ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

be
think
innovate

GRUNDFOS

Концерн GRUNDFOS был основан в 1945 году в Дании. В России насосы GRUNDFOS известны с 60-х годов XX века: первая поставка состоялась в 1962 г., а в 1998 была открыта компания ООО «Грундфос». Все эти годы мы стараемся быть образцом делового партнёрства.

Использование инновационных и энергосберегающих технологий, рачительное отношение к ресурсам и окружающей среде, снижение эксплуатационных затрат — приоритетные направления нашей деятельности. Надёжность, качество и эффективность являются основополагающими принципами производства оборудования GRUNDFOS.

Составной частью любого насоса является двигатель. Именно поэтому вот уже более десяти лет Концерн производит в том числе собственные высококачественные электродвигатели.

Для укрепления позиций Grundfos на отечественном рынке в 2005 году в Подмосковье был построен завод «Грундфос Истра». На сегодняшний день производственный комплекс состоит из двух корпусов общей площадью 30 000 кв. м., из которых 12 000 кв. м. занимает производство, 13 000 кв. м. — складские помещения и логистика, а 5000 кв. м. — административное здание.

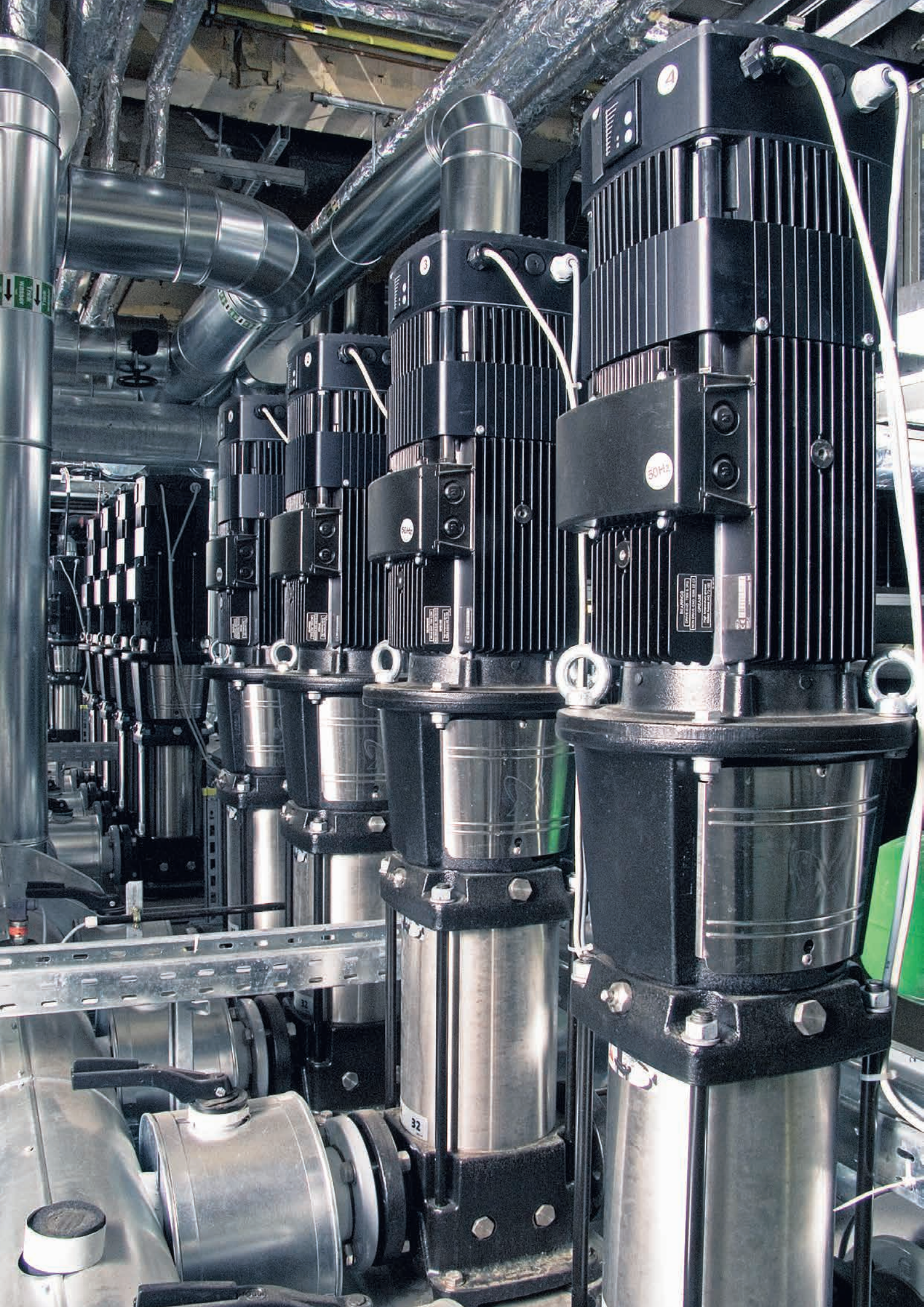
Сложная, интересная и творческая работа, требующая общих усилий наших партнёров по бизнесу и всего коллектива компании, дала весомый результат: мы стали признанными лидерами рынка.* Мы достигли этого благодаря слаженной работе, высокому профессионализму и желанию делиться своим опытом и знаниями.

Книга, которую Вы держите в руках — результат совместной работы специалистов GRUNDFOS. В ней подробно рассмотрены основные элементы электродвигателя, принципы его работы, стандарты, способы защиты и вопросы технического обслуживания. Надеемся, это издание займёт достойное место в Вашей профессиональной библиотеке и станет незаменимым помощником.

* По объему продаж насосного оборудования для промышленности, коммерческих и жилых зданий в мире, по данным The Freedonia Group, Inc от 2015 года.

3~MOT
P.c. 1101
Wgt. 27 kg
Serial No. :
DE 6306.2Z.C4
Protector type PTC 160°C IP211
Made in Hungary
IE2-IE3
IEC 60034
GRUNDFOS

1. Основные понятия 5
2. Однофазные электродвигатели 19
3. Мощность и вращающий момент электродвигателя 33
4. Стандарты двигателей переменного тока 47
5. Взрывозащищённые электродвигатели — ATEX 79
6. Защита двигателя 109
7. Подшипники электродвигателя 131
8. Функции преобразователя частоты 159
9. Монтаж 175
10. Способы пуска 207
11. Техническое обслуживание 219


50Hz
32

Введение 6
Принцип работы электродвигателей 7
Магнетизм 7
Магнитное поле 7
Электромагнетизм 7
Вращение под действием магнитного поля 9
Чередование полюсов с помощью переменного тока 10
Переменный ток — AC 10
Смена полюсов 10
Питание в сети переменного тока 11
Вращение ротора 11
Индукция 12
Введение 12
Индукция 12
Принцип действия 13
Статор 14
Ротор 15
Асинхронные электродвигатели 16
Скольжение 17

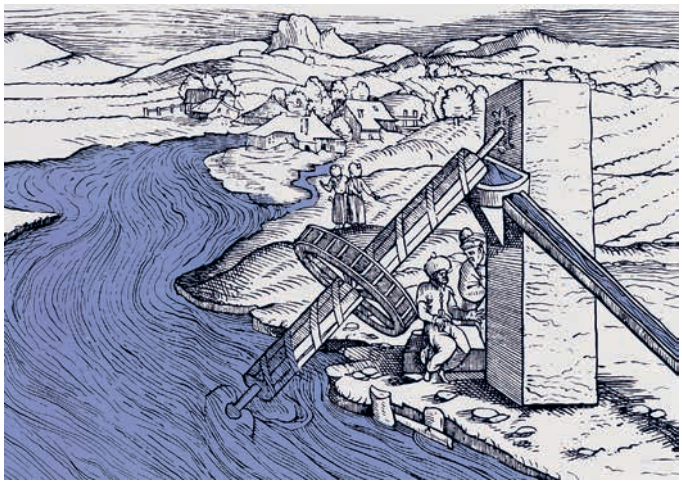
Введение

Добро пожаловать в мир электродвигателей! Данная книга содержит массу информации об электродвигателях, о том, как они работают, для чего их используют и др. Но прежде чем мы углубимся в детали, следует определить, для чего, собственно, нужны электродвигатели.

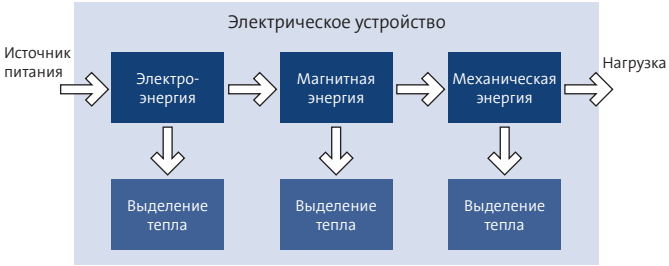
Так как данная книга написана специалистами компании Grundfos, основное внимание в ней, несомненно, будет уделено электродвигателям, которые используются для привода насосов, хотя представленная здесь информация будет полезна для всех, кто интересуется электродвигателями.

Небольшой экскурс в историю: Архимед изобрёл способ подъёма и перемещения воды (сегодня мы говорим — «перекачивания») с помощью вращающегося винта. Теперь Grundfos имеет честь использовать символ Архимедова винта в логотипе компании. Перекачивание жидкости и сейчас осуществляется благодаря вращению вала насоса с помощью электродвигателя, который является неотъемлемой частью любого насоса.

Электродвигатель преобразует электрическую энергию (энергию магнитного поля) в механическую энергию на валу насоса, которая затем преобразуется в гидравлическую энергию жидкости.



Архимедов винт



Задача электродвигателей: преобразование энергии

Принцип работы электродвигателей

В данном разделе мы рассмотрим основные принципы работы электродвигателей. Здесь Вы получите общую информацию, которая потребуется в дальнейшем. Мы приведем основные сведения о магнетизме, AC (переменном токе), электромагнетизме, вращающем моменте и подробнее поговорим об электродвигателях.

Магнетизм

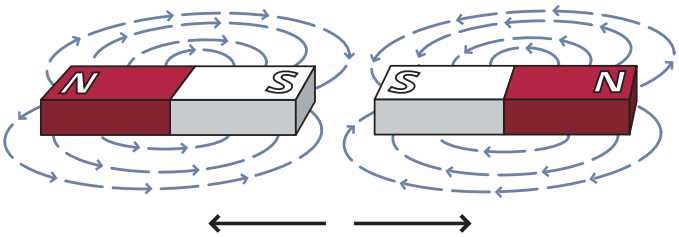
Наиболее характерное магнитное явление — притяжение магнитом кусков железа — известно со времен глубокой древности. Ещё одной очень важной особенностью магнитов является наличие у них полюсов: северного (отрицательного) и южного (положительного). Противоположные полюса притягиваются, а одинаковые — отталкиваются друг от друга.

Магнитное поле

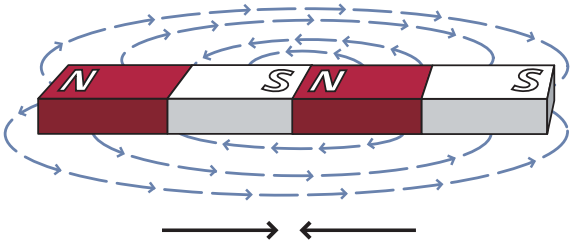
Магнитное поле можно условно изобразить линиями в виде магнитного потока, движущегося от северного полюса к южному. В некоторых случаях определить, где северный, а где южный полюс, достаточно сложно.

Электромагнетизм

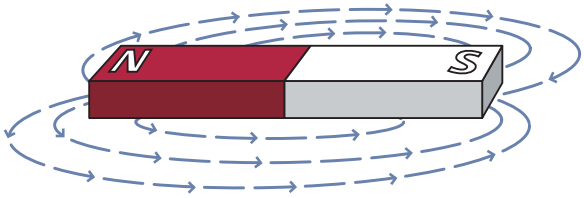
Вокруг проводника, при пропускании по нему электрического тока, создаётся магнитное поле. Это явление называется электромагнетизмом. Физические законы одинаковы для магнетизма и электромагнетизма.



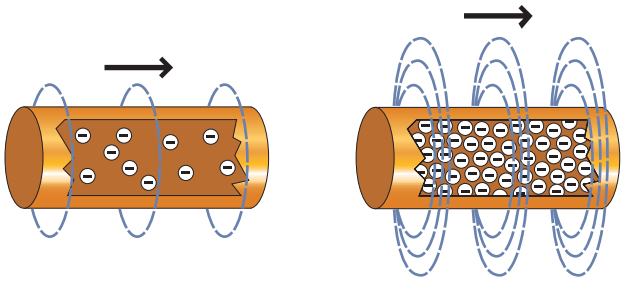
Отталкиваются



Притягиваются



Магнитный поток, движущийся в направлении от северного полюса к южному


Магнитное поле вокруг проводника.
Чем выше ток, тем сильнее магнитное поле

Магнитное поле вокруг проводников можно усилить, если намотать их на катушку со стальным сердечником. Когда проводник намотан на катушку, все линии магнитного потока, образуемого каждым витком, сливаются и создают единое магнитное поле вокруг катушки.

Чем больше витков на катушке, тем сильнее магнитное поле. Это поле имеет такие же характеристики, что и естественное магнитное поле, а, следовательно, у него тоже есть северный и южный полюса.

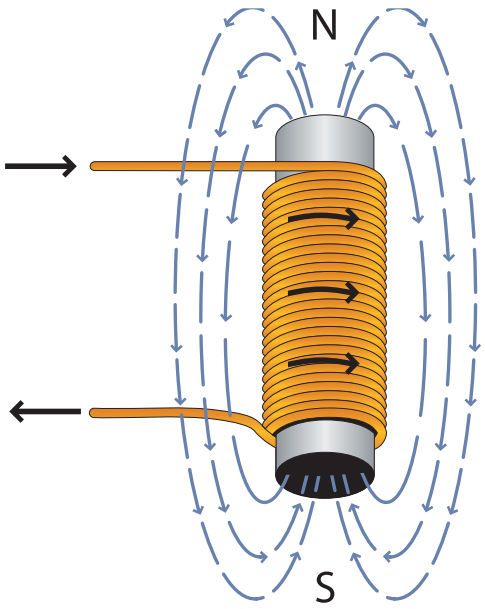
Вращение вала электродвигателя обусловлено действием магнитного поля. Основные части электродвигателя: статор и ротор.

Ротор

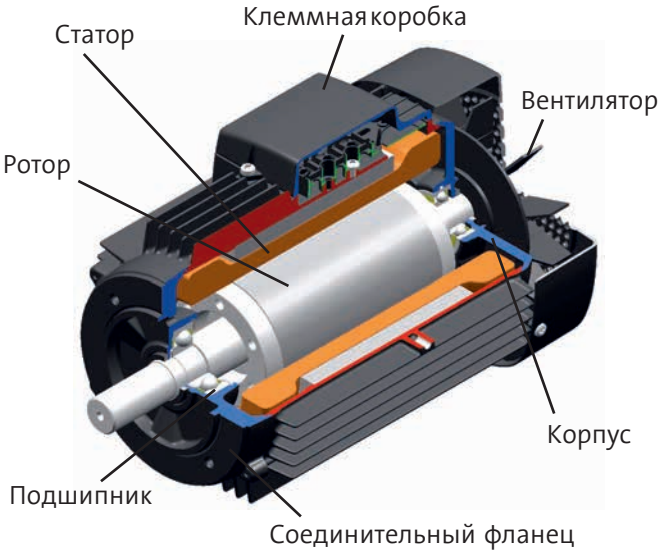
Подвижная часть электродвигателя, которая вращается с валом электродвигателя, двигаясь вместе с магнитным полем статора.

Статор

Неподвижный компонент электродвигателя. Он включает в себя несколько обмоток, полярность которых меняется при прохождении через них переменного тока (AC). Таким образом, создаётся комбинированное магнитное поле статора.



Полюса можно сменить, изменив направление тока (то есть полярность)

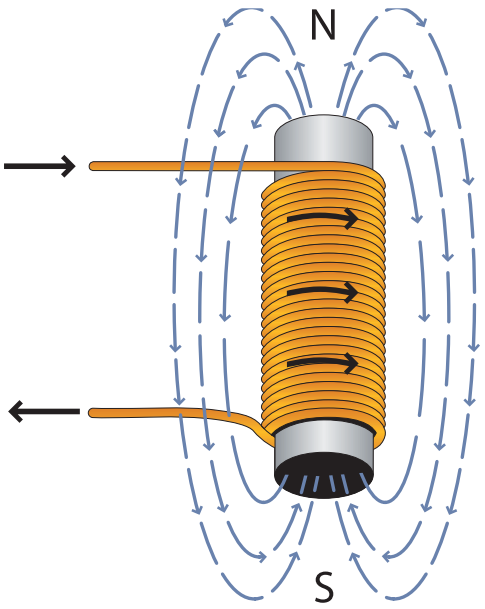


Электродвигатель

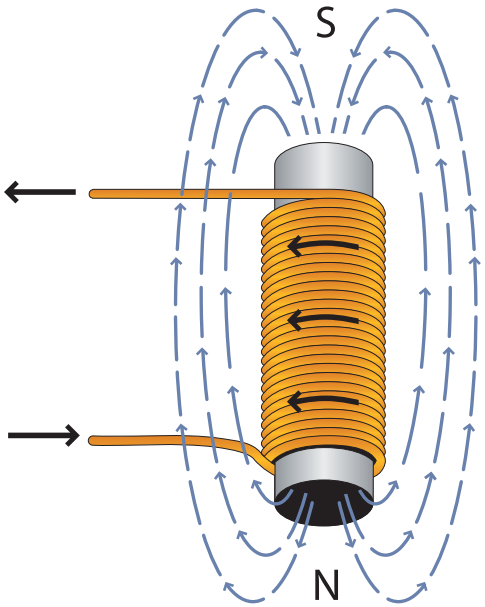
Вращение под действием магнитного поля

Преимуществом магнитных полей, которые создаются токопроводящими катушками, является возможность менять местами полюса магнита посредством изменения направления тока. Именно эта возможность смены полюсов и используется для преобразования электрической энергии в механическую.

Одинаковые полюса магнитов отталкиваются друг от друга, противоположные полюса — притягиваются. Можно сказать, что это свойство используется для создания непрерывного движения ротора с помощью постоянной смены полярности статора. Ротором здесь, является магнит, который может вращаться.



Полюса можно менять, изменяя направление тока



Чередование полюсов с помощью переменного тока

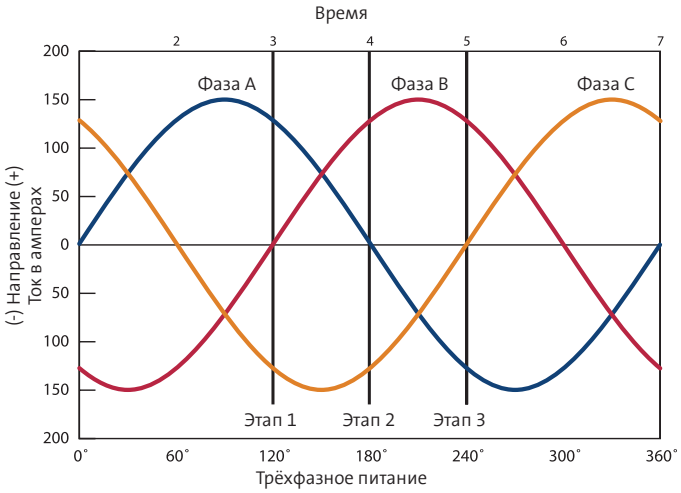
Полярность постоянно меняется с помощью переменного тока (AC). Далее мы увидим, как ротор заменяется магнитом, который вращается под действием индукции. Здесь важную роль играет переменный ток, поэтому будет полезно привести здесь краткую информацию о нём:

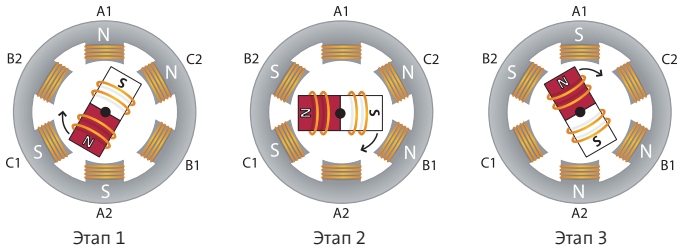
Переменный ток — AC

Под переменным током понимается электрический ток, периодически изменяющий свое направление в цепи так, что среднее значение силы тока за период равно нулю. Вращающееся магнитное поле можно создать с помощью трёхфазного питания. Это означает, что статор подсоединяется к источнику переменного тока с тремя фазами. Полный цикл определяется как цикл в 360 градусов. Это значит, что каждая фаза расположена по отношению к другой под углом в 120 градусов. Фазы изображаются в виде синусоидальных кривых, как представлено на рисунке справа.

Смена полюсов

На следующих страницах объясняется, как взаимодействуют ротор и статор, заставляя электродвигатель вращаться. Для наглядности мы заменили ротор вращающимся магнитом, а статор — катушками. В правой части страницы приведено изображение двухполюсного трёхфазного электродвигателя. Фазы соединены парами: 1-й фазе соответствуют катушки A1 и A2, 2-й фазе — B1 и B2, а 3-й соответствуют C1 и C2. При подаче тока на катушки статора одна из них становится северным полюсом, другая — южным. Таким образом, если A1 — северный полюс, то A2 — южный.

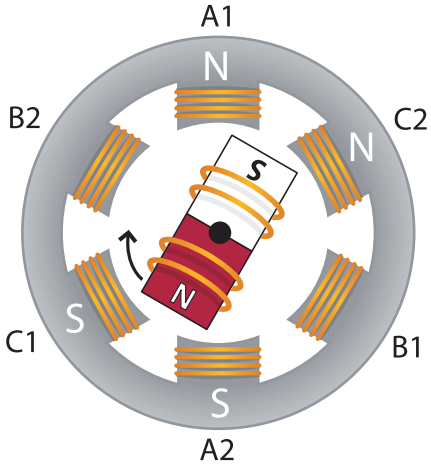




Этапы движения

Трёхфазный переменный ток

Трёхфазное питание – это непрерывный ряд перекрывающихся напряжений переменного тока (AC).



Вращающийся магнит

Питание в сети переменного тока

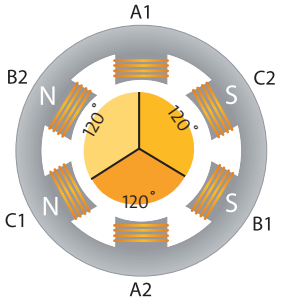
Обмотки фаз A, B и C расположены по отношению друг к другу под углом в 120 градусов. Количество полюсов электродвигателя определяется количеством пересечений поля обмотки полем ротора. В данном случае каждая обмотка пересекается дважды, что означает, что перед нами двухполюсный статор. Таким образом, если бы каждая обмотка появлялась четыре раза, это был бы четырехполюсный статор и т.д.

Когда на обмотки фаз подаётся электрический ток, вал электродвигателя начинает вращаться со скоростью, обусловленной числом полюсов (чем меньше полюсов, тем ниже скорость).

Вращение ротора

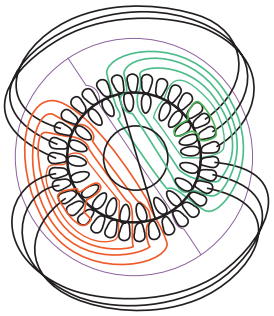
Ниже рассказывается о физическом принципе работы электродвигателя (как ротор вращается внутри статора). Для наглядности, заменим ротор магнитом. Все изменения в магнитном поле происходят очень быстро, поэтому нам необходимо разбить весь процесс на этапы. При прохождении трёхфазного переменного тока по обмоткам статора в нем создается магнитное поле, в результате чего возникают механические усилия, заставляющие ротор вращаться в сторону вращения магнитного поля.

Начав вращение, магнит будет следовать за меняющимся магнитным полем статора. Поле статора меняется таким образом, чтобы поддерживалось вращение в одном направлении.

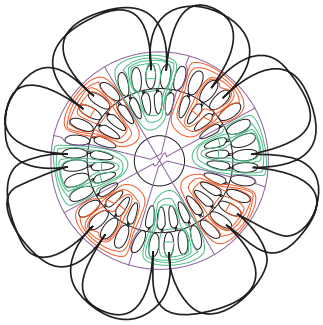


Обмотки фаз A, B и C расположены под углом 120° по отношению друг к другу.

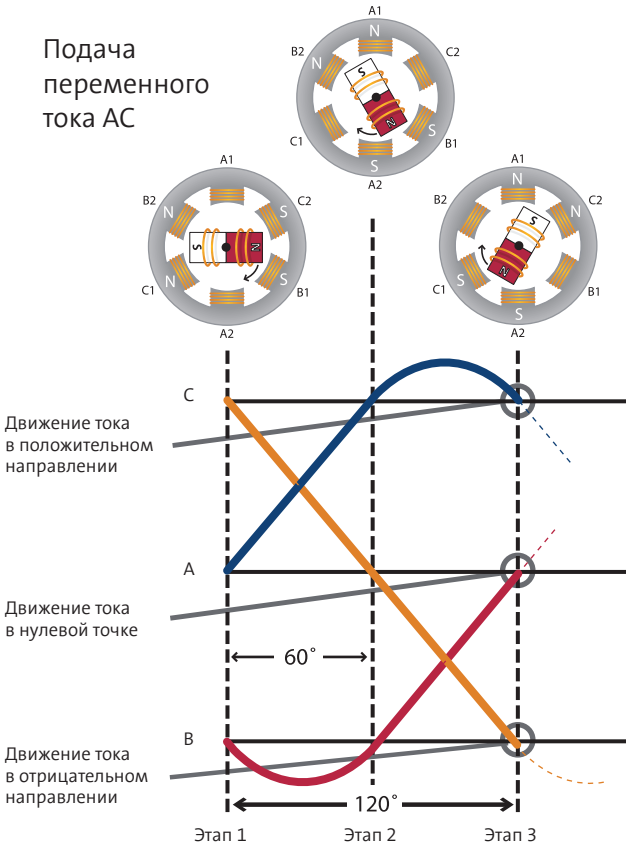
Обмотки фаз и число полюсов



3-фазный, 2-полюсный электродвигатель



3-фазный, 8-полюсный электродвигатель



Индукция

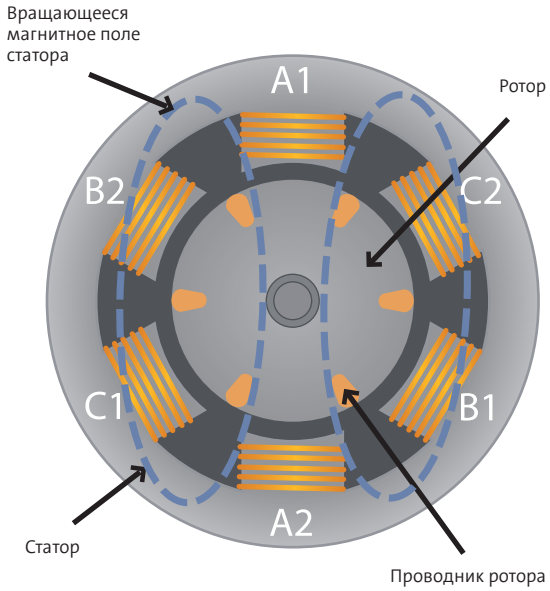
Введение

В предыдущем разделе мы установили, как обыкновенный магнит вращается в статоре. В электродвигателях переменного тока AC установлены роторы, а не магниты. Наша модель очень схожа с настоящим ротором, за исключением того, что под действием магнитного поля ротор поляризуется. Это вызвано магнитной индукцией, благодаря которой в проводниках ротора наводится электрический ток.

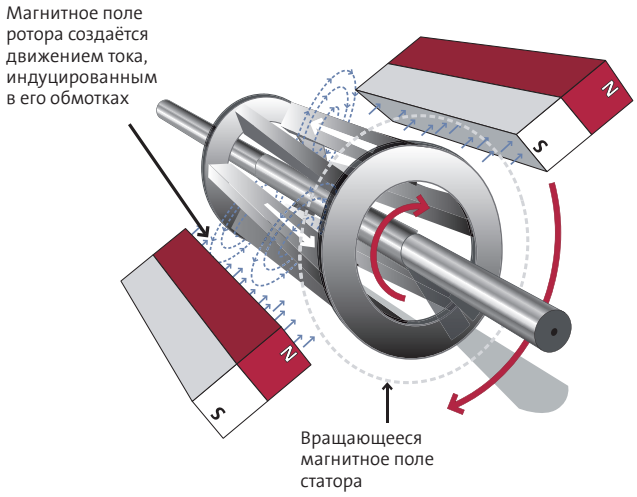
Индукция

В основном ротор работает так же, как магнит. Когда электродвигатель включен, ток проходит по обмотке статора и создаёт электромагнитное поле, которое вращается в направлении, перпендикулярном обмоткам ротора. Таким образом, в обмотках ротора индуцируется ток, который затем создаёт вокруг ротора электромагнитное поле и поляризацию ротора.

В предыдущем разделе, чтобы было проще объяснить принцип действия ротора, заменив его для наглядности магнитом. Теперь заменим магнитом статор. Индукция — это явление, которое наблюдается при перемещении проводника в магнитном поле. Относительное движение проводника в магнитном поле приводит к появлению в проводнике так называемого индуцированного электрического тока. Этот индуцированный ток создаёт магнитное поле вокруг каждой обмотки проводника ротора. Так как трёхфазное AC питание заставляет магнитное поле статора вращаться, индуцированное магнитное поле ротора будет следовать за этим вращением. Таким образом вал электродвигателя будет вращаться. Электродвигатели переменного тока часто называют индукционными электродвигателями переменного тока, или ИЭ (индукционными электродвигателями).



Когда к статору подаётся питание, он создает магнитное поле, вектор которого направлен перпендикулярно проводникам ротора, магнитное поле создаёт ток в роторе.



Принцип действия

Индукционные электродвигатели состоят из ротора и статора.

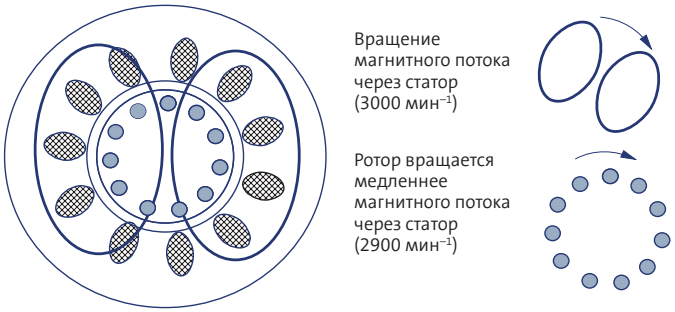
Токи в обмотках статора создаются фазовым напряжением, которое приводит в движение индукционный электродвигатель. Эти токи создают вращающееся магнитное поле, которое также называется полем статора. Вращающееся магнитное поле статора определяется токами в обмотках и количеством фазных обмоток.

Вращающееся магнитное поле формирует магнитный поток. Вращающееся магнитное поле пропорционально электрическому напряжению, а магнитный поток пропорционален электрическому току.

Вращающееся магнитное поле статора движется быстрее ротора, что способствует индукции токов в обмотках проводников роторов, в результате чего образуется магнитное поле ротора. Магнитные поля статора и ротора формируют свои потоки, эти потоки будут притягиваться друг к другу и создавать вращающий момент, который заставляет ротор вращаться. Принципы действия индукционного электродвигателя представлены на иллюстрациях справа.

Таким образом, ротор и статор являются наиболее важными составляющими индукционного электродвигателя переменного тока. Они проектируются с помощью САПР (системы автоматизированного проектирования). Далее мы подробнее поговорим о конструкции ротора и статора.

Режим работы (от 1 до 3):
Магнитный поток через статор

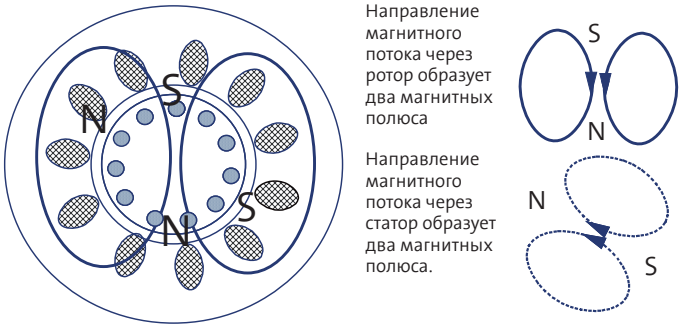


Вращающийся магнитный поток через статор вызван вращающимся магнитным полем статора, которое сформировалось токами в обмотках

Режим работы (от 2 до 3):
Образование магнитного потока через ротор

Магнитный поток через ротор вращается с частотой 3000 мин$^{-1}$ (как и магнитный поток через статор)

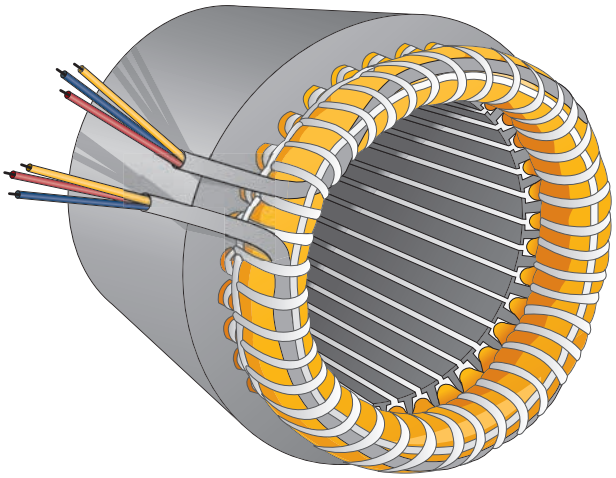
Режим работы (от 3 до 3):
Образование вращающего момента



В результате притяжения северного магнитного полюса ротора к южному полюсу статора, и наоборот, образуется усилие между статором и ротором. Это усилие и создает вращающий момент электродвигателя.

Статор

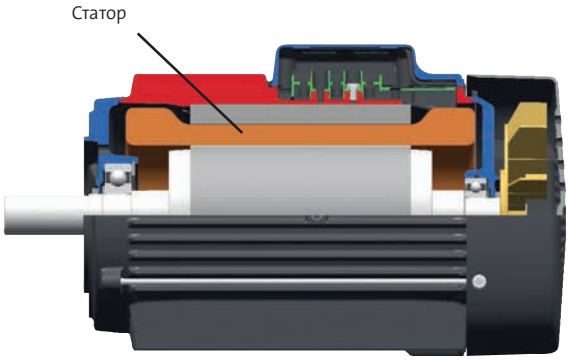
Статор — это неподвижный электрический компонент электродвигателя. Он включает в себя несколько обмоток, полярность которых всё время меняется при прохождении через них переменного тока (AC). Таким образом, создаётся комбинированное магнитное поле статора.



Статор

Все статоры устанавливаются в раму или корпус. Корпус статора электродвигателей Grundfos для электродвигателей мощностью до 22 кВт чаще всего изготавливается из алюминия, а для электродвигателей с большей мощностью — из чугуна. Сам статор устанавливается в кожухе статора. Он состоит из тонких пластин электротехнической стали, обмотанных изолированным проводом. Сердечник состоит из сотен таких пластин. При подаче питания переменный ток проходит по обмоткам, создавая электромагнитное поле, перпендикулярное проводникам ротора. Переменный ток (AC) вызывает вращение магнитного поля.

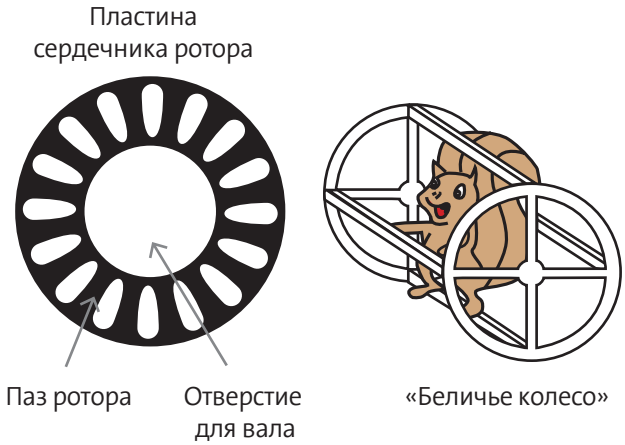
Изоляция статора должна соответствовать требованиям IEC 62114, где приведены различные классы защиты (по уровням температуры) и изменения температуры (ΔT). Электродвигатели Grundfos имеют класс защиты F, а при увеличении температуры — класс B. Grundfos производит 2-полюсные электродвигатели мощностью до 11 кВт и 4-полюсные электродвигатели мощностью до 5,5 кВт. Более мощные электродвигатели Grundfos закупает у других компаний, уровень качества продукции которых соответствует принятым в Grundfos стандартам. Для насосов, в основном, используются статоры с двумя, четырьмя и шестью полюсами, так как частота вращения вала электродвигателя определяет давление и расход насоса. Можно изготовить статор для работы с различными напряжениями, частотами и мощностями на выходе, а также для переменного количества полюсов.

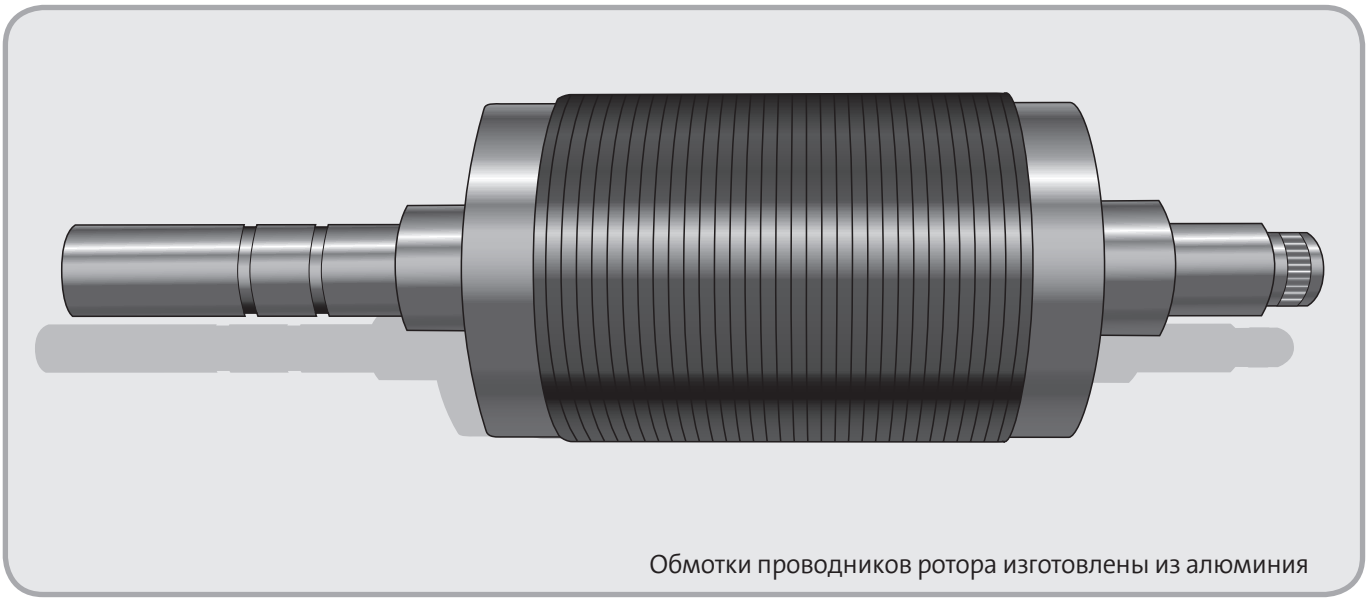


Ротор

В электродвигателях Grundfos используются так называемые «беличьи колеса» (короткозамкнутые роторы), конструкция которых напоминает барабаны для белок. При вращении статора магнитное поле движется перпендикулярно обмоткам проводников ротора; появляется ток. Этот ток циркулирует по обмоткам проводников и создаёт магнитные поля вокруг каждого проводника ротора. Так как магнитное поле в статоре постоянно меняется, меняется и поле в роторе. Это взаимодействие и вызывает движение ротора. Как и статор, ротор изготовлен из пластин электротехнической стали. Но, в отличие от статора, с обмотками из медной проволоки, обмотки ротора выполнены из литого алюминия или силумина, которые выполняют роль проводников.

