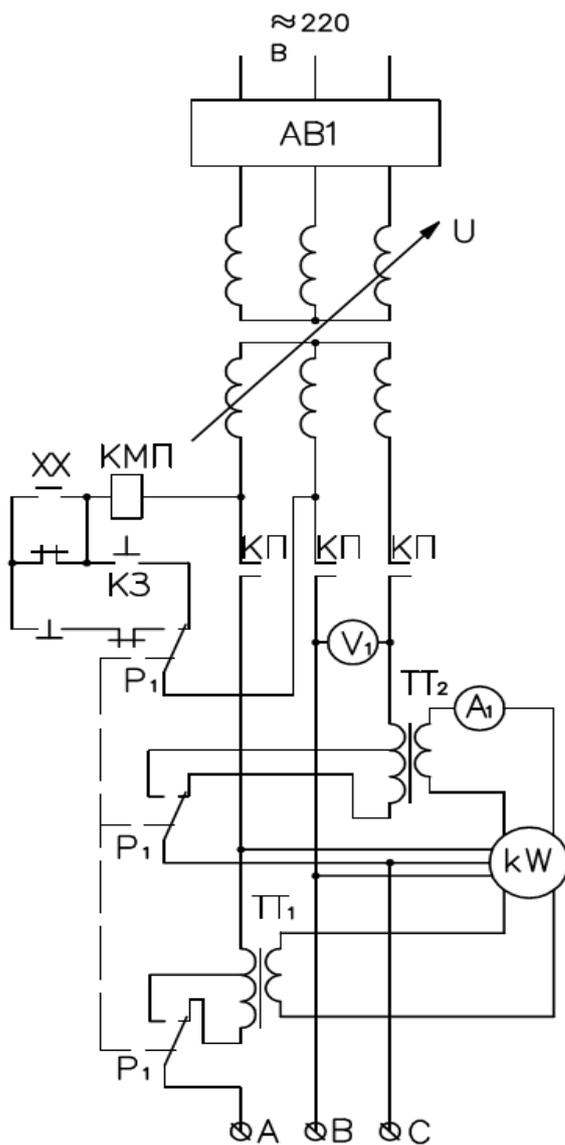


Рисунок 1 – Схема включения асинхронных двигателей

3. Подключить первичный элемент линейного асинхронного двигателя. Прodelать опыты аналогично пунктам 2 и 3. Обратить внимание на изменение направления движения алюминиевой пластины.

Контрольные вопросы

1. Назначение и область применения трехфазных асинхронных двигателей вращательного движения, их достоинства и недостатки.
2. Назначение и область применения трехфазных асинхронных двигателей возвратно-поступательного движения, их достоинства и недостатки.
3. Конструкция и принцип действия трехфазных асинхронных двигателей вращательного движения.
4. Генераторный режим и режим электромагнитного тормоза трехфазного короткозамкнутого асинхронного двигателя.
5. Конструкция и принцип действия трехфазных асинхронных двигателей возвратно-поступательного движения.
6. Условия образования вращающегося магнитного поля трехфазного короткозамкнутого асинхронного двигателя.
7. Почему двигатель называется асинхронным.
8. Понятие скольжения в трехфазных короткозамкнутых и линейных асинхронных двигателях.
9. Осуществление реверсирования трехфазных короткозамкнутых и линейных асинхронных двигателей.

Лабораторная работа № 2 ОБМОТКИ ЯКОРЕЙ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: изучить обмотки якоря машины постоянного тока.

Теоретические сведения о якорных обмотках машин постоянного тока

Устройство обмоток

Обмотка якоря является важнейшим элементом машины постоянного тока и должна удовлетворять следующим требованиям:

- 1) обмотка должна быть рассчитана на заданные величины напряжения и тока нагрузки, соответствующие номинальной мощности;
- 2) обмотка должна иметь необходимую электрическую, механическую и термическую прочность, обеспечивающую достаточно продолжительный срок службы машины (до 15 - 20 лет);
- 3) конструкция обмотки должна обеспечить удовлетворительные условия токосяема с коллектора, без вредного искрения;
- 4) расход материала при заданных эксплуатационных показателях (КПД и др.) должен быть минимальным;

5) технология изготовления обмотки должна быть по возможности простой.

В современных машинах постоянного тока якорная обмотка укладывается в пазах на внешней поверхности якоря. Такие обмотки называются *барабанными*. Обмотки якорей подразделяются на: *простые петлевые, сложные петлевые, простые волновые и сложные волновые*. Существуют также обмотки, которые представляют собой сочетание двух обмоток. Это – *комбинированные* обмотки якоря.

Основным элементом каждой обмотки якоря является *секция*, которая состоит из одного или некоторого количества последовательно соединенных витков и присоединена своими концами к коллекторным пластинам. В обмотке обычно все секции имеют одинаковое количество витков. На схемах обмоток секции для простоты изображаются всегда *одновитковыми*.

Чтобы правильно уложить обмотку якоря в пазы сердечника якоря и соединить ее с коллектором, необходимо знать шаги обмотки: *первый частичный шаг y_1* – это расстояние по поверхности якоря между начальной и конечной активными сторонами секции; *второй частичный шаг y_2* – это расстояние между конечной активной стороной данной секции и начальной активной стороной последующей за ней по схеме обмотки секции; *результатирующий шаг обмотки y* – это расстояние между начальными активными сторонами данной и последующей за ней секцией; *шаг по коллектору y_k* – это расстояние в коллекторных делениях (*коллекторное деление* – это ширина коллекторной пластины плюс ширина одной изоляционной миканитовой прокладки между пластинами) между серединами коллекторных пластин, к которым присоединены концы данной секции или начала данной и последующей за ней секций.

Части секций, лежащие в пазу, называются *активными сторонами секции*. Они находятся в магнитном поле главных полюсов и при вращении якоря в них индуцируется ЭДС. Части секции, находящиеся вне пазов, называются *лобовыми частями*. Они находятся вне основного магнитного потока и ЭДС в них не индуцируется.

На рисунке 1 представлены два возможных варианта последовательного соединения секций простой петлевой обмотки. Эту обмотку называют также *параллельной*.

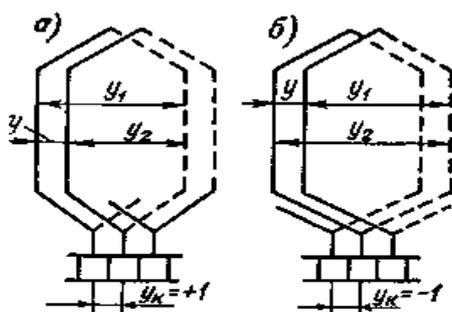


Рисунок 1 – Секции неперекрещенной правоходовой (а) и перекрещенной левоходовой (б) простой петлевой обмотки якоря

Мысленно обходя последовательно соединенные секции простой волновой обмотки, мы совершаем волнообразный обход якоря, причем каждый обход включает p секций и заканчивается на коллекторной пластине, которая находится слева или справа рядом с исходной (рисунок 2). В первом случае получается неперекрещенная левоходовая обмотка, а во втором – перекрещенная правоходовая. Во втором случае расход меди будет несколько больше. Рассматриваемую обмотку называют также *простой последовательной обмоткой*.

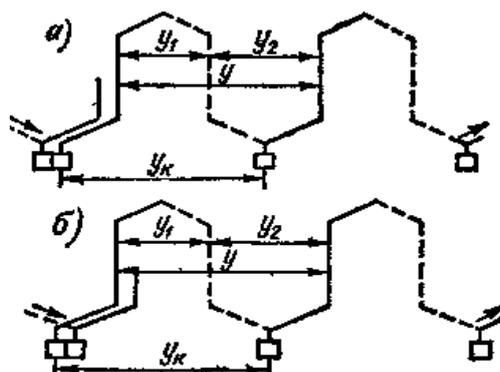


Рисунок 2 – Секции неперекрещенной левоходовой (а) и перекрещенной правоходовой (б) простой волновой обмотки якоря

Условия симметрии обмоток

В современных якорных обмотках соединенные последовательно друг с другом секции образуют замкнутую на себя цепь. Такую обмотку можно изобразить схематически в виде замкнутой спирали (рисунок 3), по поверхности которой скользят щетки.

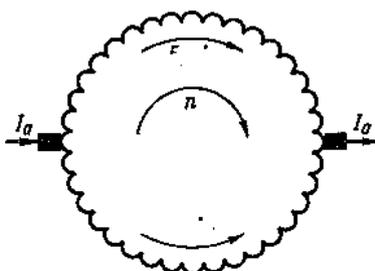


Рисунок 3 – Цепь простейшей якорной обмотки

Для обеспечения наилучших условий работы машины необходимо, чтобы ЭДС E_a всех ветвей обмотки и их сопротивления были равны. В этом случае токи всех параллельных ветвей i_a также будут равны.

Для удовлетворения этих условий необходимо, *во-первых*, чтобы магнитная цепь была симметричной по устройству и потоки всех полюсов были равны; *во-вторых*, чтобы все пары параллельных ветвей обмотки были эквивалентны, т. е. чтобы они располагались в магнитном поле идентичным образом. Обмотка, удовлетворяющая этим требованиям, называется *симметричной*.

При нарушении указанных требований разные ветви обмотки будут нагружаться различными по величине токами, что может вызвать нарушение работы щеточных контактов, а кроме того, возрастут также потери в обмотке.

Чтобы обмотка была симметрична, на каждую пару параллельных ветвей должно приходиться одинаковое целое число (ц. ч.) секций и коллекторных пластин:

$$\frac{Z_a}{a} = \frac{S}{a} = \frac{K}{a} = \text{ц.ч.} \quad (1)$$

Для симметричного расположения параллельных ветвей в магнитном поле необходимо выполнение двух условий:

$$\frac{Z_a}{a} = \text{ц.ч.} \quad (2)$$

$$\frac{2 \cdot p}{a} = \text{ц.ч.} \quad (3)$$

Соотношения (1), (2) и (3) представляют собой *условия симметрии обмоток*.

Уравнительные соединения

В идеальных условиях, когда обмотка симметрична и потоки всех полюсов равны, ЭДС всех ветвей также равны и ветви загружаются токами равномерно. Однако в действительности из-за производственных и иных отклонений (неодинаковая величина воздушного зазора под разными полюсами, неоднородность материалов сердечников и т. д.) потоки отдельных полюсов не будут в точности равны. При этом ЭДС ветвей простой петлевой обмотки также не будут равны, так как ветви сдвинуты относительно друг друга на одно полюсное деление.

При этом уже при холостом ходе машины внутри обмотки будут циркулировать уравнительные токи $i_{ур}$, которые замыкаются через щетки одинаковой полярности и соединительные провода или шины между ними. Так как внутреннее сопротивление обмотки мало, то эти токи могут быть значительными уже при небольшой разнице в потоках отдельных полюсов. При работе машины токи нагрузки щеток $2i_a$ будут алгебраически складываться с уравнительными токами $2i_{ур}$, в результате чего щетки одной полярности окажутся перегруженными, а щетки другой полярности – недогруженными. Правильная работа щеток при этом может нарушиться. Еще более серьезное влияние на условия работы щеток оказывает нарушение баланса ЭДС в короткозамкнутых секциях, вызванное уравнительными токами.

Для того чтобы разгрузить щетки от уравнительных токов и дать этим токам возможность замыкаться внутри самой обмотки, простая петлевая обмотка якоря снабжается *уравнительными соединениями*, или *уравнителями*

первого рода. Уравнители соединяют внутри обмотки точки, которые теоретически имеют равные потенциалы.

Уравнители выполняются либо на стороне коллектора (и тогда они соединяют пластины с равными потенциалами), либо на противоположной от коллектора стороне (и тогда они соединяют равно-потенциальные точки лобовых частей секций).

Шаг уравнителей y_{yp} равен потенциальному шагу обмотки y_n :

$$y_{yp} = \frac{K}{p}. \quad (4)$$

При равенстве потоков полюсов токи в уравнителях не возникают.

Для достижения надлежащего эффекта при всех положениях вращающегося якоря обмотку нужно снабдить достаточным количеством уравнителей.

