**Варианты задания проверочной работы**

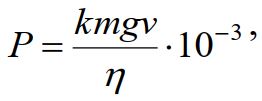
* 1. Выбрать двигатель для кратковременного режима работы S2 при подъеме груза. Условия подъема и характеристики груза приведены в табл.1.
  2. Рассчитать параметры и начертить развернутую схему трехфазной двухслойной обмотки статора по данным, приведенным в табл. 1. Выбрать укорочение шага обмотки, чтобы уничтожалась ν-я высшая гармоника в кривой индуцированной ЭДС обмотки. Соединение катушечных групп последовательное, фазы обмотки соединить звездой, катушки одновитковые.
  3. Используя данные и результаты расчета п.1 и п.2, определить эффективные значения фазной и линейной ЭДС первой, третьей, пятой и седьмой гармоник, приняв частоту тока 50 Гц. Рассчитать значения этих ЭДС, если бы шаг обмотки был полным.

Таблица 1

|  |  |
| --- | --- |
| Величины | Задания |
| Масса груза, кг\*103 | 2 |
| Скорость подъема, м/с | 0,2 |
| Высота подъема h, м | 3 |
| Коэффициент, учитывающий противовес, k | 0,4 |
| КПД  подъемника, η | 0,7 |
| Коэффициент увеличения мощности, KP | 1,4 |
| Число пазов Z1 | 36 |
| Число полюсов 2р | 4 |
| Гармоника ν | 5 |

## **Выбор двигателя по номинальной мощности**

Для расчета мощности, кВт асинхронного двигателя для подъема груза следует пользоваться формулой:



где *k* - коэффициент, учитывающий действие противовеса;

*v* - скорость подъема груза в м/с;

*m* - масса груза, кг;

*g* - ускорение свободного падения в м/с2;

*η* - КПД подъемника.

Пример. Выбрать двигатель для кратковременного режима работы S2 при подъеме груза:

Масса груза *m*, кг……………………………………………. 8000

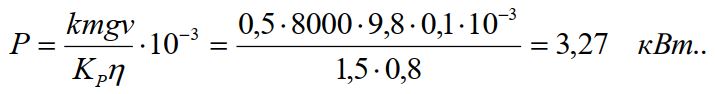
Коэффициент, учитывающий действие противовеса *k…….* 0,5

Скорость подъема груза *v*, м/с ……………………0,1

КПД подъемника …………………. 0,8

Коэффициент увеличения мощности *KP…………………………* 1,5

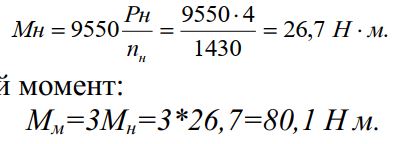
Мощность двигателя:



Полученное значение мощности увеличиваем до ближайшего каталожного значения.

Двигатель выбираем из базы данных БД ielectro. Ближайший по мощности двигатель 4А100L4 (Р=4 кВт, n=1430 об/мин).

Определяем его номинальный момент



Максимальный момент:

*Мм=3Мн=3\*26,7=80,1 Н м.*

## **Выбор типа обмотки**

На практике применяются различного рода типы обмотки (однослойные и двухслойные; с полным и укороченным шагом; односкоростные и многоскоростные; с одинаковым и различным числом секций в пазу), и для того чтобы сделать выбор нужно рассмотреть: экономическую целесообразность, достоинства и недостатки, технические возможности выполнения.

Основные достоинства однослойной обмотки:

1. Отсутствие межслоевой изоляции, что повышает коэффициент заполнения паза, а следовательно, ток и мощность двигателя.
2. Простота изготовления.
3. Большая возможность применения автоматизации при укладке обмоток.

Недостатки:

1. Повышенный расход проводникового материала.
2. Сложность укорочения шага, а следовательно, компенсации высших гармоник магнитного потока.
3. Ограничение возможности построения обмоток дробным числом пазов на полюс и фазу.
4. Более трудоемкое изготовление и монтаж катушек для крупных электродвигателей высокого напряжения.

Двухслойные обмотки в основном выполняются с одинаковыми секциями: петлевые и цепные, реже принимают концентрические.