«Клетка» ротора





Обмотки проводников ротора изготовлены из алюминия

Асинхронные электродвигатели

В предыдущих разделах мы разобрали, почему электродвигатели переменного тока называют также **индукционными электродвигателями,** или **электродвигателями типа «беличье колесо».** Далее объясним, почему их ещё называют **асинхронными электродвигателями.** В данном случае во внимание принимается соотношение между количеством полюсов и числом оборотов, сделанных ротором электродвигателя.

Частоту вращения магнитного поля принято считать **синхронной частотой вращения (N_s).** Синхронную частоту вращения можно рассчитать следующим образом: частота сети (F), умноженная на 120 и разделенная на число полюсов (P).

$$N_s = \frac{120 \cdot F}{P}$$

Если, например, частота сети 50 Гц, то синхронная частота вращения для 2-полюсного электродвигателя равна 3000 мин$^{-1}$.

$$N_s = \frac{120 \cdot 50}{2}$$

$$N_s = 3000 \text{ мин}^{-1}$$

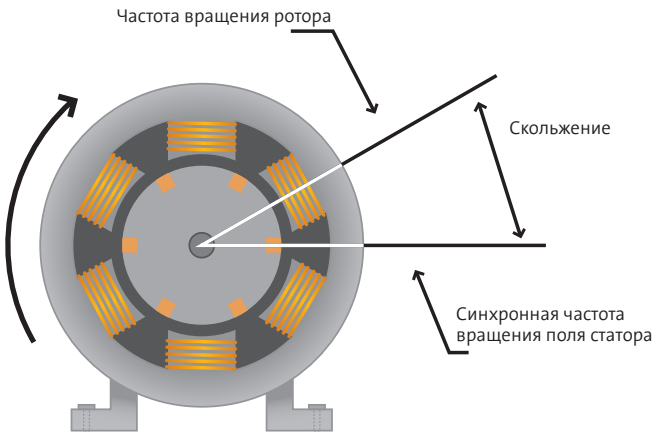
Синхронная частота вращения уменьшается с увеличением числа полюсов. В таблице, приведенной ниже, показана синхронная частота вращения для различного количества полюсов.

Число полюсов	Синхронная частота вращения 50 Гц	Синхронная частота вращения 60 Гц
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
12	500	600

Скольжение

Теперь мы уже знаем, что электродвигатели переменного тока называют **асинхронными,** потому что движущееся поле ротора отстает от поля статора.

В электродвигателях переменного тока вращающий момент возникает в результате взаимодействия между ротором и вращающимся магнитным полем статора. Магнитное поле обмоток ротора будет стремиться к тому, чтобы приблизиться к магнитному полю статора, как это было описано раньше. Во время работы частота вращения ротора всегда ниже частоты вращения магнитного поля статора. Таким образом, магнитное поле ротора может пересекать магнитное поле статора и создавать вращающий момент. Эта разница в частоте вращения полей ротора и статора называется скольжением и измеряется в %. Скольжение необходимо для создания вращающего момента. Чем больше нагрузка, а, следовательно, и вращающий момент, тем больше скольжение.



$$\text{Скольжение} = \frac{\text{Синхронная частота вращения} - \text{Частота вращения ротора}}{\text{Синхронная частота вращения}} \cdot 100$$

$$\text{Скольжение} = \frac{1500\ \text{мин}^{-1} - 1480\ \text{мин}^{-1}}{1500\ \text{мин}^{-1}} \cdot 100$$

Скольжение ротора = 1,3 %

SIEMENS
CR 64
CR 64

Однофазные электродвигатели 20
Основные типы однофазных индукционных электродвигателей 21
Пуск через конденсатор / работа через обмотку (CSIR) 23
Пуск через конденсатор/ работа через конденсатор (CSCR) 24
Пуск через сопротивление/работа через обмотку (индуктивность) (RSIR) 25
Постоянное разделение емкости (PSC) 26
Двухпроводные однофазные электродвигатели 27
Ограничения 28
О напряжении 29
Изменение напряжения питания 29
Заключение 30

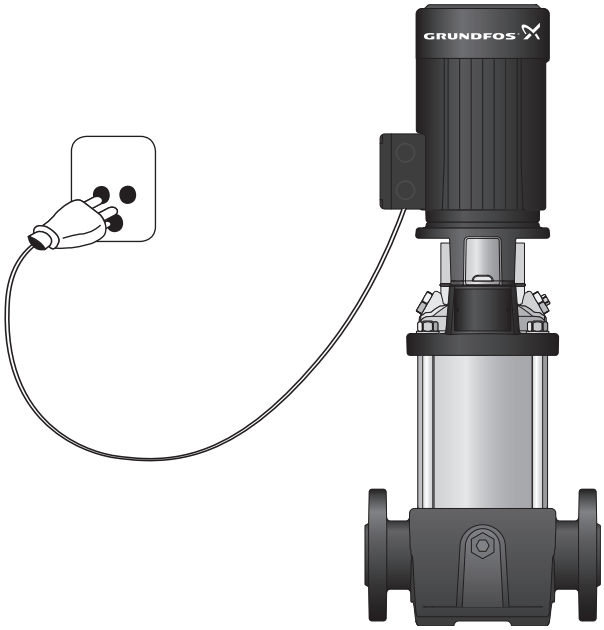
Однофазные электродвигатели

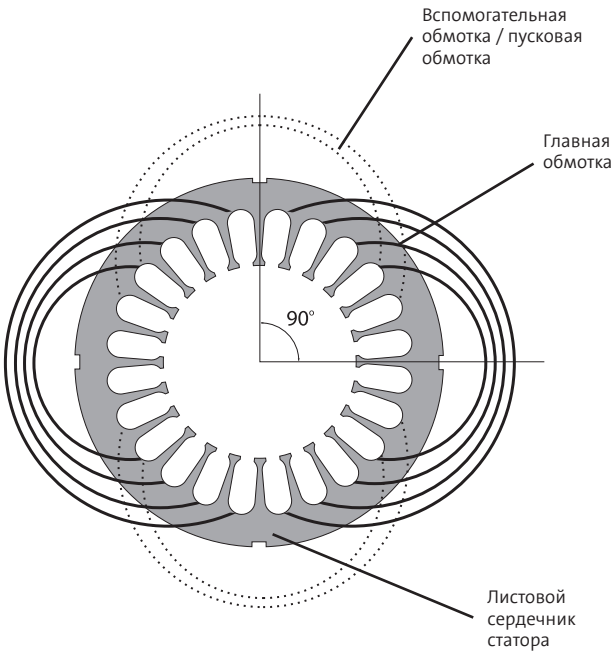
Зачастую основное внимание уделяется изучению трёхфазных электродвигателей, частично в связи с тем, что трёхфазные электродвигатели применяются чаще, чем однофазные. Grundfos производит и однофазные электродвигатели мощностью до 2,2 кВт с 2-мя полюсами, и 1,5 кВт — с 4-мя полюсами. Однофазные электродвигатели имеют тот же принцип действия, что и трёхфазные электродвигатели, только с более низкими пусковыми моментами. Они подразделяются по типам в зависимости от способа пуска.

Стандартный однофазный статор имеет две обмотки, расположенные под углом 90° по отношению друг к другу. Одна из них считается главной обмоткой, другая — вспомогательной, или пусковой. В соответствии с количеством полюсов каждая обмотка может делиться не несколько секций.

На рисунке приведен пример двухполюсной однофазной обмотки с четырьмя секциями в главной обмотке и двумя секциями во вспомогательной.

Следует помнить, что использование однофазного электродвигателя — это всегда, своего рода, компромисс. Конструкция того или иного двигателя зависит, прежде всего, от поставленной задачи. Это значит, что все электродвигатели разрабатываются в соответствии с тем, что наиболее важно в каждом конкретном случае: например, КПД, вращающий момент, рабочий цикл и т.д. Из-за пульсирующего поля однофазные электродвигатели CSIR и RSIR могут иметь более высокий уровень шума по сравнению с двухфазными электродвигателями PSC и CSCR, которые работают намного тише, так как в них используется пусковой конденсатор. Конденсатор, через который производится пуск электродвигателя, способствует его плавной работе.





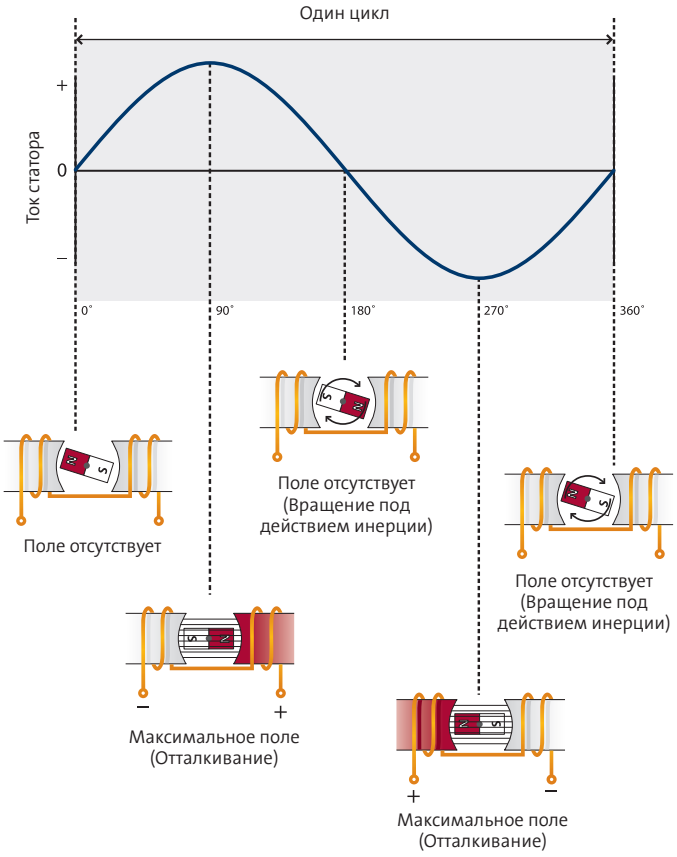
Пример двухполюсной однофазной обмотки с четырьмя секциями в главной обмотке и двумя секциями во вспомогательной

Основные типы однофазных индукционных электродвигателей

Бытовая техника и приборы низкой мощности работают от однофазного переменного тока, кроме того, не везде может быть обеспечено трёхфазное электропитание. Поэтому однофазные электродвигатели переменного тока получили широкое распространение, особенно в США. Очень часто электродвигателям переменного тока отдают предпочтение, так как их отличает прочная конструкция, низкая стоимость, к тому же они не требуют технического обслуживания.

Как видно из названия, однофазный индукционный электродвигатель работает по принципу индукции; тот же принцип действует и для трёхфазных электродвигателей. Однако между ними есть различия: однофазные электродвигатели, как правило, работают при переменном токе и напряжении 110–240 В, поле статора этих двигателей не вращается. Вместо этого каждый раз при скачке синусоидального напряжения от отрицательного к положительному меняются полюса.

В однофазных электродвигателях поле статора постоянно выравнивается в одном направлении, а полюса меняют своё положение один раз в каждом цикле. Это означает, что однофазный индукционный электродвигатель не может быть пущен самостоятельно.



Полюса меняются один раз в каждом цикле

Однофазные электродвигатели

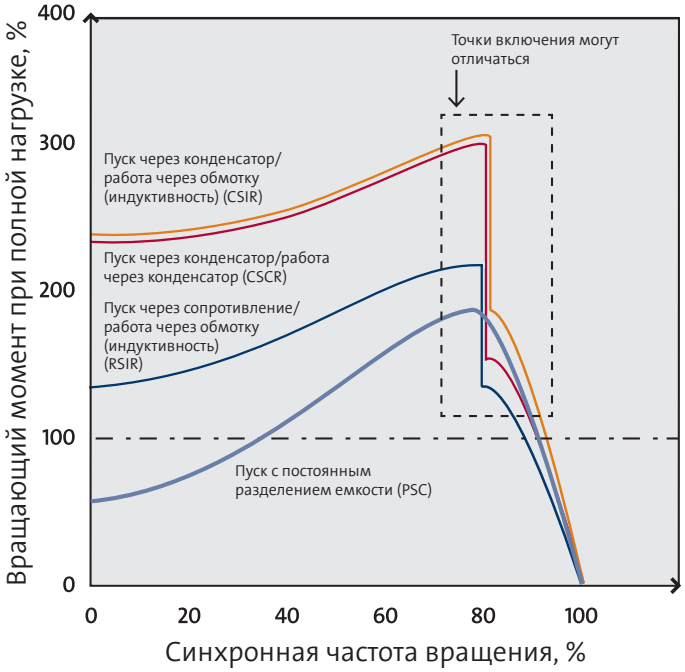
Основные типы однофазных индукционных электродвигателей

Теоретически, однофазный электродвигатель можно было бы запустить при помощи механического вращения двигателя с последующим немедленным подключением питания. Однако на практике пуск всех электродвигателей осуществляется автоматически.

Выделяют четыре основных типа электродвигателей:

- индукционный двигатель с пуском через конденсатор / работа через обмотку (индуктивность) (CSIR);
- индукционный двигатель с пуском через конденсатор/работа через конденсатор (CSCR);
- индукционный двигатель с реостатным пуском (RSIR) и
- двигатель с постоянным разделением емкости (PSC).

На приведённом ниже рисунке показаны типичные кривые соотношения вращающий момент/частота вращения для четырёх основных типов однофазных электродвигателей переменного тока.



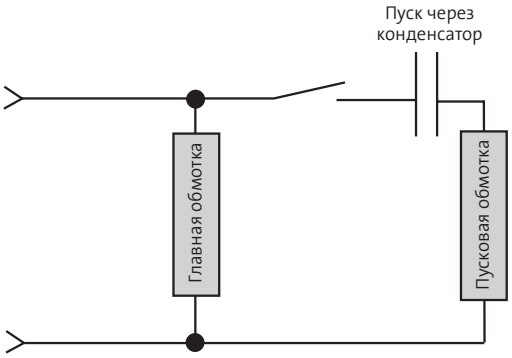
Основная схема изображения: кривые соотношения момент/ частота вращения для четырёх основных типов однофазных электродвигателей переменного тока

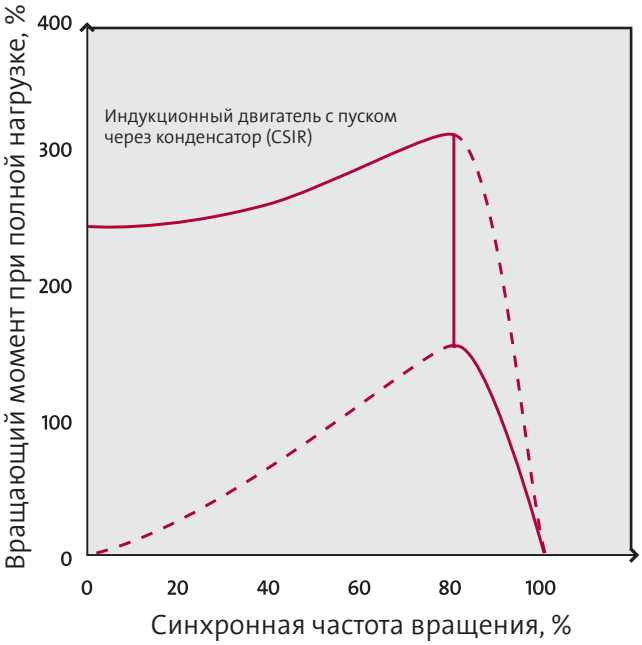
Пуск через конденсатор / работа через обмотку (CSIR)

Индукционные двигатели с пуском через конденсатор, которые также известны как электродвигатели CSIR, составляют самую большую группу однофазных электродвигателей.

Двигатели CSIR представлены несколькими типоразмерами: от самых маломощных до 1,1 кВт. В электродвигателях CSIR конденсатор последовательно соединён с пусковой обмоткой. Конденсатор вызывает некоторое отставание между током в пусковой обмотке и в главной обмотке. Это способствует задержке намагничивания пусковой обмотки, что приводит к появлению вращающегося поля, которое влияет на возникновение вращающего момента. После того как электродвигатель наберёт скорость и приблизится к рабочей частоте вращения, открывается пускатель. Далее электродвигатель будет работать в обычном для индукционного электродвигателя режиме. Пускатель может быть центробежным или электронным.

Двигатели CSIR имеют относительно высокий пусковой момент, в диапазоне от 50 до 250 процентов от вращающего момента при полной нагрузке. Поэтому из всех однофазных электродвигателей эти двигатели лучше всего подходят для случаев, когда пусковые нагрузки велики, например для конвейеров, воздушных компрессоров и холодильных компрессоров.





Электродвигатель CSIR.
Схема электрических соединений и кривая соотношения момент/частота вращения

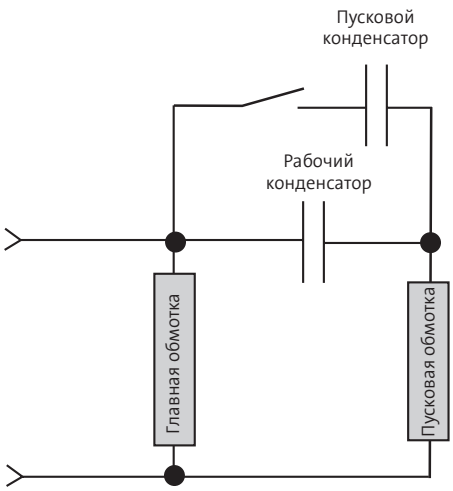
Пуск через конденсатор/ работа через конденсатор (CSCR)

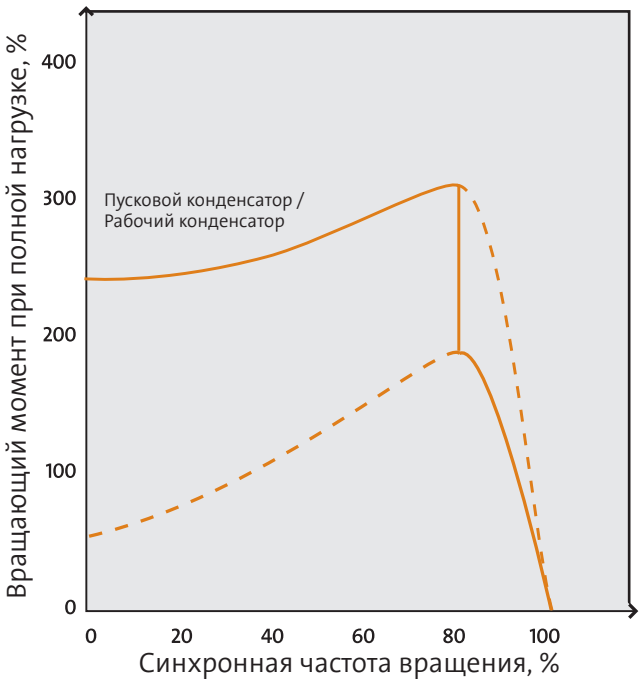
Этот тип двигателей, которые коротко называются «электродвигатели CSCR», сочетает в себе лучшие свойства индукционного двигателя с пуском через конденсатор и двигателя с постоянно подключённым конденсатором. Несмотря на то, что из-за своей конструкции эти двигатели несколько дороже других однофазных электродвигателей, они остаются наилучшим вариантом для применения в сложных условиях. Пусковой конденсатор электродвигателя CSCR последовательно соединён с пусковой обмоткой, как и в электродвигателе с пуском через конденсатор. Это обеспечивает высокий пусковой момент.

Электродвигатели CSCR также имеют сходство с двигателями с постоянным разделением емкости (PSC), так как у них пуск тоже осуществляется через конденсатор, который последовательно соединён с пусковой обмоткой, если пусковой конденсатор отключен от сети. Это означает, что двигатель справляется с максимальной нагрузкой или перегрузкой.

Электродвигатели CSCR могут использоваться для работы с низким током полной нагрузки и при более высоком КПД. Это даёт некоторые преимущества, в том числе обеспечивает работу двигателя с меньшими скачками температуры, в сравнении с другими подобными однофазными электродвигателями.

Электродвигатели CSCR — самые мощные однофазные электродвигатели, которые могут использоваться в сложных условиях, например, в насосах для перекачивания воды под высоким давлением и в вакуумных насосах, а также в других высокомоментных процессах. Выходная мощность таких электродвигателей лежит в диапазоне от 1,1 до 11 кВт.





Электродвигатель CSCR.
Схема электрических соединений и характеристика пусковой момент/частота вращения

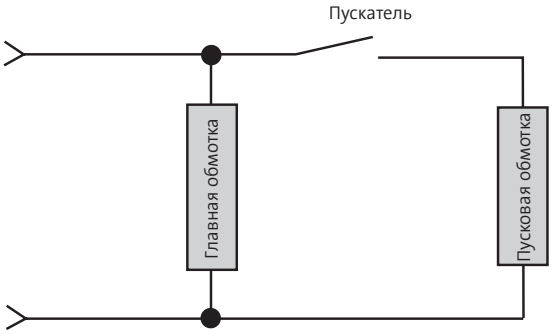
Пуск через сопротивление/работа через обмотку (индуктивность) (RSIR)

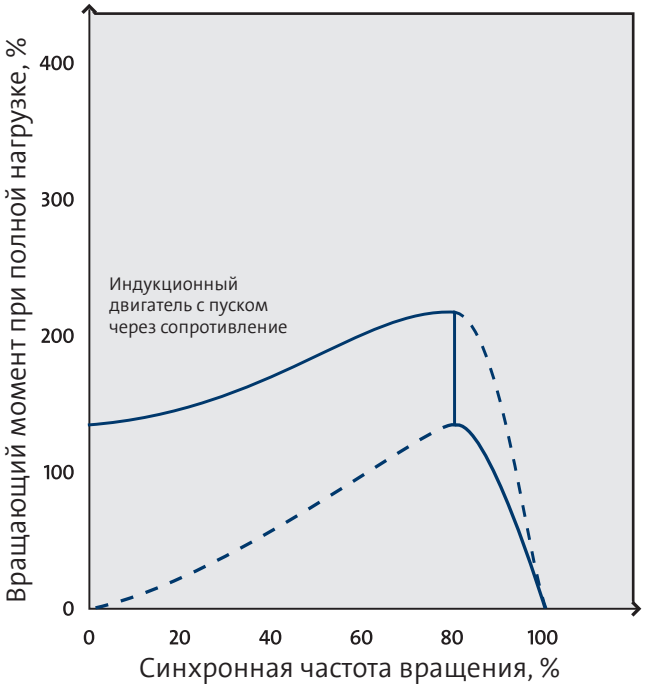
Данный тип двигателей ещё известен как «электродвигатели с расщеплённой фазой». Они, как правило, дешевле однофазных электродвигателей других типов, используемых в промышленности, но у них также есть некоторые ограничения по производительности.

Пусковое устройство электродвигателей RSIR включает в себя две отдельные обмотки статора. Одна из них используется исключительно для пуска, диаметр проволоки данной обмотки меньше, а электрическое сопротивление — выше, чем у главных обмоток. Это вызывает отставание вращающегося поля, что, в свою очередь, приводит в движение двигатель. Центробежный или электронный пускатель отсоединяет пусковую обмотку, когда частота вращения двигателя достигает, приблизительно, 75 % от номинальной величины. После этого электродвигатель продолжит работу в соответствии со стандартными принципами действия индукционного электродвигателя.

Как уже говорилось раньше, для электродвигателей RSIR есть некоторые ограничения. У них низкие пусковые моменты, часто в диапазоне от 50 до 150 % от номинальной нагрузки. Кроме того, электродвигатель создаёт высокие пусковые токи, приблизительно от 700 до 1000 % от номинального тока. В результате продолжительное время пуска будет вызывать перегрев и разрушение пусковой обмотки. Это означает, что электродвигатели данного типа нельзя использовать там, где необходимы большие пусковые моменты.

Электродвигатели RSIR рассчитаны на узкий диапазон напряжения питания, что, естественно, ограничивает области их применения. Их максимальные вращающие моменты варьируются в пределах от 100 до 250 % от расчетной величины. Необходимо также отметить, что дополнительной трудностью является установка тепловой защиты, так как довольно сложно найти защитное устройство, которое срабатывало бы достаточно быстро, чтобы не допустить прогорания пусковой обмотки. Электродвигатели RSIR подходят для использования в небольших приборах для рубки и перемалывания, вентиляторах, а также для применения в других областях, в которых допускается низкий пусковой момент и требуемая выходная мощность на валу от 0,06 кВт до 0,25 кВт. Они не используются там, где должны быть высокие вращающие моменты или продолжительные циклы.





Электродвигатель RSIR. Схема электрических соединений и характеристика пусковой момент/частота вращения

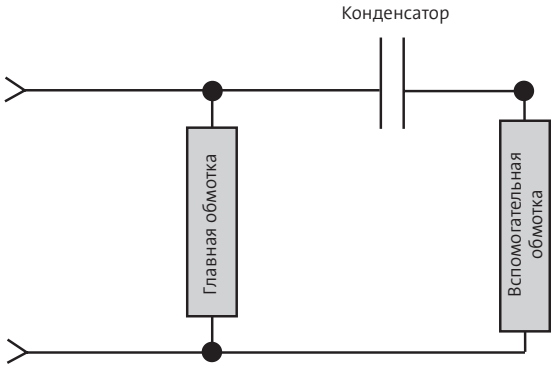
Постоянное разделение емкости (PSC)

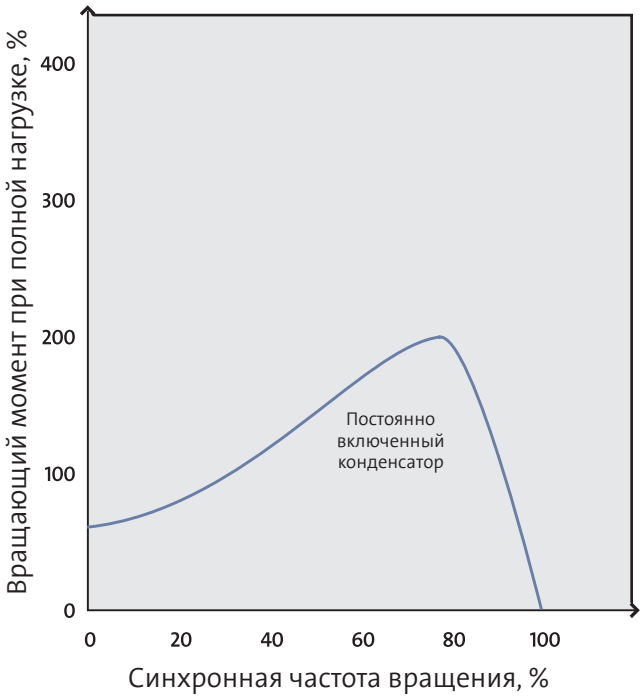
Как видно из названия, двигатели с постоянным разделением емкости (PSC) оснащены конденсатором, который во время работы постоянно включен и последовательно соединён с пусковой обмоткой. Это значит, что эти двигатели не имеют пускателя или конденсатора, который используется только для пуска. Таким образом, пусковая обмотка становится вспомогательной обмоткой, когда электродвигатель достигает рабочей частоты вращения.

Конструкция электродвигателей PSC такова, что они не могут обеспечить такой же пусковой момент, как электродвигатели с пусковыми конденсаторами. Их пусковые моменты достаточно низкие: 30–90 % от номинальной нагрузки, поэтому они не используются в системах с большой пусковой нагрузкой. Это компенсируется за счёт низких пусковых токов — обычно меньше 200 % от номинального тока нагрузки, — что делает их наиболее подходящими двигателями для областей применения с продолжительным рабочим циклом.

Двигатели с постоянным разделением емкости имеют ряд преимуществ. Рабочие параметры и частоту вращения таких двигателей можно подбирать в соответствии с поставленными задачами, к тому же они могут быть изготовлены для оптимального КПД и высокого коэффициента мощности при номинальной нагрузке. Так как они не требуют специального устройства пуска, их можно легко реверсировать (изменить направление вращения на обратное). В дополнение ко всему вышесказанному, они являются самыми надёжными из всех однофазных электродвигателей. Вот почему Grundfos использует однофазные электродвигатели PSC в стандартном исполнении для всех областей применения с мощностями до 2,2 кВт (2-полюсные) или 1,5 кВт (4-полюсные).

Двигатели с постоянным разделением емкости могут использоваться для выполнения целого ряда различных задач в зависимости от их конструкции. Типичным примером являются низкоинерционные нагрузки, например вентиляторы и насосы.

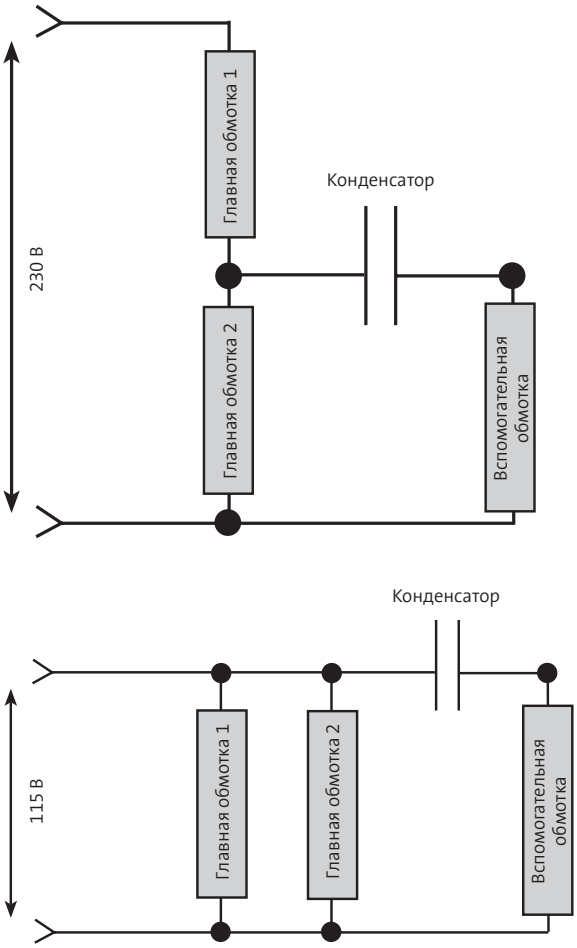




Электродвигатель PSC.
Схема электрических соединений и характеристика пусковой момент/частота вращения

Двухпроводные однофазные электродвигатели

Двухпроводные однофазные электродвигатели имеют две главные обмотки, пусковую обмотку и рабочий конденсатор. Они широко используются в США с однофазными источниками питания: 1 x 115 В / 60 Гц или 1 x 230 В / 60 Гц. При правильном подключении данный тип электродвигателей можно использовать для обоих видов электропитания.

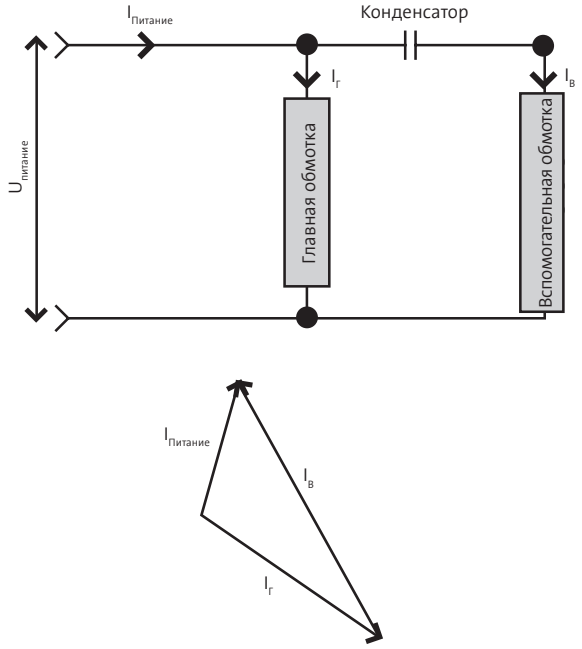


Двухпроводный электродвигатель.
Схема подключения к высокому и низкому напряжению

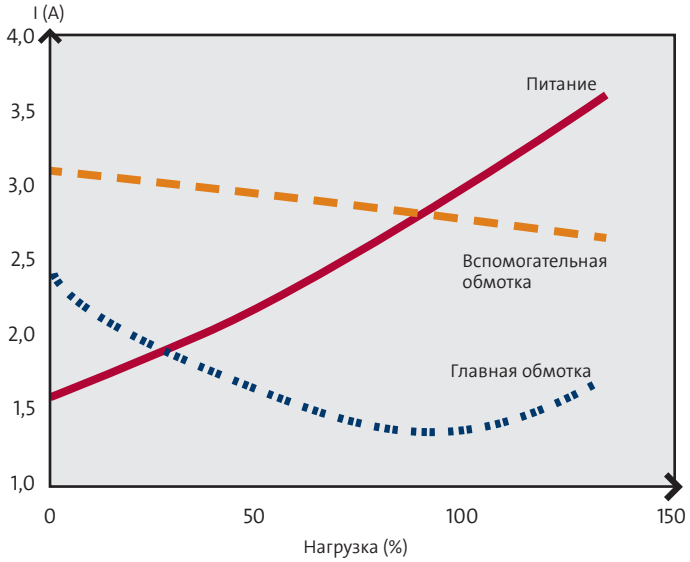
Ограничения

В отличие от трёхфазных для однофазных электродвигателей существуют некоторые ограничения. Однофазные электродвигатели ни в коем случае не должны работать в режиме холостого хода, так как при малых нагрузках они сильно нагреваются, также рекомендуется эксплуатировать двигатель при нагрузке меньшей 25 % от полной нагрузки.

Электродвигатели PSC и CSCR имеют симметричное/ круговое вращающееся поле в одной точке приложения нагрузки; это значит, что во всех остальных точках приложения нагрузки вращающееся поле асимметричное/эллиптическое. Когда электродвигатель работает с асимметричным вращающимся полем, сила тока в одной или обеих обмотках может превышать силу тока в сети. Такие избыточные токи вызывают потери, в связи с этим одна или обе обмотки (что чаще происходит при полном отсутствии нагрузки) нагреваются, даже если ток в сети относительно небольшой. Смотрите примеры справа.



Пример асимметричного хода, когда ток в двух фазах больше, чем ток сети



Пример хода токов в зависимости от нагрузки. Обратите внимание, что в фазах работы и пуска токи больше тока сети при нагрузке 0 %

О напряжении

Важно помнить о том, что напряжение на пусковой обмотке электродвигателя может быть выше сетевого напряжения питания электродвигателя. Это относится и к симметричному режиму работы. Смотрите пример справа.

Изменение напряжения питания

Нужно отметить, что однофазные электродвигатели обычно не используются для больших интервалов напряжения, в отличие от трёхфазных электродвигателей. В связи с этим может возникнуть потребность в двигателях, которые могут работать с другими видами напряжения. Для этого необходимо внести некоторые конструкционные изменения, например, нужна дополнительная обмотка и конденсаторы различной ёмкости. Теоретически, ёмкость конденсатора для различного сетевого напряжения (с одной и той же частотой) должна быть равна квадрату отношения напряжений:

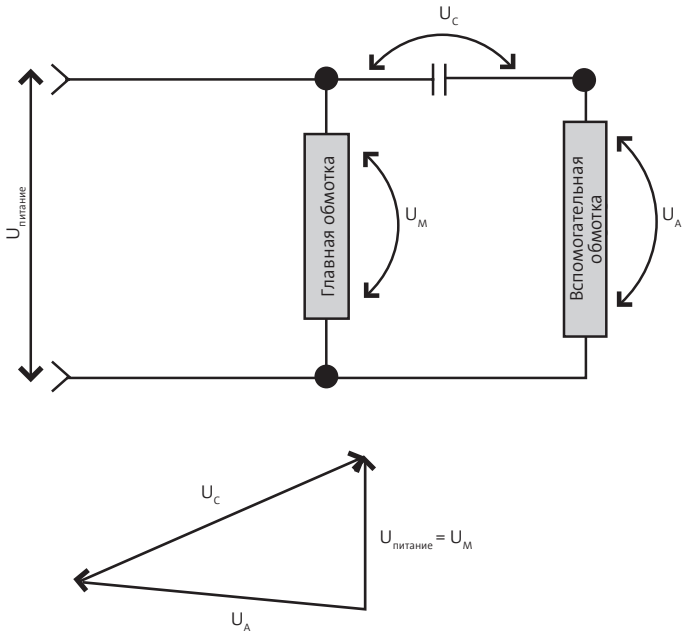
C = Конденсатор
U = Напряжение

$$\frac{C_2}{C_1} = \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2$$

Таким образом, в электродвигателе, рассчитанном на питание от сети в 230 В, используется конденсатор 25 µФ/400 В, для модели электродвигателя на 115 В необходим конденсатор ёмкостью 100 µФ с маркировкой более низкого напряжения — например 200 В.

$$\frac{C_2}{C_1} = \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 \Rightarrow C_2 = C_1 \cdot \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 \Rightarrow C_2 = 25\ \mu F \cdot \left(\frac{230\ В}{115\ В}\right)^2 = 100\ \mu F$$

Иногда выбирают конденсаторы меньшей ёмкости, например 60 µФ. Они дешевле и занимают меньше места. В таких случаях обмотка должна подходить для определённого конденсатора. Нужно учитывать, что производительность электродвигателя при этом будет меньше, чем с конденсатором ёмкостью 100 µФ — например, пусковой момент будет ниже.