Максимальное количество возможных уравнителей первого рода на одной стороне якоря:

$$N_{yp} = \frac{K}{p}. \quad (5)$$

причем каждый из них соединяет p точек равного потенциала. Полным количеством уравнителей снабжаются только крупные машины с тяжелыми условиями коммутации тока. В остальных случаях выполняют от 1/3 до 1/6 всех возможных уравнителей или один уравнитель на один-два паза машины и размещают их равномерно по окружности якоря.

Расчет шагов простой петлевой обмотки

1. Первый частичный шаг обмотки якоря по пазам:

$$y_1 = \frac{Z_\vartheta}{2 \cdot p} \pm \varepsilon, \quad (6)$$

где $\pm \varepsilon$ – удлинение или укорочение шага обмотки в долях пазового деления:

$+\varepsilon$ – для удлиненной перекрещенной обмотки якоря;

$-\varepsilon$ – для укороченной неперекрещенной обмотки якоря;

$\varepsilon = 0$ – диаметральной обмотка якоря;

$2 \cdot p = 2 \cdot a$ – количество главных полюсов, равное количеству параллельных ветвей обмотки якоря;

$Z_\vartheta = K = S$ – количество элементарных пазов, равное количеству коллекторных пластин и секций.

2. Шаг по коллектору, равный результирующему шагу обмотки якоря:

$$y_k = y = \pm 1. \quad (7)$$

3. Второй частичный шаг обмотки якоря по пазам:

$$y_2 = \pm 1 - y_1. \quad (8)$$

В формулах (7) и (8) рекомендуется выбрать знак «+» для неперекрытой обмотки якоря, а знак «-» – для перекрытой.

Пример схемы-развертки неперекрытой простой петлевой обмотки якоря, ее схемы параллельных ветвей и соединения секционных сторон представлены на рисунках 4, 5 и 6.

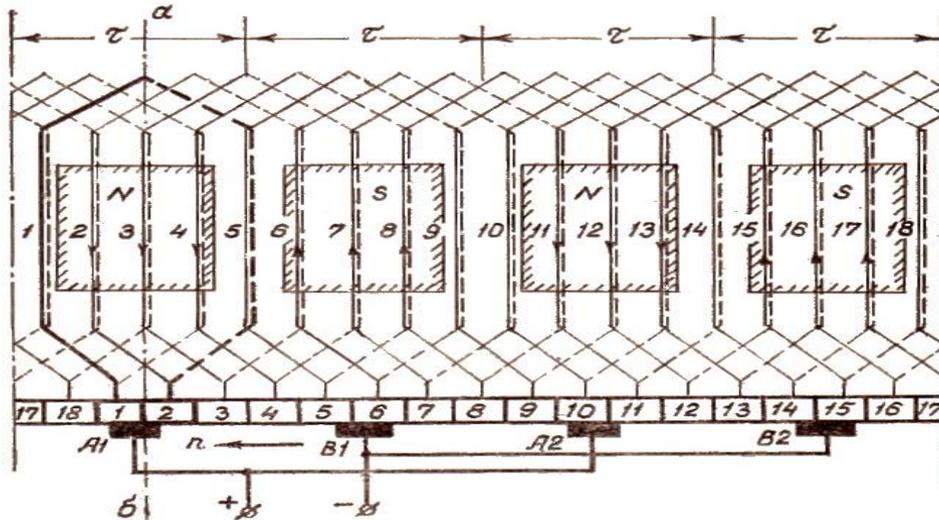


Рисунок 4 – Схема-развертка неперекрытой простой петлевой обмотки:
 $2p = 4, Z_s = S = K = 18, y_1 = 4, y_2 = -3, y = y_k = +1$

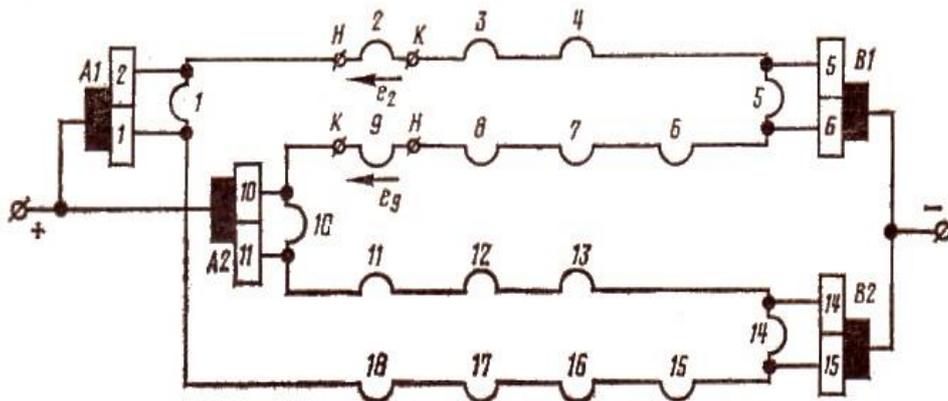


Рисунок 5 – Схема параллельных ветвей
 неперекрытой простой петлевой обмотки

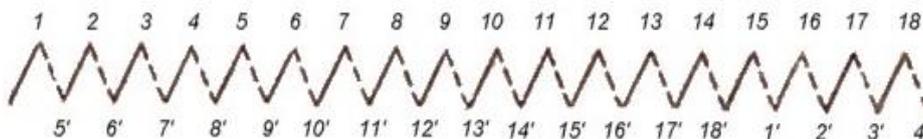


Рисунок 6 – Соединение секционных сторон
 неперекрытой простой петлевой обмотки

Расчет шагов простой волновой обмотки

1. Первый частичный шаг простой волновой обмотки якоря по пазам рассчитывается по формуле (6).

2. Шаг по коллектору, равный результирующему шагу обмотки якоря:

$$y_k = \frac{K \mp 1}{p}. \quad (10)$$

Знак «-» относится к неперекрытой обмотки якоря, а знак «+» – к перекрытой.

3. Второй частичный шаг обмотки якоря по пазам:

$$y_2 = y - y_1. \quad (11)$$

Пример схемы-развертки неперекрытой простой волновой обмотки якоря, ее схемы параллельных ветвей и соединения секционных сторон представлены на рисунках 7, 8 и 9.

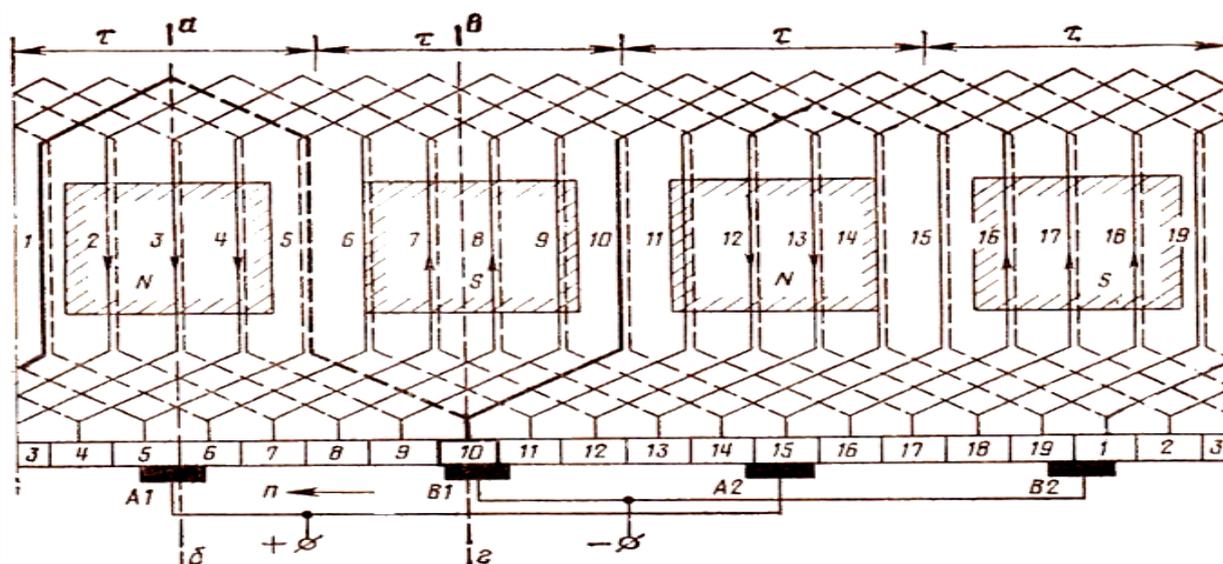


Рисунок 7 – Схема-развертка неперекрытой простой волновой обмотки:

$$2p = 4, Z = Z_s = S = K = 19, y_1 = 4, y_2 = 5, y = y_k = 9$$

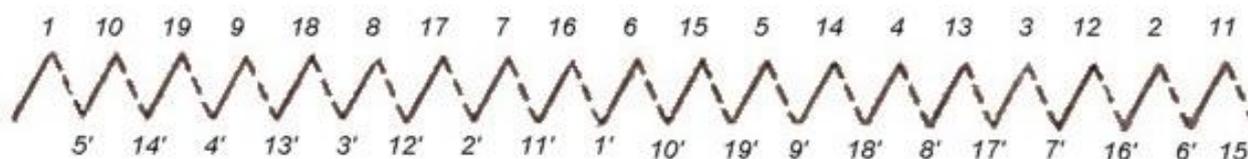


Рисунок 8 – Соединение секционных сторон неперекрытой простой волновой обмотки

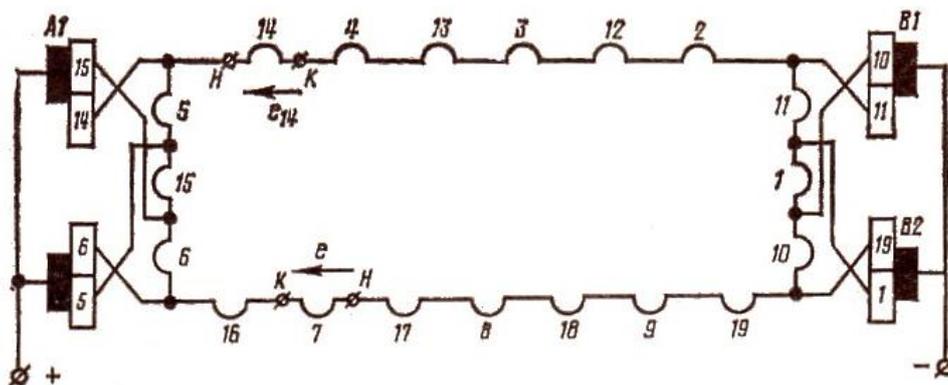


Рисунок 9 – Схема параллельных ветвей
неперекрещенной простой волновой обмотки

Порядок выполнения работы

1. По исходным данным, представленным в таблицах 1 и 2, рассчитать шаги простой петлевой и простой волновой обмоток.

Таблица 1

Исходные данные для расчета простой петлевой обмотки

№ п/п	Количество элементарных пазов сердечника якоря	Количество главных полюсов	Шаг по коллектору
	Z_2	$2p$	$у_k$
1	14	4	+1
2	16	4	-1
3	18	4	+1
4	20	6	-1
5	22	6	+1
6	24	6	-1

Таблица 2

Исходные данные для расчета простой волновой обмотки

№ п/п	Количество элементарных пазов сердечника якоря	Количество главных полюсов	Шаг по коллектору
	Z_2	$2p$	$у_k$
1	15	2	левоходовой
2	17	2	правоходовой
3	19	2	левоходовой
4	21	2	правоходовой
5	23	4	левоходовой
6	25	4	правоходовой

2. В графическом редакторе AutoCAD 2D вычертить схему-развертку простой петлевой и простой волновой обмотки якоря, разместить на схеме

главные полюса, задать направление вращения обмотки якоря (обычно в режиме генератора выбирают вращение якоря по часовой стрелке, а в режиме двигателя – против часовой) и определить направление наведенных в ней ЭДС.

3. Установить (расставить) щетки на коллекторе и определить их полярность.

4. Установить (расставить) уравнивательные соединения на схеме-развертке простой петлевой обмотки.

5. Вычертить схему параллельных ветвей простой петлевой и простой волновой обмоток якоря, а также соединения их секционных сторон в программе AutoCAD.