Основные достоинства двухслойной обмотки по сравнению с однослойной:

1. Возможность любого укорочения шага, что позволяет:

а) снизить расход обмоточного провода за счет уменьшения длины лобовой части секции;

б) уменьшить высшие гармонические составляющие магнитного потока, то есть снизить потери в магнитопроводе двигателя.

1. Простота технологического процесса изготовления катушек (многие операции можно механизировать).
2. Возможность выполнения обмотки почти с любой дробностью q, что обеспечивает изготовление обмотки при ремонте асинхронных двигателей с изменением частоты вращения ротора. Кроме того, это является одним из способов приближения формы поля к синусоиде.
3. Возможность образования большего числа параллельных ветвей.

К недостаткам двухслойных обмоток следует отнести: Меньший коэффициент заполнения паза (вследствие наличия межслоевой изоляции).

1. Некоторая сложность при укладке последних секций обмотки.
2. Необходимость поднимать целый шаг обмотки при повреждении нижней стороны секции.

По приведенным соображениям, в настоящее время, в ремонтной практике машин переменного тока двухслойные обмотки получили наибольшее применение. Следовательно, выбираем двухслойную петлевую обмотку.

## **Расчет обмоточных данных**

Расчет обмоточных данных состоит в определении основных данных:

*N* – число катушечных групп;

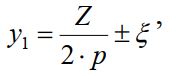
*y* – шаг обмотки;

*q* – число пазов на полюс и фазу;

*α* – число электрических градусов, приходящихся на один паз;

*а* – число параллельных ветвей.

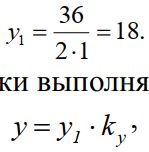
Шаг обмотки (у1) – это расстояние, выраженное в зубцах (или пазах), между активными сторонами одной и той же секции:

 (1)

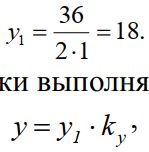
где *y1* – расчетный шаг (равен полюсному делению, выраженному в зубцах);

**– произвольное число меньше 1, доводящее расчетный шаг (*y1*) до целого числа.

На практике принято шаг определять в пазах, поэтому при раскладке вторая сторона секции ложится в паз *у*+1. Например, если Z1=36, а 2p=2, то



Двухслойные обмотки выполняют с укорочением шага.

 (2)

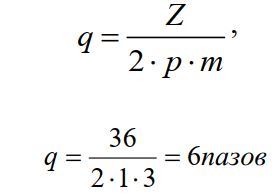
где *kу* – коэффициент укорочения шага обмотки.

Для подавления пятой гармоники ЭДС катушки выбирают *kу*=0,8. Если необходимо подавить седьмую гармонику, то *kу* = 0,857.

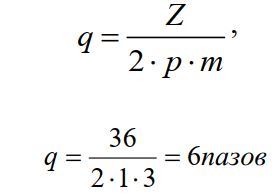
*y =* *18* ***·*** *0*,*8 = 14*,*4* паза.

Принимаем *y =* 14 пазов.

Число пазов на полюс и фазу:

 (3)

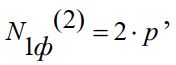
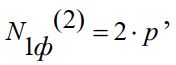
где *m* – число фаз.



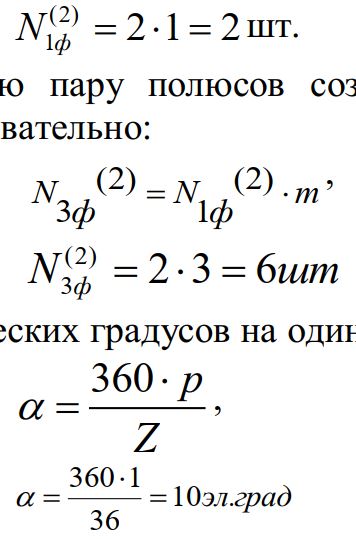
Так как *q >* 1, то обмотка называется рассредоточенной, при этом фазные катушки должны быть разделены на секции, число которых равно *q*.

Число катушечных групп.