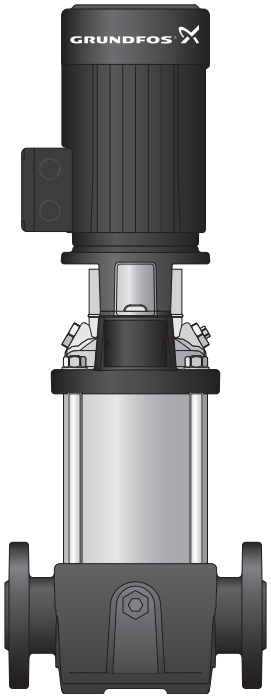


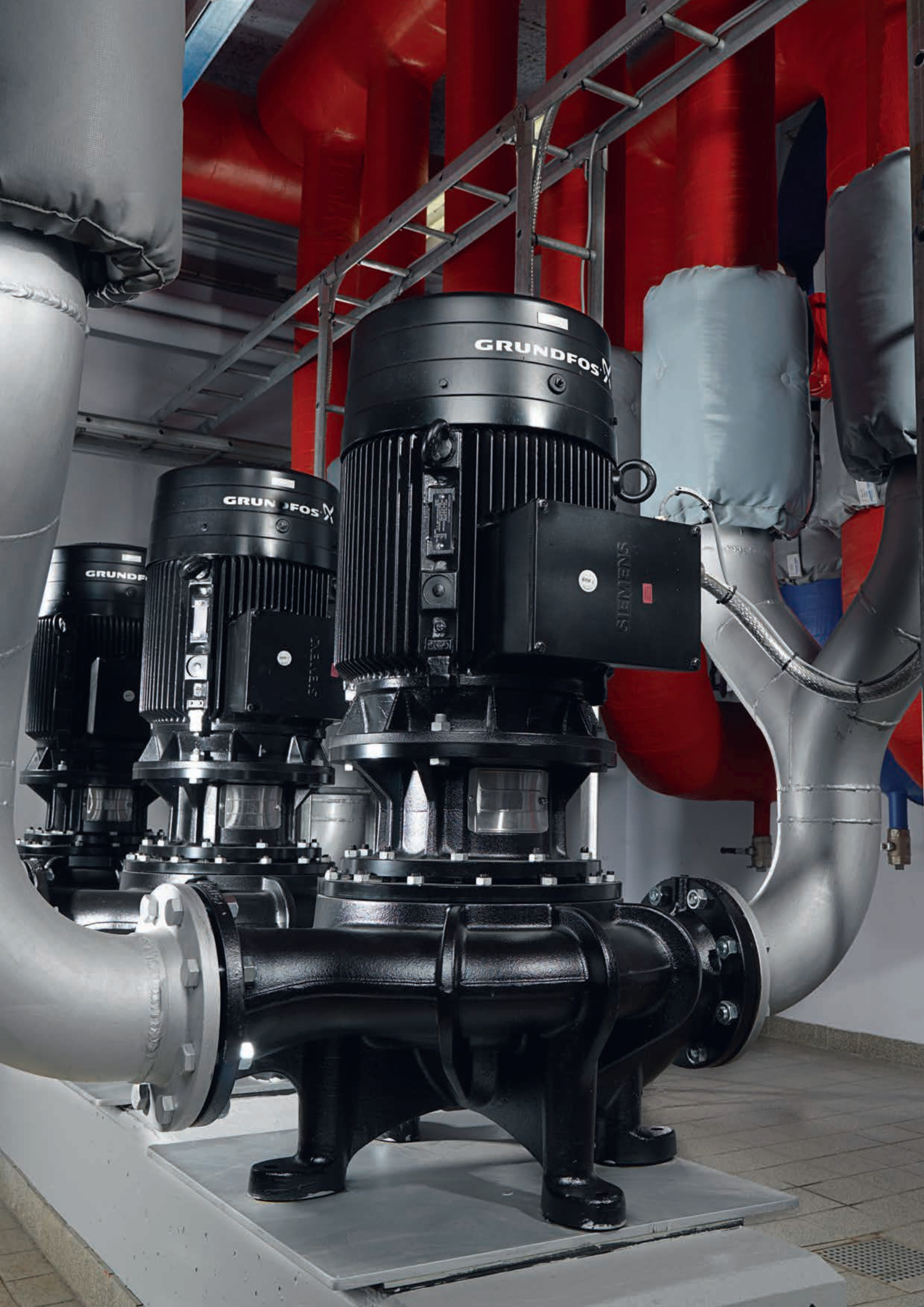
Пример напряжения внутри 1-фазного электродвигателя. При $U_{питание}$ = 230 В значения напряжений могут быть U_C =370 В и U_A = 290 В

Заключение

Однофазные электродвигатели работают по тому же принципу, что и трёхфазные. Однако у них более низкие пусковые моменты и значения напряжения питания (110–240 В). Однофазные электродвигатели, поставляемые Grundfos, — это двигатели с постоянным разделением емкости. Они требуют минимального техобслуживания.

Однофазные электродвигатели не должны работать в режиме холостого хода, многие из них не должны эксплуатироваться при нагрузке меньше 25 % от максимальной, так как это вызывает повышение температуры внутри электродвигателя, что может привести к его поломке.




GRUNDFOS
GRUNDFOS
SIEMENS
SIEMENS

Мощность и вращающий момент электродвигателя 34
Работа и мощность 35
Как образуется вращающий момент и частота вращения? 36
Потребляемая мощность 37
Приложение 38
Пусковой момент ($М_п$) 39
Минимальный пусковой момент ($М_{мин}$) 39
Блокировочный момент ($М_{блок}$) 39
Вращающий момент при полной нагрузке ($М_{п.н.}$) 39
Нагрузка насосов и типы нагрузок 39
Постоянная мощность 39
Постоянный вращающий момент 40
Переменный вращающий момент и мощность 40
Соответствие электродвигателя нагрузке 42
Время пуска 43
Число пусков в час 44
Мощность и КПД (eta) 45
Подбор 45

Мощность и вращающий момент электродвигателя

Данная глава посвящена вращающему моменту: что это такое, для чего он нужен и др. Мы также разберём типы нагрузок в зависимости от моделей насосов и соответствие между электродвигателем и нагрузкой насоса.

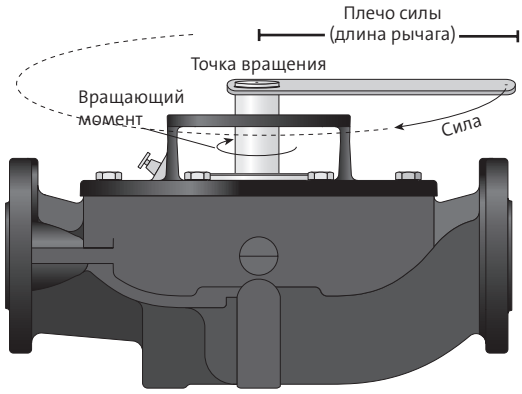
Вы когда-нибудь пробовали провернуть вал пустого насоса руками? Теперь представьте, что вы поворачиваете его, когда насос заполнен водой. Вы почувствуете, что в этом случае, чтобы создать вращающий момент, требуется гораздо большее усилие.

А теперь представьте, что вам надо крутить вал насоса несколько часов подряд. Вы бы устали быстрее, если бы насос был заполнен водой, и почувствовали бы, что потратили намного больше сил за тот же период времени, чем при выполнении тех же манипуляций с пустым насосом. Ваши наблюдения абсолютно верны: требуется большая мощность, которая является мерой работы (потраченной энергии) в единицу времени. Как правило, мощность стандартного электродвигателя выражается в кВт. В этой связи в данной главе мы рассмотрим вращающий момент и мощность.

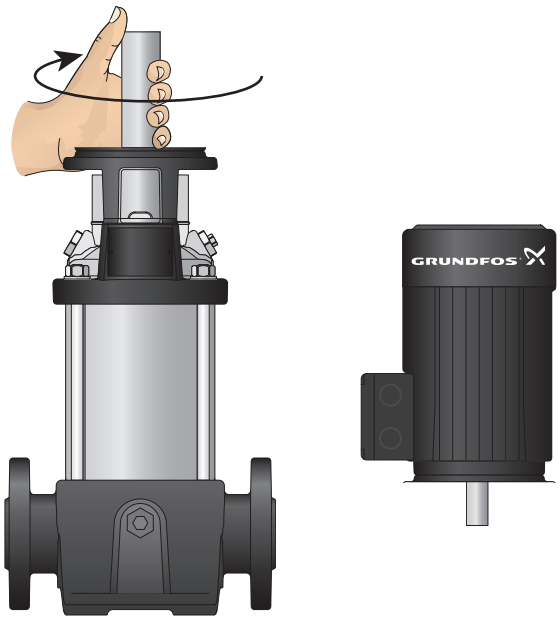
Вращающий момент (T) — это произведение силы на плечо силы. В Европе он измеряется в Ньютонах на метр (Нм).

Вращающий момент = Сила · Плечо силы ($T = F \cdot r$)

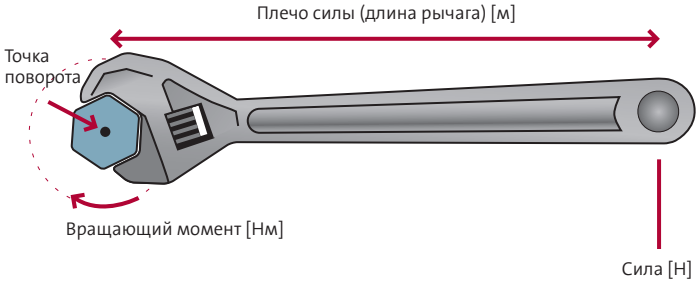
Как видно из формулы, вращающий момент увеличивается, если возрастает сила или плечо силы — или и то и другое. Например, если мы приложим к валу силу в 10 Н, эквивалентную 1 кг, при длине рычага (плече силы) 1 м, в результате, вращающий момент будет 10 Нм. При увеличении силы до 20 Н или 2 кг, вращающий момент будет 20 Нм. Таким же образом, вращающий момент был бы 20 Нм, если бы рычаг увеличился до 2 м, а сила составляла 10 Н. Или при вращающем моменте в 10 Нм с плечом силы 0,5 м сила должна быть 20 Н.



Вращающий момент – мера внешнего воздействия, изменяющего угловую скорость вращающегося тела. Вращающий момент равен алгебраической сумме моментов всех действующих на вращающееся тело сил относительно оси вращения



Вращающий момент = Сила · Плечо силы



Работа и мощность

Теперь остановимся на таком понятии как «работа», которое в данном контексте имеет особое значение. Работа совершается всякий раз, когда сила — любая сила — вызывает движение. Работа равна силе, умноженной на расстояние. Для линейного движения мощность выражается как работа в определённый момент времени.

Если мы говорим о вращении, мощность выражается как вращающий момент (T), умноженный на частоту вращения (ω).

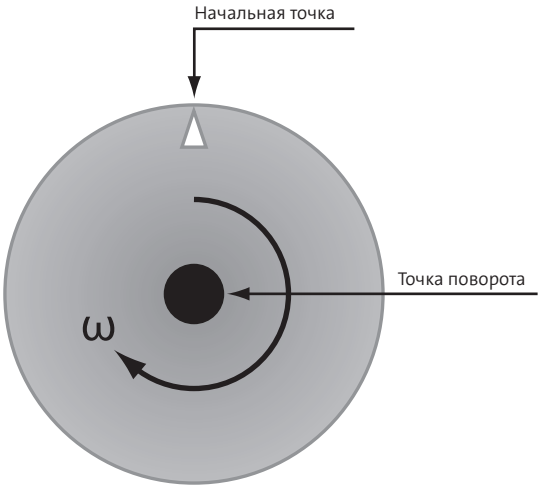
$$\text{Мощность} = T \cdot \omega$$

Частота вращения объекта определяется измерением времени, за которое определённая точка вращающегося объекта совершит полный оборот. Обычно эта величина выражается в оборотах в минуту, т.е. мин$^{-1}$ или об/мин. Например, если объект совершает 10 полных оборотов в минуту, это означает, что его частота вращения: 10 мин$^{-1}$ или 10 об/мин. Итак, частота вращения измеряется в оборотах в минуту, т.е. мин$^{-1}$. Приведем единицы измерения к общему виду.

$$\text{Мощность} = \frac{\text{Вращающий момент} \cdot \text{Частота вращения}}{\text{Константа}}$$

$$\text{кВт} = \frac{\text{Нм} \cdot \text{мин}^{-1}}{9550}$$

$$\text{Нм} = 9550 \cdot \frac{\text{кВт}}{\text{мин}^{-1}}$$



Частота вращения

Для наглядности возьмём разные электродвигатели, чтобы более подробно проанализировать соотношение между мощностью, вращающим моментом и частотой вращения. Несмотря на то, что вращающий момент и частота вращения электродвигателей сильно различаются, они могут иметь одинаковую мощность. Например, предположим, что у нас 2-полюсный электродвигатель (с частотой вращения 3000 мин$^{-1}$) и 4-полюсной электродвигатель (с частотой вращения 1500 мин$^{-1}$). Мощность обоих электродвигателей 3,0 кВт, но их вращающие моменты отличаются.

$$T_{2полюс.} = \frac{3}{3000} \cdot 9550 = 9{,}55 \text{ Нм}$$

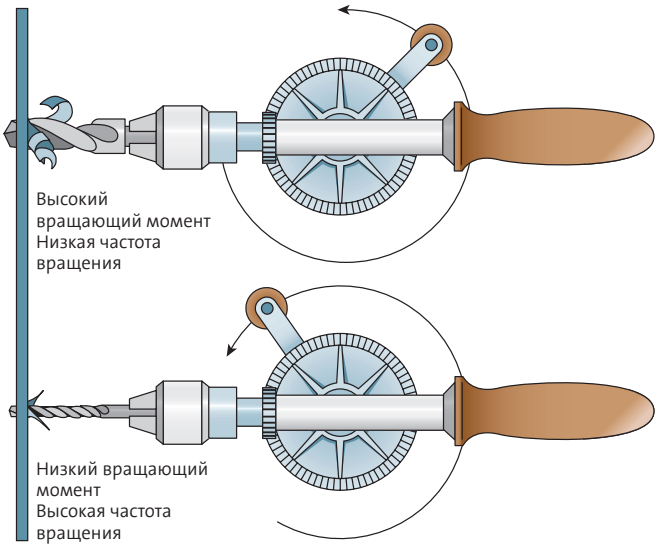
$$T_{4полюс.} = \frac{3}{1500} \cdot 9550 = 19{,}1 \text{ Нм}$$

Таким образом, вращающий момент 4-полюсного электродвигателя в два раза больше вращающего момента двухполюсного электродвигателя с той же мощностью.

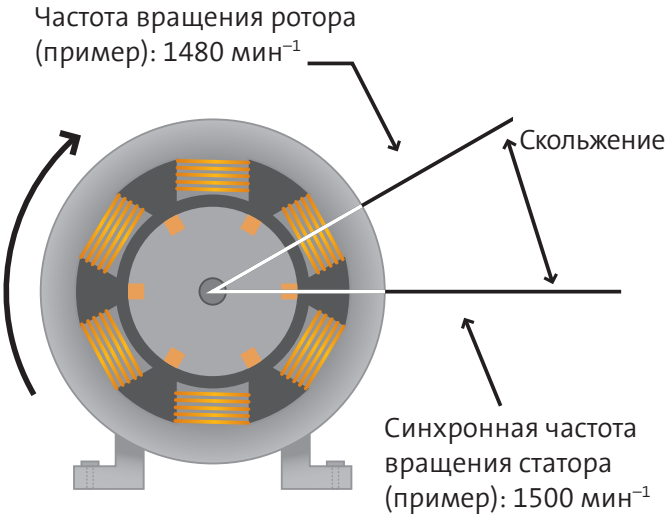
Как образуется вращающий момент и частота вращения?

Теперь, после того, как мы изучили основы вращающего момента и скорости вращения, следует остановиться на том, как они создаются.

В электродвигателях переменного тока вращающий момент и частота вращения создаются в результате взаимодействия между ротором и вращающимся магнитным полем. Магнитное поле вокруг обмоток ротора будет стремиться к магнитному полю статора. В реальных рабочих условиях частота вращения ротора всегда отстаёт от магнитного поля. Таким образом, магнитное поле ротора пересекает магнитное поле статора и отстает от него и создаёт вращающий момент. Разницу в частоте вращения ротора и статора, которая измеряется в %, называют скоростью скольжения. Скольжение является основным параметром электродвигателя, характеризующий его режим работы и нагрузку. Чем больше нагрузка, с которой должен работать электродвигатель, тем больше скольжение.



Одинаковая мощность при различном вращающем моменте



Скольжение обуславливает возникновение крутящего момента

$$\text{Скольжение} = \frac{\text{Синхронная частота вращения} - \text{Частота вращения ротора}}{\text{Синхронная частота вращения}} \cdot 100$$

$$\text{Скольжение} = \frac{1500 \text{ мин}^{-1} - 1480 \text{ мин}^{-1}}{1500 \text{ мин}^{-1}} \cdot 100$$

Скольжение ротора = 1,3 %

Помня о том, что было сказано выше, разберём ещё несколько формул. Вращающий момент индукционного электродвигателя зависит от силы магнитных полей ротора и статора, а также от фазового соотношения между этими полями. Это соотношение показано в следующей формуле:

Вращающий момент =
= константа · сила магнитного поля · ток ротора

Сила магнитного поля, в первую очередь, зависит от конструкции статора и материалов, из которых статор изготовлен. Однако напряжение и частота тока также играют важную роль. Отношение вращающих моментов пропорционально квадрату отношения напряжений, т.е. если подаваемое напряжение падает на 2 %, вращающий момент, следовательно, уменьшается на 4 %.

Потребляемая мощность

Ток ротора индуцируется через источник питания, к которому подсоединён электродвигатель, а магнитное поле частично создаётся напряжением. Входную мощность можно вычислить, если нам известны данные источника питания электродвигателя, т.е. напряжение, коэффициент мощности, потребляемый ток и КПД.

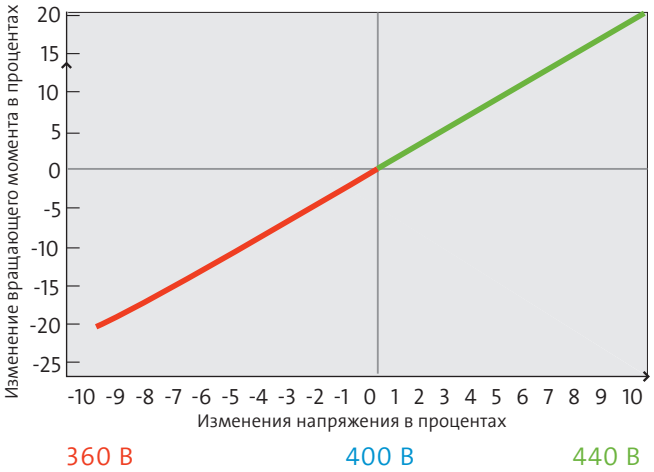
В Европе мощность на валу обычно измеряется в киловаттах. В США мощность на валу измеряется в лошадиных силах (л.с.).

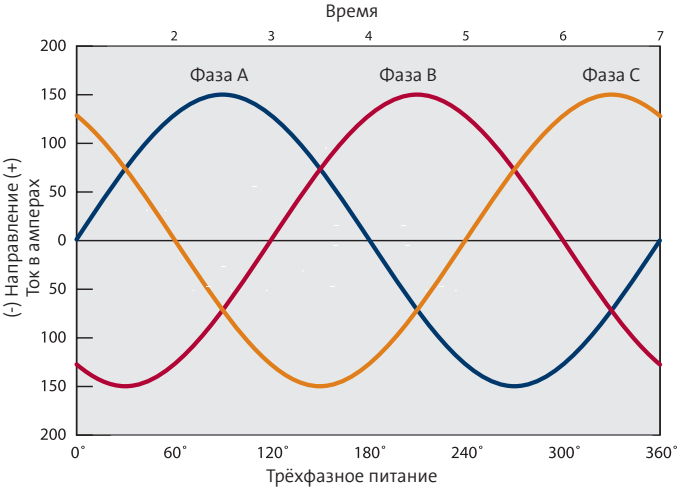
Если вам необходимо перевести лошадиные силы в киловатты, просто умножьте соответствующую величину (в лошадиных силах) на 0,746. Например, 20 л.с. равняется (20 · 0,746) = 14,92 кВт.

И наоборот, киловатты можно перевести в лошадиные силы умножением величины в киловаттах на 1,341. Это значит, что 15 кВт равняется 20,11 л.с.

$$\left(\frac{\text{Напряжение}_2}{\text{Напряжение}_1}\right)^2 = \frac{\text{Вращающий момент}_2}{\text{Вращающий момент}_1}$$

Изменение вращающего момента в зависимости от Изменения напряжения





Потребляемая мощность (P_1)

Однофазное питание в кВт = $\frac{U \cdot I \cdot \cos\varphi}{1000}$

Трехфазное питание в кВт = $\frac{U \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{3}}{1000}$

Мощность на валу (P_2)

Однофазное питание в кВт = $\frac{U \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot \eta_{двигатель}}{1000}$

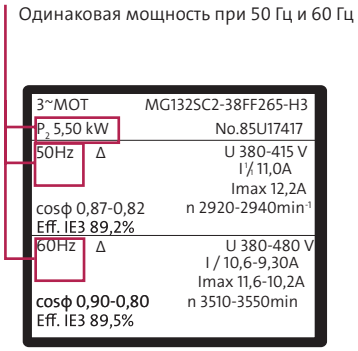
Трехфазное питание в кВт = $\frac{U \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{3} \cdot \eta_{двигатель}}{1000}$

Приложение

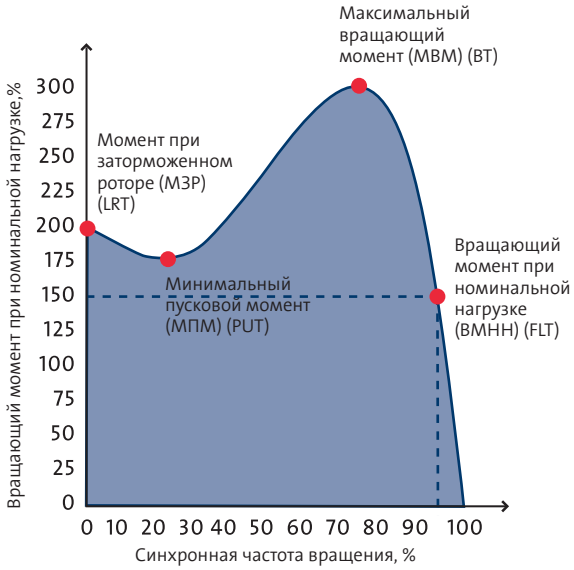
Мощность [кВт или л.с.] связывает вращающий момент с частотой вращения, чтобы определить общий объём работы, который должен быть выполнен за определённый промежуток времени.

Рассмотрим взаимодействие между вращающим моментом, мощностью и частотой вращения, а также их связь с электрическим напряжением на примере электродвигателей Grundfos. Электродвигатели Grundfos имеют одну и ту же номинальную мощность как при 50 Гц, так и при 60 Гц. Это влечёт за собой резкое снижение вращающего момента при 60 Гц: частота 60 Гц вызывает 20 %-е увеличение числа оборотов, что приводит к 20 %-му уменьшению вращающего момента. Большинство производителей предпочитают указывать мощность электродвигателя при 60 Гц, таким образом, при снижении частоты тока в сети до 50 Гц электродвигатели будут обеспечивать меньшую мощность на валу и вращающий момент. Электродвигатели Grundfos обеспечивают одинаковую мощность при 50 и 60 Гц.

Графическое представление вращающего момента электродвигателя изображено на рисунке справа.



Электродвигатели Grundfos имеют одну и ту же номинальную мощность как для 50, так и для 60 Гц



Характеристика вращающий момент/ частота вращения для электродвигателя переменного тока

Иллюстрация представляет типичную характеристику вращающий момент/частота вращения. Ниже приведены термины, используемые для характеристики вращающего момента электродвигателя переменного тока.

Пусковой момент ($M_п$)

Механический вращающий момент, развиваемый электродвигателем на валу при пуске, т.е. когда через электродвигатель пропускается ток при полном напряжении, при этом вал застопорен.

Минимальный пусковой момент ($M_{мин}$)

Этот термин используется для обозначения самой низкой точки на кривой вращающий момент/частота вращения электродвигателя, нагрузка которого увеличивается до полной скорости вращения. Для большинства электродвигателей Grundfos величина минимального пускового момента отдельно не указывается, так как самая низкая точка находится в точке заторможенного ротора. В результате для большинства электродвигателей Grundfos минимальный пусковой момент такой же, как пусковой момент.

Блокировочный момент ($M_{блок}$)

Максимальный вращающий момент — момент, который создаёт электродвигатель переменного тока с номинальным напряжением, подаваемым при номинальной частоте, без резких скачков скорости вращения. Его называют предельным перегрузочным моментом или максимальным вращающим моментом.

Вращающий момент при полной нагрузке ($M_{п.н.}$)

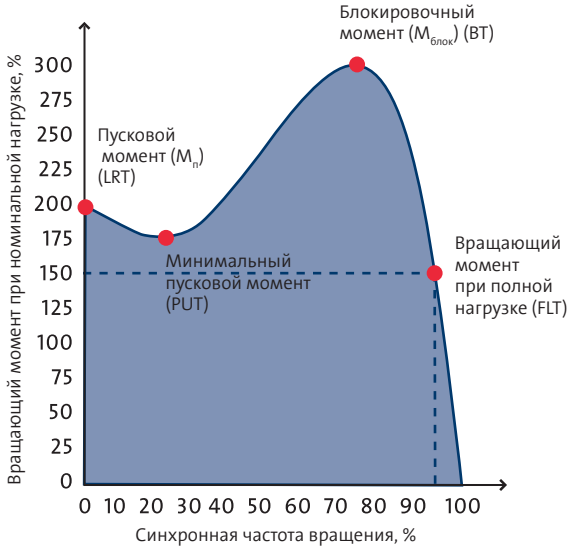
Вращающий момент, необходимый для создания номинальной мощности при полной нагрузке.

Нагрузка насосов и типы нагрузок

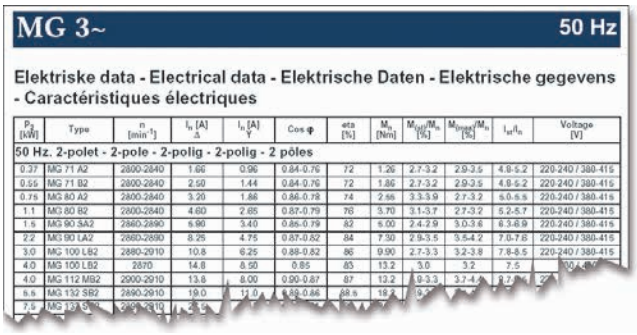
Выделяют следующие типы нагрузок:

Постоянная мощность

Термин «постоянная мощность» используется для определённых типов нагрузки, в которых требуется меньший вращающий момент при увеличении скорости вращения, и наоборот. Нагрузки при постоянной мощности обычно применяются в металлообработке, например, сверлении, прокатке и т.п.



Характеристика вращающий момент/частота вращения для электродвигателя переменного тока

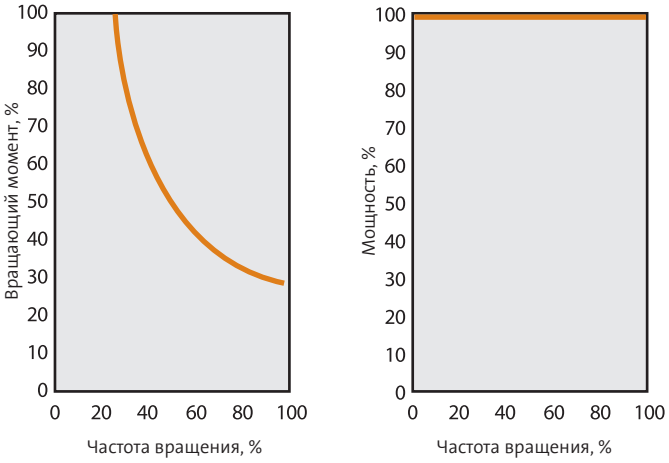


MG 3~ 50 Hz

Elektriske data - Electrical data - Elektrische Daten - Elektrische gegevens - Caractéristiques électriques

P_2 [kW]	Type	n [min⁻¹]	I_n [A] Δ	I_n [A] Y	Cos φ	eta [%]	M_n [Nm]	$M_{(p)}/M_n$ [%]	$M_{(max)}/M_n$ [%]	I_s/I_n	Voltage [V]
50 Hz. 2-polet - 2-pole - 2-polig - 2-polig - 2 pôles											
0.37	MG 71 A2	2800-2840	1.66	0.96	0.84-0.76	72	1.26	2.7-3.2	2.9-3.5	4.8-5.2	220-240 / 380-415
0.55	MG 71 B2	2800-2840	2.50	1.44	0.84-0.76	72	1.86	2.7-3.2	2.9-3.5	4.8-5.2	220-240 / 380-415
0.75	MG 80 A2	2800-2840	3.20	1.86	0.86-0.78	74	2.56	3.3-3.9	2.7-3.2	5.0-5.5	220-240 / 380-415
1.1	MG 80 B2	2800-2840	4.60	2.65	0.87-0.79	76	3.70	3.1-3.7	2.7-3.2	5.2-5.7	220-240 / 380-415
1.5	MG 90 SA2	2860-2890	5.90	3.40	0.88-0.79	82	5.00	2.4-2.9	3.0-3.6	6.3-6.9	220-240 / 380-415
2.2	MG 90 LA2	2860-2890	8.25	4.75	0.87-0.82	84	7.30	2.9-3.5	3.5-4.2	7.0-7.6	220-240 / 380-415
3.0	MG 100 LB2	2880-2910	10.8	6.25	0.88-0.82	86	9.90	2.7-3.3	3.2-3.8	7.8-8.5	220-240 / 380-415
4.0	MG 100 LB2	2870	14.8	8.50	0.85	85	13.2	3.0	3.2	7.5	[illegible]
4.0	MG 112 MB2	2900-2910	13.8	8.00	0.90-0.87	87	13.2	2.9-3.3	3.7-4.4	[illegible]	[illegible]
5.5	MG 132 SB2	2890-2910	19.0	[illegible]	0.89-0.86	88.5	18.2	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
7.5	MG [illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

В каталогах на электродвигатели, как правило, приведены только величины пускового момента, максимального вращающего момента и момента при максимальной нагрузке



При увеличении скорости вращения уменьшается вращающий момент, при этом мощность остаётся постоянной

Постоянный вращающий момент

Как видно из названия — «постоянный вращающий момент» — подразумевается, что величина вращающего момента, необходимого для приведения в действие какого-либо механизма, постоянна, независимо от скорости вращения. Примером такого режима работы могут служить конвейеры.

Переменный вращающий момент и мощность

«Переменный вращающий момент» — эта категория представляет для нас наибольший интерес. Этот момент имеет отношение к нагрузкам, для которых требуется низкий вращающий момент при низкой частоте вращения, а при увеличении скорости вращения требуется более высокий вращающий момент. Типичным примером являются центробежные насосы.

Вся остальная часть данного раздела будет посвящена исключительно переменному вращающему моменту и мощности.

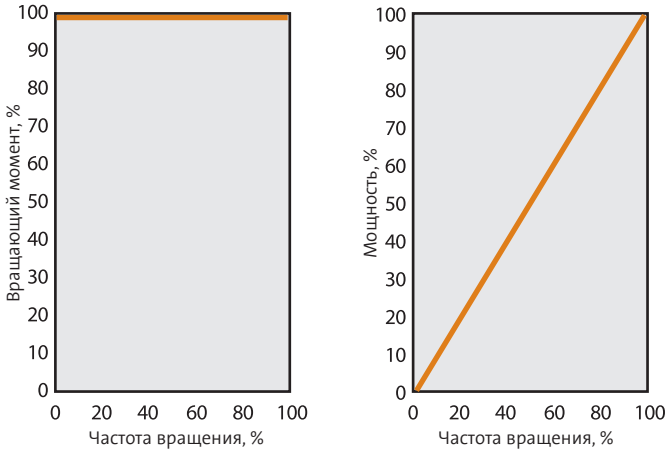
Определив, что для центробежных насосов типичным является переменный вращающий момент, мы должны проанализировать и оценить некоторые характеристики центробежного насоса. Использование приводов с переменной частотой вращения обусловлено особыми законами физики. В данном случае это законы подобия, которые описывают соотношение между разностями давления и расходами.

Во-первых, подача насоса прямо пропорциональна частоте вращения. Это означает, что если насос будет работать с частотой вращения на 25 % больше, подача увеличится на 25 %.

Во-вторых, напор насоса будет меняться пропорционально квадрату изменения скорости вращения. Если частота вращения увеличивается на 25 %, напор возрастает на 56 %.

В-третьих, что особенно интересно, мощность пропорциональна кубу изменения скорости вращения. Это означает, что если требуемая частота вращения уменьшается на 50 %, это равняется 87,5 %-му уменьшению потребляемой мощности.

Итак, законы подобия объясняют, почему использование приводов с переменной частотой вращения более целесообразно в тех областях применения, где требуются переменные значения расхода и давления. Grundfos предлагает ряд электродвигателей со встроенным частотным преобразователем, который регулирует частоту вращения для достижения именно этой цели.



Постоянный вращающий момент независимо от скорости вращения

Законы подобия для центробежных насосов		
$\frac{Q_n}{Q_x} = \frac{n_n}{n_x}$	$\frac{H_n}{H_x} = \left(\frac{n_n}{n_x}\right)^2$	$\frac{P_n}{P_x} = \left(\frac{n_n}{n_x}\right)^3$
n		Расход
↑ 25 %	$\frac{\text{мин}^{-1}\,1}{\text{мин}^{-1}\,2} = \frac{\text{Подача 1}}{\text{Подача 2}}$	↑ 25 %
n		Давление
↑ 25 %	$\left(\frac{\text{мин}^{-1}\,1}{\text{мин}^{-1}\,2}\right)^2 = \left(\frac{\text{Подача 1}}{\text{Подача 2}}\right)$	↑ 56 %
n		Мощность
↓ 50 %	$\left(\frac{\text{мин}^{-1}\,1}{\text{мин}^{-1}\,2}\right)^3 = \left(\frac{\text{кВт 1}}{\text{кВт 2}}\right)$	↓ 87,5 %

Так же как подача, давление и мощность, потребная величина вращающего момента зависит от скорости вращения.

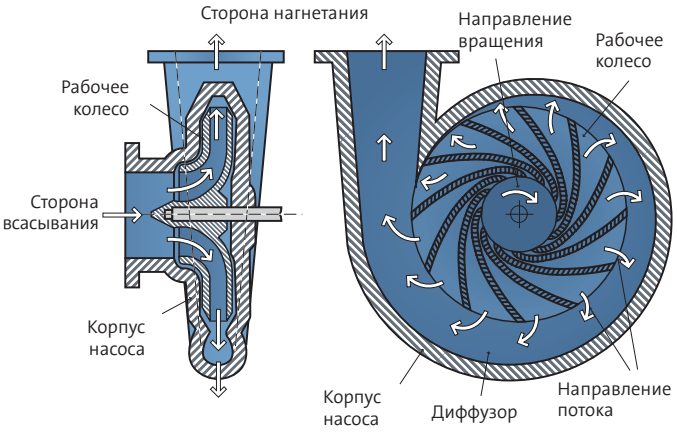
На рисунке справа показан центробежный насос в разрезе. Требования к вращающему моменту для такого типа нагрузки почти противоположны требованиям при «постоянной мощности». Для нагрузок при переменном вращающем моменте потребный вращающий момент при низкой частоте вращения — мал, а потребный вращающий момент при высокой частоте вращения — велик. В математическом выражении вращающий момент пропорционален квадрату скорости вращения, а мощность — кубу скорости вращения.

Это можно проиллюстрировать на примере характеристики вращающий момент/частота вращения, которую мы использовали ранее, когда рассказывали о вращающем моменте электродвигателя.

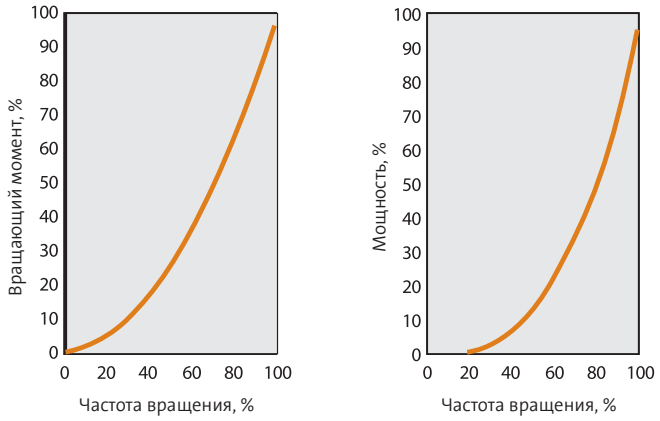
Когда электродвигатель набирает скорость от нуля до номинальной скорости, вращающий момент может значительно меняться. Величина вращающего момента, необходимая при определённой нагрузке, также изменяется с частотой вращения. Чтобы электродвигатель подходил для определённой нагрузки, необходимо чтобы величина вращающего момента электродвигателя всегда превышала вращающий момент, необходимый для данной нагрузки.

В примере, приведённом справа, центробежный насос при номинальной нагрузке имеет вращающий момент, равный 70 Нм, что соответствует 22 кВт при номинальной частоте вращения 3000 мин$^{-1}$. В данном случае насосу при пуске требуется 20 % вращающего момента при номинальной нагрузке, т.е. приблизительно 14 Нм. После пуска вращающий момент немного падает, а затем, по мере того, как насос набирает скорость, увеличивается до величины полной нагрузки.

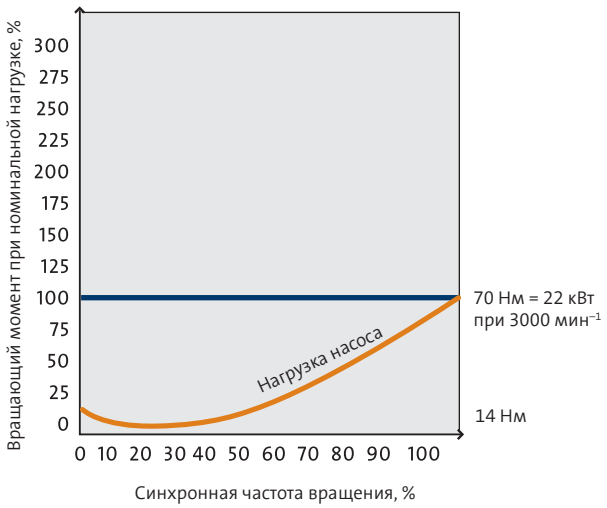
Очевидно, что нам необходим насос, который будет обеспечивать требуемые значения расход/напор (Q/H). Это значит, что нельзя допускать остановок электродвигателя, кроме того, электродвигатель должен постоянно ускоряться до тех пор, пока не достигнет номинальной скорости. Следовательно, необходимо, чтобы характеристика вращающего момента совпадала или превышала характеристику нагрузки на всём диапазоне от 0 до 100 % скорости вращения. Любой «избыточный» момент, т.е. разница между кривой нагрузки и кривой электродвигателя, используется как ускорение вращения.