Контрольные вопросы

1. Устройство обмоток якорей машин постоянного тока.
2. Основные требования, предъявляемые к обмоткам.
3. Что представляет собой комбинированная обмотка якоря.
4. Условия симметрии обмотки якоря.
5. Уравнивательные соединения первого рода.
6. Уравнивательные соединения второго рода.
7. Что представляют собой шаги обмоток.
8. Расчет шагов простой петлевой обмотки якоря.
9. Расчет шагов простой волновой обмотки якоря.

Лабораторная работа № 3 ОБМОТКИ СТАТОРОВ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: изучить обмотки статора машины переменного тока.

Теоретические сведения о статорных обмотках машин переменного тока

Обмотки статора машин переменного тока выполняют две основные функции:

- обеспечивают наведение требуемой для работы машины ЭДС;
- создают круговое равномерно вращающееся магнитное поле, необходимое для процесса преобразования энергии.

Трехфазная обмотка машины переменного тока создает круговое равномерно вращающееся магнитное поле только при одновременном выполнении трех условий:

- оси обмоток фаз А, В и С сдвинуты в пространстве на 120° ;
- синусоидальные токи в обмотках фаз также сдвинуты во времени на 120° эл.;

- индукция магнитного поля является синусоидальной функцией пространственной координаты вдоль длины окружности воздушного зазора машины.

Условия создания кругового равномерно вращающегося магнитного поля двухфазной обмоткой статора:

- в пазах сердечника статора уложены две обмотки;
- мгновенные значения токов в обмотке статора сдвинуты во времени на 90° эл.;
- оси обмоток сдвинуты в пространстве на:

$$\alpha_{\text{геом}}^\circ = \frac{90}{p}. \quad (1)$$

От конструкции обмотки статора зависят основные энергетические и массогабаритные характеристики машин переменного тока.

В техническом отношении обмотка статора должна удовлетворять определенным требованиям по нагревостойкости, электрической прочности их изоляции как относительно корпуса машин, так и между отдельными витками обмотки. В крупных машинах обмотка статора должна обладать также достаточной механической прочностью, предохраняющей ее от возможных разрушений в аварийных режимах работы машины под действием значительных электродинамических сил.

Кроме того, *конструкция обмотки статора должна обеспечить при работе машин переменного тока синусоидальное распределение магнитного поля в воздушном зазоре и форму наведенной ЭДС обмотки статора, близкую к синусоиде.*

Элементом обмотки является *виток*, состоящий из двух последовательно соединенных проводников, расположенных в пазах на расстоянии, приблизительно равном полюсному делению τ или шагу обмотки y :

$$y \cong \tau = \frac{Z}{2 \cdot p}. \quad (2)$$

Последовательно соединенные W_k витков, уложенные в одну пару пазов и имеющие кроме изоляции каждого проводника еще и общую изоляцию от стенок паза, называется *катушкой или секцией*. Катушки фазы, лежащие в соседних пазах и соединенные последовательно, называются *катушечной группой*.

Величина q , определяющая количество катушек в катушечной группе, называется числом пазов на полюс и фазу:

$$q = \frac{Z}{2 \cdot p \cdot m}, \quad (3)$$

где Z – общее количество пазов статора;

m – количество фаз обмотки;

$2 \cdot p$ – количество полюсов.

По разным признакам различают следующие виды обмоток:

1. *Сосредоточенные и распределенные по пазам* – в зависимости от значения q . В сосредоточенных обмотках каждая фаза имеет только одну катушку и $q = 1$ или $0,5$; в распределенных – катушки фазы распределены по пазам, расположенным по окружности, и соединены последовательно, а $q > 1$. Чаще всего q – целое число, но бывают обмотки и с дробным q .

2. *Петлевые и волновые* – в зависимости от схемы и формы катушек.

Петлевые и волновые обмотки, в свою очередь, подразделяются на:

- обмотки с целым q и полным шагом;
- обмотки с целым q и укороченным шагом;
- обмотки с целым q (специальные обмотки).

3. *Катушечные* – с жесткими или мягкими секциями. Обычно такие обмотки многовитковые, петлевые.

4. *Стержневые* – жесткие, из толстого провода или шин, выгибаемых на специальных шаблонах. Обычно такие обмотки одновитковые, а сам виток выполняется из двух стержней, спаиваемых в лобовой части.

5. *Однослойные и двухслойные* – в зависимости от количества независимых слоев (секций) в пазу. К однослойным обмоткам относятся:

- трехфазная концентрическая двухплоскостная и трехплоскостная;
- трехфазная равнокатушечная (простая, цепная и «вразвалку»).

6. *Однофазные, двух фазные и трехфазные* – по количеству фаз. В электрических машинах переменного тока средней и большой мощности все обмотки трехфазные, а в машинах малой мощности – двухфазные. В некоторых специальных машинах используются обмотки с количеством фаз больше трех.

7. *Равносекционные и неравносекционные*. Если все катушки в обмотке одинаковые и получены намоткой на один шаблон, то обмотка является равносекционной; в противном случае обмотка неравносекционная.

8. *Двухплоскостные, трехплоскостные и цепные* – в зависимости от формы и расположения лобовых соединений.

Чаще всего для асинхронных и синхронных машин применяют петлевые катушечные обмотки, причем, как правило, *двухслойные обмотки, имеющие ряд преимуществ:*

- возможность укорочения шага обмотки; при этом улучшается форма кривой ЭДС, а также форма кривой создаваемого обмоткой магнитного поля;
- экономия обмоточного провода за счет уменьшения длины лобовых частей обмотки в связи с укорочением шага;
- возможность образования совершенно равноценных параллельных ветвей;
- простота изготовления обмотки, так как все катушки имеют одинаковую форму и поэтому могут быть выполнены шаблонными.

К недостаткам двухслойной обмотки статора можно отнести:

- затруднения при укладке последних катушек обмотки;
- усложнение ремонта из-за необходимости поднимать целый шаг обмотки при повреждении нижней стороны катушки.

Схема трехфазной однослойной обмотки статора представлена на рисунке 1, а схема трехфазной двухслойной обмотки статора с укороченным шагом – на рисунке 2.

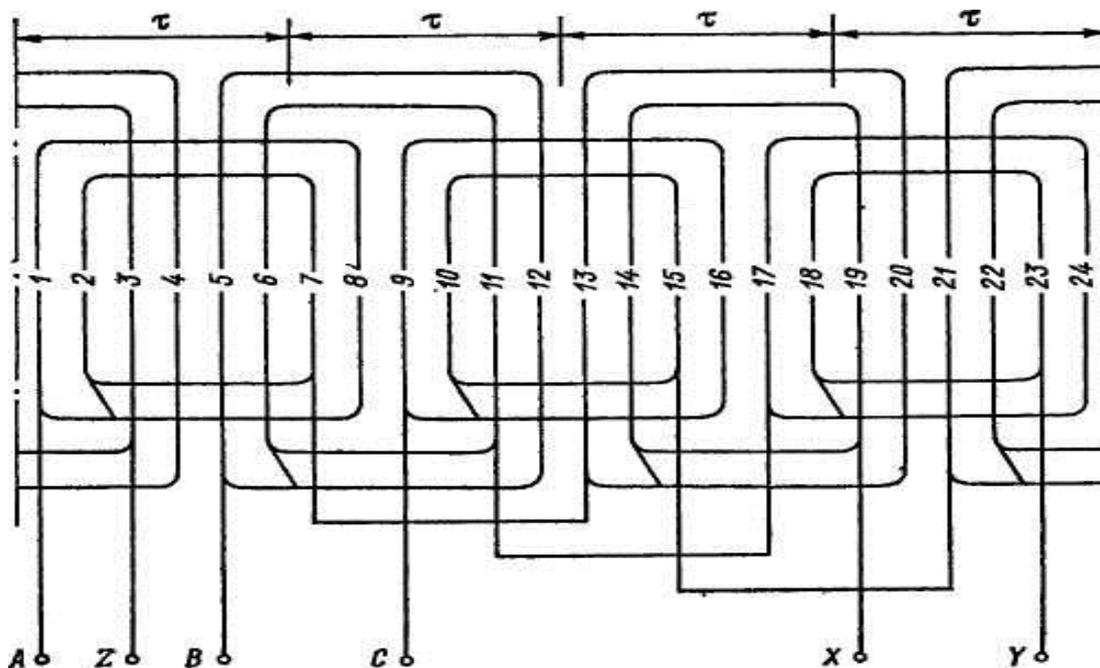


Рисунок 1 – Схема трехфазной однослойной двухплоскостной концентрической обмотки статора: $Z = 24$, $2p = 4$, $q = 2$

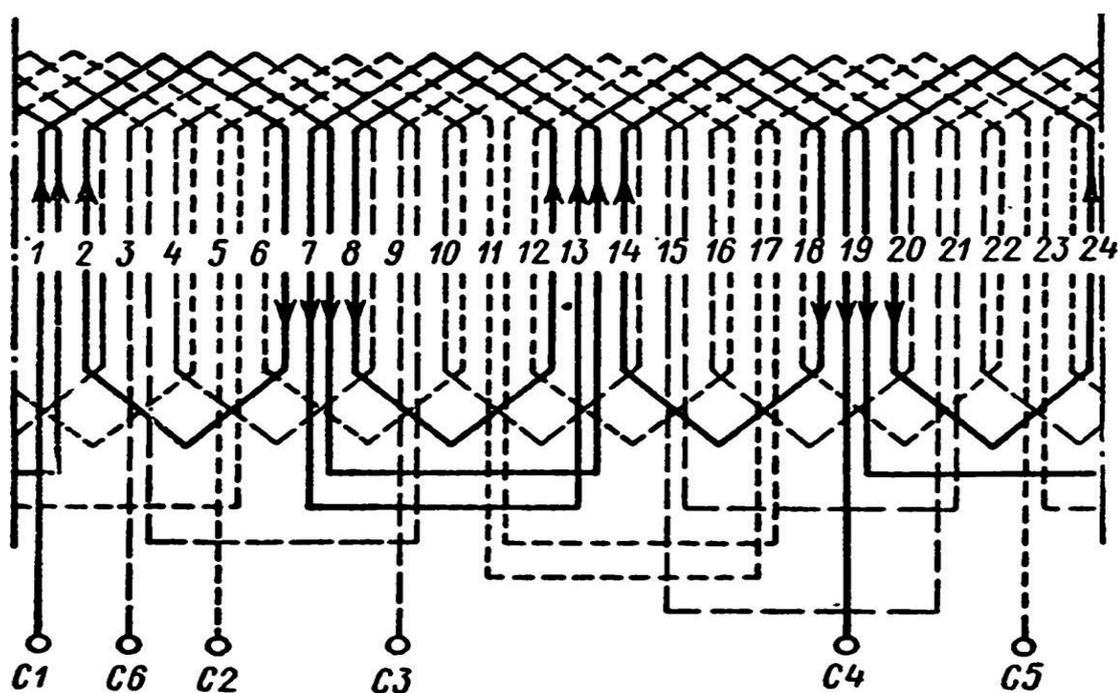


Рисунок 2 – Схема трехфазной двухслойной обмотки статора с укороченным шагом: $Z = 24$, $2p = 4$, $q = 2$

Порядок выполнения работы

1. По исходным данным, представленным в таблицах 1 и 2, рассчитать шаги трехфазной однослойной и двухслойной обмотки статора y (полный, если $y = \tau$ или укороченный, если $y < \tau$) и число пазов на полюс и фазу q . Все обмотки соединены по схеме «звезда».

Таблица 1

Исходные данные для выполнения развернутой схемы
трехфазной однослойной обмотки статора

№ п/п	Количество пазов	Количество полюсов	Количество параллельных ветвей
	Z	$2p$	a
1	12	2	1
2	24	4	1
3	36	6	1
4	30	2	1
5	36	4	1
6	36	6	1

Таблица 2

Исходные данные для выполнения развернутой схемы
трехфазной двухслойной обмотки статора с целым q

№ п/п	Количество пазов	Количество полюсов	Шаг обмотки	Количество параллельных ветвей
	Z	$2p$	y	a
1	12	2	полный	1
2	24	4	полный	1
3	36	6	полный	1
4	30	2	укороченный 4/5	1
5	36	4	укороченный 7/9	1
6	54	6	укороченный 2/3	1

2. В графическом редакторе AutoCAD 2D вычертить развернутые схемы обмоток статора, разместить на схемах полюсные дуги и полюса кругового равномерно вращающегося магнитного поля.