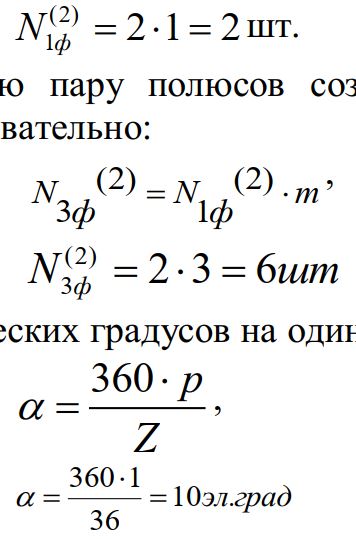
В двухслойных обмотках число катушечных групп механически увеличивается в два раза, однако, по сравнению с однослойной обмоткой, с числом витков в каждой секции меньшим в два раза, тогда:

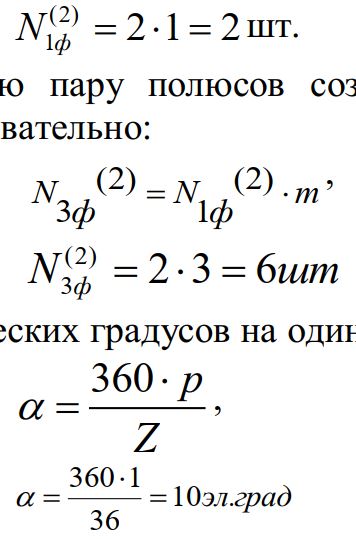
 (4)

где - число катушечных групп в одной фазе двухслойной обмотке.

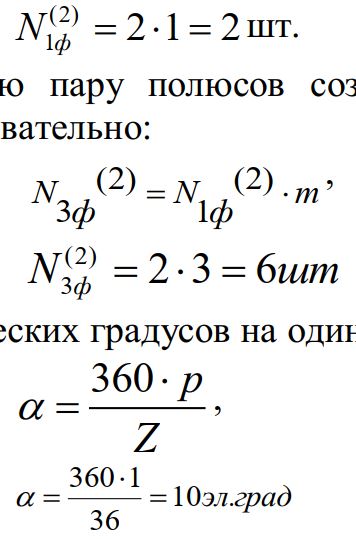


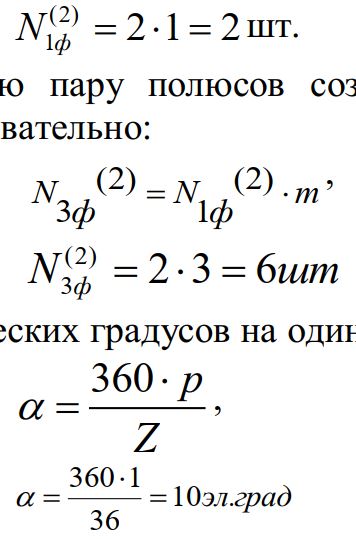
Так как каждую пару полюсов создают все три фазы переменного тока, следовательно,

 (5)



Число электрических градусов на один паз:

 (6)



Катушечные группы фаз можно соединять последовательно (*а* = 1), параллельно (*а* = *q*) и комбинированно (1 < *а* < *q*).

Для нашего случая применяем, *а* = 1.

## **Построение развернутой схемы обмотки статора**

Рассмотрим порядок построения развернутой схемы трехфазной двухслойной обмотки статора на примере обмотки, имеющей следующие данные: число фаз m1 = 3, число полюсов 2р = 2, число пазов в сердечнике статора Z1 = 12, шаг обмотки по пазам диаметральный, т. е. у1 = 1.

Шаг обмотки *у1 = Z1/(2р)* = 12/2 = 6 пазов; число пазов на полюс и фазу *q1 = Z1/(т1 2р)* =12/(3 ***·*** 2) = 2 паза; пазовый угол α= 360р/Z1 = 360 ***·*** 1/12 = 30 эл. град. Угол сдвига между осями фазных обмоток составляет 120 эл. град, поэтому сдвиг между началами фазных обмоток *А, В и С,* выраженный в пазах, λ =120/α =120/30 = 4 паза.

На развернутой поверхности статора размечаем пазы (Z1 = 12) и полюсные деления (2р = 2), а затем размечаем зоны по q1 = 2 паза для всех фаз (рис. 1; а); при этом расстояние между зоной какой-либо фазы в одном полюсном делении и зоной этой же фазы в другом полюсном делении должно быть равно шагу обмотки у1 = 6 пазов.