Центробежный насос, поперечный разрез



Вращающий момент пропорционален квадрату скорости вращения, а мощность – кубу скорости вращения



Соответствие электродвигателя нагрузке

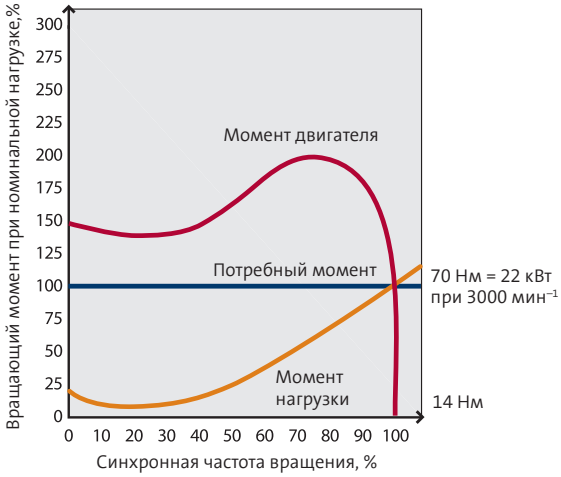
Если нужно определить, отвечает ли вращающий момент определённого электродвигателя требованиям нагрузки, Вы можете сравнить характеристики скорости вращения/вращающего момента электродвигателя с характеристикой скорости вращения/ вращающего момента нагрузки. Вращающий момент, создаваемый электродвигателем, должен превышать потребный для нагрузки вращающий момент, включая периоды ускорения и полной скорости вращения.

Слева представлена характеристика зависимости вращающего момента от скорости вращения стандартного электродвигателя и центробежного насоса.

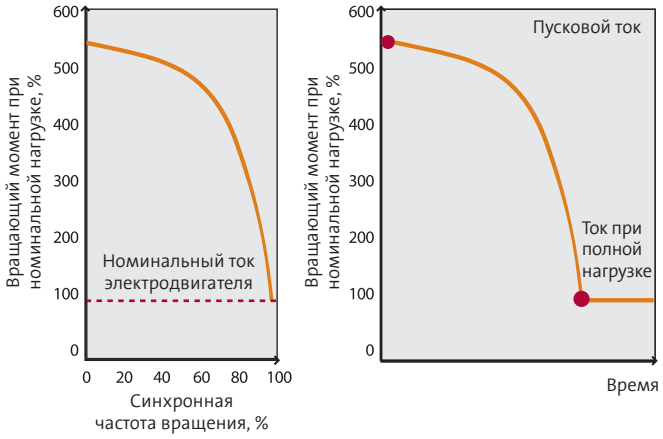
Если мы посмотрим на характеристику справа, то увидим, что при ускорении электродвигателя его пуск производится при токе, соответствующем 550 % тока полной нагрузки. Когда двигатель приближается к своему номинальному значению скорости вращения, ток снижается. Как и следовало ожидать, во время начального периода пуска потери на электродвигателе высоки, поэтому этот период не должен быть продолжительным, чтобы не допустить перегрева.

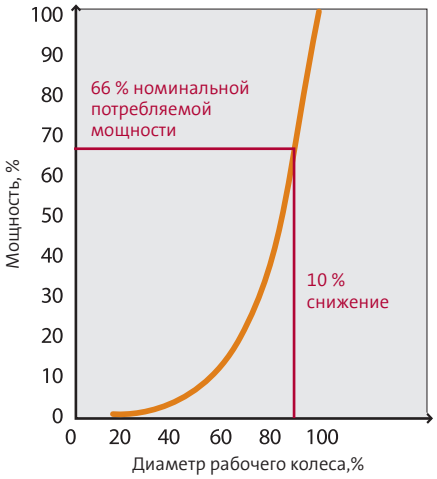
Очень важно, чтобы максимальная скорость вращения достигалась как можно точнее. Это связано с потребляемой мощностью: например, увеличение скорости вращения на 1 % по сравнению со стандартным максимумом приводит к 3 %-му увеличению потребляемой мощности.

Потребляемая мощность пропорциональна диаметру рабочего колеса насоса в четвертой степени. Уменьшение диаметра рабочего колеса насоса на 10 % приводит к уменьшению потребляемой мощности на $(1-(0{,}9\cdot0{,}9\cdot0{,}9\cdot0{,}9))\cdot100=34\,\%$, что равно 66 % номинальной мощности. Эта зависимость определяется исключительно на практике, так как зависит от типа насоса, конструкции рабочего колеса и от того, насколько вы уменьшаете диаметр рабочего колеса.



Номинальный ток электродвигателя при ускорении





Время пуска

Если нам необходимо подобрать типоразмер электродвигателя для определённой нагрузки, например для центробежных насосов, основная наша задача состоит в том, чтобы обеспечить соответствующий вращающий момент и мощность в номинальной рабочей точке, потому что пусковой момент для центробежных насосов довольно низкий. Время пуска достаточно ограниченно, так как вращающий момент довольно высокий.

Нередко для сложных систем защиты и контроля электродвигателей требуется некоторое время для их пуска, чтобы они могли замерить пусковой ток электродвигателя. Время пуска электродвигателя и насоса рассчитывается с помощью следующей формулы:

$$t_{пуск} = \frac{n \cdot 2\pi \cdot I_{общ}}{60 \cdot M_{изб}}$$

$t_{пуск}$ = время, необходимое электродвигателю насоса, чтобы достичь частоты вращения при полной нагрузке

n = частота вращения электродвигателя при полной нагрузке

$I_{общ}$ = инерция, которая требует ускорения, т.е. инерция вала электродвигателя, ротора, вала насоса и рабочих колёс.

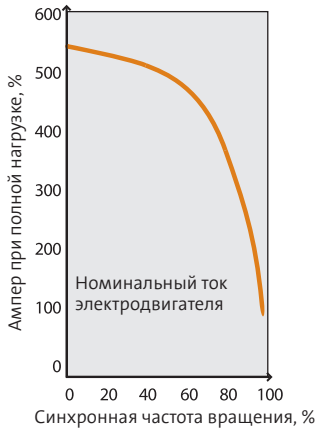
Момент инерции для насосов и электродвигателей можно найти в соответствующих технических данных.

$M_{изб}$ = избыточный момент, ускоряющий вращение.

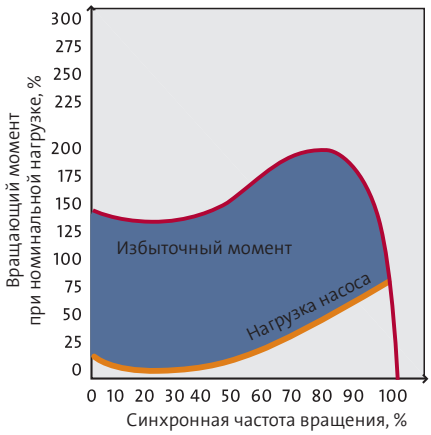
Избыточный момент равен вращающему моменту электродвигателя минус вращающий момент насоса при различных частотах вращения.

$M_{изб}$ можно рассчитать по следующим формулам:

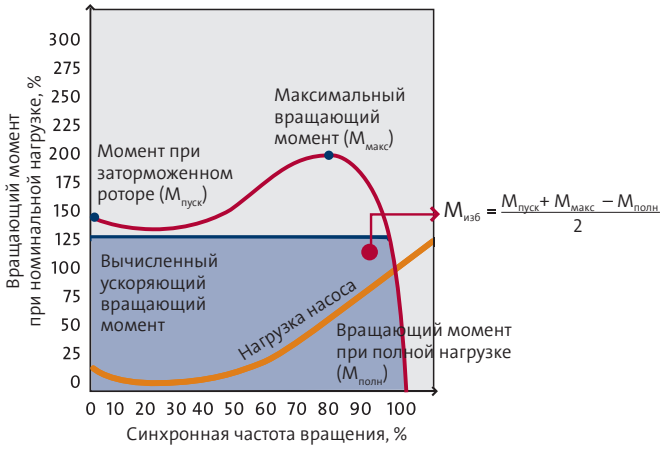
$$M_{изб} = \frac{M_{пуск} + M_{макс} - M_{полн}}{2}$$



Пусковой ток в 5–10 раз больше номинального тока. В связи с этим, необходимо особое внимание уделить времени пуска



Избыточный момент равен вращающему моменту электродвигателя минус вращающий момент насоса при различных частотах вращения



Расчетный избыточный момент

Число пусков в час

Современные сложные системы управления электродвигателями могут контролировать число пусков в час каждого конкретного насоса и электродвигателя. Необходимость контроля этого параметра состоит в том, что каждый раз, когда осуществляется пуск электродвигателя с последующим ускорением, отмечается высокое потребление пускового тока. Пусковой ток нагревает электродвигатель. Если электродвигатель не остывает, продолжительная нагрузка от пускового тока значительно нагревает обмотки статора электродвигателя, что приводит к выходу из строя электродвигателя или сокращению срока службы изоляции.

Обычно за количество пусков, которое может выполнить электродвигатель в час, отвечает поставщик электродвигателя. Например, Grundfos указывает максимальное число пусков в час в технических данных на насос, так как максимальное количество пусков зависит от момента инерции насоса.

Данные электродвигателя

Частота вращения при полной нагрузке (n)	=	3000 мин$^{-1}$
Вращающий момент при полной нагрузке	=	11 Нм
Пусковой момент (240 % от вращающего момента при полной нагрузке	=	26 Нм
Момент блокировки (340 % от вращающего момента при полной нагрузке)	=	37 Нм
Инерция вала электродвигателя, ротора и вентилятора ($I_{двигатель}$)	=	0,0075 кг · м^2

Данные насоса

Инерция вала насоса и рабочих колёс ($I_{насос}$)	=	0,0014 кг · м^2

$$I_{общ} = 0{,}0075 + 0{,}0014 = 0{,}0089 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$M_{изб} = \frac{M_{пуск} + M_{макс} - M_{полн}}{2}$$

$$M_{изб} = \frac{36 + 37 - 11}{2} = 26 \text{ Нм}$$

$$t_{пуск} = \frac{3000 \cdot 2\pi \cdot 0{,}0089}{60 \cdot 26} = 0{,}11 \text{ сек}$$

Как видно из приведённых вычислений, выполненных для данного примера с электродвигателем мощностью 4 кВт насоса CR, время пуска составляет 0,11 секунды.

Мощность и КПД (eta)

Существует прямая связь между мощностью, потребляемой электродвигателем от сети, мощностью на валу электродвигателя и гидравлической мощностью, развиваемой насосом.

При производстве насосов используются следующие обозначения этих трёх различных типов мощности.

P_1 (кВт) Входная электрическая мощность насосов — это мощность, которую электродвигатель насоса получает от источника электрического питания. Мощность P_1 равна мощности P_2, разделённой на КПД электродвигателя.

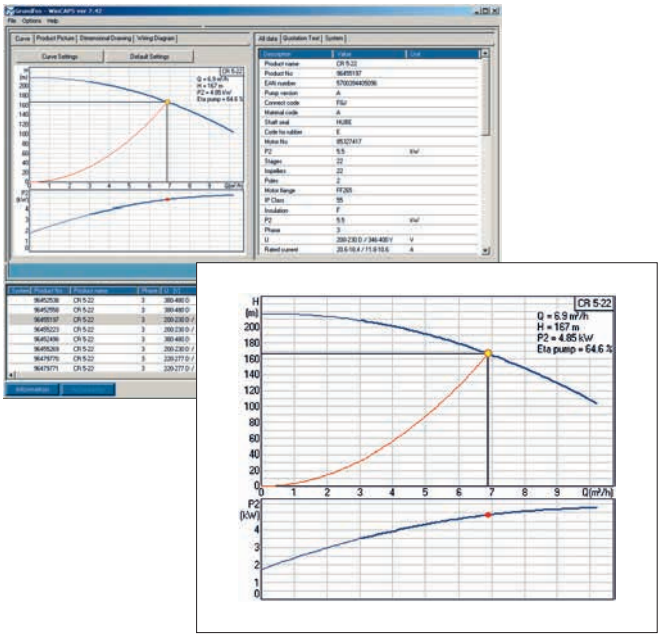
P_2 (кВт) Мощность на валу электродвигателя — это мощность, которую электродвигатель передает на вал насоса.

P_3 (кВт) Входная мощность насоса = P_2, при условии, что соединительная муфта между валами насоса и электродвигателя не рассеивает энергию.

P_4 (кВт) Гидравлическая мощность насоса.

Подбор

К счастью, Вам нет необходимости выполнять сложные детальные исследования и тратить драгоценное время на то, чтобы выбрать подходящий насос. При разработке всех насосов и электродвигателей выполняются расчёты и испытания с целью создания самой полной базы для подбора насоса. В результате мы разработали Grundfos Product Center (GPC), программу автоматизированного подбора изделий. Grundfos Product Center содержит информацию обо всех изделиях Grundfos и включает в себя функцию, которая помогает рассчитать необходимый типоразмер насоса и электродвигателя.



GRUNDFOS
GRUNDFOS

Стандарты двигателей переменного тока 48
Обзор стандартов 48
IEC/EN 48
NEMA 48
IEC 60034 50
IEC 60034–1 Рабочие циклы и паспортные данные 50
Допустимые отклонения электрических параметров по IEC 60034–1 51
Изменения напряжения и частоты тока во время эксплуатации в соответствии со стандартами IEC 60034–1 и IEC 60038 52
IEC 60034–1 Перегрузка по току 52
IEC 60034–1 Максимальный вращающий момент 52
IEC 60034–1 Заводские испытания 52
IEC 60034–1 Испытание на электрическую прочность 53
IEC 60034–2 Стандарты на КПД 54
Стандарты испытаний электродвигателей 54
Прямой метод испытания электродвигателей (IEC 60034–2) 55
Косвенный метод анализа электродвигателей (IEC 60034–2) 56
Постоянные потери 56
Потери, зависящие от нагрузки 56
IEC 60034–5 Уровни защиты электрооборудования (код IP) 57
IEC 60034–6 Методы охлаждения электродвигателей 57
IEC 60034–7 Варианты монтажа и типы конструкции (код IM) 58
Варианты монтажа 58
Электродвигатель на лапах (основании) 58
Электродвигатель с фланцем с резьбовыми отверстиями 58
Электродвигатель с фланцем с отверстиями 58
Сочетание фланца и основания 58
Типы монтажа стандартных электродвигателей Grundfos 59
IEC 60034–8 Направление вращения и обозначение клемм 60
Трёхфазные электродвигатели 60
Соединение по схеме «звезда» (Y) 60
Соединение по схеме «треугольник» (Δ) 60
IEC 60034–9 Уровень шума 61
IEC 60034–11 Тепловая защита (TP) 61
IEC 60034–14 Предельные значения вибрации 61
IEC 62114 Классы электрической изоляции – Классификация по нагревостойкости 62
Конструкция IEC/EN в соответствии с IEC 60072 и EN 50347 63
Обозначения для стороны присоединения привода и не приводной стороны электродвигателя 64
Соотношение между типоразмером, концом вала, мощностью электродвигателя и типом и размером фланца 65
Буквенные обозначения и габаритные чертежи 66
Примечание 1 67
Габаритный чертёж в соответствии с EN 50347 68
Размеры основания электродвигателя 69
Размеры фланцев с отверстиями и резьбовыми отверстиями 70
Конец вала, размеры 71
Механические допуски 72
IEC 60072–1 Измерение допусков 75
Осевой эксцентриситет конца вала 75
Концентричность втулки на валу 75
Параллельность вала опорной поверхности 76
Параллельность шпоночной канавки оси вала 77
Боковое смещение шпоночной канавки 77

Стандарты двигателей переменного тока

Следующая глава посвящена нормам и стандартам, которые используются для стандартных электродвигателей. Понятие «стандартные электродвигатели» относится к электродвигателям, сконструированным в соответствии с международными нормами и стандартами, принятыми в том регионе, где они эксплуатируются.

Обзор стандартов

Стандарты, применяемые к электродвигателям, можно разделить на две основные категории: IEC/EN и NEMA.

IEC/EN

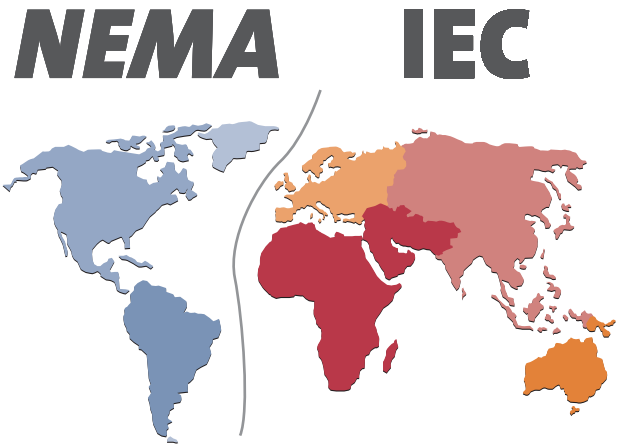
Стандарты IEC/EN относятся к двигателям, которые мы обычно называем электродвигателями «IEC» (Международная электротехническая комиссия) (Европа, Азия). В этих стандартах используются единицы СИ (метрическая система).

Международная электротехническая комиссия (МЭК) устанавливает стандарты для электродвигателей, используемых во многих странах мира. Стандарты IEC 60034 включают в себя рекомендованные правила техники эксплуатации электрооборудования, разработанные странами-участницами МЭК. Механические размеры и допустимые отклонения электродвигателей указаны в стандартах IEC 60072 и ENS 0347.

NEMA

Стандарты NEMA относятся к электродвигателям, используемым в США, Канаде и других странах, экономически зависящих от США. Здесь используется британская система (US), в ней используются такие единицы, как, например, дюймы.

National Electrical Manufacturers Association (NEMA) (Национальная ассоциация производителей электрооборудования) устанавливает стандарты для широкого ряда электротехнической продукции, включая электродвигатели. NEMA, в первую очередь, связана с электродвигателями, которые используются в Северной Америке. Эти стандарты представляют общие отраслевые правила техники эксплуатации и поддерживаются производителями электрооборудования. Стандарт для электродвигателей приводится в стандартах NEMA № MG1. Некоторые большие электродвигатели могут не соответствовать стандартам NEMA.



Стандарты IEC/EN имеют отношение к двигателям, которые мы обычно называем электродвигателями «IEC» (Международная электротехническая комиссия) (Европа, Азия). Стандарты NEMA имеют отношение к электродвигателям, используемым в США, Канаде и других странах, экономически зависящих от США.

IEC

NEMA

Международный стандарт IEC	Европейский стандарт EN	Описание
IEC 60034–1 + A1 и A2	EN 60034–1 + A1, A2 и т. д.	Вращающиеся электродвигатели. Часть 1: Рабочие параметры и конструкция.
IEC 60034–2 + A1, A2 и IEC 60034–2A	EN 60034–2 + A1 и A2	Вращающиеся электродвигатели. Часть 2: Методы измерения для определения потерь и КПД электродвигателей (кроме устройств для автотягачей).
IEC 60034–5	EN 60034–5	Вращающиеся электродвигатели. Часть 5: Класс защиты для вращающихся электродвигателей.
IEC 60034–6	EN 60034–6	Вращающиеся электродвигатели. Часть 6: Охлаждение (код IC).
IEC 60034–7 + A1	EN 60034–7 + A1	Вращающиеся электродвигатели. Часть 7: Классификация типов конструкции и монтажа (код IM).
IEC 60034–8	EN 60034–8	Вращающиеся электродвигатели. Часть 8: Маркировка выводов и направление вращения.
IEC 60034–9	EN 60034–9	Вращающиеся электродвигатели. Часть 9: Шумовые ограничения
IEC 60034–11	–	Тепловая защита
IEC 60034–12	EN 60034–12	Вращающиеся электродвигатели. Часть 12: Пусковая мощность 3-фазных индукционных электродвигателей.
IEC 60034–14	EN 60034–14	Вращающиеся электродвигатели. Часть 14: Механические колебания механизмов, высота ведущего вала которых составляет 56 мм и больше. Измерение, оценка и предельные значения вибрации.
IEC 60038	–	Стандартные значения напряжения IEC.
IEC 60072–1	(EN 50347)	Размеры и выходная мощность вращающихся электродвигателей. Часть 1: Типоразмер от 56 до 400 и размер фланца от 55 до 1080.
IEC 62114	–	Системы электрической изоляции: Классификация по нагревостойкости.
–	EN 50102	Степени защиты кожухов электрооборудования от внешних механических ударов (IK-код).
(IEC 60072–1)	EN 50347	Трёхфазные индукционные электродвигатели для стандартного применения со стандартными размерами и выходной мощностью. Типоразмеры от 56 до 315 и размером фланца от 65 до 740.
–	Другие стандарты:	
DIN 51825	–	Смазочный материал; консистентная смазка K; классификация и требования (1990–08).
DIN 44082	–	Терморезисторы; датчики PTC (датчики с положительным температурным коэффициентом); тепловая защита механизмов; климатическая классификация HFF (1985–06).
ISO 2409	EN ISO 2409	Краски и эмали. Способность адгезии.
–	EN ISO 3743–2	Определение уровня звуковой мощности. Незначительные устраняемые источники шума. Технический метод. Часть 2: Помещения со звукопоглощением.
–	EN ISO 4871	Определение и проверка шумов, создаваемых механизмами и оборудованием.
–	EN ISO 11203	Шум, создаваемый механизмами и оборудованием. Определение звукового давления на уровне органов слуха оператора (излучение шума). Вычисления на основе уровня звуковой мощности.

Таблица даёт обзор стандартов, относящихся к разработке, производству и использованию электродвигателей. В данной главе рассматриваются не все стандарты.

IEC 60034

Стандарты IEC 60034 и IEC 60072 считаются основными стандартами. Далее следует краткое описание норм и правил, включенных в IEC 60034. Затем мы рассмотрим некоторые самые важные нормативные документы, касающиеся электродвигателей.

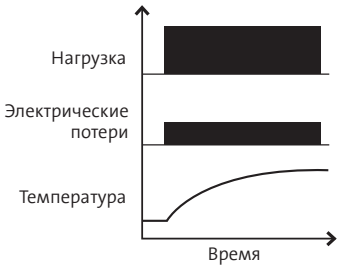
IEC 60034–1 Рабочие циклы и паспортные данные

Правильно подобранный типоразмер электродвигателя для определённого варианта применения может значительно сократить эксплуатационные затраты. Для того чтобы подобрать двигатель, необходимо тщательно проверить рабочий цикл электродвигателя.

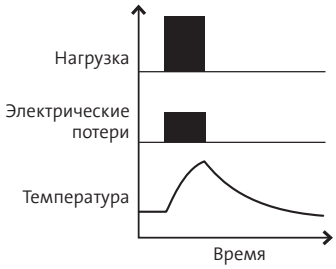
Большинство электродвигателей работают непрерывно с постоянной нагрузкой. Однако в некоторых случаях электродвигатель работает в повторно-кратковременном режиме. Если рабочий цикл электродвигателя включает в себя периоды, когда он не эксплуатируется с максимальной нагрузкой, можно подобрать электродвигатель меньшего типоразмера. Чтобы определить, возможен ли такой вариант, необходимо проверить тип рабочего цикла. Это подразумевает анализ целого ряда факторов:

- Продолжительность и порядок подачи нагрузки на электродвигатель.
- Пуск, электрическое торможение, периоды отсутствия нагрузки, покоя и простоя. Это означает, что тип рабочего цикла при определённом варианте применения может значительно влиять на рабочие параметры электродвигателя.

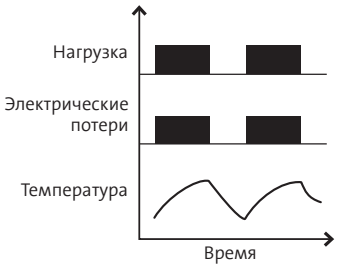
В стандарте IEC 60034–1 выделено десять типов рабочих циклов и определены их характеристики. Данные десять типов обозначаются символами, начиная с S1 до S10.



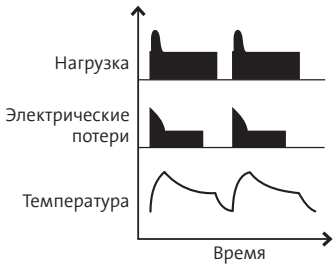
Тип рабочего цикла (нагрузки) S1 – непрерывный режим



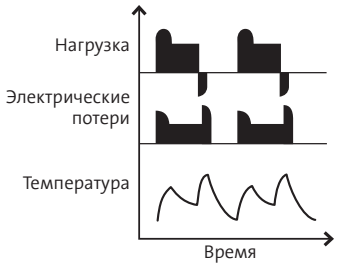
Тип рабочего цикла S2 – кратковременный режим работы



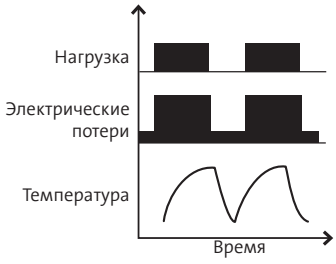
Тип рабочего цикла S3 – повторно-кратковременный режим работы



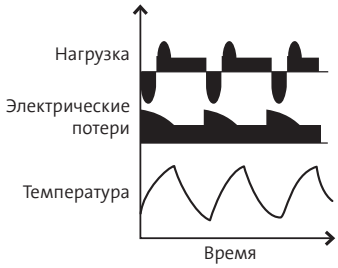
Тип рабочего цикла S4 – повторно-кратковременный режим работы с периодом пуска



Тип рабочего цикла S5 – повторно-кратковременный режим работы с периодом электрического торможения



Тип рабочего цикла S6 – непрерывный режим с периодической нагрузкой

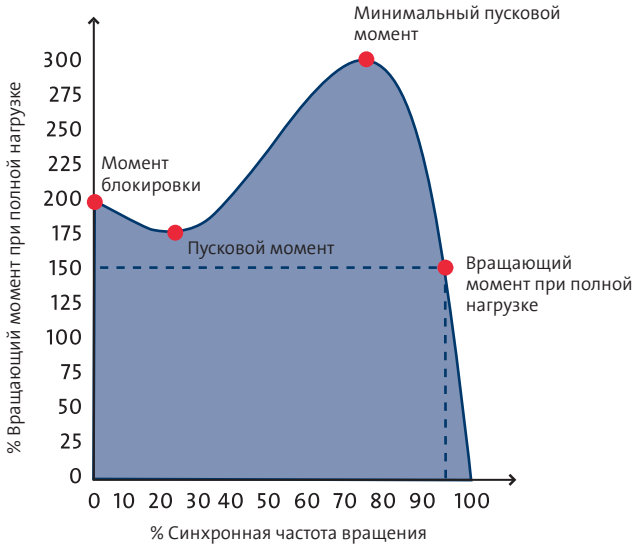


Тип рабочего цикла S7 – непрерывный режим с периодической нагрузкой и периодом электрического торможения

Допустимые отклонения электрических параметров по IEC 60034–1

Допустимые отклонения электрических параметров включают в себя допустимые отклонения для КПД, коэффициента мощности, частоты вращения, момента при заторможенном роторе, максимального вращающего момента, тока при заторможенном роторе и момента инерции.

Параметр	Допустимое отклонение
КПД	
Механизмы с P < 50 кВт	–15 % (1– $\eta_{двигат.}$)
Механизмы с P > 50 кВт	–10 % (1– $\eta_{двигат.}$)
Коэффициент мощности	–1/6 (косинус фи)
	(Мин. 0,02; Макс. 0,07)
Скольжение	
Механизмы с P < 1 кВт	+/– 30 %
Механизмы с P > 1 кВт	+/– 20 %
Пусковой момент	–15 %, +25 % от гарантированного момента
Пусковой ток	+20 %
Минимальный пусковой момент	Для электродвигателей Grundfos не указывается.
	Пусковой момент определяет минимальный пусковой момент.
	Пусковой момент является минимальным моментом для однофазных и трёхфазных электродвигателей MG и MMG во время их разгона.
	Минимальный пусковой момент для электродвигателей с переключением полюсов (двигатели Даландера) меньше пускового
Момент блокировки	–10 % от гарантированного момента, если момент блокировки > 1,5 вращающего момента при максимальной нагрузке



Частота вращения/характеристика изменения крутящего момента для двигателя переменного тока. Допустимые отклонения указаны в IEC 60034–1

Изменения напряжения и частоты тока во время эксплуатации в соответствии со стандартами IEC 60034–1 и IEC 60038

При отклонении фактического напряжения от номинального увеличение температуры двигателя вполне допустимо. Электродвигатель должен основное время работы находиться в зоне A (см. рисунок справа), при этом не обязательно, чтобы его работа полностью совпадала с рабочими характеристиками, указанными для номинального напряжения и частоты, здесь возможны некоторые отклонения. Температура может быть выше, чем при номинальном напряжении и частоте во время эксплуатации на границе зоны A. Если рабочие характеристики электродвигателя находятся в зоне B, повышение температуры зачастую превышает допустимый порог для класса B нагревостойкости. Электродвигатели Grundfos могут работать на границе зоны B без каких-либо повреждений, но срок службы электродвигателя при этом уменьшается. Не рекомендуется эксплуатировать двигатель на границе зоны B продолжительное время.

IEC 60034–1 Перегрузка по току

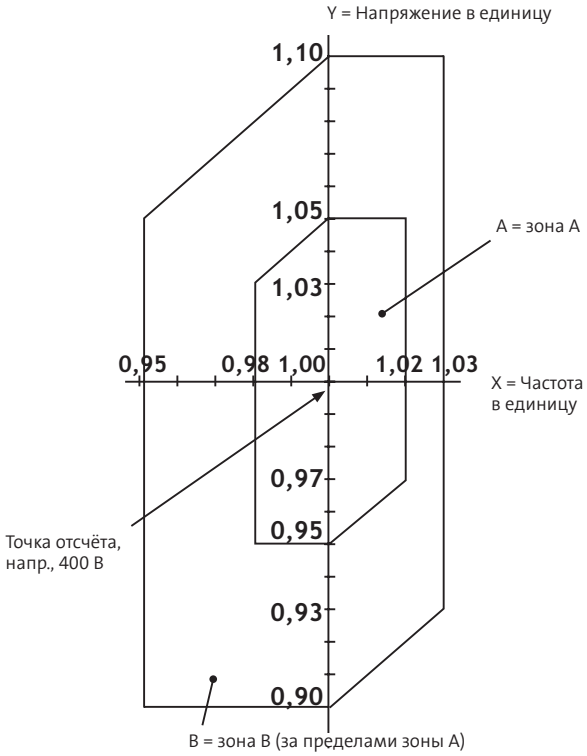
Трёхфазные электродвигатели переменного тока мощностью до 315 кВт с номинальным напряжением до 1000 В должны выдерживать перегрузки по току, которые создаются при прохождении через них в течение 2 минут тока, в 1,5 раза превышающего номинальное значение. Для однофазных или трёхфазных электродвигателей, номинальная мощность которых превышает 315 кВт, перегрузки по току не оговариваются.

IEC 60034–1 Максимальный вращающий момент

Независимо от конструкции электродвигателя и типа рабочего цикла, электродвигатель должен выдерживать вращающий момент, на 60 % превышающий вращающий момент при полной нагрузке, в течение 15 секунд без остановок или значительного изменения частоты вращения (с постепенным увеличением вращающего момента). В то же время напряжение и частота остаются прежними (номинальные значения).

IEC 60034–1 Заводские испытания

В процессе производства выполняются базовые тесты. Испытание на безопасность выполняется по официальным требованиям. Существует два типа испытаний на безопасность: испытание на электрическую прочность и испытание заземления.



Изменения напряжения и частоты во время эксплуатации в соответствии с Европейскими стандартами IEC 60034–1 и IEC 60038

Сетевое напряжение в соответствии с IEC 600038	
50 Гц	60 Гц
230 В ± 10 %	–
400 В ± 10 %	–
690 В ± 10 %	–
–	460 В ± 10 %

Примеры диапазонов номинального напряжения для электродвигателей Grundfos	
50 Гц	60 Гц
220–240 В ± 5 %	220–277 В ± 5 %
380–415 В ± 5 %	380–440 В ± 5 %
380–415 В ± 5 %	380–480 В ± 5 %
660–690 В ± 5 %	660–690 В ± 5 %

IEC 60034–1 Испытание на электрическую прочность

Основная цель испытаний на электрическую прочность заключается в проверке пригодности изоляции. Для этого подаётся высокое напряжение (переменный ток частотой в 50 Гц или 60 Гц) между всеми фазами и корпусом, затем измеряется ток утечки.

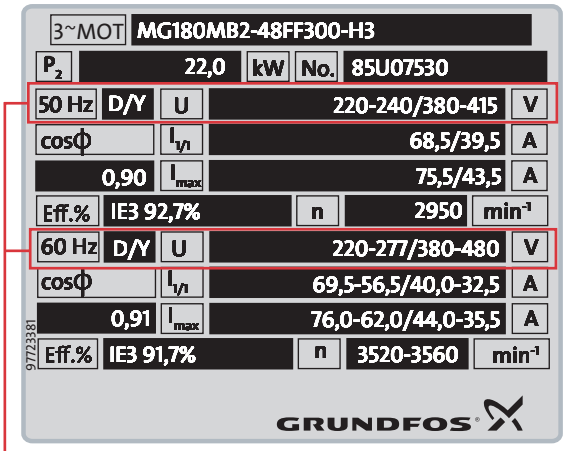
В соответствии со стандартом испытательное напряжение для электродвигателей с P_2 < 10 000 кВт должно быть:

$$1000\ В + 2 \cdot U$$

(U – максимальное номинальное напряжение электродвигателя) минимум 1500 В в течение 1 минуты.

В серийном производстве электродвигателей мощностью до 5 кВт одноминутные испытания можно заменять односекундными испытаниями, в которых испытательное напряжение увеличивается ещё на 20 %.

Испытание заземления
Основная цель испытания заземления состоит в том, чтобы проверить клеммное соединение заземления с корпусом. Сопротивление не должно превышать 0,1 Ом.



Номинальное напряжение электродвигателя

IEC 60034–2 Стандарты на КПД

Существует несколько принятых во всём мире стандартов для испытаний машин с электроприводом. Для индукционных электродвигателей основными являются следующие: Стандарт 112 IEEE, JEC 37 (для Японии) и IEC 60034–2. Величины КПД, полученные в результате проведения испытаний по различным стандартам, отличаются друг от друга несколькими процентами.

$$\eta = \frac{\text{питание вкл.}}{\text{питание откл.}} = 1 - \frac{\text{общие потери}}{\text{питание вкл.}}$$

Потери в индукционном электродвигателе распределяются следующим образом:

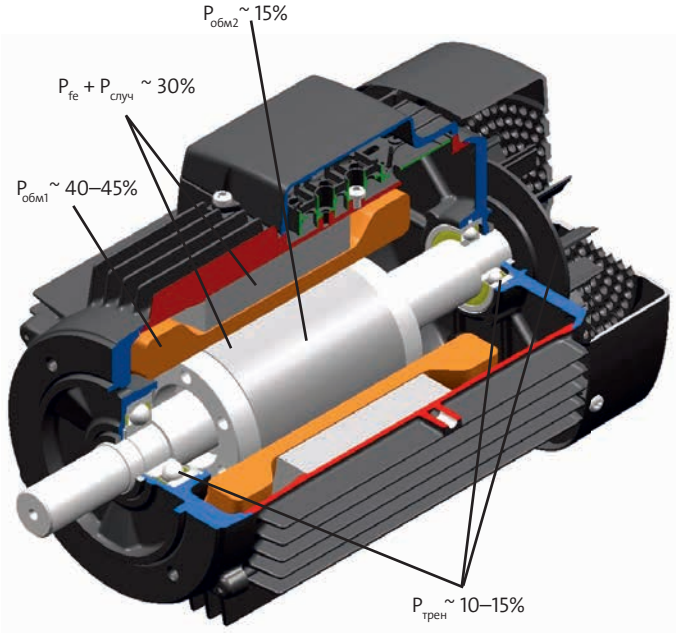
1. Потери в обмотке статора $P_{обм1}$ — приблизительно 40–45 %
2. Потери в обмотке ротора $P_{обм2}$ — приблизительно 15 %
3. Потери на трение $P_{трен}$ — приблизительно 10–15 %
4. Потери в материалах P_{fe} — приблизительно 20 %
5. Случайные потери $P_{случ}$ — приблизительно 10 %

Основное отличие стандартов состоит в том, как в них учитывается пятый компонент потерь — случайные потери ($P_{случ}$), потери на дополнительную нагрузку.

Стандарты испытаний электродвигателей

Испытания стандартных электродвигателей описаны в IEC 60034–2. В следующих абзацах представлены два метода испытаний электродвигателей: прямой метод и косвенный.

Эти два метода отличаются друг от друга только тем, как в них устанавливается КПД электродвигателя. IEC 60034 используется для промышленных электродвигателей. Требования к бытовой технике перечислены в IEC 60335, в этом стандарте требования к электродвигателям более жесткие. Кроме испытаний стандартных электродвигателей, GRUNDFOS выполняет также испытания изделий, в которых электродвигацтель и насос объединены в один узел. В принципе, тепловые испытания для таких изделий те же, но они проводятся по другим стандартам. Например, небольшие циркуляционные насосы испытываются в соответствии с IEC 60335–2–51.



Распределение потерь в индукционном электродвигателе

Прямой метод испытания электродвигателей (IEC 60034–2)

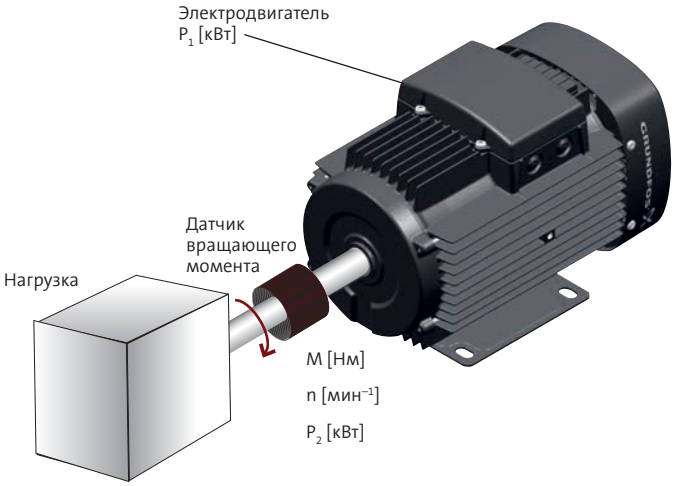
Самым популярным методом испытаний небольших электродвигателей (< 45 кВт) является прямой метод, когда измеряются как потребляемая мощность (P_1), так и выходная мощность на валу (P_2). Выходная мощность измеряется с помощью датчика вращающего момента, который устанавливается между электродвигателем и нагрузкой. Датчик вращающего момента измеряет выходной вращающий момент (M) электродвигателя и частоту вращения (n).

Затем выходная мощность вычисляется по следующему уравнению:

$$P_2 = M \cdot \omega = M \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$

КПД электродвигателя можно рассчитать с помощью следующего уравнения:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \ (\%)$$



Измерения с использованием прямого метода

Косвенный метод анализа электродвигателей (IEC 60034–2)

Косвенный метод используется только для трёхфазных электродвигателей. В данном методе датчик вращающего момента не используется. Это значит, что для определения КПД электродвигателя необходимо вычислять его выходную мощность на валу.

Для того чтобы определить выходную мощность, необходимо знать потери в электродвигателе, так как сумма потерь и выходной мощности равна потребляемой мощности.

Выделяют два типа потерь в электродвигателе: постоянные потери и потери, зависящие от нагрузки.