3. Катушечные группы каждой фазы обмотки статора необходимо соединить последовательно и вывести шесть концов трехфазной обмотки A, B, C, X, Y, Z .

Контрольные вопросы

1. Функции, выполняемые обмоткой статора в машинах переменного тока.
2. Основные требования, предъявляемые к обмоткам статоров.
3. Что является основным элементом обмотки статора.
4. Что представляет собой катушечная группа.
5. Как рассчитать шаг обмотки статора u и число пазов на полюс и фазу q .
6. Какая обмотка называется сосредоточенной, а какая распределенной.
7. Виды однослойных обмоток статора машины переменного тока.
8. Достоинства и недостатки двухслойных обмоток.
9. Какая обмотка называется равносекционной.

Лабораторная работа № 4 ПОСТРОЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы: построить геометрию статора и ротора асинхронного двигателя марки 4A132S4У3 в графическом редакторе AutoCAD 2D.

Порядок выполнения работы

Для построения геометрии статора и ротора асинхронного двигателя понадобятся паспортные данные машины, а также основные геометрические размеры его активных частей.

Паспортные данные асинхронного двигателя марки 4A132S4У3:

- номинальная мощность двигателя: $P_{2ном} = 7,5$ кВт;
- номинальное напряжение: $U_n = 220$ В;
- число полюсов: $2p = 4$.

Основные геометрические размеры двигателя:

- внешний диаметр сердечника статора: $D_a = 225$ мм;
- внутренний диаметр сердечника статора: $D = 145$ мм;
- длина сердечника статора: $l_1 = 115$ мм;
- внешний диаметр сердечника ротора: $D_p = 144,3$ мм;
- диаметр вала: $D_e = 50$ мм.

Параметры паза статора:

- форма паза – полуоткрытый трапециевидный (рисунок 1а);
- число пазов статора: $Z_1 = 36$;
- меньшая ширина паза статора: $b_1 = 6,1$ мм;
- большая ширина паза статора: $b_2 = 9,2$ мм;
- высота паза статора без учёта шлица: $h = 17,8$ мм;
- ширина шлица паза статора: $m = 3,5$ мм;
- высота шлица паза статора: $e = 0,9$ мм.

Параметры паза ротора:

- форма паза – полуоткрытый грушевидный (рисунок 1б);

- число пазов ротора: $Z_2 = 34$;
- больший диаметр паза ротора: $b_1 = 6,0$ мм;
- меньший диаметр паза ротора: $b_2 = 2,2$ мм;
- высота паза ротора: $h_n = 24,7$ мм;
- ширина шлица паза ротора: $m = 1,5$ мм;
- высота шлица паза ротора: $e = 0,75$ мм.

Параметры обмотки статора:

- число эффективных проводников в пазу: $S_n = 22$;
- число параллельных ветвей обмотки фазы: $n = 2$;
- номинальный диаметр голого провода: $d = 1,22$ мм;
- тип обмотки – однослойная концентрическая.

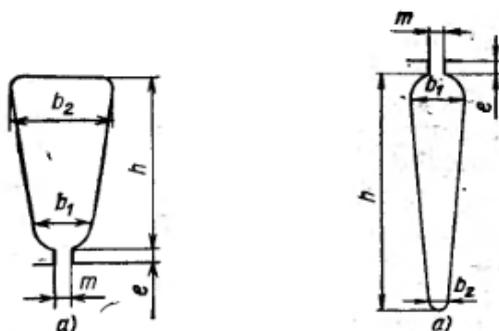


Рисунок 1 – Эскизы паза статора а) и ротора б) асинхронного двигателя

Создадим 2D модель двигателя. Все построения геометрии происходят в декартовой системе координат. При этом начало координат совпадает с осью вращения вала двигателя.

Построение окружностей

С помощью команды «круг» строим окружности, соответствующие следующим объектам:

- вал ($D_v = 50$ мм);
- внешний диаметр сердечника ротора ($D_p = 144,3$ мм);
- внутренний диаметр сердечника статора ($D = 145$ мм);
- внешний диаметр сердечника статора ($D_a = 225$ мм);
- внешняя воздушная граница (примерно $1,5 \cdot D_a \approx 335$ мм).

В результате получаем рисунок 2.

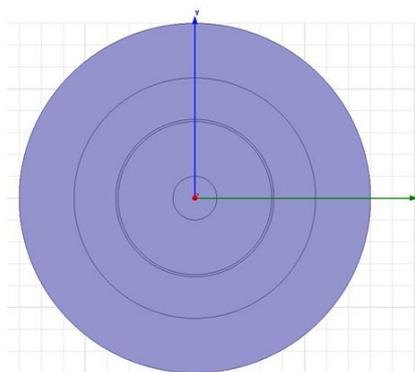


Рисунок 2 – Построение исходных окружностей

Построение геометрии паза ротора

В двигателе используется паз грушевидной формы. Геометрию такого паза можно разложить на несколько простейших фигур: две окружности, трапецию и прямоугольник. Построение паза ротора будет производиться в следующем порядке (рисунок 3):

1. Сначала строим две окружности – диаметры паза (рисунок 3, позиции 1 и 2).
2. Строим трапецию – среднюю часть паза (рисунок 3, позиция 3).
3. Строим прямоугольник – шлиц паза (рисунок 3, позиция 4).
4. Производим операции формирования готовой области (рисунок 3, позиции 5 и 6).

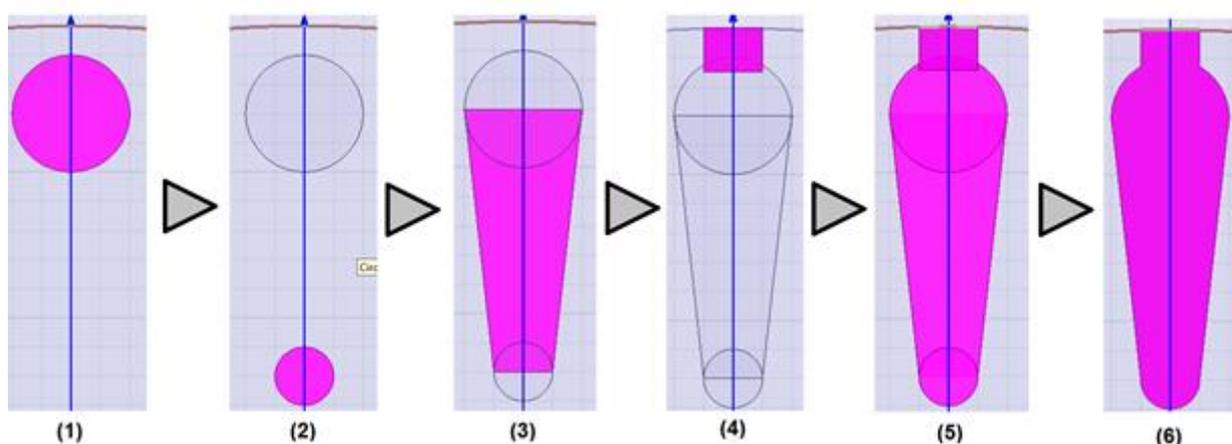


Рисунок 3 – Порядок построения паза ротора

Построение окружностей паза ротора начинается с поиска координат точек – центров окружностей (a), (b) (рисунок 4).

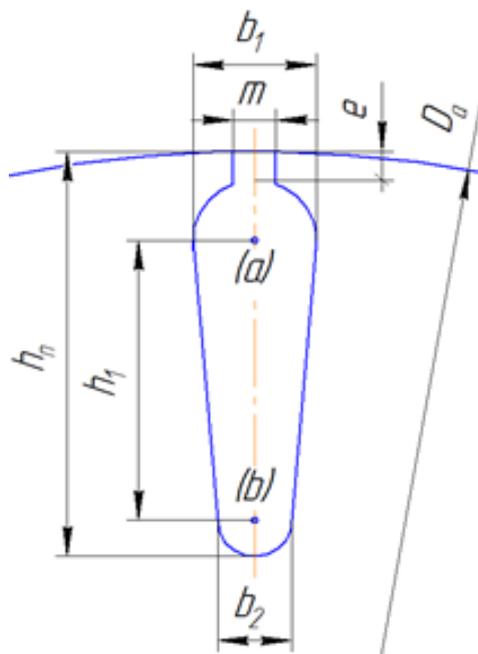


Рисунок 4 – Размеры геометрии паза ротора

Координаты точек рассчитываем по формулам:

$$\begin{cases} x_{(a)} = 0; \\ y_{(a)} = \frac{D_p}{2} - e - \frac{b_1}{2}; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} x_{(b)} = 0; \\ y_{(b)} = \frac{D_p}{2} - h_n + \frac{b_2}{2} = y_a - h_1. \end{cases} \quad (2)$$

В результате расчёта получим координаты:

$$\begin{aligned} x_{(a)} &= 0; \quad y_{(a)} = 68,4 \text{ мм}; \\ x_{(b)} &= 0; \quad y_{(b)} = 48,55 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Полученные координаты используем в качестве центров окружностей диаметром 6 мм и 2,2 мм для точек (a) и (b) соответственно (рисунок 3, позиция 1 и 2). С помощью команды «отрезок» создаём трапецию (рисунок 5), поочерёдно выбирая точки (1-2-3-4-1). На последней точке завершаем построение фигуры, нажав клавишу Enter.

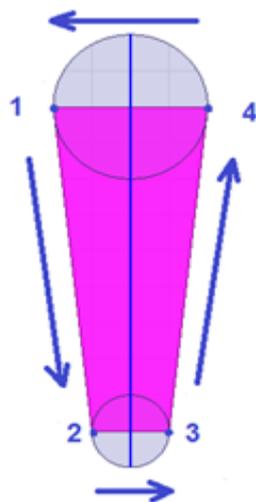


Рисунок 5 – Порядок построения трапеции

С помощью команды «прямоугольник» создаём прямоугольник, как показано на рисунке 6; при этом ширина прямоугольника равна ширине шлица (1,5 мм), а по высоте прямоугольник должен заходить внутрь паза.

При помощи команды «обрезать» убираем все ненужные линии и дуги, а при помощи команды «создать блок» объединяем паз и шлиц в единое целое. В результате получаем паз ротора со шлицом. Применяя команду «вставить блок» на окружность, являющуюся ротором, получим цельный паз ротора, обрезанный по воздушному зазору (рисунок 3, позиция 6).

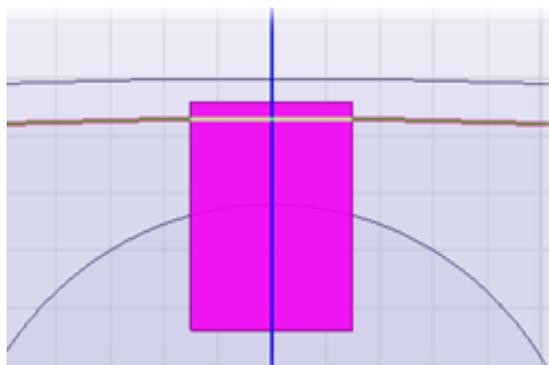


Рисунок 6 – Построение шлица паза

Построение геометрии паза статора

В моделируемом двигателе паз статора – трапециевидальный, поэтому его построение можно разбить на две части – построение самого паза и построение шлица к нему (рисунок 7).