Далее отмечаем расстояние между началами фазных обмоток λ = 4 паза. Изображаем на схеме (рис. 1, *б*) верхние (сплошные линии) и нижние (пунктирные линии) пазовые стороны катушек фазы А (катушки *1, 2, 7 и 8).* Верхнюю сторону катушки *1* (паз 1) лобовой частью соединяем с нижней  
стороной этой же катушки (паз 7), которую, в свою очередь,  
присоединяем к верхней стороне катушки 2 (паз 2). Верхнюю сторону  
катушки *2* (рис. 1, б) также лобовой частью соединяем с нижней  
стороной этой же катушки (паз 8) и получаем первую  
катушечную группу обмотки фазы А (Н1А-К1А).

Аналогично получаем вторую катушечную группу фазы  
А, состоящую из последовательно соединенных катушек *7* и *8*  
(Н2А- К2А). Катушечные группы соединяем последовательно  
встречно, для чего К1А присоединяем к К2А. Присоединив начало  
первой катушечной группы Н1А к выводу обмотки С1, а начало  
второй катушечной группы Н2А - к выводу С4, получаем фазную  
обмотку А.

Приступаем к соединению пазовых сторон катушек  
фазы В: катушек 5 и 6 (первая катушечная группа) и катушек 11 и *12*  
(вторая катушечная группа).

Проделав то же самое с катушками фазной обмотки С и  
соединив катушечные группы этих фазных обмоток, так же как это  
было сделано в фазной обмотке А, получим фазные обмотки  
фазы В(С2--С5) и фазы С(С3-С6). В окончательном виде развернутая  
схема трехфазной обмотки представлена на рис. 1, в.

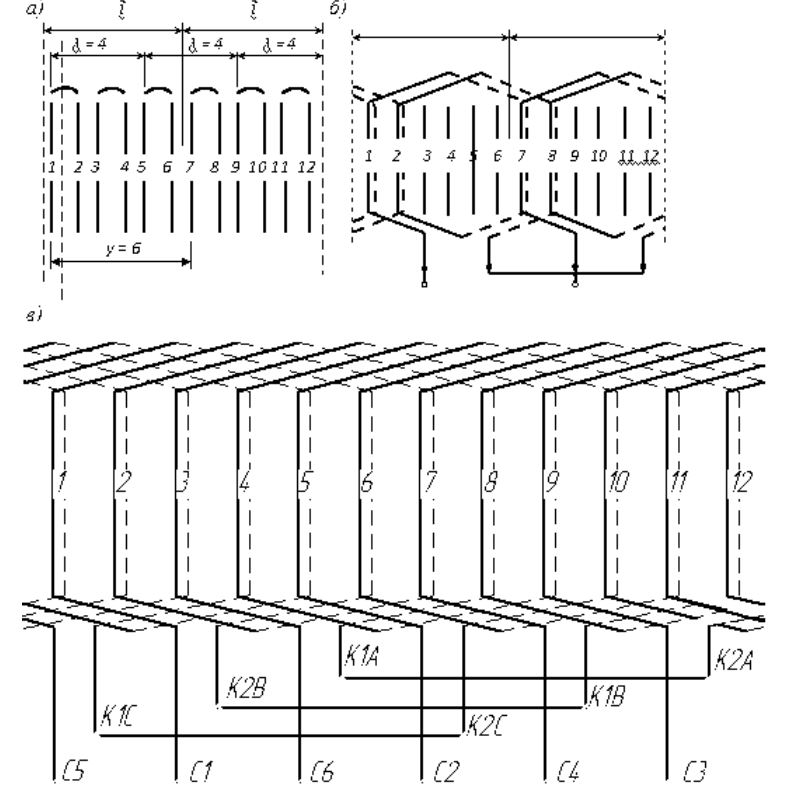


Рисунок 1-Порядок построения развернутой схемы трехфазной двухслойной обмотки статора: Z1 *= 12, 2р = 2, у1 = 6, q1 = 2*

На рисунке 1, б показано последовательное соединение двух катушечных групп фазной обмотки, для чего необходимо нижний конец первой катушечной группы *(К1А)* соединить с нижним концом второй катушечной группы *(К2А),* а верхние концы вывести к зажимам фазной обмотки (*С1-С4*). При таком соединении катушечных групп ЭДС фазной обмотки представляет собой сумму ЭДС всех катушечных групп.