Постоянные потери

Постоянные потери включают в себя потери в материале ($P_{мат}$) и потери на трение ($P_{трен}$). Постоянные потери определяются с помощью испытаний электродвигателя без нагрузки.

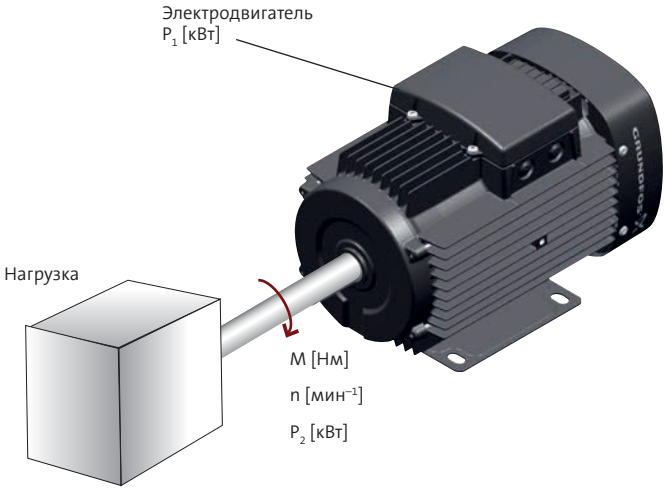
Потери, зависящие от нагрузки

Потери, зависящие от нагрузки, — это активные (омические) потери статора ($P_{обм1}$), омические потери ротора ($P_{обм2}$) и случайные потери ($P_{случ}$). Потери, зависящие от нагрузки, вычисляются с использованием различных нагрузок.

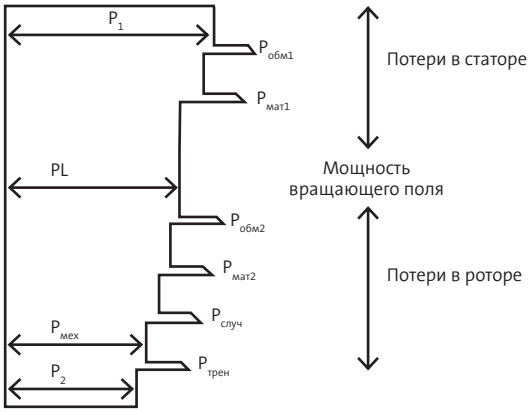
КПД электродвигателя вычисляется с помощью следующего уравнения:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum потерь}{P_1} = \frac{P_1 - P_{обм1} - P_{обм2} - P_{случ} - P_{мат} - P_{трен}}{P_1} \; [\%]$$

Косвенный метод менее надёжен по сравнению с прямым методом, так как в нём предполагается использование допущений (напр., что $P_{случ}$ составляет 0,5 % от P_1), которые не всегда отражают реальную ситуацию. Тем не менее, косвенный метод используется очень широко, благодаря тому, что он не требует сложных измерений.



Измерения с помощью косвенного метода



Схема, отображающая потери в электродвигателе

IEC 60034–5 Уровни защиты электрооборудования (код IP)

Класс защиты электродвигателя соответствует стандарту IEC 60034–5. Класс защиты указывает на степень защищённости электродвигателя от попадания пыли и влаги. Класс защиты обозначается двумя буквами IP с последующими двумя цифрами.

Качество электродвигателей с уровнем защиты IP 44 абсолютно такое же, как электродвигателей с уровнем IP 55. Разница между двумя этими типами защиты состоит только в том, что электродвигатели класса IP 55 имеют сливные отверстия, через которые может выйти вода, попавшая в корпус статора. Поэтому электродвигатель класса IP 55 больше подходит для монтажа во влажной среде, чем электродвигатель класса IP 44.

IEC 60034–6 Методы охлаждения электродвигателей

Три самых популярных метода охлаждения электродвигателя имеют следующие обозначения, коды IC, в соответствии со стандартом IEC 60034–6: IC 411, IC 410 и IC 418.

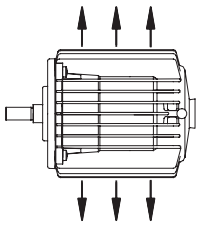
IC 410: Электродвигатель охлаждается свободной конвекцией.

IC 411: Электродвигатель охлаждается вентилятором, установленным на валу двигателя.

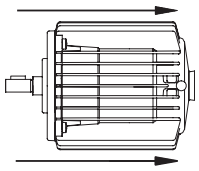
IC 418: Электродвигатель охлаждается потоком воздуха, поступающим от внешнего вентилятора.

Первая цифра	Вторая цифра
Защита от проникновения инородных тел	Защита от влаги
0 защита отсутствует	**0** защита отсутствует
1 электродвигатель защищен от проникновения объектов размером свыше 55 мм, например, руки	**1** электродвигатель защищен от вертикально падающих капель воды, например, конденсата
2 электродвигатель защищен от проникновения объектов размером более 25 мм, например, пальца	**2** электродвигатель защищен от вертикально и диагонально (под углом 15°) падающих капель воды
3 электродвигатель защищен от проникновения объектов размером более 12 мм, например, проводов, инструментов и т.д.	**3** электродвигатель защищен от водяных брызг, падающих под углом 60° по вертикали
4 электродвигатель защищен от проникновения объектов размером больше 1 мм, например, песок	**4** электродвигатель защищен от большого количества водяных брызг
5 электродвигатель защищен от проникновения пыли	**5** электродвигатель защищен от сильных водяных струй
6 электродвигатель полностью защищен от пыли	**6** электродвигатель защищен от временного затопления
	7 защита электродвигателя при погружении в воду на глубину от 15 см до 1 мм, на период, определенный производителем
	8 защита электродвигателя при продолжительном погружении в воду, на время и глубину, определенные производителем

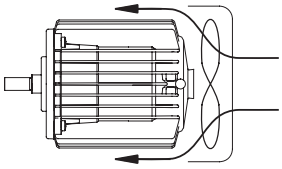
Класс защиты обозначается двумя буквами IP, далее идут две цифры, например, IP 55



IC 410



IC 418



IC 411

На иллюстрациях представлены виды охлаждения электродвигателей Grundfos

IEC 60034–7 Варианты монтажа и типы конструкции (код IM)

Варианты монтажа

Выделяют три основных типа стандартных электродвигателей: электродвигатель на лапах, электродвигатель с фланцевым креплением с фланцем с резьбовыми отверстиями и электродвигатель с фланцевым креплением с фланцем со свободными отверстиями. Типы электродвигателей отличаются друг от друга только способами монтажа для различного применения.

Электродвигатель на лапах (основании)

Электродвигатели такого типа монтируются на специальном основании (лапах) с отверстиями. Это основание может быть частью самого двигателя (обычно чугунного) или крепиться отдельно (обычно это относится к электродвигателям с алюминиевым корпусом статора).

Электродвигатель с фланцем с резьбовыми отверстиями

Электродвигатели данного типа монтируются с помощью болтов, вкручиваемых во фланец на стороне присоединения привода. Во фланце имеются резьбовые отверстия стандартного размера, расположенные по кругу.

Электродвигатель с фланцем с отверстиями

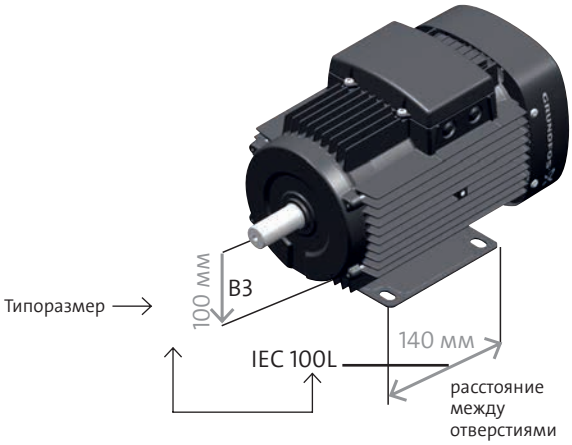
Электродвигатели данного типа монтируются с помощью болтов, установленных во фланец с отверстиями на стороне присоединения привода.

Сочетание фланца и основания

Приведённые выше типы электродвигателей можно комбинировать:

- горизонтально или вертикально;
- с различным направлением конца вала;
- с различным направлением основания.

Все сочетания описываются в типах монтажа и обозначаются кодами в соответствии с IEC 60034–7.



Электродвигатель на лапах – B3

Электродвигатель с фланцем с резьбовыми отверстиями – B14/V18

Электродвигатель с фланцем с отверстиями – B5/V1

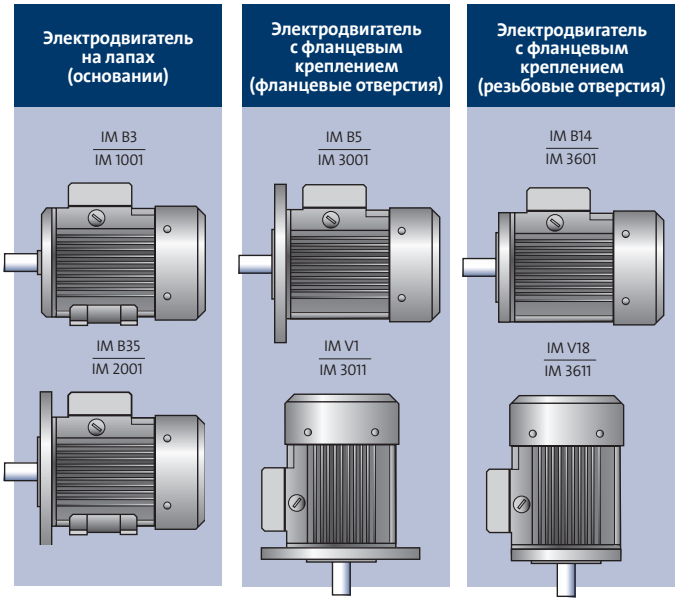
Сочетание фланца и основания – B35

Типы монтажа стандартных электродвигателей Grundfos

Стандартные электродвигатели Grundfos являются полностью закрытыми индукционными двигателями с коротко замкнутым ротором, размеры которых соответствуют стандарту IEC 60072–1. Grundfos использует три типа монтажа, которые представлены на иллюстрации справа. Электродвигатели имеют обозначения согласно двум различным кодам IEC 60034–7:

- Код I IEC 60034–7 с соответствующим обозначением двигателя IM (International Mounting), которое заменяет ране существующий DIN 42590;
- Код II IEC 60034–7.

Grundfos использует код 1 в документации на двигатели переменного тока, что является общепринятой практикой.



Варианты монтажа

IEC 60034–8 Направление вращения и обозначение клемм

Трёхфазные электродвигатели

Обмотки соединяются по схеме «звезда» (Y) или «треугольник» (Δ) в соответствии с IEC 60034–8. Для этого электропроводка клеммной коробки монтируется, как это показано на схеме электрических соединений справа. Обозначения клемм в клеммной коробке также определены в IEC 60034–8. Соединение по схеме «звезда» (Y)

Соединение по схеме «звезда» (Y)

можно получить, замкнув клеммы W2, U2 и V2 и присоединив к сети W1, U1 и V1

Ток: $I_{фаз} = I_{сети}$

Напряжение: $U_{фаз} = U_{сети} / \sqrt{3}$

Соединение по схеме «треугольник» (Δ)

Соединение по схеме «треугольник» (Δ) можно получить подсоединением конца одной фазы к другой.

Ток: $I_{фаз} = I_{сети} / \sqrt{3}$

Напряжение: $U_{фаз} = U_{сети}$

Направление вращения для вала электродвигателя определено в IEC 60034–8 как CW (по часовой стрелке) или как CCW (против часовой стрелки), если смотреть со стороны вала.

Направление вращения можно изменить в клеммной коробке. Для трёхфазных электродвигателей это осуществляется перестановкой двух проводов, напр.: L1 и L2. Для однофазных электродвигателей всегда необходимо сверяться со схемой электрических соединений.

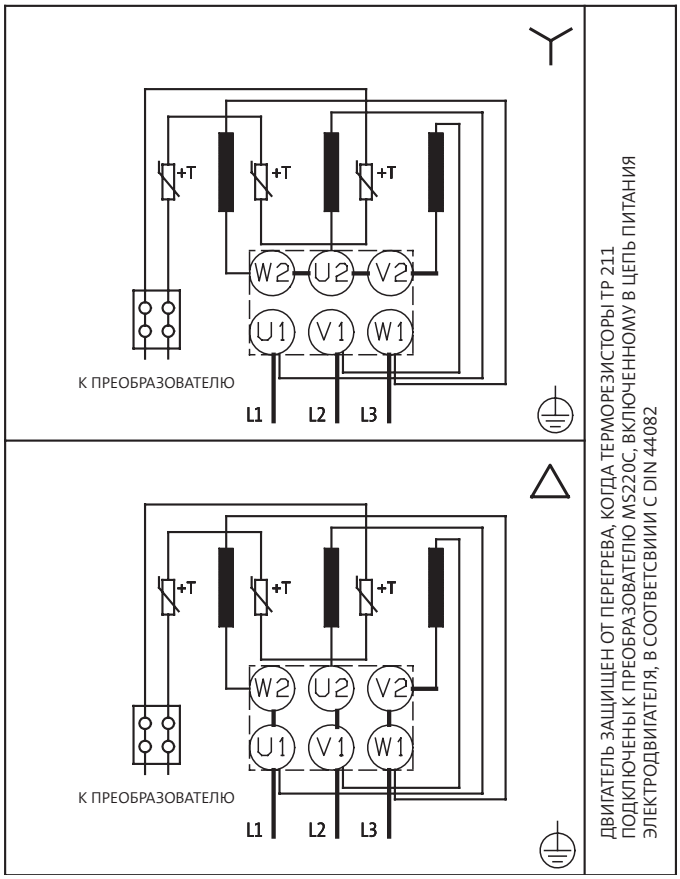
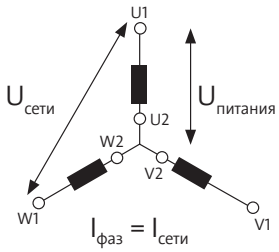
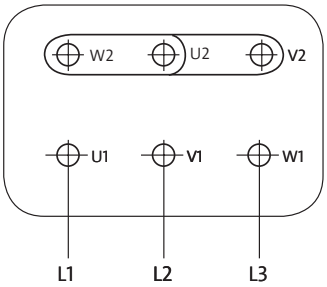
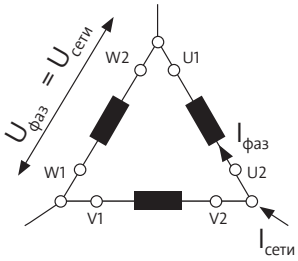
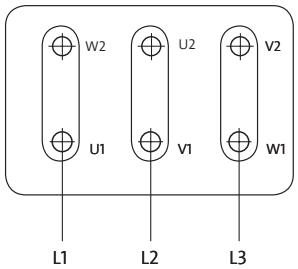


Схема подключения









IEC 60034–9 Уровень шума

Допустимые уровни шума электродвигателей указаны в IEC 60034–9. Уровень шума электродвигателей Grundfos значительно ниже предельных значений стандарта.

IEC 60034–11 Тепловая защита (TP)

В соответствии со стандартом IEC 60034–11, уровень тепловой защиты электродвигателя должен быть обозначен на его фирменной табличке. Grundfos использует два обозначения TP для стандартных электродвигателей (TP 111 и TP 211). Электродвигатели TP 111 следует всегда подключать к реле защиты от перегрузки. Электродвигатель TP 211 в подобной защите не нуждается.

Обозначение	Техническая перегрузка и ее варианты (1-я цифра)	Количество уровней и функциональная область (2-я цифра)	Категория 1 (3-я цифра)
TP 111	Только медленно (постоянная перегрузка)	1 уровень при отключении	1
TP 112			2
TP 121		2 уровня при аварийном сигнале и отключении	1
TP 122			2
TP 211	Медленно и быстро (постоянная перегрузка, блокировка)	1 уровень при отключении	1
TP 212			2
TP 221		2 уровня при аварийном сигнале и отключении	1
TP 222			2
TP 311	Только быстро (блокировка)	1 уровень при отключении	1
TP 321			2

Уровни термической защиты электродвигателя. Категория 2 допускает более высокие температуры, чем категория 1.

IEC 60034–14 Предельные значения вибрации

Допустимые значения вибрации для электродвигателей указаны в IEC 60034–14. Все стандартные электродвигатели Grundfos соответствуют стандартам и являются электродвигателями класса A по вибрации.

В таблице ниже приведены максимальные значения вибрации относительно смещения, частоты вращения и ускорения (среднеквадратического) для различных типоразмеров, т.е. H (расстояние от основания до оси вала).

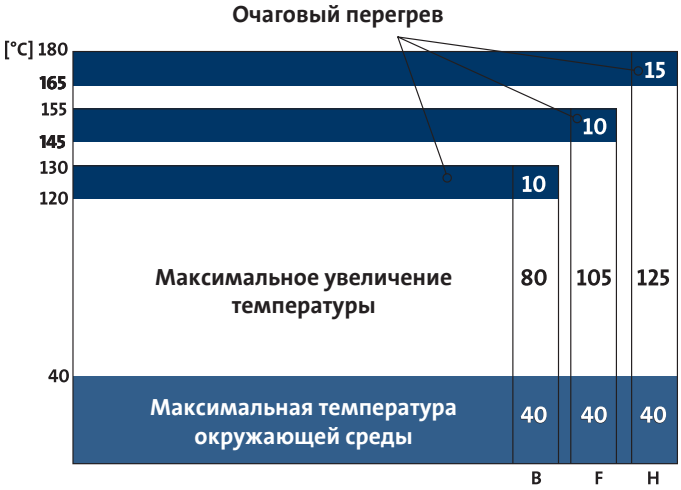
Типоразмер [мм]										
Класс вибрации	Высота вала, мм	56 ≤ H ≤ 132			132 < H ≤ 280			H > 280		
	Монтаж	Смещение [ηм]	Частота вращения [мм/с]	Ускорение [м/с]	Смещение [ηм]	Частота вращения [мм/с]	Ускорение [м/с]	Смещение [ηм]	Частота вращения [мм/с]	Ускорение [м/с]
A	Подвесной	25	1,6	2,5	35	2,2	3,5	45	2,8	4,4
	Жесткий	21	1,3	2,0	29	1,8	2,8	37	2,3	3,6
B	Подвесной	11	0,7	1,1	18	1,1	1,7	29	1,8	2,8
	Жесткий	–	–	–	14	0,9	1,4	24	1,5	2,4

Все валы динамически отбалансированы.

IEC 62114 Классы электрической изоляции – Классификация по нагревостойкости

Классы изоляции (классы нагревостойкости) и предельное увеличение температуры (ΔT) указаны в стандарте IEC 62114. Электродвигатели Grundfos IE3 предназначены для работы при температуре окружающей среды до +50 °C, а двигатели IE5 – для работы при температуре окружающей среды до +60 °C. Максимально допустимое увеличение температуры при номинальной нагрузке и напряжении соответствует классу B. Указанные данные соответствуют номинальному режиму эксплуатации.

При изменении условий эксплуатации и при другом напряжении питания предельные значения температуры увеличиваются.



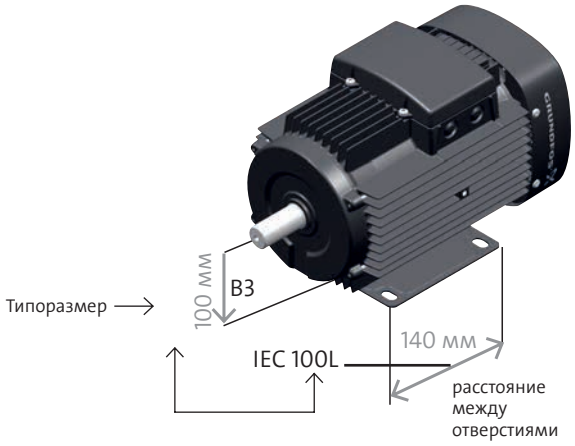
Класс	Максимальная температура окружающей среды (°C)	Максимальное увеличение температуры (K)	Очаговый перегрев (K)	Максимальная температура обмоток (T_{max}) (°C)
B	40	80	10	130
F	40	105	10	155
H	40	125	15	180

Различные классы изоляции и возможное увеличение температуры для различных классов при номинальном напряжении нагрузке

Конструкция IEC/EN в соответствии с IEC 60072 и EN 50347

Конструкция электродвигателя характеризуется несколькими параметрами. Основным из них является типоразмер, который дополняется информацией о присоединительных размерах.

Типоразмер указывается и для исполнений IEC, и для NEMA и представляет собой высоту от нижней части основания до горизонтальной оси вала (для электродвигателей без основания — это высота, которая могла бы быть, если бы электродвигатель был оборудован таким основанием). Ряд типоразмеров основан на данных для электродвигателей типа B3 (электродвигателя на лапах). При работе с другими кодами IM, например, кодами B5, типоразмер обозначает размер электродвигателя, который был бы у данного двигателя, если бы он был оборудован основанием. Буквенный код, который указывается после типоразмера, обозначает расстояние между отверстиями в основании (S (small-маленькое), M (medium-среднее) или L (large-большое)).



	IEC	NEMA
Типо-размер	Высота в мм Затем указывается буква, обозначающая расстояние между отверстиями вдоль основания для определённого электродвигателя. S = small — маленькое M = medium — среднее L = large — большое	Для небольших электродвигателей (прибл. до 1 л.с.) высота в дюймах x 16 Для электродвигателей среднего размера (прибл. 1 л.с. и больше) высота в дюймах x 4 Затем указывается одна или две цифры на основании условного обозначения расстояния между отверстиями вдоль основания для определённого электродвигателя.
Фланец и др.	Диаметр конца вала в мм FT = Фланец с резьбо-выми отверстиями FF = Фланец с отверстиями Далее указывается диаметр отверстий в мм	A = Промышленные машины постоянного тока C = «C-образный» резьбовой фланец T = Стандартное исполнение (в NEMA есть и другие буквенные обозначения)
Пример 1	IEC: 112 M 28	NEMA: 143T
	Электродвигатель на лапах с высотой до средней линии 112 мм. Основание в «среднем» исполнении 28 мм конца вала	Электродвигатель на лапах с высотой до средней линии 3,5” (14/4 = 3,5). Основание в исполнении «3».
Пример 2	IEC: 112–28 FF 215	NEMA: 143TC
	Типоразмер 112, 28 мм конец вала. Фланец со свободными отверстиями и окружностью центров отверстий = 215 мм.	Типоразмер 143. «C-образный» резьбовой фланец.

Основные принципы обозначения электродвигателей IEC и NEMA

Для обозначения различных сторон электродвигателей используются следующие символы:

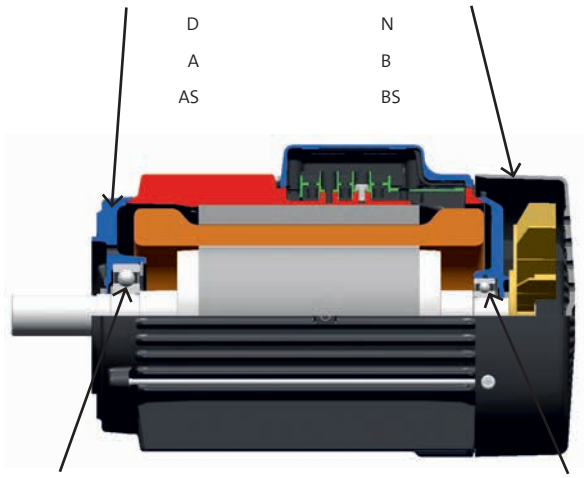
D или DE, что означает «Drive End» (сторона привода)

N или NDE используется для обозначения стороны присоединения вентилятора, т.е. «Non-Drive End» (не приводная сторона).

В некоторых случаях используются следующие немецкие обозначения:

A или AS — для стороны привода: «Antriebsseite»
B или BS — для не приводной стороны (стороны присоединения вентилятора): «Belüftungsseite».

Размеры и допустимые отклонения электродвигателя обычно указываются в каталогах поставщика, спецификациях, или в стандартах IEC 60072–1 и EN 50347.



Обозначения для стороны присоединения привода и не приводной стороны электродвигателя

Обратите внимание, что в IEC и NEMA не указываются какие-либо технические требования к потребляемой мощности или выходной мощности на валу для отдельных типоразмеров. Тем не менее, на рынке практика обозначения такого соотношения нашла широкое применение. Данные приводятся в каталогах многих поставщиков.

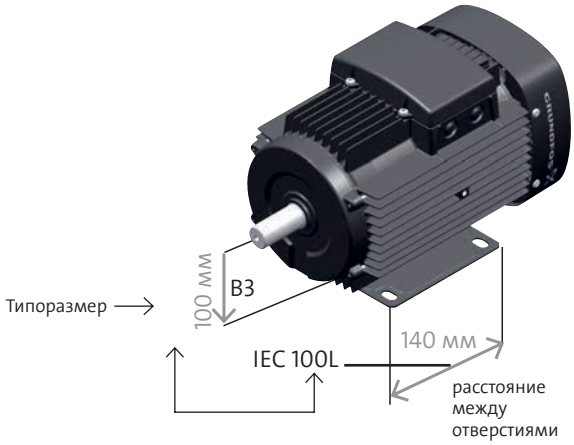
EC 60072 Обозначения и размеры
В данном стандарте указаны стандартизованные наружные размеры и допустимые отклонения для типоразмеров с 56 по 400. В нем отсутсвует связь между типоразмером двигателя и его мощностью.

EN 50347
В данном стандарте приведены ряды наружных размеров и допустимых отклонений по IEC 60072–1. Кроме того, в него включено соотношение между выходной мощностью и типоразмерами с 56 по 315M и размером фланца с 65 до 740.

Соотношение между типоразмером, концом вала, мощностью электродвигателя и типом и размером фланца

На рисунке приведён обзор соотношений между типоразмером, концом вала, мощностью электродвигателя и типом и размером фланца. Для электродвигателей типоразмеров с 56 по 315M это соотношение указано в EN 50347. Но ни один стандарт не приводит такое соотношение для электродвигателей типоразмера 315L и больше. Тем не менее, различные производители электродвигателей используют соотношения, приведенные в таблице ниже.

Фланцы и концы вала соответствуют стандарту EN 50347. Некоторые насосы снабжены муфтами, для которых необходим гладкий и ровный конец вала электродвигателя или специальное удлинение вала, которое не указывается в стандартах.



1	2		3				4	
Типо-размер	Диаметр конца вала		Номинальная мощность				Размер фланца	
	2900 мин$^{-1}$	1450, 970, 720 мин$^{-1}$	2900 мин$^{-1}$	1450 мин$^{-1}$	970 мин$^{-1}$	720 мин$^{-1}$	С фланцем с отверстиями	С фланцем с резьбовыми отверстиями
	мм	мм	(кВт)	(кВт)	(кВт)	(кВт)	(FF)	(FT)
56	9	9	0,09; 0,12	0,06; 0,09	–	–	FF100	FT65
63	11	11	0,18; 0,25	0,12; 0,18	–	–	FF115	FT75
71	14	14	0,37; 0,55	0,25; 0,37	–	–	FF130	FT85
80	19	19	0,75; 1,1	0,55; 0,75	37; 0,55	–	FF165	FT100
90S	24	24	1,5	1,1	0,75	0,37	FF165	FT115
90L	24	24	2,2	1,5	1,1	0,55	FF165	FT115
100L	28	28	3	2,2; 3	1,5	0,75; 1,1	FF215	FT130
112M	28	28	4	4	2,2	1,5	FF215	FT130
132S	38	38	5,5; 7,5	5,5	3	2,2	FF265	FT165
132M	–	38	–	7,5	4; 5,5	3	FF265	FT165
160M	42	42	11; 15	11	7,5	4; 5,5	FF300	FT215
160L	42	42	18,5	15	11	7,5	FF300	FT215
180M	48	48	22	18,5	–	–	FF300	–
180L	–	48	–	22	15	11	FF300	–
200L	55	55	30; 37	30	8,5; 22	15	FF350	–
225S	–	60		37	30	18,5	FF400	–
225M	55	60	45	45	–	22	FF400	–
250M	60	65	55	55	37	30	FF500	–
280S	65	75	75	75	45	37	FF500	–
280M	65	75	90	90	55	45	FF500	–
315S	65	80	110	110	75	55	FF600	–
315M	65	80	132	132	90	75	FF600	–
315L	65	80	160; 200; 250	–	–	–	FF600	–
355	75	100	315; 355; 400; 450; 500	315; 355; 400; 450; 500	–	–	FF740	
400	80	100	560; 630; 710	560; 630; 710	–	–	FF840	–
450	90	120	800; 900; 1000	800; 900; 1000	–	–	FF940	–

Буквенные обозначения и габаритные чертежи

В стандарте EN 50347 для обозначения электродвигателя и его размеров в чертежах используется следующая маркировка. Символы обозначают размеры электродвигателя. Дополнительные размеры отмечены (*).

IEC-норм.	DIN-норм.	Описание
*A	b	расстояние между осевыми линиями направляющих отверстий (вид с торца)
AA	n	ширина со стороны основания (вид с торца)
AB	f	габаритный размер перпендикулярно основанию (вид с торца)
AC	g	диаметр электродвигателя
AD	p1	расстояние между осевой линией приводного механизма до наружной поверхности клеммной коробки или до другой самой выдающейся точки (элемента), установленной на боковой поверхности электродвигателя
*B	a	расстояние между осевыми линиями направляющих отверстий (вид сбоку)
BA	m	длина основания (вид сбоку)
BB	e	габаритный размер перпендикулярно основанию (вид сбоку)
*C	w1	расстояние от фланца на валу на DE до осевых линий монтажных отверстий ближайшего основания (лап)
CA		расстояние от фланца на валу на NDE до осевых линий монтажных отверстий ближайшего основания (лап)
*CB		закругляющая кромка бурта вала на DE
CC		закругляющая кромка бурта вала на NDE
*D	d	диаметр вала на стороне привода DE
DA		диаметр вала на стороне без привода NDE
DB	d6	размер резьбы в центральном отверстии на DE
DC		размер резьбы в центральном отверстии на NDE
*E	l	длина вала от бурта на DE
EA		длина вала от бурта на NDE
*EB		длина шпонки на DE
EC		длина шпонки на NDE
*ED		расстояние от бурта вала на DE до ближайшего конца шпоночной канавки
EE		расстояние от бурта вала на NDE до ближайшего конца шпоночной канавки
*F	u	ширина шпоночной канавки или шпонки вала на DE
FA		ширина шпоночной канавки или шпонки вала на NDE
*FB		закругляющая кромка в нижней части шпоночной канавки на DE
FC		закругляющая кромка в нижней части шпоночной канавки на NDE
G		расстояние от нижней части шпоночной канавки до противоположной поверхности вала на DE

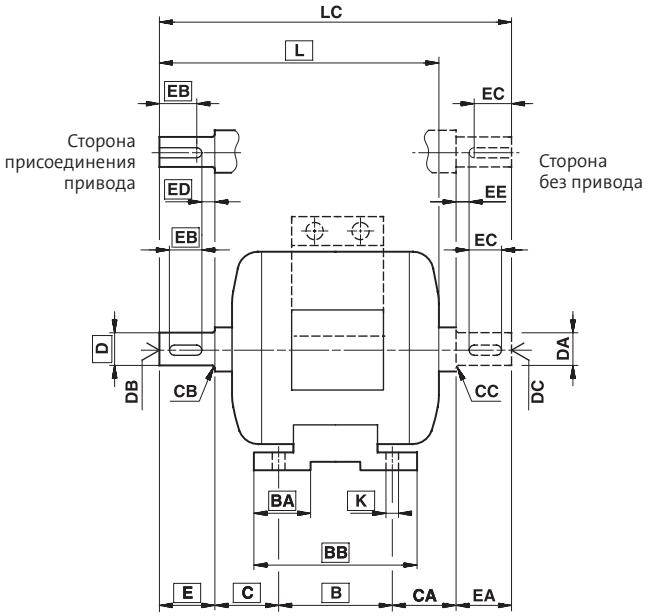
IEC-норм.	DIN-норм.	Описание
*GA	t	расстояние от верхней части шпоночной канавки до противоположной поверхности вала на DE
GB		расстояние от нижней части шпоночной канавки до противоположной поверхности вала на NDE
GC		расстояние от верхней части шпоночной канавки до противоположной поверхности вала на NDE
*GD		толщина шпонки вала на DE
*GE		глубина шпоночной канавки в выпуклой части удлинителя вала на DE
GF		толщина шпонки вала на NDE
GH		глубина шпоночной канавки в выпуклой части удлинителя вала на NDE
*H	h	расстояние от осевой линии вала до нижней части основания (основной размер)
H’		расстояние от осевой линии вала до опорной поверхности — напр., от нижней части основания (лап) для моделей двигателей на лапах
HA	c	толщина основания (лап)
HC		расстояние от верхней точки горизонтального электродвигателя до нижней части основания (лап)
HD	p	расстояние от верхней точки проушины, клеммной коробки или другой самой выдающейся детали (элемента), установленной в верхней части электродвигателя до нижней части основания (лап)
HE		расстояние от опорной поверхности до самой нижней точки электродвигателя для моделей двигателей на лапах
*K	s	диаметр отверстий или ширина канавок в основании электродвигателя
L	k	общая длина электродвигателя с одним валом
LA	c1	толщина фланца
LB		расстояние от опорной поверхности фланца до конца электродвигателя
LC		общая длина механизма, если вал на стороне без привода NDE
*M	e1	диаметр окружностей центров направляющих отверстий
*N	b1	диаметр втулки
*P	a1	наружный диаметр фланца или, в случае некругового контура, двойной максимальный радиальный размер
*R		расстояние от опорной поверхности фланца до бурта на валу
*S	s1	диаметр направляющих отверстий в монтажном фланце или номинальный диаметр резьбы
*T	f1	высота втулки

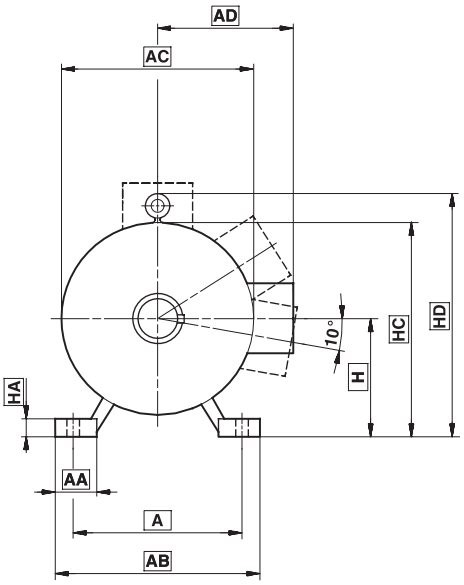
Примечание 1

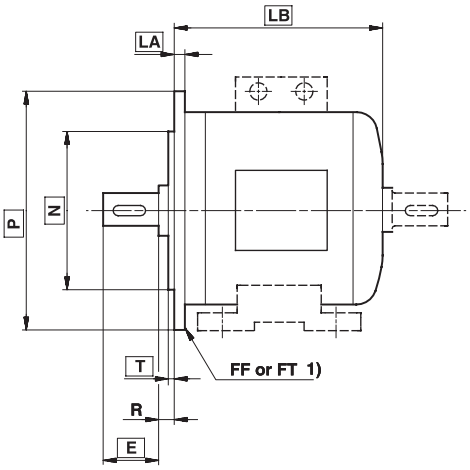
Символы, указанные в таблице, включают все буквенные обозначения, перечисленные в IEC 60072–1, дополненные буквенными обозначениями, необходимыми по стандарту EN.

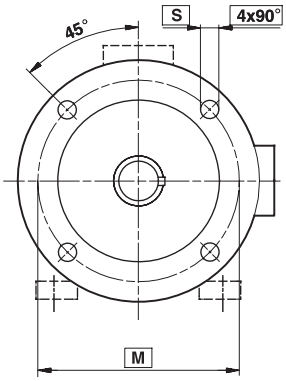
R: данный размер, как правило, равен 0, поэтому в документах и чертежах его часто не указывают.

Габаритный чертёж в соответствии с EN 50347



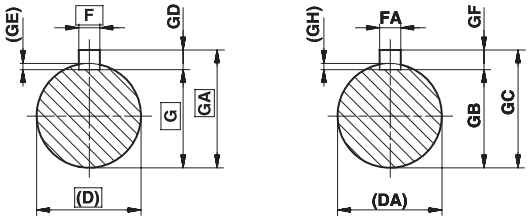


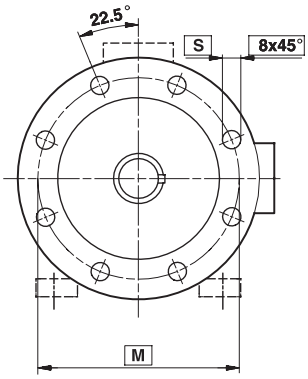




FF ≤ 350

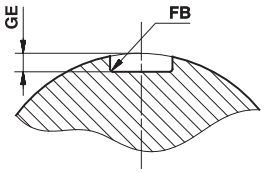
Типоразмер ≤ 200



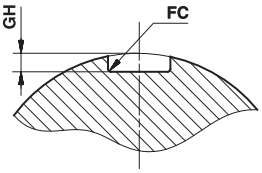


FF > 350

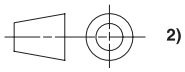
Типоразмер > 200



Сторона присоединения привода



Сторона без привода

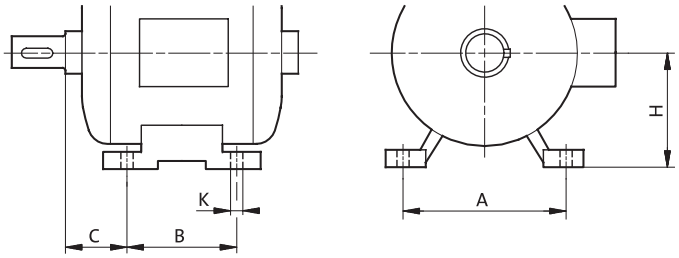


Определение размеров электродвигателей Grundfos выполняется в соответствии со стандартом.

Размеры основания электродвигателя

Размеры основания всех электродвигателей соответствуют стандарту EN 50347.

Далее приведены размеры для электродвигателей, у которых высота конца вала составляет от 56 мм до 450 мм.