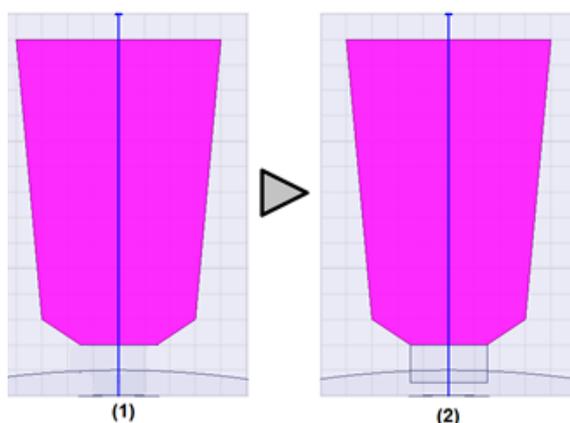


Рисунок 7 – Порядок построения паза статора

Построение паза будем проводить по точкам с помощью команды «отрезок». Для этого предварительно необходимо определить положение точек (a) , (b) , (c) , (d) , (e) и (f) на координатной декартовой плоскости (рисунок 8).

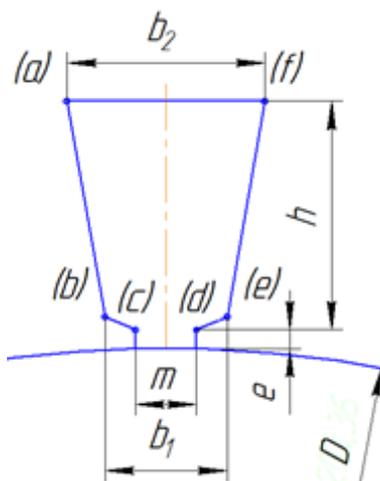


Рисунок 8 – Расположение ключевых точек геометрии паза

Координаты точек рассчитываем по формулам:

$$\begin{cases} x_{(a)} = -\frac{b_2}{2}; \\ y_{(a)} = \frac{D}{2} + e + h; \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} x_{(b)} = \frac{b_1}{2}; \\ y_{(b)} = \frac{D}{2} + e + \frac{b_1 - m}{2} \cdot \operatorname{tg}(\beta), \end{cases} \quad (4)$$

где $\beta = 45^\circ$ – для двигателей с $h \leq 250$ мм;

$\beta = 30^\circ$ – для двигателей с $h \geq 280$ мм при $2 \cdot p = 10$ и 12 ;

$$\begin{cases} x_{(c)} = -\frac{m}{2}; \\ y_{(c)} = \frac{D}{2} + e; \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} x_{(d)} = \frac{m}{2}; \\ y_{(d)} = \frac{D}{2} + e; \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} x_{(e)} = \frac{b_1}{2}; \\ y_{(e)} = \frac{D}{2} + e + \frac{b_1 - m}{2} \cdot \operatorname{tg}(\beta); \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} x_{(f)} = \frac{b_2}{2}; \\ y_{(f)} = \frac{D}{2} + e + h. \end{cases} \quad (8)$$

В результате расчёта получим координаты:

$$x_{(a)} = -4,6; y_{(a)} = 91,2 \text{ мм};$$

$$x_{(b)} = -3,05; y_{(b)} = 74,7 \text{ мм};$$

$$x_{(c)} = -1,75; y_{(c)} = 73,4 \text{ мм};$$

$$x_{(d)} = 1,75; y_{(d)} = 73,4 \text{ мм};$$

$$x_{(e)} = 3,05; y_{(e)} = 74,7 \text{ мм};$$

$$x_{(f)} = 4,6; y_{(f)} = 91,2 \text{ мм}.$$

Точки соединяем в порядке $(a) > (b) > (c) > (d) > (e) > (f) > (a)$. Используя команду «область», создаём область паза статора. Результат построения рисунок 7, позиция 1.

Теперь строим шлиц. Для его построения используем команду «прямоугольник». При построении учитываем, что шлиц должен иметь ширину 3,5 мм и не должен заходить внутрь паза (рисунок 9).

При помощи команды «обрезать» убираем все ненужные линии, а при помощи команды «создать блок» объединяем паз и шлиц в единое целое. В результате получаем паз статора со шлицом. Применяя команду «вставить блок» на окружность, являющуюся статором, получим цельный паз статора, обрезанный по воздушному зазору.

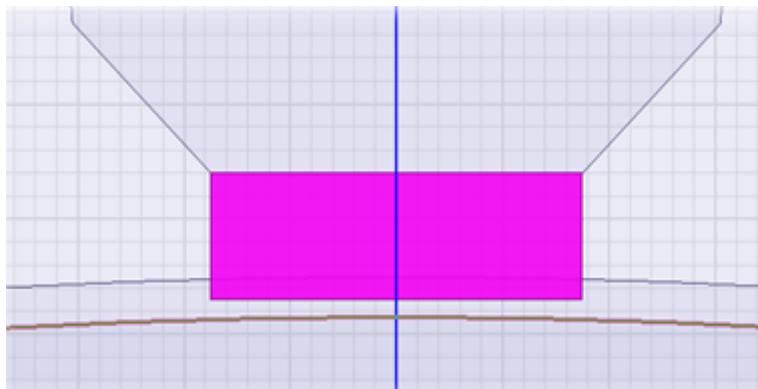


Рисунок 9 – Размеры и положение шлица паза статора

После создания пазов статора и ротора (рисунок 10) необходимо равномерно распределить их по окружностям.

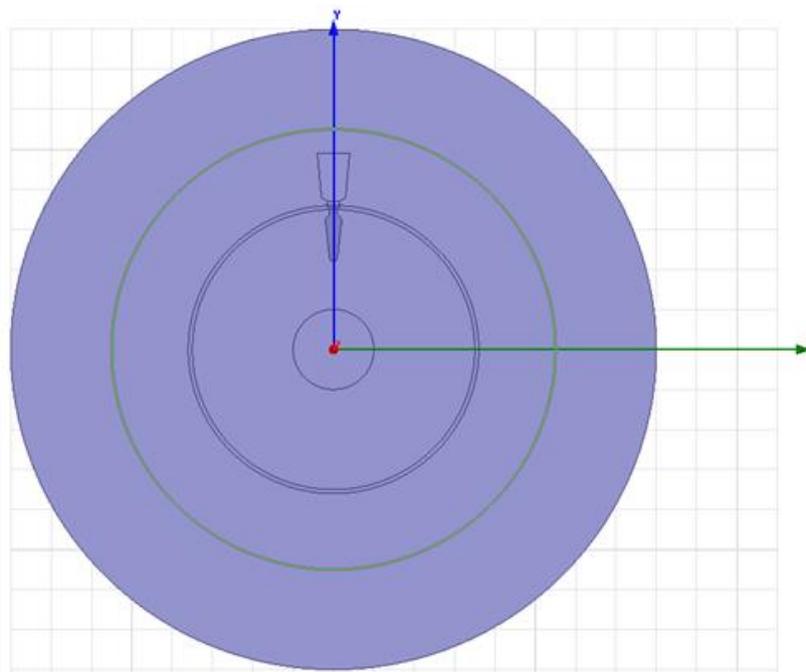


Рисунок 10 – Промежуточный этап построения геометрии

Скопируем пазы ротора по окружности. Для этого применяем команду «круговой массив»: выделяем паз ротора со шлицом, в открывшемся окне задаём количество пазов – 34 и угол между пазами 360/34. Применяем операцию.

Аналогичным образом выделяем паз и шлиц статора. Повторяем операцию копирования по окружности, при этом задаём число пазов на статоре – 36 и угол между пазами – 10° (рисунок 11).

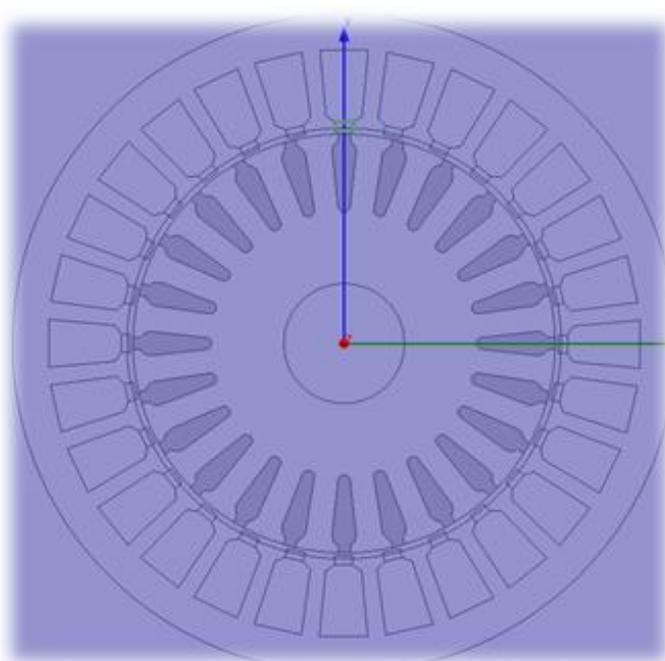


Рисунок 11 – Копирование пазов статора и ротора по окружностям

Создание проводников обмотки статора

Создаём проводники обмотки в виде прямоугольника, расположенного в пазу статора. Площадь этой фигуры должна быть равна площади меди в пазу. Для двухслойной обмотки таких фигур должно быть, соответственно, две.

Площадь, занимаемую медью в пазу статора, рассчитываем по формуле:

$$S_m = S_n \cdot n \cdot d, \text{ мм}^2, \quad (9)$$

где $S_n = 22$ – число эффективных проводников в пазу;

$n = 2$ – число параллельных ветвей обмотки фазы;

$d = 1,22$ мм – номинальный диаметр неизолированного провода.

Фигуру с площадью $S_m = 53,68$ мм² необходимо разместить в пазу, как показано на рисунке 12 (размеры прямоугольника: 5 x 10,736 мм). Копируем построенную фигуру по окружности (36 копий с углом между копиями 10°), применяя команду «круговой массив».

На этом этапе построение геометрии статора и ротора асинхронного двигателя марки 4A132S4У3 завершено (рисунок 13).

Задание выдается преподавателем индивидуально каждой подгруппе.

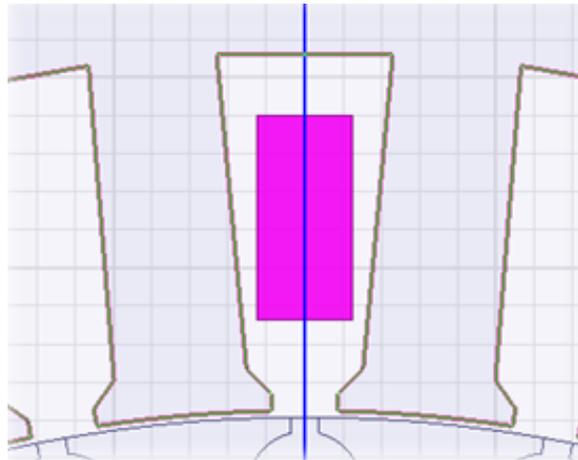


Рисунок 12 – Проводники в пазу статора

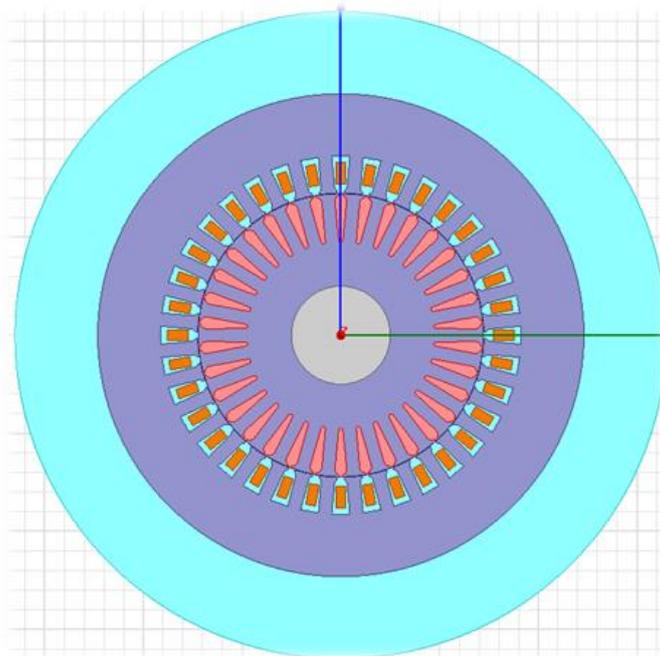


Рисунок 13 – Готовая геометрия статора и ротора асинхронного двигателя марки 4A132S4У3

Контрольные вопросы

1. Формы пазов статора и ротора короткозамкнутого и фазного асинхронных двигателей.
2. Конструктивные отличия короткозамкнутого ротора и фазного, их достоинства и недостатки.
3. Что такое обмоточный коэффициент $k_{об}$ и как он рассчитывается.
4. Что такое коэффициент заполнения паза k_z .
5. Какие параметры машины необходимо знать для построения геометрии статора и ротора асинхронного двигателя.
6. Основные команды в программе AutoCAD, необходимые для построения геометрии статора и ротора асинхронного двигателя.