На рисунке 1, *в* соответствии с ГОСТом выводы трехфазных обмоток статора обозначаются следующим образом:

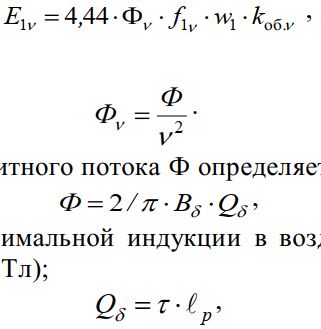
первая фаза: начало *С1* – конец *С4*;

вторая фаза: начало *С2* – конец *С5*;

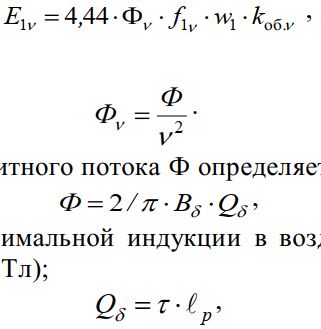
третья фаза: начало *С3* – конец *С6*.

## **Определение эффективных значений фазной и линейной ЭДС первой, третьей, пятой и седьмой гармоник**

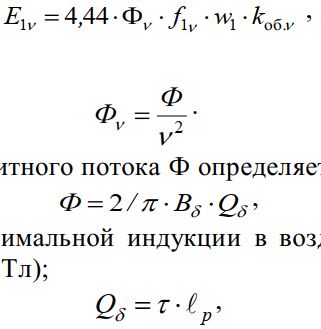
Для определения ЭДС обмотки статора необходимо ЭДС катушки умножить на число последовательно соединенных катушек в фазной обмотке статора. Так как число катушек в катушечной группе равно *q1*, а число катушечных групп в фазной обмотке равно *2р,* то фазная обмотка статора содержит *2pq,* катушек. Имея в виду, что число последовательно соединенных витков в фазной обмотке w1 *= 2pq1wK (К=1),* получим ЭДС фазной обмотки статора (В) ν-й гармоники:

 (7)

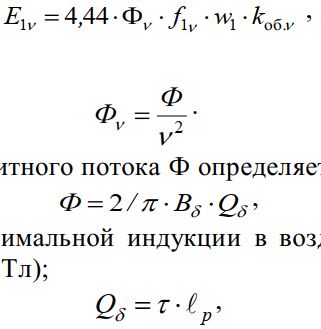
где 

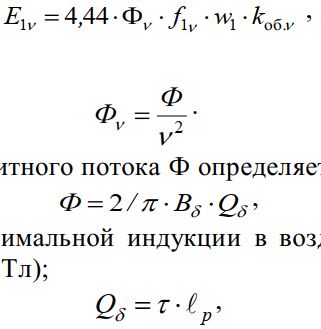
 (8)

Величина магнитного потока Ф определяется как



где *Bδ* – величина максимальной индукции в воздушном зазоре (принимаем равной 0,7 Тл);



где τ – полюсное деление (ширина полюса в воздушном зазоре, м;

– длина сердечника статора, м.

В этом выражении *ko6.ν* - обмоточный коэффициент для ν – ой гармоники, учитывающий уменьшение ЭДС ν-ой гармоники, наведенной в обмотке статора, обусловленное укорочением шага обмотки и ее распределением. Значение обмоточного коэффициента определяется произведением коэффициента укорочения *kуν* и распределения *kpν*,

*kоб*.**  *kу*  *kр*

Коэффициенты укорочения и распределения выбираются из таблицы 2 и таблицы.3, соответственно.