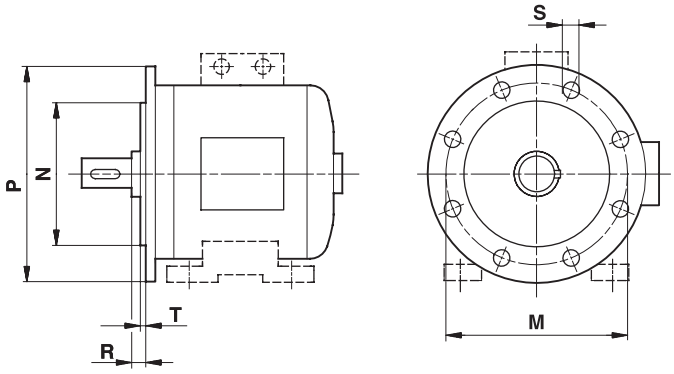


Типоразмер	H	A	B	C	K	Резьба
	Номин., мм	мм	мм	мм	Номин., мм	
56M	56	90	71	36	5,8	M5
63M	63	100	80	40	7	M6
71M	71	112	90	45	7	M6
80M	80	125	100	50	10	M8
90S	90	140	100	56	10	M8
90L	90	140	125	56	10	M8
100L	100	160	140	63	12	M10
112M	112	190	140	70	12	M10
132S	132	216	140	89	12	M10
132M	132	216	178	89	12	M10
160M	160	254	210	108	14,5	M12
160L	160	254	254	108	14,5	M12
180M	180	279	241	121	14,5	M12
180L	180	279	279	121	14,5	M12
200M	200	318	267	133	18,5	M16
200L	200	318	305	133	18,5	M16
225S	225	356	286	149	18,5	M16
225M	225	356	311	149	18,5	M16
250S	250	406	311	168	24	M20
250M	250	406	349	168	24	M20
280S	280	457	368	190	24	M20
280M	280	457	419	190	24	M20
315S	315	508	406	216	28	M24
315M	315	508	457	216	28	M24
315	315	560	630	180	26	M24
355	355	630	800	200	33	M24
400	400	710	900	224	33	M24
450	450	800	1000	250	39	M24

Размеры фланцев с отверстиями и резьбовыми отверстиями

Размеры фланцев всех электродвигателей соответствуют стандарту EN 50347.

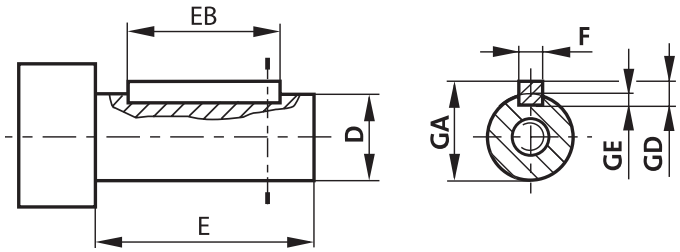
Для электродвигателей на лапах с фланцами (с отверстиями) должны быть указаны размеры A, B и C (размеры электродвигателя на лапах).



Типоразмер фланца FF или FT	M	N	P	R	Количество отверстий	S		T
	мм	мм	мм	мм		Отверстия (FF) мм	Резьбовые отв. (FT)	мм
65	65	50	80	0	4	5,8	M5	2,5
75	75	60	90	0	4	5,8	M5	2,5
85	85	70	105	0	4	7	M6	2,5
100	100	80	120	0	4	7	M6	3
115	115	95	140	0	4	10	M8	3
130	130	110	160	0	4	10	M8	3,5
165	165	130	200	0	4	12	M10	3,5
215	215	180	250	0	4	14,5	M12	4
265	265	230	300	0	4	14,5	M12	4
300	300	250	350	0	4	18,5	M16	5
350	350	300	400	0	4	18,5	M16	5
400	400	350	450	0	8	18,5	M16	5
500	500	450	550	0	8	18,5	M16	5
600	600	550	660	0	8	24	M20	6
740	740	680	800	0	8	24	M20	6
940	940	880	1000	0	8	28	M24	6
1080	1080	1000	1150	0	8	28	M24	6

Конец вала, размеры

Размеры концов вала для всех электродвигателей соответствуют стандарту EN 50347.



Типоразмер	Вал	
	Диаметр	
	Число оборотов, мин⁻¹	
	2900	1450, 970, 720
63M	11	11
71M	14	14
80M	19	19
90S 90L	24	24
100L	28	28
112M	28	
132S 132M	38	38
160M 160L	42	42
180M 180L	48	48
200L	55	55
225S 225M		60
250M	60	65
280S 280M	65	75
315S 315M	65	80
355	75	100
400	80	
450	90	120

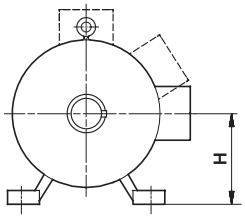
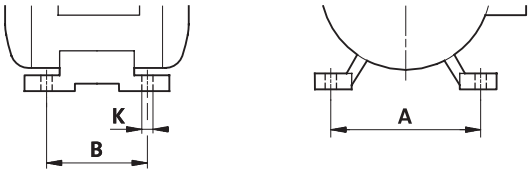
Вал		Шпонка			Шпоночная канавка			Резьба в центре
Диаметр (D)	Длина (E)	Длина (EB)	Ширина (F)	Длина (GD)	Ширина (F)	Глубина (GE)	(GA)	(DB)
Ном., мм	Ном., мм	Мин., мм	Ном., мм	Ном., мм	Ном., мм	Ном., мм	Ном., мм	Резьба
11	23	16	4	4	4	2.5	12.5	M4
14	30	22	5	5	5	3	16	M5
19	40	32	6	6	6	3.5	21.5	M6
24	50	40	8	7	8	4	27	M8
28	60	50	8	7	8	4	31	M10
38	80	70	10	8	10	5	41	M12
42	110	90	12	8	12	5	45	M16
48	110	100	14	9	14	5.5	51.5	M16
55	110	100	16	10	16	6	59	M20
60	140	125	18	11	18	7	64	M20
65	140	125	18	11	18	7	69	M20
70	140	125	20	12	20	7.5	74.5	M20
75	140	125	20	12	20	7.5	79.5	M20
80	170	140	22	14	22	9	85	M20
90	170	140	25	14	25	9	95	M20
100*	170	140	28	16	28	10	106	M20
120*	210	180	32	18	32	11	127	M24

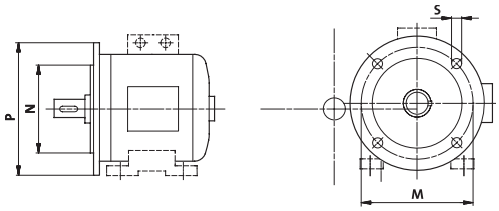
* 100 и 120 в дополнение к EN 50347.

В соответствии со стандартом EN 50347 конец вала на электродвигателях типоразмера IEC 90 и больше должен иметь резьбу. Как правило, электродвигатели снабжены шпоночной канавкой. Электродвигатели со шпоночной канавкой всегда поставляются с установленной шпонкой.

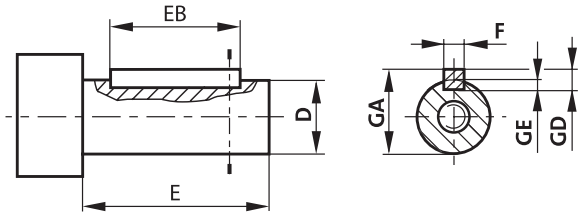
Механические допуски

Механические допуски соответствуют стандартам IEC 60072–1 и EN 50347.

Описание	Посадка или допуск	Буквенное обозначение размера по DIN 50347	Буквенное обозначение размера по EN 42939
Габаритный размер			
Типоразмер от нижней точки лапы (основания) до центра вала		H	h
H ≤ 250	+0,0/–0,5 мм		
H ≥ 280	+0/–1 мм		
Лапа (основание)			
Расстановка отверстий для фиксации лап в осевом направлении	1 мм	B	a
Расстановка отверстий для фиксации лап перпендикулярно осевому направлению	1 мм	A	b
Диаметр отверстий	H17	K	s

Описание	Посадка или допуск	Буквенное обозначение размера по DIN 50347	Буквенное обозначение размера по EN 42939
Фланец 			
Диаметр или ширина сечения соединительного фланца	Только для отрицательной стороны	P	a1
Диаметр фланца втулки	Диаметр ≤ 250 мм, j6 Диаметр ≥ 300 мм, h6 равно FF или FT ≤ 300 мм, j6 FF или FT ≥ 350 мм, h6	N	b1
Диаметр направляющих отверстий фланца	H17	S	s1

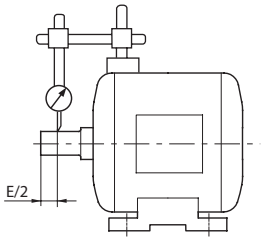
Вал и шпонка



Диаметр Ø удлинителя вала	Посадка или до пуск	Буквенное обозначение размера по EN 50347	Буквенное обозначение размера по DIN 42939
От 11 до 28 мм	j6	D	d
От 32 до 48 мм	k6		
55 мм и выше	m6		
Длина конца вала от бурта на DE			
Для Ø конца вала ≤ 55 мм	–0,3 мм	E	l
Для Ø конца вала ≥ 60 мм	–0,5 мм		
Шпонка с	h9	F	u
Глубина шпонки:			
Квадратное сечение	h9	GD	–
Прямоугольное сечение	h11	EB	–
Нижний край конца вала до верхней шпонки края	+0,2 мм	GA	t
Ширина шпоночной канавки ведущего вала	N9	F	–
Расстояние от бурта вала — опорная поверхность фланца, неподвижный подшипник DE	±0,5 мм	L	–

IEC 60072–1 Измерение допусков

При демонтаже электродвигателя для замены подшипников необходимо проверить эксцентриситет фланцев и концов вала электродвигателя в соответствии с международным стандартом IEC 60072–1.



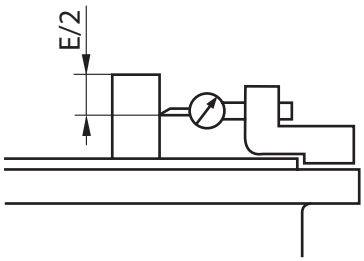
Электродвигатели с эксцентриситетом конца вала B3

Осевой эксцентриситет конца вала

Диаметр вала	>10 до 18 мм	>18 до 30мм	>30 до 50 мм	>50 до 80 мм	>80 до 120 мм
Эксцентриситет мкм	35 мкм (0,035 мм)	40 мкм (0,040 мм)	50 мкм (0,050 мм)	60 мкм (0,060 мм)	70 мкм (0,070 мм)

Макс. эксцентриситет вала электродвигателей с фланцами (стандартный класс)

Соотнесите точку индикатора с валом, по центру его длины. Регистрируйте максимальные и минимальные значения, которые отображаются на индикаторе за один медленный поворот вала. Разница в данных не должна превышать величину, приведённую в таблице выше. Проверку можно произвести с электродвигателем, установленным как горизонтально, так и вертикально, с индикатором, прикреплённым непосредственно к двигателю или установленным на общей опорной плите.



Эксцентриситет конца вала для электродвигателей B14/V18/B5/V1

Концентричность втулки на валу

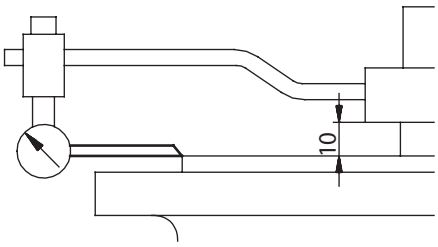
Фланец (FF) или опорная плита (FT)	от F55 до F115	от F130 до F265	от FF300 до FF500	от FF600 до F740	от FF 940 до FF1080
мкм	80 мкм (0,08 мм)	100 мкм (0,10 мм)	125 мкм (0,125 мм)	160 мкм (0,16 мм)	200 мкм (0,20 мм)

Макс. допустимые отклонения концентричности втулки по отношению к валу

Жёстко зафиксируйте индикатор на конце вала на расстоянии около 10 мм от установочной поверхности фланца.

Регистрируйте максимальные и минимальные значения, которые отображаются на индикаторе за один медленный поворот вала. Разница между крайними значениями концентричности не должна превышать величины, приведённые выше.

Проверка установки электродвигателя выполняется с вертикальным валом, чтобы на результаты измерений не влияла сила тяжести.

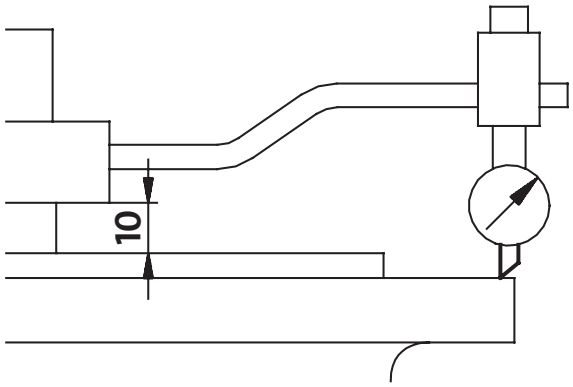


Концентричность втулки по отношению к валу

Жёстко зафиксируйте индикатор на удлинителе вала на расстоянии около 10 мм от установочной поверхности фланца.

Регистрируйте максимальные и минимальные значения на индикаторе за один поворот вала.

Разница между крайними значениями, полученными на индикаторе, не должна превышать величины, приведённые в таблице ниже. Рекомендуется выполнять проверку при наладке машины с вертикальным валом, чтобы устранить осевой зазор в подшипнике.



Взаимная перпендикулярность поверхностей вала и фланца

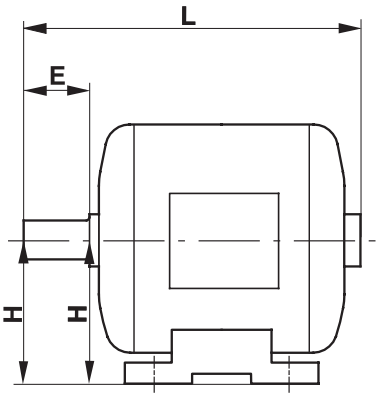
Фланец (FF) или опорная плита (FT)	от F55 до F115	от F130 до F265	от FF300 до FF500	от FF600 до F740	от FF 940 до FF1080
мкм	80 мкм (0,08 мм)	100 мкм (0,10 мм)	125 мкм (0,125 мм)	160 мкм (0,16 мм)	200 мкм (0,20 мм)

Параллельность вала опорной поверхности

Предельные значения отклонений при измерениях H на оконечностях вала (мм)			
Типоразмер	Вал длина (мм)		
	< 2,5 H	≥ 2,5 H ≤ 4 H	> 4 H
> 56 до 250	0,5	0,8	1
> 250 до 315	1	1,5	2

ПРИМЕЧАНИЕ: Допуск действителен по всей длине вала, включая его концы.

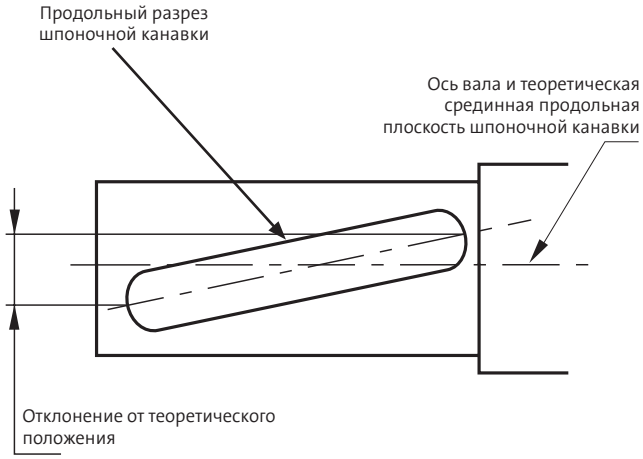
Точки измерения для H могут быть выше общей длины вала, если есть доступ к обоим концам, или могут находиться над длиной конца вала (E), и параллельность рассчитывается пропорционально для общей длины вала.



Параллельность шпоночной канавки оси вала

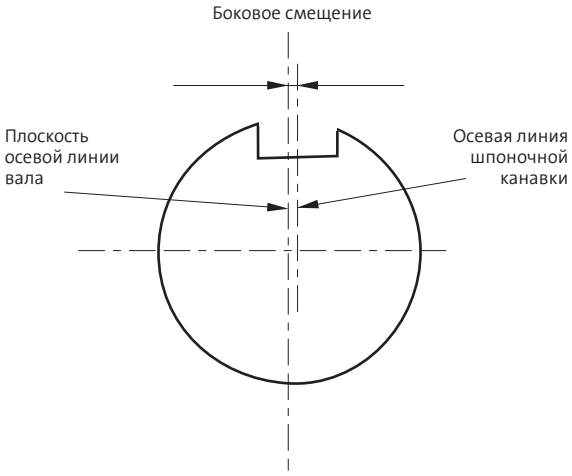
Допуск на параллельность должен соответствовать таблице, приведённой ниже. Параллельность шпоночной канавки оси вала определяется, как предельное колебание между срединной продольной плоскостью шпоночной канавки и теоретической срединной продольной плоскостью шпоночной канавки, которая включает в себя ось вала. Расстояние между этими двумя плоскостями, измеренное у конца полезной длины шпоночной канавки, должно быть в пределах величин, указанных ниже.

Номинальн. EB (EC) (мм)	Предел отклонения от теоретического положения на концах EB (EC) (мм)
≤ 100	≤ 0,05
> 100	≤ 0,0005 • EB (EC)



Боковое смещение шпоночной канавки

Допуск на боковое смещение составляет 0,1 мм. Боковое смещение шпоночной канавки определяется как предельное отклонение в любой точке полезной длины шпоночной канавки. Это отклонение представляет расстояние от осевой линии шпоночной канавки до плоскости через осевую линию конца вала, перпендикулярного действительному положению дна шпоночной канавки.



CRN 5

Что такое ATEX? 80
Что такое взрывоопасная атмосфера? 80
Источник возгорания 82
На какое оборудование распространяется директива 94/9/EC ATEX? 83
1 июля 2003 года 83
Какие обязательства налагает директива 99/92/EC ATEX на владельца оборудования? 83
Как разделить взрывоопасную атмосферу на зоны? 84
Зона 0 / 20: Постоянная опасность 84
Зона 1 / 21: Потенциальная опасность 84
Зона 2 / 22: Незначительная опасность 84
Как обеспечить соответствие директивам ATEX? 85
Кто отвечает за соблюдение требований директивы ATEX? 85
Производитель 85
Пользователь 85
Инженер по эксплуатации 86
Как выбрать подходящий электродвигатель для зоны, опасной по пыли? 86
Различие между электродвигателями категории 2 и 3, используемыми в зонах, опасных по пыли 87
Категория 2 87
Категория 3 87
Как правильно подобрать электродвигатель? 88
Выбор оборудования 88
Классы нагревостойкости 88
Как правильно выбрать насос или электродвигатель для областей со взрывоопасной атмосферой? 90
Классификация газообразной атмосферы 90
Температурная классификация 91
Стандарты и способы защиты 92
Взрывозащищённые электродвигатели — класс защиты EEx d 93
Конструкция взрывозащищённых электродвигателей 93
Характеристики взрывозащищённых электродвигателей 93
Типичное применение взрывозащищённых электродвигателей 94
Электродвигатели повышенной безопасности — класс защиты EEx e 94
Конструкция электродвигателей повышенной безопасности 95
Характеристики электродвигателей повышенной безопасности 95
Время t_E 96
Типичное применение электродвигателей повышенной безопасности EEx e 96
Электродвигатели с защитой от искрообразования — класс защиты Ex nA 96
Конструкция электродвигателей с защитой от искрообразования 97
Характеристики электродвигателя с защитой от искрообразования 97
Типичные области применения электродвигателей с защитой от искрообразования 97
Комбинированное оборудование 98
Узел и его характеристики 99
Монтаж и электроподключение 100
Сервис и техническое обслуживание 100
Предложения Grundfos 103

Что такое ATEX?

ATEX (ATmosphere EXplosible — взрывоопасная атмосфера) относится к новым директивам ЕС об опасности взрыва в различных областях деятельности. Первая директива ATEX (94/9/EC) связана с требованиями для оборудования, используемого в тех областях применения, где есть опасность возникновения взрыва. Производитель должен выполнять данные требования и ставить соответствующую маркировку о категории изделия. Вторая директива ATEX (99/92/EC) связана с требованиями по обеспечению безопасности и охране здоровья, которые обязан выполнять владелец оборудования, выполняя работы во взрывоопасных средах.

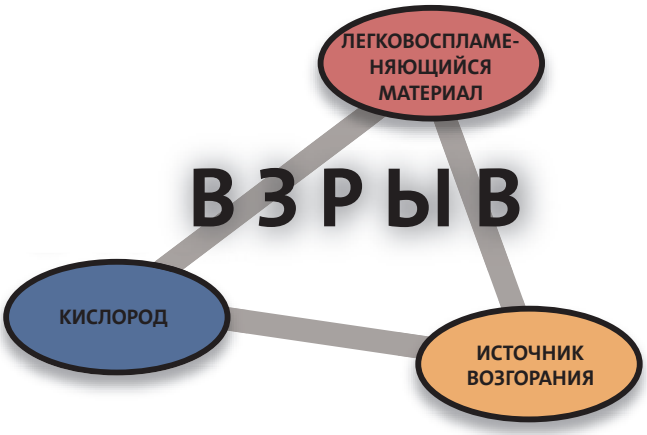
Что такое взрывоопасная атмосфера?

Согласно новым директивам пыль считается взрывоопасной. Взрывоопасная атмосфера (взрывоопасная газовая среда) — это смесь воздуха, при атмосферных условиях, с каким-либо горючим веществом в виде газа, паров, тумана или пыли, горение которогго после воспламенения распространяется на весь объем взрывоопасной смеси. Типичными примерами производств, в которых присутствует горючая пыль, являются процессы промышленной переработки зерновых, дерева, кормов, бумаги, химикатов, пластмасс и угля.

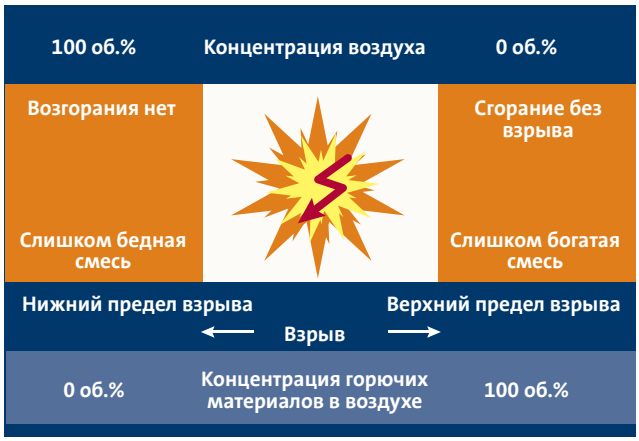
Примеры источников возгорания, которые могут привести к взрыву:

- искровые разряды;
- пламя;
- горячие поверхности / точки;
- статическое электричество;
- электромагнитное излучение;
- химическая реакция;
- механические силы;
- механическое трение;
- компрессионное воспламенение;
- звуковая энергия;
- ионизационное излучение.

Взрыв — быстрое преобразование веществ (взрывное горение), сопровождающееся выделением энергии и образованием сжатых газов, способных производить работу. Для того чтобы произошёл взрыв, необходимо одновременное присутствие трёх элементов: горючего (например, взрывоопасного газа), окислителя (например, кислорода в воздухе) и источника возгорания (например, искровых разрядов). Сочетание этих компонентов обычно называют «пожарным треугольником» (Fire Triangle). Для того чтобы создалась потенциально взрывоопасная атмосфера, смесь горючего и окислителя должна иметь определённую концентрацию. Эта концентрация зависит от давления окружающей среды и содержания кислорода в воздухе и считается ограничителем взрыва.



За пределами данных ограничений смесь горючего и окислителя не воспламенится, пока не изменятся её пропорции. Для того чтобы создалась взрывоопасная атмосфера, в ней должна быть определённая концентрация горючего материала.



Если концентрация горючего материала слишком низкая (бедная смесь) или слишком высокая (богатая смесь), то взрыва не будет. В этом случае будет только слабое горение, или его не будет вообще. Смесь горючего с окислителем взрывается только при наличии источника возгорания и только в диапазоне между верхним и нижним пределами взрыва.

Наименование	Нижний предел взрыва [% объем.]	Верхний предел взрыва [% объем.] вещества
Ацетилен	2,3	78,0 (саморазложение)
Этилен	2,3	32,4
Газолин	0,6	8
Бензол	1,2	8
Природный газ	4,0–7,0	13,0–17,0
Печное топливо / дизельное топливо	0,6	6,5
Метан	4,4	16,5
Пропан	1,7	10,9
Сероуглерод	0,6	80,0
Бытовой газ	4,0–6,0	30,0–40,0
Водород	4,0	77,0

Источник: Ограничения по взрыву для некоторых газов и паров, фрагмент таблицы «Характеристики безопасности горючих газов и паров» К. Наберта и Г. Шона — (Приложение 6)

Источник возгорания

Для того чтобы произошло воспламенение взрывоопасной атмосферы, необходимо определённое количество энергии. Минимальная энергия возгорания зависит от типа вещества, например, составляет около 5–10 джоулей для водорода и несколько джоулей — для определённых видов пыли.

На какое оборудование распространяется директива 94/9/EC ATEX?

- Оборудование и системы безопасности, не защищённые от взрывоопасных газов или пыли.
- Электрическое, механическое, гидравлическое и пневматическое оборудование, включая насосы и электродвигатели.

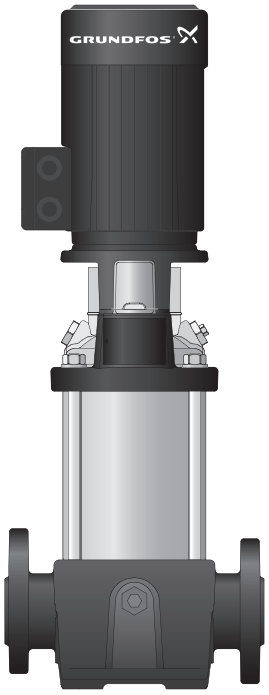
1 июля 2003 года

Компании, производящие, использующие или распространяющие подобное оборудование, должны соблюдать основные требования по безопасности и охране здоровья, приведённые в директиве ATEX. Директива 94/9/EC ATEX не имеет обратной силы. Тем не менее, уже существующие изделия должны быть подвергнуты проверке. В случае каких-либо дефектов (износа и т.п.) старые изделия должны быть заменены оборудованием, которое соответствует данной директиве ATEX. Кроме того, изделия, изготовленные специально для применения в областях с высоким риском взрыва (зона 0 или 20), получают соответствующую маркировку только в том случае, если полностью соответствуют директиве ATEX. Например, насосы Grundfos изготовленные до 1 июля 2003 г., первоначально поставляемые с электродвигателем Ex, можно заменить или перепродать, только после их приведения в соответствие с директивой ATEX.

Какие обязательства налагает директива 99/92/EC ATEX на владельца оборудования?

Чтобы предотвратить взрыв, пользователь обязан:

- принять необходимые технические и организационные меры предосторожности,
- выполнить оценку риска взрыва,
- разделить потенциально взрывоопасные области на зоны,
- чётко обозначить опасные зоны.



Как разделить взрывоопасную атмосферу на зоны?

В директиве 99/92/EC ATEX выделено два типа взрывоопасных атмосфер: газ и пыль. Области, подверженные воздействию взрывоопасных атмосфер такого типа, в свою очередь делятся каждая на три зоны. Характеристики зон одинаковы и для газа, и для пыли, но их нумерация отличается. Зоны 0, 1, 2 относятся к газу, а зоны 20, 21, 22 относятся к пыли.

Зона 0 / 20: Постоянная опасность

Зона, в которой взрывоопасная газовая смесь присутствует постоянно или в течение длительных периодов времени. Оборудование категории 1, минимум.

Зона 1 / 21: Потенциальная опасность

Зона, в которой существует вероятность присутствия взрывоопасной газовой смеси в нормальных условиях эксплуатации. Оборудование категории 2, минимум.

Зона 2 / 22: Незначительная опасность

Зона, в которой маловероятно присутствие взрывоопасной газовой смеси в нормальных условиях эксплуатации, а если она и возникает, то редко, и существует непродолжительное время. Оборудование категории 3, минимум.

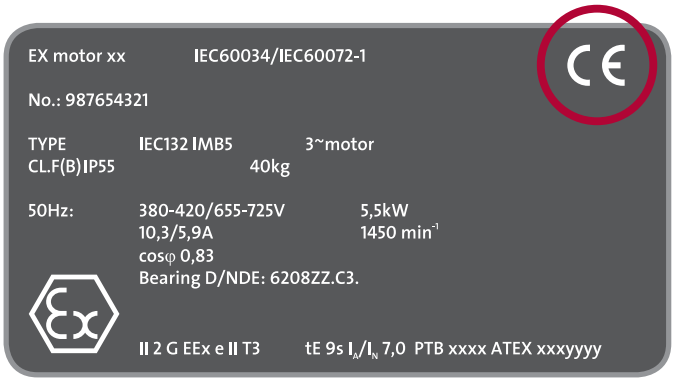
Компания Grundfos производит насосы с электродвигателями категории 2 и 3. Иллюстрация справа демонстрирует деление на зоны с различными уровнями опасности взрыва. Каждой из трёх зон соответствует только определённая категория оборудования (в данном случае это электродвигатели), используемого согласно уровню риска возникновения взрыва. Владелец оборудования несёт ответственность за определение уровня опасности зоны согласно нормам директивы ATEX, он принимает решение, считать зону опасной или нет. Тем не менее, если у пользователя возникают какие-либо сомнения в определении опасных зон, он должен проконсультироваться в специализированных организациях.

В РФ основным нормативным документом является ГОСТ Р.51330.9–99 (МЭК 60079–10–95), определения, приведенные в нем, схожи с ATEX.

Диаграмма соответствия оборудования и зоны является минимальным требованием. Если правила той страны, где эксплуатируется оборудование, более строгие, они должны выполняться.

Как обеспечить соответствие директивам ATEX?

Оборудование, применяемое во взрывоопасной зоне, и сами зоны должны соответствовать директиве ATEX. Маркировка CE является подтверждением того, что оборудование произведено в соответствии со всеми основными требованиями и тестами, применимыми в странах-членах ЕС.



Кто отвечает за соблюдение требований директивы ATEX?

Производитель

Как производитель Grundfos несёт исключительную ответственность за производство оборудования, которое отвечает требованиям, приведённым в директиве ЕС.

Пользователь

Владелец оборудования должен информировать Grundfos о том, оборудование какого класса взрывозащиты ему необходимо, т.е. сообщить:

- категорию, например, 2G;
- температуру, например, 125 °C;
- тип защиты электродвигателя, например, EExe II T3.

Кроме того, владелец оборудования должен использовать изделие только в указанной зоне. Владелец оборудования также отвечает за обеспечение надёжной работы оборудования, производя своевременное техническое обслуживание. Согласно требованию от 1 июля 2003 года все новые установки должны отвечать требованиям директивы ATEX. Если владелец оборудования является также производителем, он должен выполнять требования и для производителя, и для пользователя. Уже существующие агрегаты должны быть приведены в соответствие с требованиями директивы 99/92/EC ATEX не позднее 30 июня 2006 года.

Инженер по эксплуатации

Директива 94/9/EC не распространяется на инженеров по эксплуатации. Однако инженеры по эксплуатации должны быть уверены, что работа, которую они выполняют, соответствует требованиям безопасности для определённых изделий и оборудования. Уполномоченные органы выдают инженерам по эксплуатации квалификационные сертификаты. Отдел технического контроля и сервиса поставщика также имеет право выдавать квалификационные сертификаты.

Требования директивы ATEX не являются абсолютным новшеством для электродвигателей. Они уже были сформулированы раньше в рамках стандарта IEC 60079 и в местных стандартах в разных странах мира. Директива ATEX содержит сноски на стандарты EC, которые включают в себя те же требования, что и стандарт IEC 60079, который всё ещё применяется для электродвигателей в некоторых странах.

Как выбрать подходящий электродвигатель для зоны, опасной по пыли?

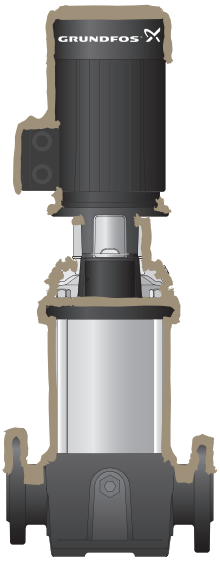
После разделения области на зоны можно перейти к следующему этапу и решить, какой насос или электродвигатель установить именно в этой области. В зависимости от класса зоны должны соблюдаться определённые правила:

Если область классифицирована как зона 20 (область с постоянной опасностью взрыва), разрешено использовать только специальное оборудование. Если область классифицирована как зона 21 (область с потенциальной опасностью взрыва), то, прежде чем электродвигатель будет установлен, он должен быть принят уполномоченным органом. Производитель электродвигателя несёт ответственность за то, чтобы опытный образец двигателя был одобрен уполномоченным органом для использования в определённых областях. Если область классифицирована как зона 22 (область с незначительной опасностью взрыва), можно использовать любой электродвигатель, защищённый производителем от возгорания пыли, за исключением тех случаев, когда присутствует токопроводящая пыль.

X° = Y°+ 75 °C

X °C = Температура возгорания 5 мм слоя пыли

Y °C = Температура поверхности электродвигателя, напр., 125 °C

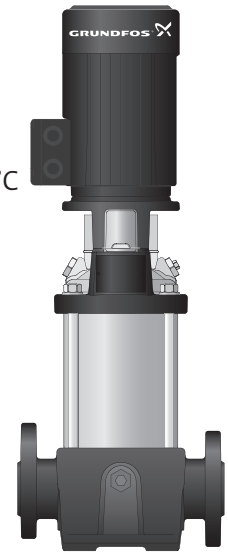


В условиях запыленности пыль, вероятно, будет и на насосе, и на электродвигателе

Z° = Z° + Y°/3

Z °C = Температура возгорания облака пыли

Y °C= Температура поверхности электродвигателя, напр., 125 °C



Принимая решение о том, какой электродвигатель использовать во взрывоопасной области, важно учитывать температуру воспламенения пыли.

- Температура воспламенения облака пыли должна быть минимум на 1/3 выше указанной температуры электродвигателя.
- Температура воспламенения 5 мм слоя пыли должна быть минимум на 75 °C выше указанной температуры электродвигателя (см. предыдущую страницу).

Пользователь несёт исключительную ответственность за то, чтобы слой пыли не превышал 5 мм. Это значит, что необходимо регулярное техническое обслуживание оборудования. Температура воспламенения различных типов пыли приводится в справочных таблицах, как, например, таблица справа.

Температура воспламенения		
Материал	Облако	Слой 5 мм
Пшеница	420 °C	200 °C
Кукуруза	400 °C	250 °C
Сахар	350 °C	220 °C
Бурый уголь	450 °C	200 °C
Сера	40 °C	250 °C

Источник: отчёт 13/97 BIA
Характеристики сгорания и взрыва пыли

	Зона 20	
Пыль	Токопроводящая	Непроводящая
Индекс защиты	IP 6X	IP 6X
Маркировка изделия	II 1 D	II 1 D

Электродвигатели не могут работать в зоне 20.

	Зона 21	
Пыль	Токопроводящая	Непроводящая
Индекс защиты	IP 6X	IP 6X
Маркировка изделия	II 2 D	II 2 D

	Зона 22	
Пыль	Токопроводящая	Непроводящая
Индекс защиты	IP 6X	IP 5X
Маркировка изделия	II 2 D	II 3 D

Различие между электродвигателями категории 2 и 3, используемыми в зонах, опасных по пыли

Категория 2

Для того чтобы статическое электричество не вызвало возгорания, охлаждающий вентилятор на электродвигателе категории 2, защищённом от возгорания пыли, используемом в зоне 21 (областях с потенциальной опасностью взрыва), изготовлен из антистатических материалов. Кроме того, чтобы минимизировать риск возгорания, к внешней клемме заземления предъявляются более жёсткие конструкционные требования. Температура, указанная на фирменной табличке электродвигателя, соответствует рабочим характеристикам при самых неблагоприятных условиях эксплуатации электродвигателя. Электродвигатели, предназначенные для использования в зоне 21 (областях с потенциальной опасностью взрыва), должны иметь защиту IP 6X, то есть должны быть полностью защищены от пыли.

Категория 3

Температура, указанная на электродвигателе категории 3, защищённом от возгорания пыли, для использования в зоне 22 (областях с незначительной опасностью взрыва), соответствует рабочим характеристикам при самых неблагоприятных условиях эксплуатации электродвигателя. Электродвигатели, предназначенные для использования в зоне 22, должны иметь защиту IP 5X, то есть должны быть защищены от пыли и иметь внешнюю клемму заземления.

Как правильно подобрать электродвигатель?

Вам необходимо подобрать электродвигатель, который может быть установлен на Вашем предприятии по производству сахара. Для производства сахара характерно наличие сахарной пыли. Чтобы создать безопасные условия работы без угрозы взрыва, Вам следует учесть несколько факторов при выборе электродвигателей для ваших насосов.

Сахарная пыль — это вид непроводящей пыли.

Температура самовозгорания сахарной пыли зависит от того, в каком виде эта пыль присутствует в помещении:

- Для слоя сахарной пыли температура самовозгорания 350 °C.
- Для облака сахарной пыли температура самовозгорания 220 °C.

Выбор оборудования

Разделение электродвигателей по классу защиты (IP) определяет, в какой зоне разрешается использовать конкретный электродвигатель.

Электродвигатели класса IP 6X могут использоваться в зоне 21,

а электродвигатели класса IP 5X могут использоваться в зоне 22.

Классы нагревостойкости

При определении класса нагревостойкости электродвигателя следует учитывать её температуру воспламенения. В нашем случае:

– облако сахарной пыли.

Температура воспламенения для 5 мм облака сахарной пыли составляет 220 °C. Как было сказано выше, минимальная температура воспламенения должна на 75 °C превышать значение номинальной температуры электродвигателя. Таким образом, допустимая температура двигателя из условия взрывобезопасности:

220 °C — 75 °C = 145 °C

Максимальная температура изделия указывается на фирменной табличке электродвигателя: **II 2D T125 °C максимум.**

Как правило, для стандартных электродвигателей, защищенных от взрывоопасной пыли, выбранный двигатель подходит; DIP максимальная температура равна 125 °C. Как видно из примера, приведённого выше, 125 °C меньше 145 °C.

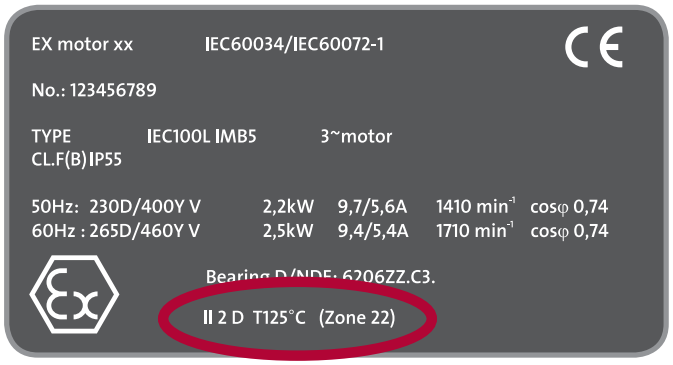
– Сахарная пыль в виде слоя.

Температура воспламенения сахарной пыли в виде слоя составляет 350 °C, а минимальная температура воспламенения, как было сказано выше, должна быть на 1/3 выше номинальной температуры электродвигателя. Таким образом, максимальную температуру, при которой сахарная пыль в виде слоя может воспламениться, рассчитываем следующим образом:

2/3 от 350 °C = 233 °C

Максимальная температура изделия указывается на фирменной табличке электродвигателя: **II 2D T125 °C максимум.**

Как правило, для стандартных электродвигателей, защищенных от взрывоопасной пыли, выбранный двигатель подходит; DIP максимальная температура составляет 125 °C. Как видно из примера, приведённого выше, 125 °C меньше 233 °C.