Лабораторная работа № 5 ПОСТРОЕНИЕ ЧЕРТЕЖА ОБЩЕГО ВИДА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ СЕРИИ СДКП2

Цель работы: построить чертеж общего вида синхронного двигателя серии СДКП2, его габаритные, установочные и присоединительные размеры в графическом редакторе AutoCAD 2D.

Общие сведения о синхронных двигателях серии СДКП2

Структура условного обозначения

- двигатели синхронные трехфазные серии СДКП2 СДКП2-Х-Х-ХМФУХЛ4:

- СДК – синхронный двигатель для привода компрессоров;
- П – взрывозащищенный с видом взрывозащиты "заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением";
- 2 – номер серии;
- Х – габарит (18; 19; 20; 21);
- Х – длина сердечника статора, см (26; 34; 39; 41; 46; 49; 51; 56; 61; 69);
- Х – число полюсов (16; 20; 24);
- М – модификация;
- Ф – фланцевое исполнение конца вала;
- УХЛ4 – климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ.

Условия эксплуатации

Номинальные значения климатических факторов внешней среды: окружающая среда взрывоопасная, не содержащая агрессивных газов и паров в концентрациях, снижающих параметры двигателей в недопустимых пределах; в качестве защитного газа для заполнения или продувки оболочки под избыточным давлением применяется атмосферный воздух с содержанием инертной пыли не более $0,2 \text{ мг/м}^3$, относительной влажностью не более 80 % при температуре $25 \text{ }^\circ\text{C}$; максимальное значение температуры защитного газа 40°C ; группа механического исполнения М1.

Двигатели работают от сети переменного тока напряжением 6000 и 10000 В частотой 50 Гц. Режим работы продолжительный (S1). Пуск двигателей асинхронный, прямой, от полного напряжения сети с включенным в цепь обмотки возбуждения разрядным сопротивлением. В процессе пуска среднее напряжение на зажимах двигателей должно быть не менее $0,85 \cdot U_{\text{ном}}$, минимальное в начале пуска – не ниже $0,8 \cdot U_{\text{ном}}$. Двигатели допускают два пуска с интервалом между ними 5 мин из холодного состояния или один пуск из горячего состояния. Интервал между последующими пусками не менее 2 ч. Их возбуждение осуществляется от тиристорных возбудителей с системой управления и автоматического регулирования тока возбуждения. Возбудители должны устанавливаться во взрывобезопасной зоне. Степень защиты

двигателей IP44. Изоляционные материалы обмотки статора – класса нагревостойкости В.

Двигатели выполняются с горизонтальным расположением вала, на фундаментных балках. Двигатели, за исключением СДКП2-18-26-16УХЛ4 и СДКП2-18-34-16УХЛ4, имеют один стояковый подшипник скольжения с кольцевой смазкой, с одним свободным фланцевым концом вала. Способ охлаждения – самовентилиация через водяные воздухоохладители, установленные на корпусе машин. Двигатели имеют взрывобезопасный уровень защиты с видом взрывозащиты "заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением". В них предусмотрен контроль температуры обмотки и сердечника статора, подшипников и воды на входе и выходе воздухоохладителей. Обмотка статора соединяется в "звезду" и имеет шесть концов, выведенных в коробку выводов (для двигателей 18-19-го габаритов) и в фундаментную яму (для двигателей 20-21-го габаритов).

Основные технические данные трехфазных синхронных двигателей серии СДКП2 приведены в таблице 1, а их общий вид – на рисунке 1.

Таблица 1

Технические данные трехфазных синхронных двигателей серии СДКП2

Типоисполнение двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, мин ⁻¹	КПД, %	cosφ
СДКП2-19-61-16УХЛ4	3150	6000	375	96,2	0,9
СДКП2-20-49-16ФУХЛ4	4000	6000	375	96,2	0,9
СДКП2-20-56-16ФУХЛ4	4000	10000	375	96,4	0,9
СДКП2-20-61-16ФУХЛ4	5000	6000	375	96,5	0,9
СДКП2-21-46-20ФУХЛ4	5000	6000	300	96,3	0,9
СДКП2-21-56-24ФУХЛ4	5000	6000	250	96,3	0,9
СДКП2-21-69-20ФУХЛ4	6300	10 000	300	96,7	0,9

Порядок выполнения работы

1. Установить лимиты чертежа (формат А1 с размерами 594x841) при помощи режима черчения ОРТО.
2. Настроить параметры шага сетки и привязок (размер шага 10, включить сетку).

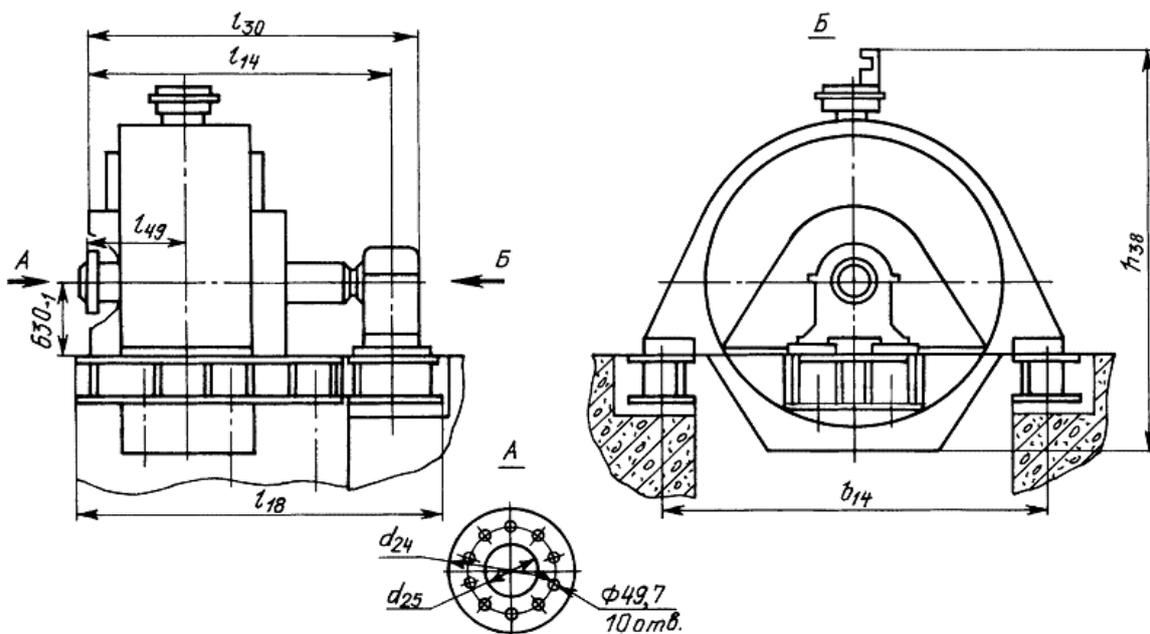


Рисунок 1 – Общий вид трехфазного синхронного двигателя серии СДКП2

3. Создать чертежный штамп по ГОСТ в правом нижнем углу листа и заполнить его перед сохранением файла.

4. Вычертить в графическом редакторе AutoCAD 2D чертеж общего вида трехфазного синхронного двигателя серии СДКП2 (два вида) с его габаритными, установочными и присоединительными размерами в масштабе 1:4 или 1:5. Варианты заданий представлены в таблице 2.

5. Проставить на выполненном чертеже все основные размеры и допуски.

Таблица 2

Габаритные, установочные и присоединительные размеры трехфазных синхронных двигателей серии СДКП2

№ п/п	Типоисполнение двигателя	Размеры, мм							
		b_{14}	d_{24}	d_{25}	l_{14}	l_{18}	l_{30}	l_{49}	h_{38}
1	СДКП2-19-61-16УХЛ4	2950	580	280	2690	2985	2930	745	3280
2	СДКП2-20-49-16ФУХЛ4	3450	580	280	2720	2795	2960	750	3830
3	СДКП2-20-56-16ФУХЛ4	3500	580	280	2820	2975	3060	575	3930
4	СДКП2-20-61-16ФУХЛ4	3450	580	280	2980	3095	3220	890	3930
5	СДКП2-21-46-20ФУХЛ4	4200	660	350	2785	2860	3065	635	4620
6	СДКП2-21-56-24ФУХЛ4	4150	660	350	2955	3455	3510	1110	4470
7	СДКП2-21-69-20ФУХЛ4	4200	660	350	3290	3450	3600	1170	4620

Примечание

При проведении линий на чертеже (построении в графическом редакторе) нужно добиваться соблюдения отношения толщин различных по типу линий, выдерживая длину штрихов и промежутков между ними. Толщина сплошной основной линии – S должна быть в пределах от 0,5 до 1,4 мм в зависимости от величины и сложности изображения. Толщина других типов линий задается в долях от толщины основной ($1/2 \cdot S$, $1/3 \cdot S$). Толщина линий одного и того же типа должна быть одинакова для всех изображений на данном чертеже, вычерчиваемых в одинаковом масштабе. В системе AutoCAD следует назначать толщину сплошной толстой основной линии 0,8 и штриховой 0,4 мм. Штрихпунктирные линии должны пересекаться и заканчиваться штрихами. Штрихи должны выходить за пределы окружности или контура детали на 3-4 мм. Штрихпунктирные линии, применяемые в качестве центровых, следует заменять сплошными тонкими (маркер центра в системе AutoCAD), если диаметр окружности или размеры других геометрических фигур в изображении менее 12 мм.

Графическое оформление чертежа предусматривает также нанесение размеров по ГОСТ. Размеры на чертежах указывают размерными числами и размерными линиями. Размерную линию в общем случае с обоих концов ограничивают стрелками, упирающимися в линии чертежа или выносные линии. В системе AutoCAD элементы стрелок, изображение выносных и размерных линий, размер, расположение и тип шрифта размерных чисел устанавливаются при настройке размерных стилей (длина стрелки – 5 мм, высота размерных чисел – 5 мм, шрифт – GOST Common, ISOCPEUR или иной аналогичный чертежному).

Контрольные вопросы

1. Расшифруйте серию СДКП2-18-26-16УХЛ4 трехфазного синхронного двигателя.
2. Условия эксплуатации, способ монтажа и степень защиты СДКП2-18-26-16УХЛ4.
3. Назовите все команды графического редактора AutoCAD 2D, используемые при построении чертежа.
4. Параметры главных размеров трехфазных синхронных двигателей.
5. Способы пуска трехфазных синхронных двигателей.

Лабораторная работа № 6 **ПОСТРОЕНИЕ 3D МОДЕЛИ ВАЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ**

Цель работы: построить трехмерную модель вала, состоящего из цилиндрических поверхностей, простейшей электрической машины в графическом редакторе AutoCAD.

Для построения 3D модели необходимо вычертить плоский контур детали и задать ось вращения, т.к. такие объекты формируются вращением образующей вокруг некоторой оси.

Порядок выполнения работы

1. В таблице 1 выберите один из вариантов задания.

Таблица 1

Исходные данные для построения 3D модели вала

№ п/п	Длина вала, мм	Диаметр вала слева, мм	Фаска слева, мм	Диаметр средний вала, мм	Диаметр вала справа, мм	Фаска справа, мм, град.	Диаметр отверстия, мм
1	150	25	2x2	100	70	10x60°	8
2	160	30	2x8	125	75	6x60°	10
3	170	35	4x4	105	60	7x45°	8
4	180	40	10x5	110	55	5x30°	5
5	140	45	7x7	115	65	9x30°	15
6	145	50	5x10	120	50	7x45°	15
7	155	55	10x5	125	45	4x45°	10
8	165	60	5x8	135	55	5x45°	20
9	175	65	9x4	130	45	6x45°	15

2. Создайте новый файл чертежа (чистый лист – без рамки и основной надписи) с именем ВАЛ.