Таблица 2

Коэффициенты укорочения

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Относительный шаг | 4/5 | 6/7 | 1 |
| Коэффициент укорочения *kyv* | 0,951 | 0,975 | 1,000 |
| 1-я гармоника |
| 5-я гармоника | 0,000 | 0,433 | 1,000 |
| 7-я гармоника | 0,573 | 0,000 | 1,000 |

Таблица 3

Коэффициенты распределения

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Число пазов на полюс и фазу  q1…. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | ∞ |
| Коэффициент  распределения kp |  | | | | | | |
| 1-я гармоника | 1,000 | 0,966 | 0,960 | 0,958 | 0,957 | 0,956 | 0,955 |
| 3-я гармоника | 1,000 | 0,707 | 0,667 | 0,654 | 0,646 | 0,644 | 0,636 |
| 5-я гармоника | 1,000 | 0,259 | 0,217 | 0,204 | 0,200 | 0,197 | 0.191 |
| 7-я гармоника | -1,000 | -0,259 | -0,178 | -0,157 | -0,149 | -0,145 | -0,136 |

Для обмоток с диаметральным шагом *kоб = k рν.*

Определим значение фазной ЭДС обмотки статора:

 (10)

Выражение (10) определяет значение фа зной ЭДС обмотки статора. Что же касается л и н е й н о й ЭДС, то ее значение зависит от схемы соединения обмотки статора: при соединении звездой Е1Л=√3Е1, а при соединении треугольником Е1Л = Е1

Каталожные данные асинхронных двигателей

Двигатели трехфазные асинхронные АИРМ112, АД80, АД90, АД132, 2А200 предназначены для различных систем и механизмов, применяемых в промышленности и сельском хозяйстве (станки, транспортеры, конвейеры, подъемники, насосы, вентиляционные устройства, гидроагрегаты и др.).

Классификация

Двигатели классифицируются по высоте оси вращения, установочному размеру по длине станины, установочному размеру по длине сердечника статора, числу полюсов, климатическому исполнению и категории размещения.

Структура условного обозначения АИРМ (АД) (2А) [\*][\*][\*][\*][\*][\*]:

А – асинхронный;

И – условное обозначение унифицированной серии;

Р – с привязкой мощностей к установочным размерам;

М – модернизированный;

АД – асинхронный двигатель;

2А – обозначение серии;

[\*] – габарит, мм (80; 90; 112; 132; 200);

[\*] – установочный размер по длине станины (S, M, L);

[\*] – установочный размер по длине сердечника статора (А, В);

[\*] – число полюсов (2, 4, 6, 8);

[\*][\*] – климатическое исполнение (УХЛ, У, Т) и категория размещения (2; 3; 4) по ГОСТ 15150–69.

Виды климатического исполнения: УХЛ4, У2, У3, Т2.

Особенности конструкции:

Конструктивное исполнение двигателей по способу монтажа IM1081, IM1082, IM2081, IM2082, IM3081, IM3082, двигателей 2A200 – IM1081, IM1082, по ГОСТ 2479–79 (рисунок 2–3).

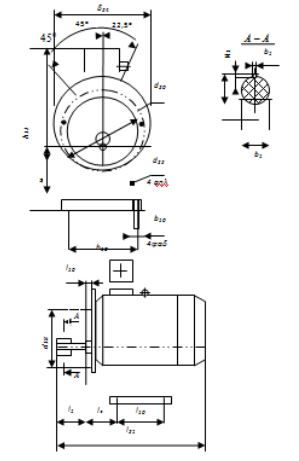


Рисунок 2 - Общий вид, габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей

Таблица к рисунку 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип двигателя | Габаритные размеры, мм | | | Установочные и присоединительные размеры | | | | | | | | | | | | | |
| l21 | d32 | h3l | l1 | l10 | l38 | l31 | b1 | b10 | d1 | d20 | d22 | d28 | d38 | h | h1 | h2 |
| АИР М11 2М | 496 | 300 | 285 | 80 | 140 | 4 | 70 | 10 | 180 | 92 | 12 | 286 | 15 | 290 | 112 | 9 | 95 |
| АД9 0 | 935 | 200 | 205 | 50 | 100 | 3,5 | 50 | 6 | 125 | 22 | 10 | 185 | 12 | 190 | 80 | 6 | 24,5 |
| АД9 0L | 955 | 250 | 215  /245 | 125 | 4 | 58 | 8 | 140 | 24 |  | 215 | 15 | 180 | 80 | 7 | 27 |
| АД1 92S | 490 | 950 | 910 | 80 | 140 | 5 | 98 | 10 | 216 | 38 | 12 | 300 | 19 | 250 | 192 | 8 | 41 |
| АД1 92М2 | 178 |
| АД1 92М4, 8,9 | 519 |
| 2А200L2 | 737 | 422 | 500 | 110 | 905 | - | 133 | 16 | 318 | 55 | 19 | - | - | - | 200 | 10 | 59 |
| 2A200L4 | 767 | 140 | 18 | 60 | 11 | 64 |