Как правильно выбрать насос или электродвигатель для областей со взрывоопасной атмосферой?

После разделения области на зоны пора переходить к следующему этапу и решить, какой насос или электродвигатель установить именно в этой области. При определении того, какой электродвигатель будет использоваться во взрывоопасной атмосфере, следует учитывать ряд факторов.

Классификация газообразной атмосферы

В зависимости от отрасли промышленности, в которой будет использоваться оборудование, газообразная амосфера подразделяется на следующие группы по уровню взрывоопасности: группа I или группа II.

- Группа I: Горная промышленность и другие отрасли промышленности, в которых работы выполняются под землёй.
- Группа II: Прибрежные разработки и работы, выполняемые на поверхности земли.

Группа II делится на 3 подгруппы, II A, II B и II C. Эта группа относится только к электродвигателям EExd и соответствует типу газообразной атмосферы, которая не должна повлиять на электродвигатель в случае взрыва.

Если газ относится к группе IIC, это означает, что он является самым взрывоопасным газом в таблице справа приведены примеры различных видов газов и их деление на группы по уровню взрывоопасности.

Степень риска взрыва газа возрастает от группы IIA до группы IIC. В зависимости от того, к какой группе относится газ, соответственно возрастают и требования к насосам и электродвигателям. Чем выше опасность взрыва, тем строже требования к оборудованию. Поэтому существует требование, чтобы на электрооборудовании была соответствующая маркировка о том, к какой группе оно относится. Электродвигатель, разрешённый к применению как оборудование группы IIC, может использоваться и в других группах, так как IIC считается самой опасной группой.

Типичный опасный газ	Группа газа
Ацетилен	IIC
Водород	IIC
Этилен	IIB
Пропан	IIA
Метан	I (рудничный газ) горная промышленность IIA промышлен.

Данная таблица относится только к электродвигателям EExd

Температурная классификация

Температура самовоспламенения — самая низкая температура горючего вещества, при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, заканчивающееся возникновением пламенного горения. Самовоспламенение происходит, когда горячие поверхности соприкасаются со взрывоопасной атмосферой. В таблице в нижней части страницы представлена классификация, которая используется для обозначения максимальной допустимой температуры поверхности электрооборудования в нормальных рабочих условиях. Максимальная температура поверхности рассчитывается при температуре окружающей среды 40 °C.

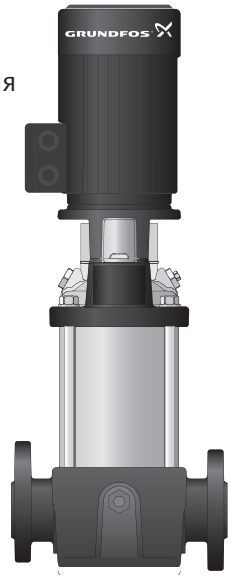
В таблице приведена групповая классификация для различных типов газа, разделённых на группы IIA, IIB или IIC.

Применительно к электродвигателям EEx d температурная классификация представляет собой отражение максимальной наружной температуры электродвигателя. Что касается электродвигателей EEx e и Ex nA, температурная классификация отражает температуры внутри и снаружи электродвигателя.

X °C ≥ T1, T2, T3...

X °C = Температура воспламенения газа

Y °C = Температура электродвигателя; T1, T2, T3...



Насос и электродвигатель в областях, в которых присутствуют взрывоопасные газы

Классификация нагревостойкости	Максимальная температура поверхности	Категории газов и паров		
		IIA	IIB	IIC
T1	450 °C	Метан Аммиак		Водород
T2	300 °C	Бутан	Этилен	Ацетилен
T3	200 °C	Керосин Циклогексан		
T4	135 °C	Ацетальдегид	Диэтил Эфир	
T5	100 °C			
T6	85 °C			Углерод Дисульфид

Температурная классификация газов
Данные категории относятся только к электродвигателям EEx d

Стандарты и способы защиты

Для того чтобы электрооборудование не стало источником возгорания, используются различные способы защиты. Следующая таблица отражает принципы и стандарты защиты электроприборов при работе в атмосфере с взрывоопасными газами, парами и туманами.

Для электродвигателей применим тип защиты d (взрывонепроницаемая оболочка), e (повышенная безопасность) и n (искробезопасность). На следующих страницах мы подробнее разберём все три типа защиты.

Тип защиты	Код	Стандарты		Стандарт РФ ГОСТ	Исполь-зование в категории ATEX/зона	Принцип	Применение
		Европейский стандарт CENELEC EN	Междуна-родный стандарт IEC 60079				
Основные требования	–	50014	– 0	–	–	Основные электрические требования	Все оборудование
Масляное заполнение оболочки	o	50015	– 6	22782.1–77	Категория 2, Зона 1	Электрические компоненты погружены в масло, таким образом исключается контакт с атмосферой во избежание воспламенения	Трансформаторы
Заполнение или продувка под избыточным давлением	p	50016	– 2	22782.4–78	Категория 2, Зона 1	Оборудование помещено в герметичную оболочку и ограждено от атмосферного воздуха	Коммутация, шкафы управления и большие электродвигатели
Кварцевое заполнение оболочки	q	50017	– 5	22782.2–77	Категория 2, Зона 1	Электрические части покрываются порошком, например кварцевым, чтобы избежать контакта с воспламеняемой атмосферой	Электронные устройства, такие как конденсаторы, плавкие предохранители
Взрыво-непроницаемая оболочка	d	50018	– 1	22782.6–81	Категория 2, Зона 1	При возникновении внутреннего воспламенения окружающая атмосфера благодаря защитной оболочке не загорится	Электродвигатели переменного тока, панели управления, освещение
Повышенная безопасность	e	50019	– 7	22782.7–81	Категория 2, Зона 1	Используются дополнительные методы защиты от возникновения электрических дуг, искр, нагрева поверхностей, способных вызвать воспламенение атмосферы	Электродвигатели переменного тока, распределительные и соединительные коробки, освещение, электродвигатели с короткозамкнутой обмоткой
Искро-безопасность	i_a i_b	50020 50020	– 11 –11	22782.5–78	Категория 1, Зона 0 Категория 2, Зона 1	Электрическая мощность оборудования ограничена, чтобы исключить воспламенение атмосферы из-за искры или перегрева	Контрольно-измерительное оборудование, например датчики
Инкапсуляция	m	50028	– 18	–	Категория 2, Зона 1	Электрические компоненты залиты разрешенным стандартом материалом для избежания контакта с взрывоопасной атмосферой. Этот вид приблизительно соответствует специальному виду взрывозащиты электрооборудования ГОСТ 22782.3–77	Контрольно-измерительное оборудование, электромагнитные клапаны
Тип защиты n	nA	50021	– 15	–	Категория 3, зона 2	Не дающие искры и электрической дуги	Электродвигатели переменного тока, распределительные коробки, освещение
Замечание: группа II Пыльная атмосфера включена в стандарт CENELEC EN 50281–1–1 и EN 50281–1–2							

Взрывозащищённые электродвигатели — класс защиты EEx d

В данном разделе представлена информация о конструкции и характеристиках взрывозащищённых электродвигателей. Кроме того, здесь Вы узнаете о применении взрывозащищённых электродвигателей.

Конструкция взрывозащищённых электродвигателей

Прежде всего, взрывозащищённые электродвигатели EEx d являются оборудованием категории 2G для применения в зоне 1. Корпус статора и фланцы включают в себя детали взрывозащищённого электродвигателя, которые могут зажечь потенциально взрывоопасную атмосферу. Благодаря специальной конструкции электродвигатель может выдержать давление взрыва, возникающего внутри него. Распространение взрыва в атмосферу ограничивается с помощью газоотводящих каналов. Размер газоотводящих каналов определён в стандарте EN 50018.

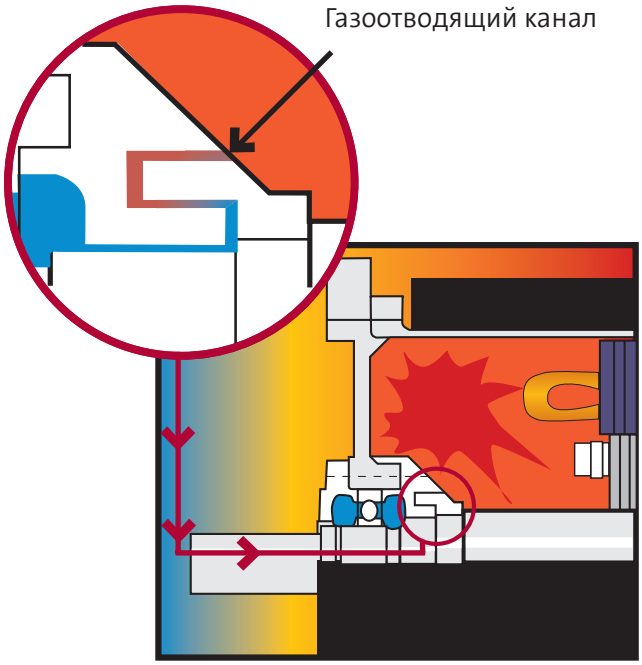
Характеристики взрывозащищённых электродвигателей

Взрывозащищённый электродвигатель характеризуют следующие особенности.

- Газоотводящие каналы.
- Усиленный каркас и клеммная коробка, экранирование торца.
- Увеличенные посадочные поверхности между компонентами электродвигателя.
- Уменьшенный зазор между валом электродвигателя и крышкой подшипника, чтобы избежать перехода искр во внешнюю среду.
- Испытания под давлением всех компонентов (каркаса, торцевых экранов, клеммных коробок, и крышек клеммных коробок).
- Обязательная аттестация третьей стороной, например такими организациями, как DEMKO, PTB, KEMA или BASEEFA.
- Сертифицированные кабельные вводы.

Взрыв происходит внутри электродвигателя, охлаждение и сброс давления осуществляется с помощью газоотводящих каналов.

Температурная классификация взрывозащищённых электродвигателей EEx d действительна и для наружных поверхностей.



Типичное применение взрывозащищённых электродвигателей

Чаще всего взрывозащищённые электродвигатели используются в насосах, вентиляторах, воздуходувках, дробильных установках, конвейерных системах, фрезерных станках, кранах и в других системах, установленных там, где имеется взрывоопасная атмосфера.

В определённых сферах применения электродвигатель может иметь два типа защиты: для корпуса статора, «d», и для клеммных коробок, «e».

В таких случаях электродвигатель имеет маркировку «de». Таким образом, единственное отличие электродвигателя с маркировкой EEx de от электродвигателя с маркировкой EEx d заключается в конфигурации клемм и клеммной коробки. Клеммная коробка с клеммной колодкой повышенной безопасности защищает от любых источников возгорания, в том числе от искр и перегрева.

Основные характеристики электродвигателей EEx de:

- Компоненты клеммной коробки, а также соединительные кабели должны быть прочно закреплены (фиксированное положение).
- Специальная клеммная колодка помогает избежать образования дуг и искр (клеммная колодка повышенной безопасности).
- Должно быть обеспечено двойное заземление (одно — на корпус статора, другое — на крышку клеммной коробки).

Электродвигатели повышенной безопасности — класс защиты EEx e

В данном разделе Вы прочтёте о конструкции и характеристиках электродвигателей повышенной безопасности. Кроме того, здесь Вы найдёте информацию о применении электродвигателей повышенной безопасности.

Конструкция электродвигателей повышенной безопасности

Электродвигатели повышенной безопасности (типа e) не являются взрывозащищёнными и не предназначены для того, чтобы выдержать внутренний взрыв. Основу конструкции такого электродвигателя составляет усиленная защита от возможности чрезмерного повышения температуры и образования искр и дуг в условиях нормальной эксплуатации. Температурная классификация электродвигателей повышенной безопасности действительна как для внутренних, так и для наружных поверхностей. Поэтому важно следить за температурой обмотки статора.

Характеристики электродвигателей повышенной безопасности

Электродвигатель повышенной безопасности имеет следующие особенности:

- Пониженная выходная мощность в зависимости от типоразмера.
- Особое внимание концентричности искрового промежутка и зазору всех вращающихся деталей.
- Компоненты подвергаются испытаниям на удар.
- Повышение температуры должно быть на 10K меньше допустимого максимального значения для установки такого класса, напр.: ΔT = 70 °C для повышения температуры класса B.
- Терморезисторы PTC (имеют порог срабатывания) 110 °C (обычно 155 °C).
- Максимальная температура поверхности T1, T2 или T3.
- Соответствие характеристике t_E (время, необходимое обмотке статора, через которую проходит ток статора или ток блокировки, для нагрева при максимальной температуре окружающей среды).
- Специальная клеммная колодка, обеспечивающая указанный скользящий разряд и зазор без витых контактов.
- Клеммная коробка с оболочкой IP 55.
- Внешнее заземление на каркас обязательно.
- Заземление каркаса должно быть соединено с заземлением клеммной коробки.
- При вертикальном монтаже должен использоваться брызгозащитный кожух.
- Обязательная аттестация сторонней организацией, напр., DEMKO, PTB, KEMA или BASEEFA.

В электродвигателях EEx e повышенной безопасности не образуются искры. Температурная классификация относится как к внутренним, так и к наружным поверхностям.

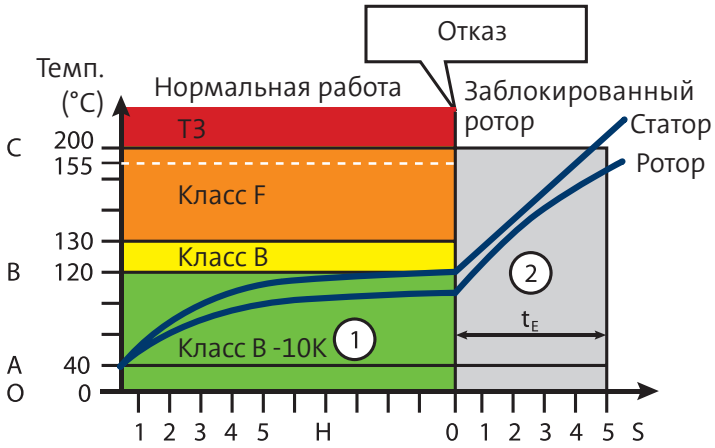
Время t_E

Время t_E — это время, которое требуется обмотке электродвигателя, через которые проходит пусковой ток или ток блокировки, чтобы достичь предельной температуры. Вычисление времени t_E основано на значении температуры, достигнутом в нормальных условиях работы, кроме того, в нём учитывается максимальная температура окружающей среды.

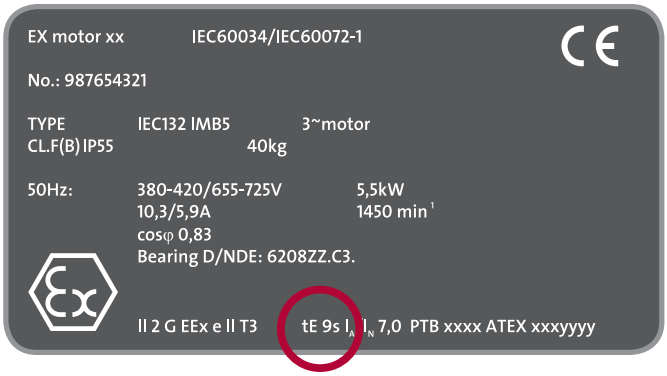
При блокировке ротора электродвигатель выключается предохранителем прежде, чем закончится время t_E. Поставщик несёт ответственность за то, чтобы время t_E было указано в табличке с техническими данными электродвигателя и в каталогах технических данных.

Отрезок OA (см. рисунок справа) отражает максимальную температуру окружающей среды, а отрезок OB — максимальную температуру, которую достигают обмотки статора при нормальных условиях эксплуатации. Если, к примеру, ротор блокируется и, как следствие, увеличивается температура, предохранитель отключает электродвигатель. Схема процесса отображена на отрезке 2 диаграммы.

На отрезке 2 температура электродвигателя быстро увеличивается, при этом она должна быть ниже максимальной температуры поверхности, указанной в температурной классификации. Чтобы избежать взрыва, важно, чтобы электродвигатель был остановлен прежде, чем он достигнет предельной температуры. Если вам необходимо знать величину t_E электродвигателя EEx e, её можно найти в каталоге производителя или на фирменной табличке электродвигателя.



Время t_E – это время, которое требуется обмотке электродвигателя, чтобы достичь максимальной температуры. Время t_E эквивалентно безопасному времени останова или времени безопасной блокировки ротора для стандартных электродвигателей.



Типичное применение электродвигателей повышенной безопасности EEx e

В тех областях применения, где присутствует взрывоопасная атмосфера, взрыв может произойти даже при нормальной работе оборудования. Такие зоны являются зонами 1 и 2, а оборудование относится к группе II. Самыми распространенными газами, которые могут вызвать взрыв в данных областях, являются: аммиак, бутан, метан, эфир и водород.

Электродвигатели с защитой от искрообразования — класс защиты Ex nA

В данном разделе Вы прочтёте о конструкции и характеристиках электродвигателей с защитой от искрообразования. Кроме того, здесь Вы найдёте информацию о применении таких электродвигателей.

Конструкция электродвигателей с защитой от искрообразования

Электродвигатели с защитой от искрообразования типа nA никоим образом не могут привести к возгоранию потенциально взрывоопасной атмосферы при нормальных условиях эксплуатации. Обозначение «с защитой от искрообразования» подразумевает, что электродвигатель не должен вызывать возгораний. Электродвигатели с защитой от искрообразования типа Ex nA относятся к категории оборудования 3G для использования в зоне 2. Конструкция электродвигателя Ex nA более или менее совпадает с конструкцией стандартного электродвигателя IP 55.

Характеристики электродвигателя с защитой от искрообразования

Электродвигатель с защитой от искрообразования характеризуют следующие особенности:

- особое внимание концентричности искрового промежутка и зазору всех вращающихся деталей;
- компоненты подвергаются испытаниям на удар;
- классификация допустимой температуры внутренней и наружной поверхностей T3, T2, T1;
- минимальный IP 54;
- производители такого класса оборудования могут заявлять, что их электродвигатели являются защищёнными электродвигателями класса ExnA, не обращаясь в какие-либо специализированные службы.

Некоторые из особенностей, приведённых выше, являются сходными для электродвигателей повышенной безопасности типа e, кроме того факта, что стандартная выходная мощность достигается в электродвигателе без снижения номинальных значений и контроля величины t_E. Так как данные электродвигатели используются в зонах типа 2, температура внутренних и наружных поверхностей ограничивается температурной классификацией T3, T2, T1, кроме времени пуска.

Типичные области применения электродвигателей с защитой от искрообразования

Электродвигатели с защитой от искрообразования обычно используются в областях, классифицированных как зона 2, т.е. это рабочая среда, в которой при нормальных условиях эксплуатации взрывоопасная атмосфера отсутствует. Самыми распространенными газами, которые в таких случаях могут вызвать взрыв, являются: аммиак, бутан, метан, эфир и водород.

При использовании электродвигателей с защитой от искрообразования возгорания произойти не должно.

Комбинированное оборудование

Комбинированное оборудование — это целый комплекс различного оборудования, компонентов или систем защиты, выполняющих определённую функцию. Комбинированное оборудование используется, когда мы имеем дело со взрывоопасной атмосферой. Оборудование считается комбинированным, только если соблюдаются следующие условия:

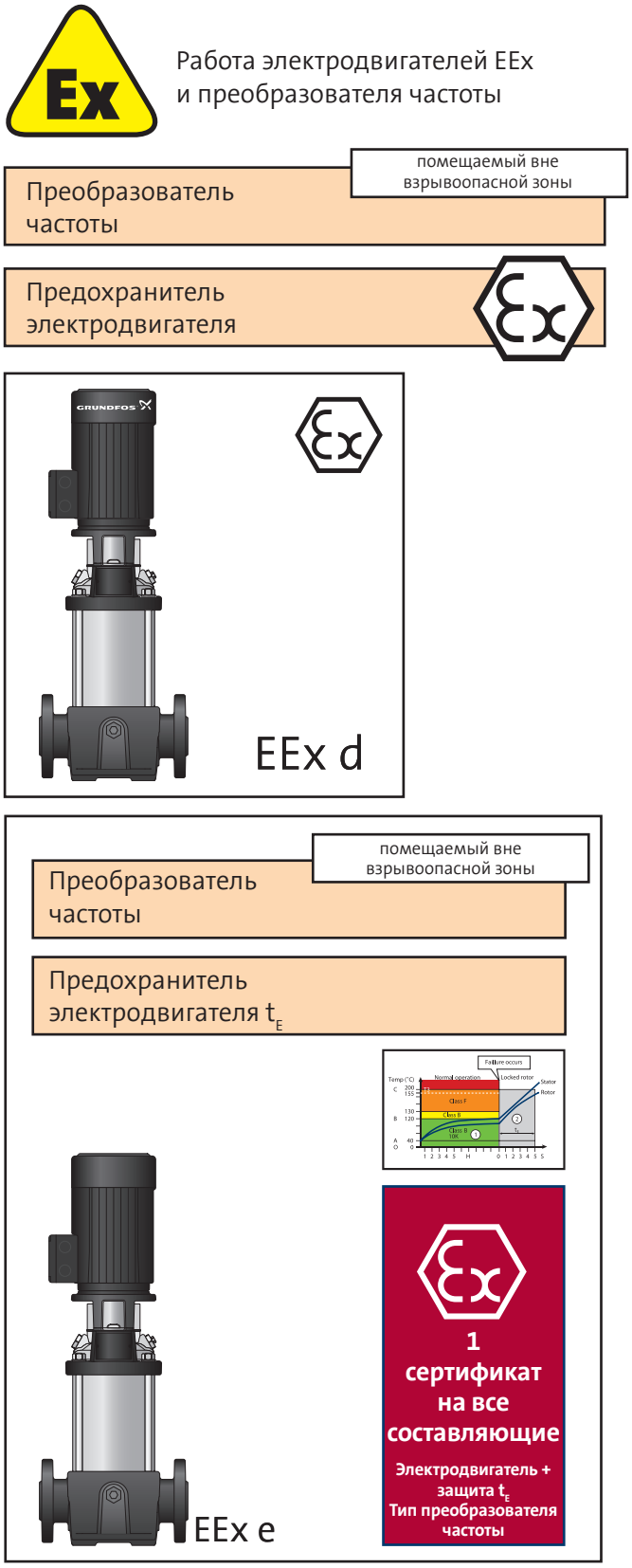
- монтаж элементов оборудования, компонентов и систем защиты для выполнения определённой функции;
- элементы оборудования не могут быть заменены по отдельности;
- комбинированное оборудование предлагается заказчику как единый блок.

В связи с вышесказанным электродвигатели с преобразователями частоты, устройствами защиты электродвигателей и другими системами управления и контроля считаются комбинированным оборудованием.

На электродвигатели, работающие в опасных областях с питанием через преобразователь, распространяются различные стандарты в зависимости от страны, в которой электродвигатели устанавливаются. Преобразователь должен пройти отдельную аттестацию, при этом инструкции производителя должны быть строго соблюдены.

Электродвигатель и предохранитель с обозначением класса защиты «EEx e» считаются единым блоком, а их эксплуатационные данные определены в общем сертификате об испытаниях, выданном, например, организацией PTB. Преобразователи частоты устанавливаются вне взрывоопасных зон и поэтому не имеют маркировки EEx e. Тем не менее в сертификате на электродвигатель должен быть указан тип преобразователя частоты и необходимые технические данные. При выборе преобразователя частоты для электродвигателя EEx e важно следовать инструкциям поставщика электродвигателя относительно того, какому типу преобразователя и какому производителю отдать предпочтение.

Увеличение пиков напряжения от преобразователя может негативно сказаться на электродвигателе и вызвать дополнительное повышение температуры.



Максимальная амплитуда пиков напряжения в преобразователе, кабеле и системе электродвигателя никогда не должна превышать величину, рекомендованную производителем.

Если электродвигатели EEx d сертифицированы с системой защиты для устройств термической защиты в обмотке, все преобразователи частоты могут использоваться без дополнительных согласований.

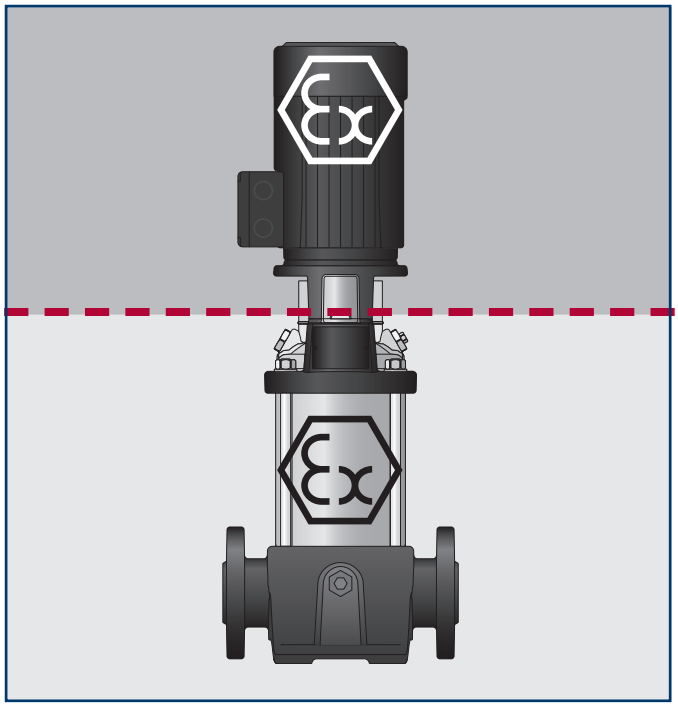
Узел и его характеристики

Узел — это устройство, которые обычно состоит из множества различных элементов оборудования или комбинированного оборудования, механически связанных друг с другом при помощи труб и электрических соединений. Узлы имеют следующие особенности:

- элементы оборудования, обычно заменяемые, проходят проверку на соответствие каждый в отдельности.

Примером узла можно считать промышленные насосы, которые приводятся в действие электродвигателями. Электродвигатель и насос в рамках процедур по оценке соответствия по необходимым стандартам взрывозащиты заменяются в отдельности. Они соединены друг с другом стандартными деталями. Часто они изготавливаются разными производителями.

Таким образом, все насосы Grundfos могут быть оборудованы сертифицированными электродвигателями EX любого типа, если они соответствуют конструкционным требованиям Grundfos.



Электродвигатель и насос в комплекте с комбинированным оборудованием прошли процедуру сертификации каждый в отдельности.

Поэтому электродвигатель и насос считаются отдельными узлами с отдельными сертификатами.

Монтаж и электроподключение

При монтаже и электроподключении, должны соблюдаться национальные нормы и правила. Кабельные вводы должны быть одобрены для применения во взрывобезопасных областях, их нельзя развинчивать самостоятельно. Всегда сверяйтесь с соответствующим стандартом.

Сервис и техническое обслуживание

Для того чтобы электродвигатель всегда обеспечивал максимальную защиту и работал с высокой производительностью, очень важно регулярное проведение работ по сервисному и техническому обслуживанию. Однако в большинстве случаев только персонал, имеющий соответствующую квалификацию и полномочия, имеет право выполнять сервисное и техническое обслуживание. Нормы и правила по сервису и техническому обслуживанию различаются в зависимости от того, в какой стране электродвигатель будет эксплуатироваться. Поэтому Вы должны следовать определённым нормам и правилам для взрывозащищённых электродвигателей, использующимся в Вашей стране.

На следующей странице перечислены некоторые правила, принятые в Дании, которые необходимо знать при выполнении сервисного и технического обслуживания взрывозащищённых электродвигателей. Мы снова хотим подчеркнуть, что правила относительно сервиса и технического обслуживания должны соответствовать законодательству Вашей страны, и их следует неукоснительно соблюдать, чтобы обеспечить все необходимые меры предосторожности при работе с взрывозащищёнными электродвигателями.

- Ремонт взрывозащищённых электродвигателей должен выполняться самим производителем. Кроме того, производитель имеет возможность поручить ремонт электродвигателя другим уполномоченным компаниям, даже за пределами страны.
- Необходима регулировка и испытание электродвигателей после ремонта.
- Отдельные детали электродвигателя можно заменять только при условии, если это не повлияет на тип защиты электродвигателя или на максимальную температуру электродвигателя. Прежде чем повторно запускать электродвигатель в эксплуатацию после замены деталей, необходимо его испытать.
- Во время ремонтных работ необходимо отключать питание электродвигателя. Сервисное обслуживание может выполнять любая компания, имеющая соответствующее разрешение, если это не повредит защите от взрыва электродвигателя.
- Если ремонт мог отрицательно сказаться на защите электродвигателя, все элементы электродвигателя необходимо повторно проверить и испытать.

Итак, мы рассмотрели некоторые общие указания по ремонту взрывозащищённых электродвигателей. Теперь перейдём к следующему этапу. Далее приведены примеры ремонтных работ с заменой деталей завода-изготовителя, которые не влияют на защиту электродвигателя и, следовательно, могут выполняться любой компанией, имеющей соответствующее разрешение.

- Замена повреждённых кабельных вводов.
- Замена внешнего крепежного оборудования, например, болтов и винтов.
- Замена теплового реле.
- Замена подшипников и охлаждающих вентиляторов.
- Сварка трещин на подставке (лапе) электродвигателя (если она не является элементом корпуса).
- Замена повреждённых уплотнений.

Теперь, когда мы знаем, какие ремонтные работы не оказывают отрицательного воздействия на тип защиты электродвигателя, рассмотрим типы ремонтных работ, которые влияют на тип защиты электродвигателя и, следовательно, могут выполняться только квалифицированным персоналом, имеющим соответствующие разрешения:

- Сверление отверстий в корпусе электродвигателя EEx d, фланцах, кожухе статора и т.д.
- Механическая обработка, шлифование, окрашивание и т.п. газоотводящих каналов электродвигателей EEx d.
- Замена элементов в электродвигателях EEx d неоригинальными элементами, например, самодельными фланцами.
- Установка дополнительных клемм в клеммные коробки электродвигателей EEx e, если эти клеммы не указаны в сертификате. Относится только к двигателям EEx d.
- Новая обмотка электродвигателей EEx e.
- Замена установленных на заводе соединений между кожухом статора EEx d и клеммной коробкой электродвигателей EEx de.

Если возникает необходимость выполнить ремонтные работы, которые могут неблагоприятно отразиться на взрывозащищённости электродвигателя, на эти ремонтные работы обязательно должна быть получена санкция эксперта. Однако если эксперт не может дать свою санкцию на выполнение ремонтных работ, электродвигатель не может быть подключен к насосу.

После того, как мы рассмотрели, какие работы по ремонту взрывозащищённых электродвигателей может выполнять только квалифицированный персонал или персонал, имеющий соответствующие разрешения, коротко разберём, какой ремонт электродвигателей EEx e и EEx d пользователю разрешается выполнять самостоятельно.

- Ремонт внешних деталей и составляющих, который не влияет на уровень защиты электродвигателя.

При необходимости провести техническое обслуживание двигателя. Следует соблюдать правила, действующие в Вашей стране. Это особенно важно для электродвигателей EEx d, так как неправильная сборка электродвигателя может нарушить геометрию газоотводящих каналов.

Рекомендуется вести специальный журнал всех выполненных ремонтных работ с указанием заменённых компонентов электродвигателя Ex.

Ремонтные работы должен выполнять только квалифицированный персонал.

Предложения Grundfos

Насосы Grundfos CR аттестованы как оборудование категории 2 и 3 и могут использоваться в областях, классифицированных как зоны 21 и 22 — для пыли и в зонах 1 и 2 — для газа.

Некоторые типы насосов и электродвигателей Grundfos не сертифицированы для применения в опасных зонах. В связи с этим Grundfos тесно сотрудничает с различными производителями взрывозащищенных электродвигателей. Все они поставляют взрывозащищённые электродвигатели повышенной безопасности, защищённые от горючей пыли и искрообразования.

Стандартные электродвигатели MGE, MMGE, MG и MMG компании Grundfos не сертифицированы для применения в опасных зонах с взрывоопасными газами. Для этих целей применяется специальное оборудование.

Взрывозащищённые электродвигатели – ATEX

Предложения Grundfos

Тип защиты	EEx d	EEx de	EEx e	EEx nA
Обозначение	Взрывозащищённый	Взрывозащищённый с клеммной коробкой повышенной безопасности	Повышенная безопасность	Искробезопасный
Цель	Предотвращение распространения взрыва возникщего внутри электродвигателя во внешнюю среду	Клеммная коробка не позволяет взрыву распространиться во внешнюю среду	Исключается появление дуг или искр во время эксплуатации или пуска в нормальных условиях.	Исключается появление дуг или искр во время эксплуатации в нормальных условиях
Время t_E	Не применяется	Не применяется	Применяется	Не применяется
Конструкция	Каркас повышенной надёжности	Каркас повышенной надёжности со специальными характеристиками клеммной коробки	Такая же, как у стандартного электродвигателя со специальной формой клеммной коробки и вращающихся деталей	Такая же, как у стандартного электродвигателя со специальной формой клеммной коробки
Соотношение мощность на валу/ типоразмер	Стандартное	Стандартное	Сокращённое	Стандартное
Клеммная коробка	Взрывозащищённая оболочка	Взрывозащищённый с клеммной коробкой повышенной безопасности	Клеммная коробка повышенной безопасности	Клеммная коробка повышенной безопасности

Данная таблица представляет обзор различных типов взрывозащищенных электродвигателей. Выбор того или иного типа электродвигателя зависит от принятых норм и правил.

KEMA 04TEX2139 X

CE 0344 Ex II 2 G EEx d IIB T4

Температурный класс/
Максимальная темп-ра
поверхности
T1 = 450 °C T4 = 135 °C
T2 = 300 °C T5 = 100 °C
T3 = 200 °C T6 = 85 °C

Символ защиты от воспламенения/
типичный газ
A = Пропан
B = Этилен
C = Водород

Группы оборудования:
Группа I (I): Электрооборудование для шахт/рудников
Группа II (2): Электрооборудование для прочих случаев эксплуатации во взрывоопасной атмосфере (группы A, B, C)

d – Взрывонепроницаемая оболочка по EN 50018
e – Повышенная безопасность по EN 50019
nA – Искробезопасность по EN 50021
de – Взрывозащищенная оболочка с клеммной коробкой повышенной безопасности по EN 50018 и 19

Ex – Защита от взрыва

E – Европейская сертификация

G = газ; D = пыль

Категория 1: зона 0 или 20
Категория 2: зона 1 или 21
Категория 3: зона 2 или 22

Классификация электродвигателей Ex
EExe → 2G
EExd → 2G
ExnA → 3G

Группы оборудования:
Группа I (I): Электрооборудование для шахт/рудников
Группа II (2): Электрооборудование для прочих случаев эксплуатации во взрывоопасной атмосфере (группы A, B, C)

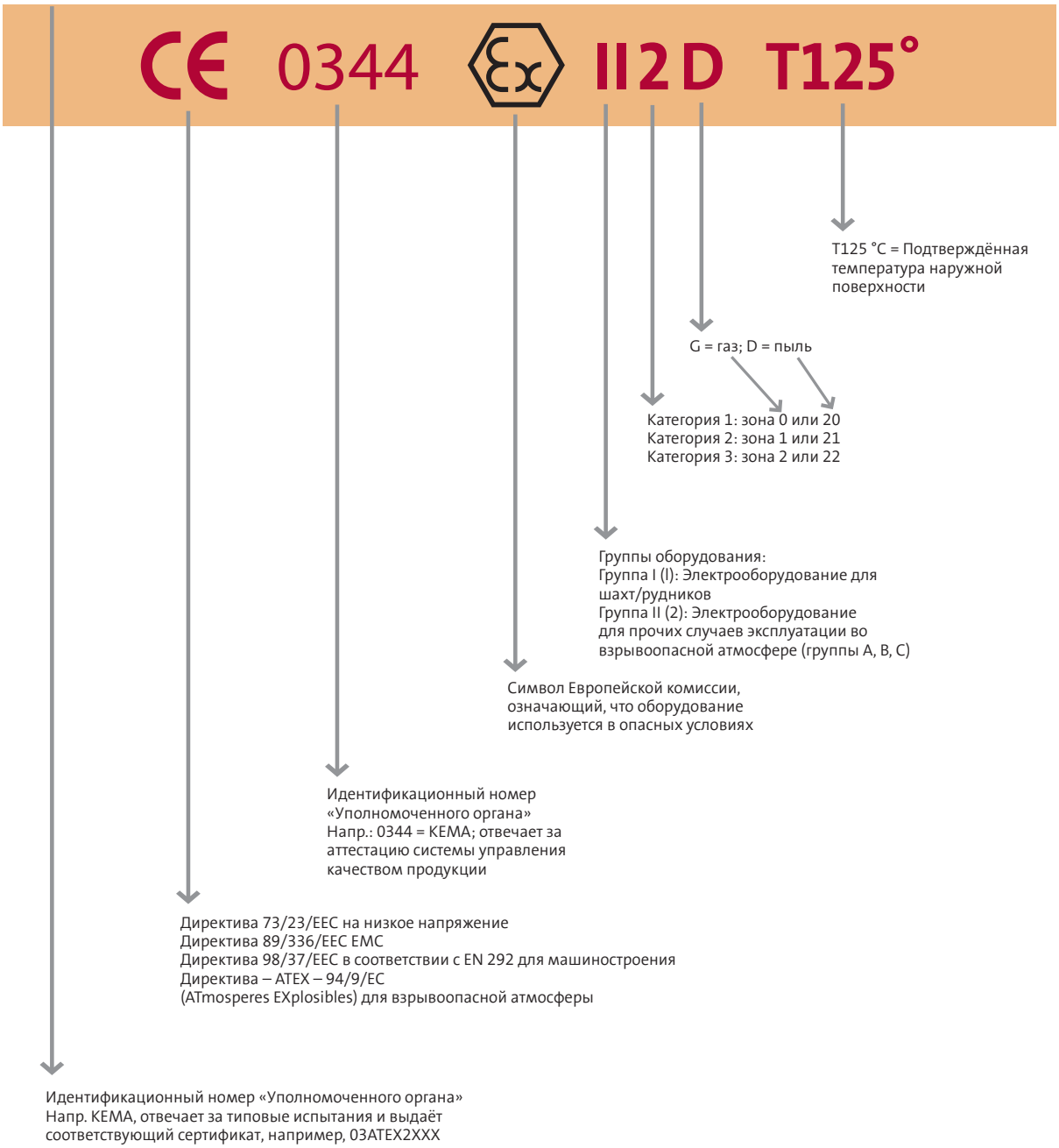
Символ Европейской комиссии, означающий, что оборудование допускается к использованию в опасных условиях

Идентификационный номер «Уполномоченного органа»
Напр.: 0344 = KEMA; отвечает за аттестацию системы управления качеством продукции

Директива 73/23/EEC на низкое напряжение
Директива 89/336/EEC EMC
Директива 98/37/EEC в соответствии с EN 292 для машиностроения
Директива – ATEX – 94/9/EC (ATmosperes EXplosibles)
для взрывоопасной атмосферы

Идентификационный номер «Уполномоченного органа»
Напр. KEMA, отвечает за типовые испытания и выдаёт соответствующий сертификат, например, 03ATEX2XXX

KEMA 04TEX2139 X



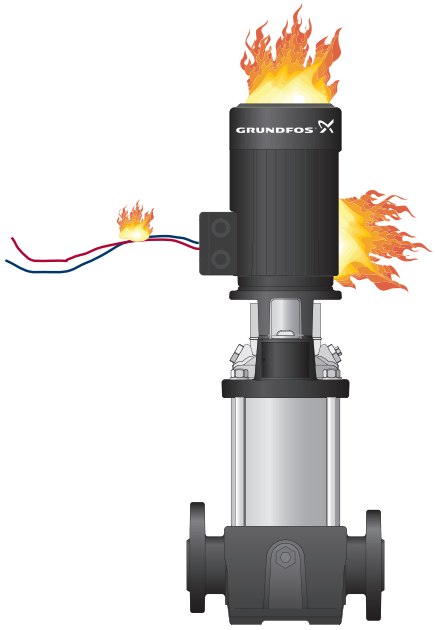
GRUNDFOS
CUE
GRUNDFOS

Для чего нужна защита двигателя? 110
Возможные условия отказа двигателя 110
Плавкий предохранительный выключатель 111
Плавкие предохранители быстрого срабатывания 112
Плавкие предохранители с задержкой срабатывания 112
Время срабатывания плавкого предохранителя 113
Что такое автоматический токовый выключатель и как он работает? 114
Тепловые автоматические выключатели 114
Магнитные автоматические выключатели 114
Рабочий диапазон автоматического выключателя 114
Функции реле перегрузки 115
Обозначение класса срабатывания 115
Сочетание плавких предохранителей с реле перегрузки 116
Современные наружные реле защиты двигателя 117
Настройка наружного реле перегрузки 118
Пример вычисления 118
Внутренняя защита, встраиваемая в обмотки или клеммную коробку 120
Обозначение TP 120
Устройства тепловой защиты, встраиваемые в клеммную коробку 121
Тепловой автоматический выключатель, встраиваемый в обмотки 122
Внутренняя установка 122
Принцип действия теплового автоматического выключателя 123
Подключение 123
Обозначение TP на графике 123
Терморезисторы, встраиваемые в обмотки 124
Принцип действия терморезистора 125
Обозначение TP для электродвигателя с PTC 126
Соединение 126
Электродвигатели с защитой TP 111 126
Электродвигатели с защитой TP 211 126
PT 100 — датчик температуры 127
Обобщение полученных знаний 127
Устройства внешней защиты 127
Устройства внутренней защиты 127
Терморезисторы PTC 128
Тепловой автоматический выключатель и термостаты 128
Что предлагает Grundfos? 129

Для чего нужна защита двигателя?