3. Включите режим «ОРТО», активируйте команду «отрезок» и вычертите ось вала, введя с клавиатуры длину вала по заданию (рисунок 1).

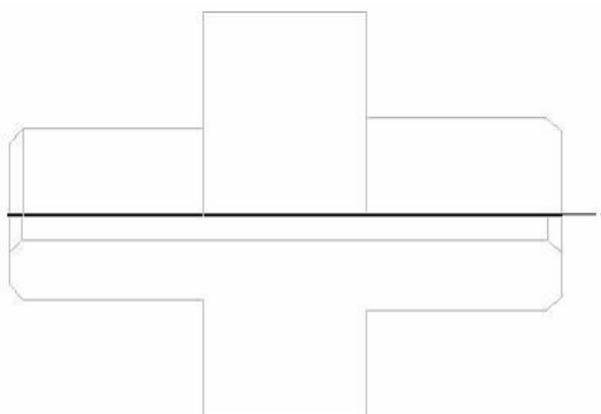


Рисунок 1 – Общая длина вала

4. Сместите ось вала. Для этого воспользуйтесь командой «смещение». После активации команды введите с клавиатуры величину смещения – половину диаметра отверстия (рисунок 2).

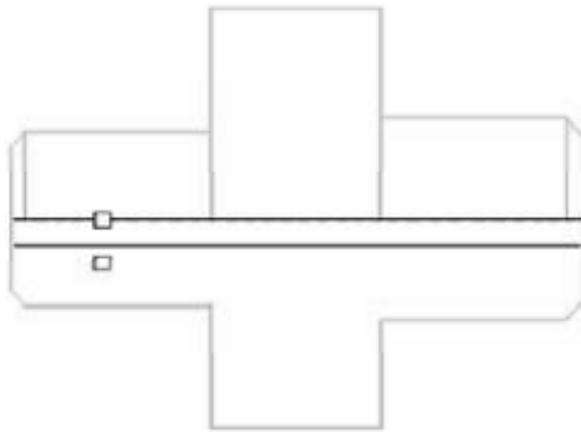


Рисунок 2 – Смещение оси

5. Вычертите плоский контур вала, активировав команду «отрезок», а затем достройте недостающие контурные линии вала (длины основных цилиндрических элементов задаются произвольно) (рисунок 3).

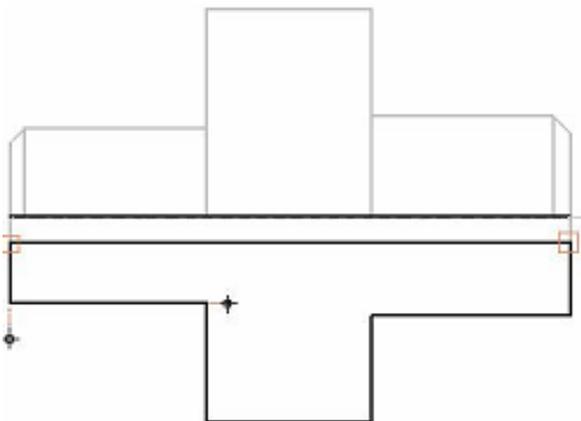


Рисунок 3 – Ось и контур вала

6. Нанесите фаски, активировав команду «фаска». Выберите необходимый вариант исполнения команды: для построения фаски по двум известным катетам введите с клавиатуры букву Д (длина), для построения фаски по известному углу и катету введите У (угол) (рисунок 4).

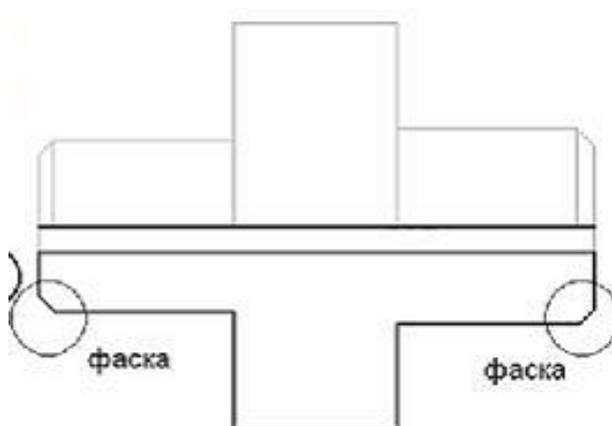


Рисунок 4 – Нанесение фасок на вал

7. Для построения 3D модели необходимо превратить плоский контур вали в полилинию. Для этого на панели «Редактировать» активируйте свойство «объект», а затем команду «полилиния». Проверьте результат преобразования (при щелчке мыши по любой линии контур подсвечивается пунктиром весь полностью) (рисунок 5).

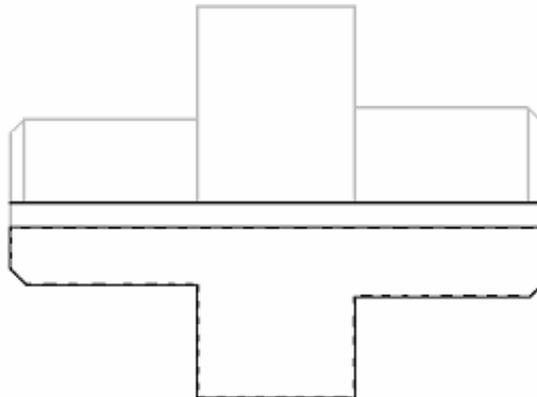


Рисунок 5 – Контур вала, преобразованный в полилинию

8. Переходим в 3D моделирование и задаем команду «вращение». Указав объект вращения, щелкаем курсором на две любые точки на оси вала и указываем угол вращения равный 270° , т.к. необходимо построить аксонометрию с вырезом четверти. В результате проделанных операций, на чертеже должна появиться фронтальная проекция каркаса 3D модели вала (рисунок 6).

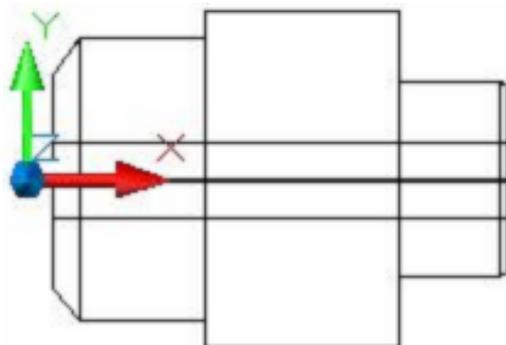


Рисунок 6 – Фронтальная проекция каркаса 3D модели вала

9. Измените цвет контурной линии и затонируйте модель. Для этого подсветите контур вала щелчком мыши, откройте появившееся меню на панели «свойства» и выберите любой из предложенных цветов (желательно не очень темный). На панели «Вид» выберите в режиме «визуальные стили» пункт «реалистичный» (рисунок 7).

10. Расположите модель таким образом, чтобы был виден вырез четверти. Для этого на панели «Вид» выберите режим просмотра «свободная орбита» (рисунок 8).

11. Сохраните готовую трехмерную модель вала.

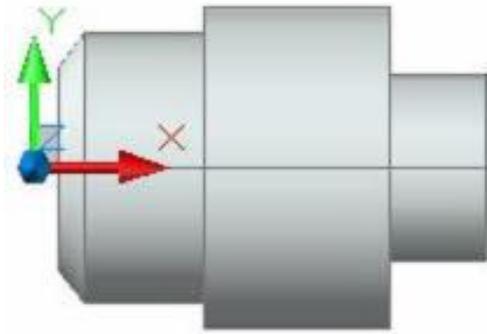


Рисунок 7 – Преобразованная 3D модель вала

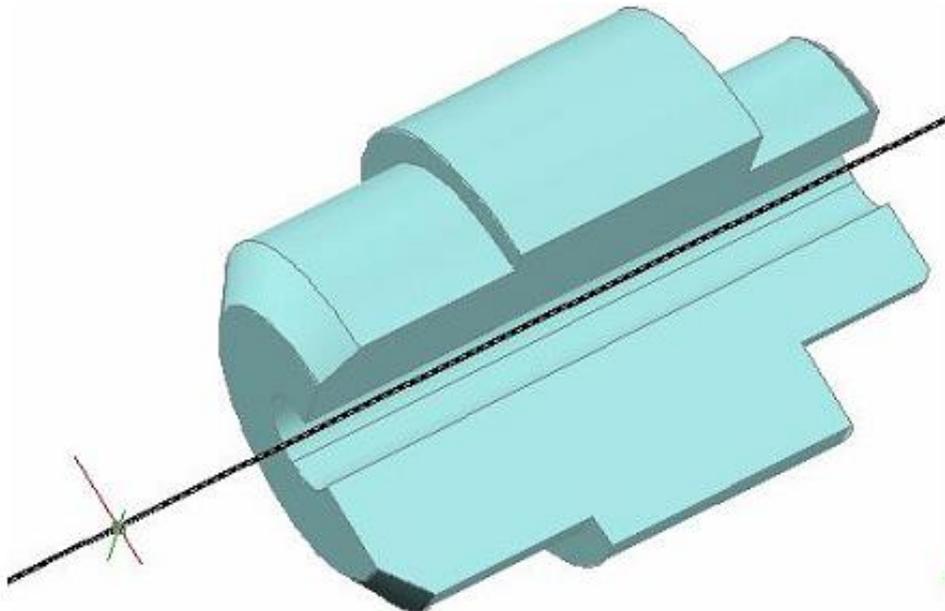


Рисунок 8 – 3D модель вала с вырезом четверти

Контрольные вопросы

1. Назначение вала в электрической машине.
2. Что такое центровка вала.
3. Расчет вала на жесткость.
4. Расчет вала на прочность.
5. Команды AutoCAD 3d "Выдавить", "Вытянуть", "Вращать".
6. Как создать 3d модель объекта с вырезом четверти.
7. Изменение цветовой гаммы объекта в 3d модели.

Лабораторная работа № 7
ПОСТРОЕНИЕ 3D МОДЕЛИ КРЕПЕЖНОЙ ДЕТАЛИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Цель работы: построить трехмерную модель резьбового соединения электрической машины, состоящего из болта, гайки и шайбы, в графическом редакторе AutoCAD.

Порядок выполнения работы

1. В качестве примера 3D-модели резьбового соединения приведем построение, в графическом редакторе AutoCAD, болтового соединения: стандартный болт общего назначения (болт М48х120), гайка (гайка 2М48) и шайба (шайба 48). Все размеры взяты из ГОСТ.

2. За основу для построения болта принимаем цилиндрическое тело, диаметр которого равен диаметру болта по впадинам резьбы, а высота равна длине резьбовой части стержня болта (рисунок 1).

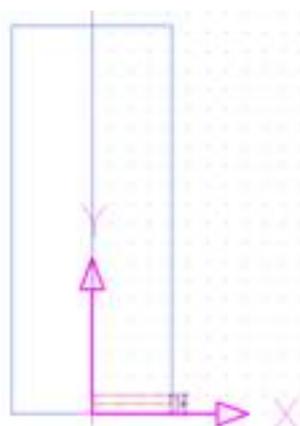


Рисунок 1 – Цилиндрическое тело

3. Для создания винтовой части модели используется расчетный профиль метрической цилиндрической резьбы. Построение профиля и замкнутого контура показано на рисунке 2. Применяются команды: *Полилиния* и *Контур*.