Габаритная высота двигателей АД90 h = 215 мм, соответствует исполнению в алюминиевом корпусе, h = 245 мм – исполнению в чугунном корпусе.

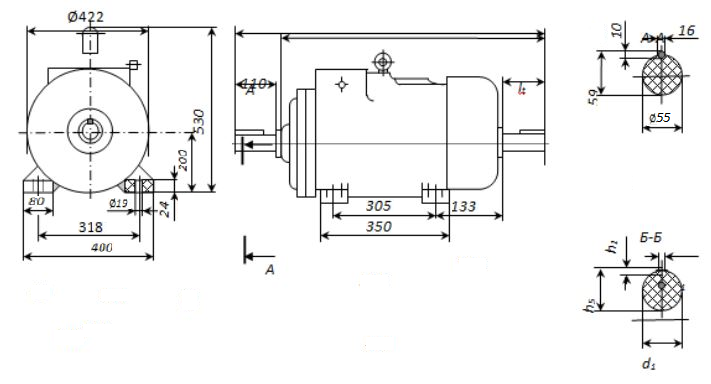


Рисунок – Общий вид, габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей 2А200 исполнения IM1081, IM1082

Таблица к рисунку 3

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип двигателя | Габаритные размеры, мм | | Установочные и присоединительные размеры, мм | | | | |
| l28 | l23 | l1 | b1 | d1 | h1 | h |
| 2А200L2 | 797 | 850 | 110 | 16 | 55 | 10 | 59 |
| 2A200L4, 6, 8 | 767 | 980 | 140 | 18 | 80 | 11 | 64 |

Двигатели выполнены в корпусе из чугуна, имеющем вертикально-горизонтальное оребрение. Для двигателей АД90 предусмотрено также исполнение в алюминиевом корпусе.

Подшипниковые щиты также изготовлены из чугуна, кроме АД90, у которых они могут выполняться из алюминиевого сплава с армированием ступицы под посадку подшипников стальной втулкой.

Лапы отлиты заодно с корпусом. Коробка выводов расположена сверху и обеспечивает подвод питания с любой из боковых сторон двигателя.

Двигатели выпускаются закрытого исполнения с внешним обдувом от насаженного на вал вентилятора, выполненного из морозостойкого полипропилена или алюминиевого сплава. Кожух вентилятора стальной.

Изоляция класса нагревостойкости В или F для двигателей АИРМ112, АД90, F – для двигателей АД132, 2А200 по ГОСТ 8865- 93.

Степень защиты двигателей IP54 по ГОСТ 17494-87.

Класс вибрации двигателей 1,8 по ГОСТ 16921-83.

Условия эксплуатации:

Высота над уровнем моря до 1000м.

Двигатели могут работать на высоте над уровнем моря до 4300 м при условии, что плюсовая температура окружающей среды будет понижаться на 0,6ᵒС на каждые 100 м сверх 1000 м.

Температура окружающей среды от -45 до 40ᵒС для исполнения У2, от -10до 50ᵒС для исполнения Т2.

Относительная влажность до 80% при температуре -15ᵒС для исполнения У2, 27ᵒС – для исполнения Т2.

Среда невзрывоопасная, не содержащая агрессивных газов в концентрациях, разрушающих материалы и изоляцию (не насыщенная водными парами и токопроводящей пылью).

Требования техники безопасности по ГОСТ 12.2.007.0-75 и ГОСТ 12.2.007.1-75.

Технические данные

Основные технические данные двигателей при частоте питающей сети 50 Гц приведены в таблице 6.