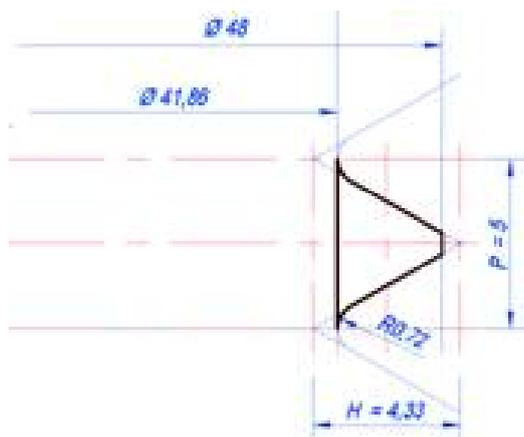


Рисунок 2 – Построение профиля и замкнутого контура

4. Следующий шаг – создание направляющей винтовой линии. Для этого используется команда *Спираль*, позволяющая создавать спирали (винтовые линии), которые могут быть как двумерными (лежать в одной плоскости), так и трехмерными. На рисунке 3, на виде спереди, и на рисунке 4, в юго-западной изометрии, показан результат построения спирали.

5. Для построения резьбовой поверхности используется команда *Сдвиг*. Выбран построенный контур профиля резьбы, а затем траектория сдвига – спираль. Результат построения представлен на рисунке 5. Изображение приведено в концептуальном стиле, использован вид спереди.

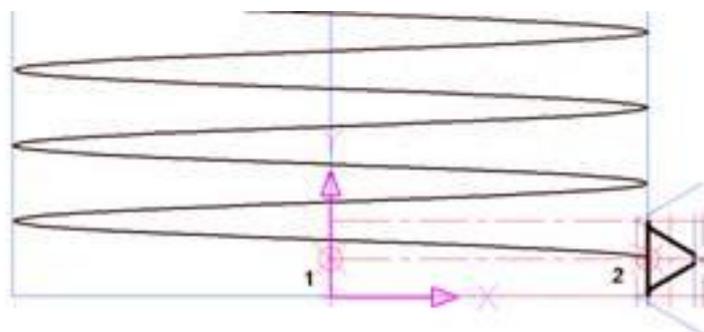


Рисунок 3 – Построение спирали (вид спереди)

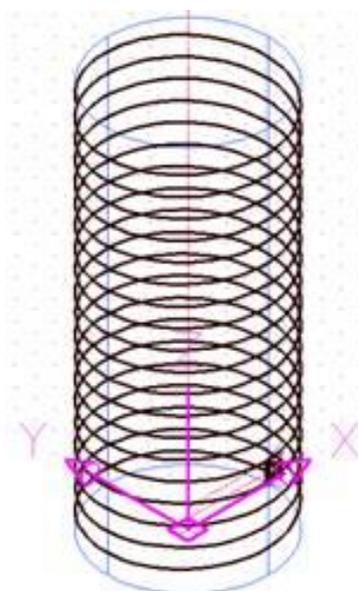


Рисунок 4 – Построение спирали (юго-западная изометрия)



Рисунок 5 – Построение резьбовой поверхности (вид спереди)

6. В завершение построены: сбеги резьбы (*вращением плоского контура*); гладкая часть стержня (*твердотельный примитив – цилиндр*); шестигранная головка болта (*выдавлена из замкнутой плоской фигуры*). Затем все твердотельные элементы, составляющие болт, объединяются командой *Объединение*.

В последнюю очередь выполняются фаски и скругление под головкой болта. Фаски сняты с помощью дополнительных элементов, сконструированных из замкнутых контуров – прямоугольных треугольников, соответствующих профилю фаски. Командой *Вращать* (вокруг оси болта) эти треугольники преобразованы в тела вращения и командой *Вычитание* вычтены из шестигранника и нижней резьбовой части болта. Скругление выполнено с помощью команды *Сопряжение*. На рисунке 6 поверхности фасок и скругления выделены красным.

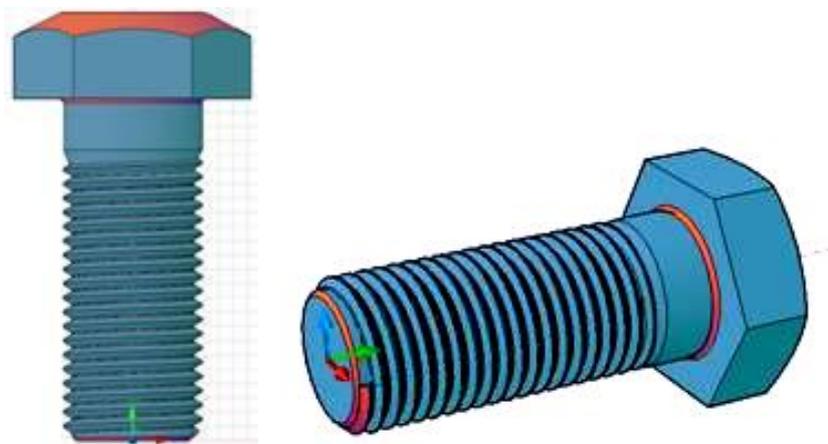


Рисунок 6 – Поверхности фасок и скругления

7. Построение гайки базируется на построении шестигранной призмы. Шестиугольник основания строится в плоскости *XУ* с помощью команды *Многоугольник* и выдавливался в направлении оси *Z* (командой *Выдавить*) на высоту гайки. Для построения отверстия с резьбой используется тот же прием, что и для изображения резьбы на стержне болта (рисунок 8).

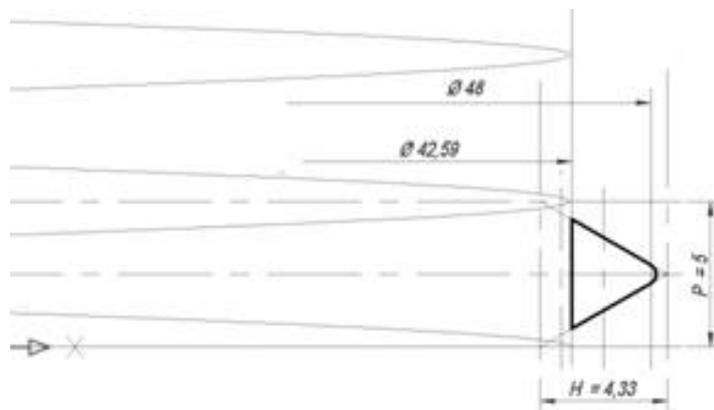


Рисунок 8 – Построение отверстия с резьбой

За основу берется тот же цилиндр, что и при построении болта. Через окно редактирования *Свойства* изменяется его диаметр (с 41,86 на 42,59) и высота (с 102 на 38). Профиль для впадины резьбы строится с использованием построений, уже выполненных для болта. Это позволяет обеспечить более точное сопряжение между поверхностями болта и гайки.

В результате выполнения команд *Спираль* и *Сдвиг* образуется твердотельный элемент (рисунок 9), который в дальнейшем вычитается из шестигранной призмы. Для правильного выполнения операции вычитания шестигранную призму и построенный винтовой элемент необходимо выровнять, используя *ПСК* и *объектную привязку*. Наружная фаска снимается так же как у головки болта, а внутренняя с помощью команды *Фаска* из меню *Редактирование*.

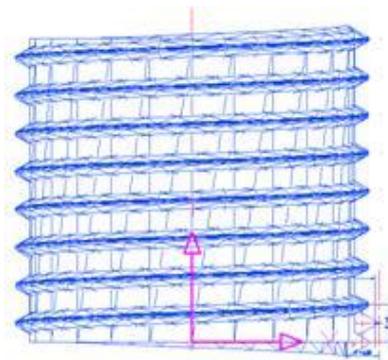


Рисунок 9 – Твердотельный элемент

8. Шайба строится с помощью команды *Вращать*. В режиме *Вид спереди* с использованием оси, общей с гайкой, в плоскости ХУ строится сечение шайбы командой *Полилиния* (рисунок 10).

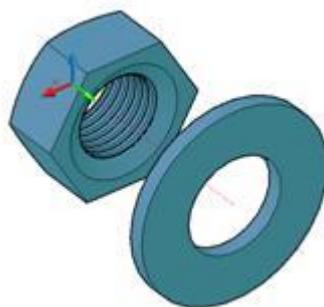


Рисунок 10 – Шайба

9. Для завершения построений необходимо собрать детали между собой. Для этого используется *привязка к оси симметрии*, показанной красной штрихпунктирной линией. Для сопряжения резьбы на поверхности болта и гайки осуществляется *привязка к шагу резьбы* ($P = 5$). На рисунке 11 представлено изображение всех построенных деталей в сборе, а на рисунке 12 они приведены в разрезе. Разрез позволяет проконтролировать точность совмещения моделей соединяемых деталей.

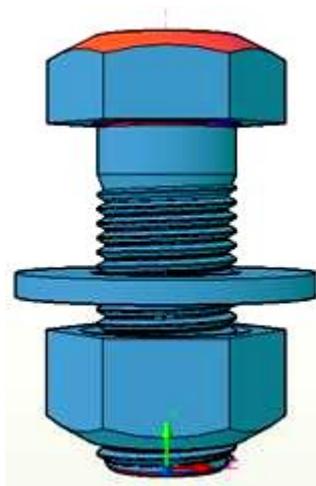


Рисунок 11 – Построенные детали в сборе

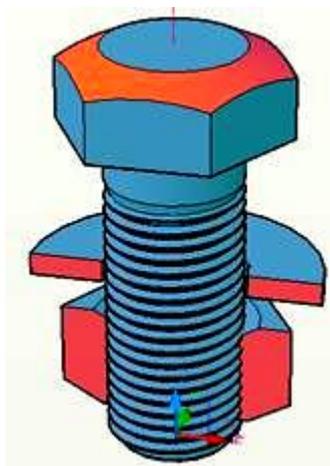


Рисунок 12 – Построенные детали в разрезе

Таким образом, инструменты AutoCAD позволяют довольно несложными приемами точно моделировать резьбовые изделия и осуществлять их сборку. По завершении работы над моделью возможно максимально повысить правдоподобие изображения сконструированного объекта, используя реальные цвета и текстуры поверхностей (рисунок 13), естественную светотень, освещение из одного или нескольких источников света.



Рисунок 13 – Трехмерная модель резьбового соединения

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Григорьев В.Ф. Обмотки якоря (статора) электрических машин: метод указания / В.Ф. Григорьев, А.В. Бузня, Е.М. Азарова. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2012. – 34 с.
2. Безрукова Т. В., Мишустина С. Н., Асеева Е. Н., Мишустин О. А., Асеева С. Д. Разработка 3D моделей резьбовых соединений // Молодой ученый. – 2013. – №12. – С. 100-103.
3. Начертательная геометрия, инженерная и машинная графика: учеб.-метод. комплекс для студ. техн. спец. – Ч. 5. Машинная графика / сост. и общ. ред. А. В. Дубко. – Новополюцк: ПГУ, 2006. – 164 с.
4. Петухова А.В., Болбат О.Б. Компьютерная графика для строительных специальностей. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2007. – 31 с.
5. Минеев С.П. Автоматизация создания чертежей деталей электрических машин на языке VBA в среде проектирования AutoCAD: учеб. пособие / С.П. Минеев, Ю.В. Зубков. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. – 105 с.
6. Ющенко Л.В. Электрические машины: практикум / Л.В. Ющенко. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2012. – 96 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О САПР	3
Лабораторная работа № 1. МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ТРЕХФАЗНОГО КОРОТКОЗАМКНУТОГО И ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	5
Лабораторная работа № 2. ОБМОТКИ ЯКОРЕЙ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА	7
Лабораторная работа № 3. ОБМОТКИ СТАТОРОВ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	15
Лабораторная работа № 4. ПОСТРОЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ	20
Лабораторная работа № 5. ПОСТРОЕНИЕ ЧЕРТЕЖА ОБЩЕГО ВИДА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ СЕРИИ СДКП2	29
Лабораторная работа № 6. ПОСТРОЕНИЕ 3D МОДЕЛИ ВАЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ	32
Лабораторная работа № 7. ПОСТРОЕНИЕ 3D МОДЕЛИ КРЕПЕЖНОЙ ДЕТАЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ	36
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	42

Учебное издание

Трубицина Надежда Анатольевна
Кочин Александр Евгеньевич

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Печатается в авторской редакции

Технический редактор Н.С. Федорова

Подписано в печать 30.12.15. Формат 60×84/16.
Бумага газетная. Ризография. Усл. печ. л. 2,56.
Тираж экз. Изд. № 50243. Заказ .

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

Адрес университета: 344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка
Народного Ополчения, д. 2.