Таблица 6

Основные технические данные двигателей

| Тип двигателя | Номинальная мощн ость, кВт | Номинальный ток при U=980 B, A | Частота вращен ия мин-1 | КПД, % | р | М/М | М/М | I/I | Масса, кг |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| АИРМ112М2 | 7,5 | 15 | 2985 | 97,5 | 0,98 | 2,2 | 2,5 | 7 | 49 |
| АИРМ112М4 | 5,5 | 11 | 1430 | 95,5 | 0,96 | 2,6 | 6 |
| АИРМ112МА6 | 3 | 7,4 | 950 | 81 | 0,76 | 2,1 | 2,4 | 5 | 43 |
| АИРМ112МВ6 | 4 | 8,1 | 82 | 0,91 | 2,2 | 2,3 | 5 | 48 |
| АИРМ112МА8 | 2,2 | 6,1 | 709 | 76,5 | 0,71 | 1,8 | 43 |
| АИРМ112МВ8 | 3 | 7,8 | 79 | 0,74 | 1,9 | 48 |
| АД80А2 | 1,5 | 3,3 | 2835 | 80 | 0,97 | 2,6 | 2,8 | 6 | 13,5 |
| АД80В2 | 2,2 | 4,6 | 2805 | 82,5 | 0,88 | 2,9 | 3 | 7 | 15,8 |
| АД80А4 | 1,1 | 2,7 | 1390 | 75,5 | 0,81 | 2,3 | 2,5 | 4,5 | 13,1 |
| АД80В4 | 1,5 | 3,6 | 1400 | 78,5 | 0,82 | 14,8 |
| АД80А6 | 0,75 | 2,3 | 915 | 71 | 0,7 | 2 | 2,2 | 3,5 | 13,3 |
| АД80В6 | 1,1 | 3,2 | 920 | 73 | 0,73 | 2,1 | 2,3 | 4 | 15,8 |
| АД80А8 | 0,37 | 1,5 | 695 | 62 | 0,61 | 1,8 | 2 | 3 | 13,2 |
| АД80В8 | 0,55 | 2,1 | 64 | 0,63 | 15,6 |
| АД90L2 | 3 | 6,1 | 2935 | 84 | 0,98 | 3 | 3,1 | 7 | 25,9/17,5 |
| АД90L4 | 2,2 | 5,2 | 1400 | 80 | 0,8 | 2,4 | 2,6 | 5,5 | 25,6/17 |
| АД90L6 | 1,5 | 4,2 | 930 | 75 | 0,72 |  |  | 4,5 | 26/18,5 |
| АД90L8 | 9,75 | 2,6 | 690 | 67 | 0,66 | 1,7 | 2 | 3,1 | 26/18,5 |
| АД132М2 | 11 | 21 | 2895 | 88 | 0,9 | 2,5 | 3,3 | 7,5 | 62 |
| АД132S4 | 7,5 | 15 | 1449 | 87 | 0,95 | 3,1 | 7 | 65 |
| АД132М4 | 11 | 24 | 1440 | 0,8 | 2,6 | 7,5 | 75 |
| АД132S6 | 5,5 | 12 | 952 | 84 | 2,5 | 2,8 | 6 | 64 |
| АД132М6 | 7,5 | 17 | 955 | 83,5 | 2,3 | 2,7 | 6,5 | 74 |
| АД132S8 | 4 | 11 | 708 | 79,5 | 0,7 | 2,1 | 2,6 | 5 | 64 |
| АД132М8 | 5,5 | 15 | 701 | 80,5 | 2,5 | 4,5 | 75 |
| 2А200IL2 | 37 | 71 | 2940 | 91 | 0,87 | 2,2 | 3 | 7,5 | 270 |
| 2А200IL4 | 68 | 1465 | 92 | 0,89 | 268 |

Масса двигателей АД90 приводится в чугунном и алюминиевом корпусе.

Двигатели работают от сети переменного тока напряжением 220, 380, 660 В и других стандартных напряжений частотой 50, 60 Гц.

Режим работы продолжительный (51) по ГОСТ 183-74.

ГОСТ (ТУ): ТУ 16-90 ИАФК.525622.114 ТУ; ТУ 16-99 БНДМ. 525413.001 ТУ; ТУ 16-98 БМШН.525722.006 ТУ; ТУ 16-95 ИАФК. 526313.017 ТУ