Для того чтобы избежать непредвиденных сбоев, дорогостоящего ремонта и последующих потерь из-за простоя электродвигателя, очень важно оборудовать двигатель защитным устройством. Защита двигателя имеет три уровня:

- **Внешняя защита от короткого замыкания установки.** Устройства внешней защиты, как правило, являются предохранителями разных видов или реле защиты от короткого замыкания. Защитные устройства данного типа обязательны и официально утверждены, они устанавливаются в соответствии с правилами безопасности.
- **Внешняя защита от перегрузок,** т.е. защита от перегрузок двигателя насоса, а, следовательно, предотвращение повреждений и сбоев в работе электродвигателя. Это защита по току.
- **Встроенная защита двигателя** с защитой от перегрева, чтобы избежать повреждений и сбоев в работе электродвигателя. Для встроенного устройства защиты всегда требуется внешний выключатель, а для некоторых типов встроенной защиты двигателя требуется даже реле перегрузки.

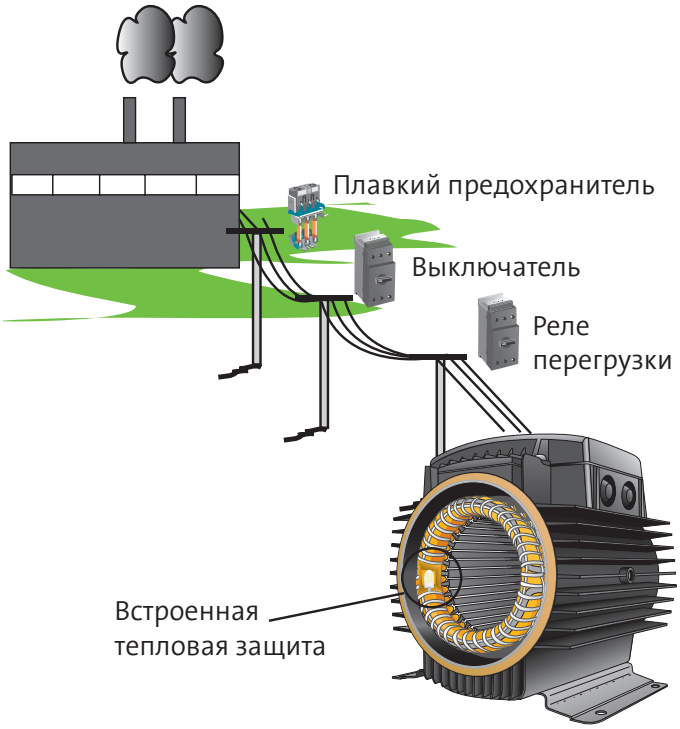


Перегрузка является причиной около 30 % поломок электродвигателя. Источник: Ассоциация по научно-исследовательским работам в области электротехники США

Возможные условия отказа двигателя

Во время эксплуатации могут возникать различные неисправности. Поэтому очень важно заранее предусмотреть возможность сбоя и его причины и как можно лучше защитить двигатель. Далее приведён перечень условий отказа, при которых можно избежать повреждений электродвигателя.

- Низкое качество электроснабжения:
  – высокое напряжение;
  – пониженное напряжение;
  – несбалансированное напряжение / ток (скачки);
  – изменение частоты.
- Неверный монтаж, нарушение условий хранения или неисправность самого электродвигателя.



- Постепенное повышение температуры и выход её за допустимый предел:
  - недостаточное охлаждение;
  - высокая температура окружающей среды;
  - пониженное атмосферное давление (работа на большой высоте над уровнем моря);
  - высокая температура рабочей жидкости;
  - слишком большая вязкость рабочей жидкости ;
  - частые включения/отключения электродвигателя;
  - слишком большой момент инерции нагрузки (свой для каждого насоса).
- Резкое повышение температуры:
  - блокировка ротора;
  - обрыв фазы.

Для защиты сети от перегрузок и короткого замыкания при возникновении каких-либо из перечисленных выше условий отказа необходимо определить, какое устройство защиты сети будет использоваться. Оно должно автоматически отключать питание от сети. Плавкий предохранитель является простейшим устройством, выполняющим две функции. Как правило, плавкие предохранители соединяются между собой при помощи аварийного выключателя, который может отключить двигатель от сети питания. На следующих страницах мы рассмотрим три типа плавких предохранителей с точки зрения их принципа действия и вариантов применения: плавкий предохранительный выключатель, быстродействующие плавкие предохранители и предохранители с задержкой срабатывания.

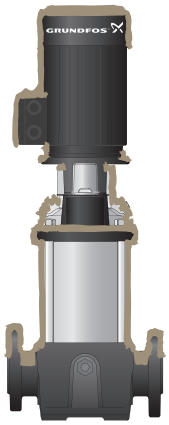
Плавкий предохранительный выключатель

Плавкий предохранительный выключатель — это аварийный выключатель и плавкий предохранитель, объединённые в едином корпусе. С помощью выключателя можно размыкать и замыкать цепь вручную, в то время как плавкий предохранитель защищает двигатель от перегрузок по току.

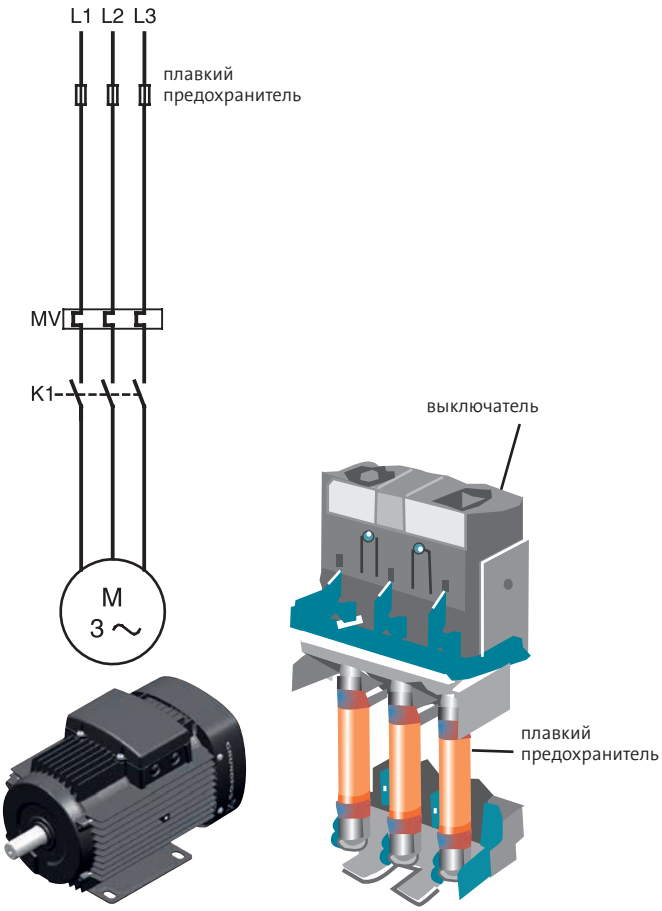
Выключатели, как правило, используются в связи с выполнением сервисного обслуживания, когда необходимо прервать подачу тока.

Аварийный выключатель имеет отдельный кожух. Этот кожух защищает персонал от случайного контакта с электрическими клеммами, а также защищает выключатель от окисления.

Некоторые аварийные выключатели оборудованы встроенными плавкими предохранителями, другие аварийные выключатели поставляются без встроенных плавких предохранителей и оснащены только выключателем.

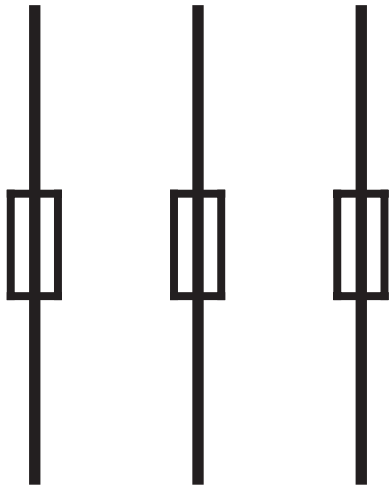


Недостаточная вентиляция из-за слоя грязи на электродвигателе



Плавкий предохранительный выключатель

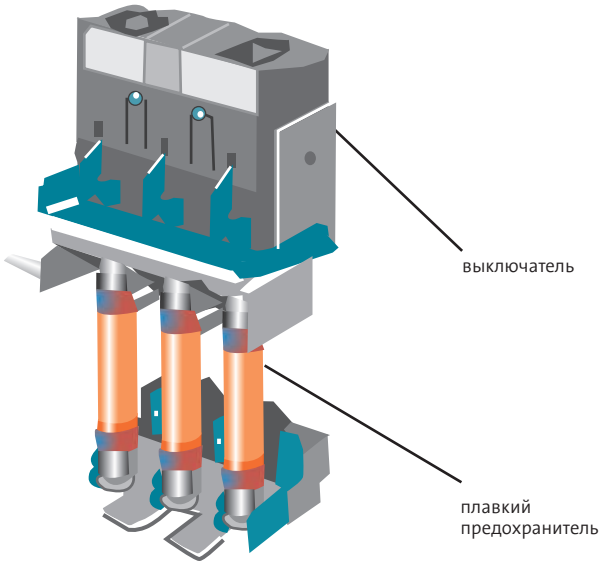
Устройство защиты от перегрузок по току (плавкий предохранитель) должно различать перегрузки по току и короткое замыкание. Например, незначительные кратковременные перегрузки по току вполне допустимы. Но при дальнейшем увеличении тока устройство защиты должно срабатывать немедленно. Очень важно сразу предотвращать короткие замыкания. Выключатель с предохранителем — пример устройства, используемого для защиты от перегрузок по току. Правильно подобранные плавкие предохранители в выключателе размыкают цепь при токовых перегрузках.



В схемах электрических цепей плавкие предохранители обычно обозначаются так

Плавкие предохранители быстрого срабатывания

Быстродействующие плавкие предохранители обеспечивают отличную защиту от короткого замыкания. Однако кратковременные перегрузки, такие как пусковой ток электродвигателя, могут вызвать поломку плавких предохранителей такого вида. Поэтому быстродействующие плавкие предохранители лучше всего использовать в сетях, которые не подвержены действию значительных переходных токов. Обычно такие предохранители выдерживают около 500 % своего номинального тока в течение одной четвёртой секунды. По истечении этого времени вставка предохранителя плавится и цепь размыкается. Таким образом, в цепях, где пусковой ток часто превышает 500 % номинального тока предохранителя, быстродействующие плавкие предохранители использовать не рекомендуется.



Плавкий предохранительный выключатель

Плавкие предохранители с задержкой срабатывания

Данный тип плавких предохранителей обеспечивает защиту и от перегрузки, и от короткого замыкания. Как правило, они допускают 5-кратное увеличение номинального тока на 10 секунд, и даже более высокие значения тока на более короткое время. Обычно этого достаточно, чтобы электродвигатель был запущен и плавкий предохранитель не открылся. С другой стороны, если возникают перегрузки, которые продолжаются больше, чем время плавления плавкого элемента, цепь также разомкнётся.

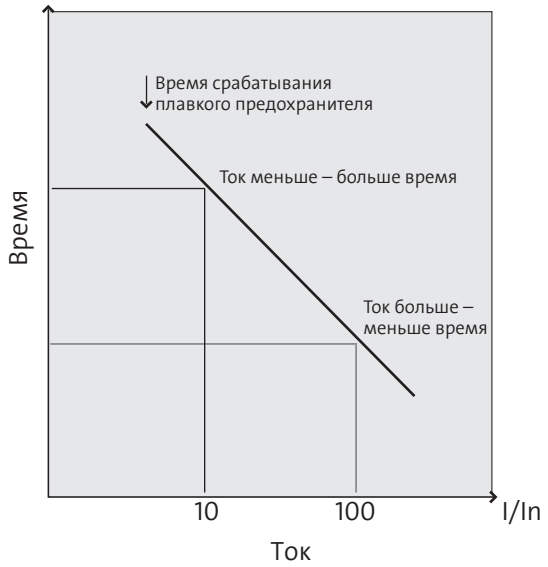
Время срабатывания плавкого предохранителя

Время срабатывания плавкого предохранителя — это время плавления плавкого элемента (проволоки), которое требуется для того, чтобы цепь разомкнулась. У плавких предохранителей время срабатывания обратно пропорционально значению тока — это означает, что чем больше перегрузки по току, тем меньше период времени для отключения цепи.

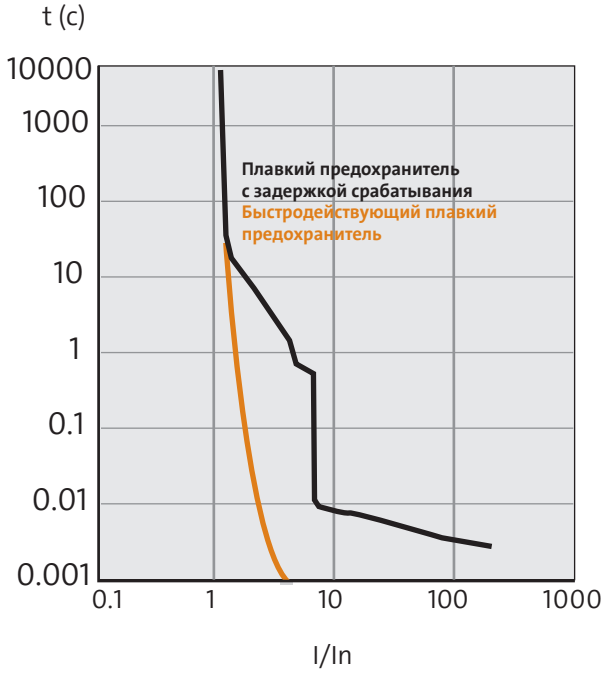
В общем, можно сказать, что у электродвигателей насосов очень короткое время разгона: меньше 1 секунды. В этой связи для электродвигателей подойдут предохранители с задержкой времени срабатывания с номинальным током, соответствующим току полной нагрузки электродвигателя.

Иллюстрация справа демонстрирует принцип формирования характеристики времени срабатывания плавкого предохранителя. Ось абсцисс показывает соотношение между фактическим током и током полной нагрузки: если электродвигатель потребляет ток полной нагрузки или меньше, плавкий предохранитель не размыкается. Но при величине тока, в 10 раз превышающей ток полной нагрузки, плавкий предохранитель разомкнётся практически мгновенно (0,01 с). На оси ординат отложено время срабатывания. Во время пуска через индукционный электродвигатель проходит достаточно большой ток.

В очень редких случаях это приводит к выключению посредством реле или плавких предохранителей. Для уменьшения пускового тока используются различные методы пуска электродвигателя.



Принцип формирования характеристики времени размыкания для плавкого предохранителя. Диаграмма представляет соотношение между фактическим током и током полной нагрузки



Характеристика срабатывания быстродействующего плавкого предохранителя и с задержкой срабатывания. Из-за высокого пускового тока для электродвигателей больше всего подходит плавкий предохранитель с задержкой срабатывания

Что такое автоматический токовый выключатель и как он работает?

Автоматический токовый выключатель является устройством защиты от перегрузок по току. Он автоматически размыкает и замыкает цепь при заданном значении перегрузки по току. Если токовый выключатель применяется в диапазоне своих рабочих параметров, размыкание и замыкание не наносит ему никакого ущерба.

Сразу же после возникновения перегрузки можно легко возобновить работу автоматического выключателя — он просто устанавливается в исходное положение.

Различают два вида автоматических выключателей: тепловые и магнитные.

Тепловые автоматические выключатели

Тепловые автоматические выключатели — это самый надёжный и экономичный тип защитных устройств, которые подходят для электродвигателей. Они могут выдержать большие амплитуды тока, которые возникают при пуске электродвигателя, и защищают электродвигатель от сбоев, таких как блокировка ротора.

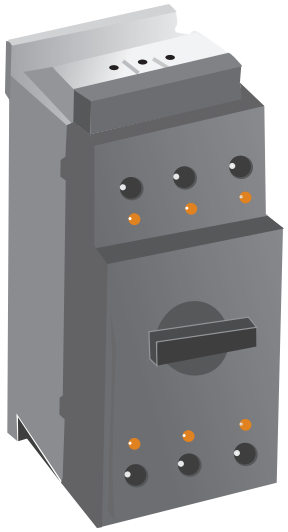
Магнитные автоматические выключатели

Магнитные автоматические выключатели являются точными, надёжными и экономичными. Магнитный автоматический выключатель устойчив к изменениям температуры, т.е. изменения температуры окружающей среды не влияют на его предел срабатывания.

По сравнению с тепловыми автоматическими выключателями, магнитные автоматические выключатели имеют более точно определённое время срабатывания. В таблице приведены характеристики двух типов автоматических выключателей.

Рабочий диапазон автоматического выключателя

Автоматические выключатели различаются между собой уровнем тока срабатывания. Это значит, что всегда следует выбирать такой автоматический выключатель, который может выдержать самый высокий ток короткого замыкания, который может возникнуть в данной системе.



Автоматический выключатель является защитным устройством от перегрузок по току. Он автоматически размыкает и замыкает цепь при заданном значении перегрузки по току. Затем цепь автоматически или вручную замыкается

Характеристики теплового и магнитного автоматических выключателей

Тепловой	Магнитный
Чувствителен к температуре	Нечувствителен к температуре
Нечувствителен к напряжению	Чувствителен к напряжению
Фиксированная задержка по времени	Различные задержки по времени
Функция переустановки и переключения	Функция переключения
Ограниченные схемные функции	Разнообразные схемные функции
Малогабаритная упаковка	Более крупная упаковка
Низкая стоимость	Более высокая стоимость

Функции реле перегрузки

Реле перегрузки:

- При пуске электродвигателя позволяют выдерживать временные перегрузки без разрыва цепи.
- Размыкают цепь электродвигателя, если ток превышает предельно допустимое значение и возникает угроза повреждения электродвигателя.
- Устанавливаются в исходное положение автоматически или вручную после устранения перегрузки.

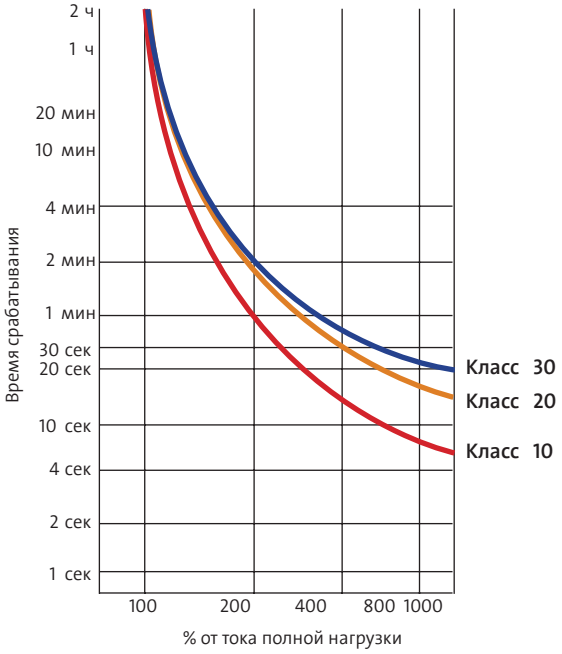
IEC и NEMA стандартизуют классы срабатывания реле перегрузки.

Обозначение класса срабатывания

Как правило, реле перегрузки реагируют на условия перегрузки в соответствии с характеристикой срабатывания. Для любого стандарта (NEMA или IEC) деление изделий на классы определяет, какой период времени требуется реле на размыкание при перегрузке. Наиболее часто встречающиеся классы: 10, 20 и 30. Цифровое обозначение отражает время, необходимое реле для срабатывания. Реле перегрузки класса 10 срабатывает в течение 10 секунд и менее при 600 % тока полной нагрузки, реле класса 20 срабатывает в течение 20 секунд и менее, а реле класса 30 — в течение 30 секунд и менее.

Угол наклона характеристики срабатывания зависит от класса защиты электродвигателя. Электродвигатели IEC обычно адаптированы к определённому варианту использования. Это означает, что реле перегрузки может справляться с избыточным током, величина которого очень близка к максимальной производительности реле. Класс 10 — самый распространённый класс для электродвигателей IEC. Электродвигатели NEMA имеют внутренний конденсатор большей ёмкости, поэтому класс 20 для них применяется чаще.

Реле класса 10 обычно используется для электродвигателей насосов, так как время разгона электродвигателей составляет около 0,1–1 секунды. Для многих высокоинерционных промышленных нагрузок необходимо для срабатывания реле класса 20.



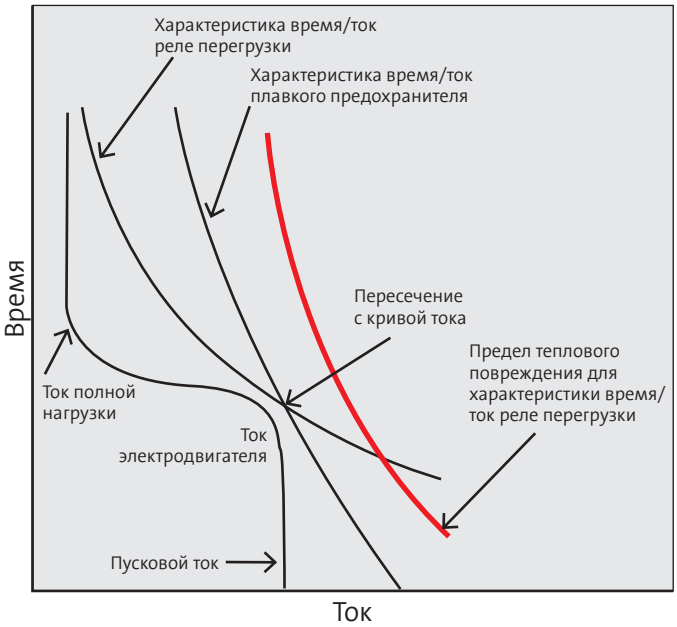
Время срабатывания – это время, которое необходимо реле для срабатывания в период перегрузки. Время срабатывания делится на классы.

Сочетание плавких предохранителей с реле перегрузки

Плавкие предохранители служат для того, чтобы защитить установку от повреждений, которые могут быть вызваны коротким замыканием. В связи с этим плавкие предохранители должны иметь достаточную ёмкость. Более низкие токи изолируются с помощью реле перегрузки. Здесь номинальный ток плавкого предохранителя соответствует не рабочему диапазону электродвигателя, а току, который может повредить наиболее слабые составляющие установки. Как было упомянуто ранее, плавкий предохранитель обеспечивает защиту от короткого замыкания, **но не** защиту от перегрузок при низком токе.

На рисунке справа представлены наиболее важные параметры, формирующие основу согласованной работы плавких предохранителей в сочетании с реле перегрузки.

Очень важно, чтобы плавкий предохранитель сработал прежде, чем другие детали установки получат тепловое повреждение в результате короткого замыкания.



Самые важные параметры, формирующие основу согласованной работы плавких предохранителей в сочетании с реле перегрузки. Характеристика время/ток плавкого предохранителя всегда должна быть ниже характеристики (красного цвета) предела теплового повреждения

Современные наружные реле защиты двигателя

Усовершенствованные наружные системы защиты двигателя также обеспечивают защиту от перенапряжения, перекоса фаз, ограничивают число включений/выключений, устраняют вибрации. Кроме того, они позволяют контролировать температуру статора и подшипников через датчик температуры (PT 100), измерять сопротивление изоляции и регистрировать температуру окружающей среды. В дополнение к этому усовершенствованные наружные системы защиты двигателя могут принимать и обрабатывать сигнал от встроенной тепловой защиты. Далее в этой главе мы рассмотрим устройство тепловой защиты.

Наружные реле защиты двигателя предназначены для защиты трёхфазных электродвигателей при угрозе повреждения двигателя за короткий или более длительный период работы. Кроме защиты двигателя, наружное реле защиты имеет ряд особенностей, которые обеспечивают защиту электродвигателя в различных ситуациях:

- подаёт сигнал прежде, чем возникает неисправность в результате всего процесса;
- диагностирует возникшие неисправности;
- позволяет выполнять проверку работы реле во время техобслуживания;
- контролирует температуру и наличие вибрации в подшипниках.

Можно подключить реле перегрузки к центральной системе управления зданием для постоянного контроля и оперативной диагностики неисправностей. Если в реле перегрузки установлено наружное реле защиты, сокращается период вынужденного простоя из-за прерывания технологического процесса в результате поломки. Это достигается благодаря быстрому обнаружению неисправности и недопущению повреждений электродвигателя.

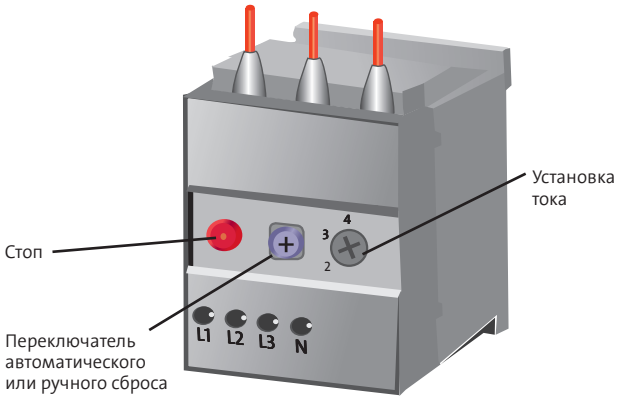
Например, электродвигатель может быть защищён от:

- перегрузки;
- блокировки ротора;
- заклинивания;
- частых повторных пусков;
- разомкнутой фазы;
- замыкания на массу;
- перегрева (с помощью сигнала, поступающего от электродвигателя через датчик PT 100 или терморезисторы);
- малого тока;
- предупреждающего сигнала о перегрузке.

Усовершенствованные реле защиты двигателя

Настройка наружного реле перегрузки

Ток полной нагрузки при определённом напряжении, указанном в фирменной табличке, является нормативом для настройки реле перегрузки. Так как в сетях разных стран присутствует различное напряжение, электродвигатели для насосов могут использоваться как при 50 Гц, так и при 60 Гц в широком диапазоне напряжений. В связи с этим в фирменной табличке электродвигателя указывается диапазон тока. Если нам известно напряжение, мы можем вычислить точную допустимую нагрузку по току.



Пример вычисления

Зная точную величину напряжения для установки, можно рассчитать ток полной нагрузки при 254 Δ/ 440 Y В, 60 Гц.

Данные отображаются в фирменной табличке, как показано в иллюстрации справа.

f = 60 Гц

U = 220 – 277 Δ/380 – 480 Y В

I n = 5,70 – 5,00 / 3,30 – 2,90 А

Вычисления для 60 Гц

$U_{ф}$ = 254 Δ/440 Y В (фактическое напряжение)

U_{min} = 220 Δ/380 Y В
(Минимальные значения в данном диапазоне напряжений)

U_{max} = 277 Δ/480 Y В
(Максимальные значения в данном диапазоне напряжений)

Коэффициент усиления напряжения определяется следующими уравнениями:

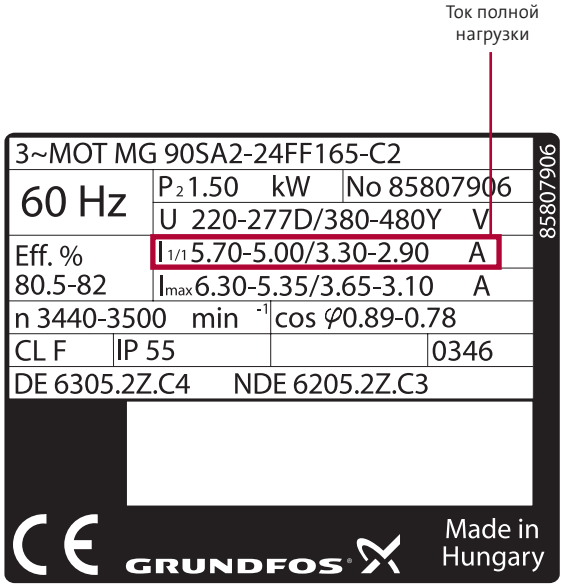
$$U\Delta = \frac{U_a - U_{min}}{U_{max} - U_{min}}$$

в данном случае $\frac{254 - 220}{227 - 220} = 0{,}6$

$$UY = \frac{U_a - U_{min}}{U_{max} - U_{min}}$$

в данном случае $\frac{440 - 380}{480 - 380} = 0{,}6$

$$U\Delta = UY = 0{,}6$$



Ток полной нагрузки при определённом напряжении, указанном в фирменной табличке, является нормативом для настройки реле перегрузки

Расчет фактического тока полной нагрузки (I):

I_{min} = 5,70/3,30 A
(Значения тока для подключения по схеме «треугольник» и «звезда» при минимальных значениях напряжения)

I_{max} = 5,00/2,90 A
(Значения тока для подключения по схеме «треугольник» и «звезда» при максимальных значениях напряжения)

Теперь с помощью первой формулы можно рассчитать ток полной нагрузки:

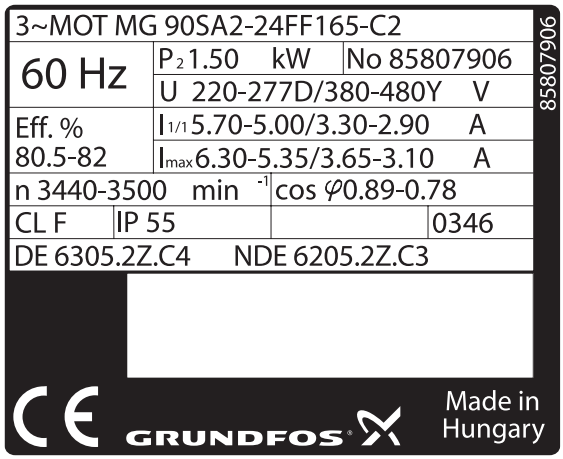
I для «треугольника»:
$5{,}70 + (5{,}00 - 5{,}70) \cdot 0{,}6 = 5{,}28 = 5{,}30$ A

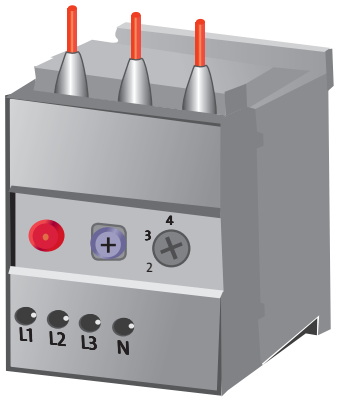
I для «звезды»:
$3{,}30 + (2{,}90 - 3{,}30) \cdot 0{,}6 = 3{,}06 = 3{,}10$ A

Величины для тока полной нагрузки соответствуют допустимому значению тока полной нагрузки электродвигателя при 254 Δ/440 Y В, 60 Гц.

Внимание: наружное реле перегрузки электродвигателя всегда устанавливается на номинальное значение тока, указанное в фирменной табличке.

Однако если электродвигатели сконструированы с учётом коэффициента нагрузки, который затем указывается в фирменной табличке, напр., 1,15, заданное значение тока для реле перегрузки может быть увеличено на 15 % по сравнению с током полной нагрузки или коэффициентом нагрузки в амперах (SFA — service factor amps), который, как правило, указывается в фирменной табличке.





Если электродвигатель подключен по схеме «звезда» = 440 В, 60 Гц, тогда реле перегрузки должно быть установлено на 3,1 А

Внутренняя защита, встраиваемая в обмотки или клеммную коробку

Для чего нужна встроенная защита двигателя, если электродвигатель уже оснащён реле перегрузки и плавкими предохранителями? В некоторых случаях реле перегрузки не регистрирует перегрузку электродвигателя. Например, в ситуациях:

- Когда электродвигатель закрыт (недостаточно охлаждается) и медленно нагревается до опасной температуры.
- При высокой температуре окружающей среды.
- Когда наружная защита двигателя настроена на слишком высокий ток срабатывания или установлена неправильно.
- Когда электродвигатель перезапускается несколько раз в течение короткого периода времени и пусковой ток нагревает электродвигатель, что в конечном счёте, может его повредить.

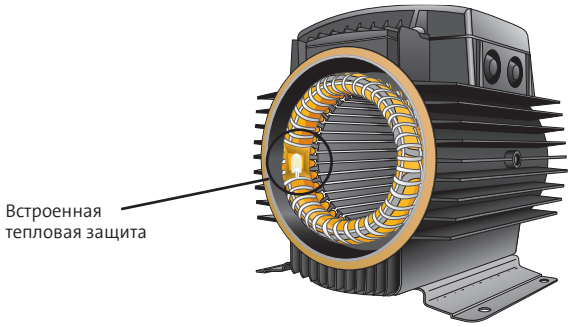
Уровень защиты, который может обеспечить внутренняя защита, указывается в стандарте IEC 60034—11.

Обозначение TP

TP — аббревиатура «thermal protection» — тепловая защита. Существуют различные типы тепловой защиты, которые обозначаются кодом TP (TPxxx). Код включает в себя:

- Тип тепловой перегрузки, для которой была разработана тепловая защита (1-я цифра).
- Число уровней и тип действия (2-я цифра).
- Категорию встроенной тепловой защиты (3-я цифра).

В электродвигателях насосов, самыми распространёнными обозначениями TP являются:
TP 111: Защита от постепенной перегрузки.
TP 211: Защита как от быстрой, так и от постепенной перегрузки.

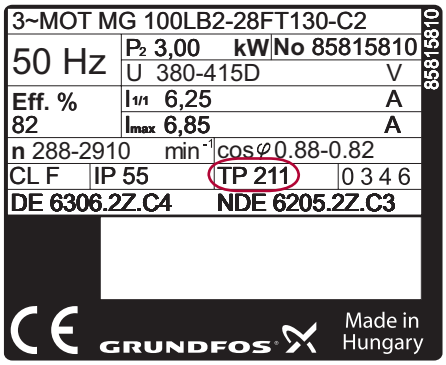


Внутренняя защита, встраиваемая в обмотки

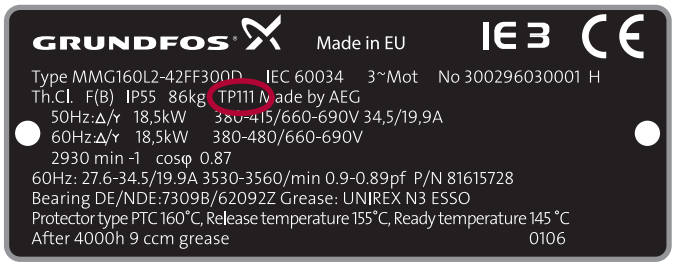
Обозначение	Техническая перегрузка и ее варианты (1-я цифра)	Количество уровней и функциональная область (2-я цифра)	Категория 1 (3-я цифра)
TP 111	Только медленно (постоянная перегрузка)	1 уровень при отключении	1
TP 112			2
TP 121		2 уровня при аварийном сигнале и отключении	1
TP 122			2
TP 211	Медленно и быстро (постоянная перегрузка, блокировка)	1 уровень при отключении	1
TP 212			2
TP 221		2 уровня при аварийном сигнале и отключении	1
TP 222			2
TP 311	Только быстро (блокировка)	1 уровень при отключении	1
TP 321			2

Изображение допустимого температурного уровня при воздействии на электродвигатель высокой температуры. Категория 2 допускает более высокие температуры, чем категория 1.

Все однофазные электродвигатели Grundfos оснащены защитой двигателя по току и температуре в соответствии с IEC 60034—11. Тип защиты двигателя TP 211 означает, что она реагирует как на постепенное, так и на быстрое повышение температуры. Сброс данных в устройстве и возврат в начальное положение осуществляется автоматически. Трёхфазные электродвигатели Grundfos MG мощностью от 3.0 кВт стандартно оборудованы датчиком температуры PTC. Эти электродвигатели были испытаны и одобрены как электродвигатели TP 211, которые реагируют и на медленное, и на быстрое повышение температуры. Другие электродвигатели, используемые для насосов Grundfos (MMG модели D и E, Siemens, и т.п.), могут быть классифицированы как TP 211, но, как правило, они имеют тип защиты TP 111. Необходимо всегда учитывать данные, указанные на фирменной табличке. Информацию о типе защиты конкретного электродвигателя можно найти на фирменной табличке — маркировка с буквенным обозначением TP (тепловая защита) согласно IEC 60034—11. Как правило, внутренняя защита может быть организована при помощи двух типов устройств защиты: Устройств тепловой защиты или терморезисторов.



TP 211 в электродвигателе MG 3,0 кВт, оборудованном PTC



TP 111 в электродвигателе MMG 18,5 кВт Grundfos, оборудованном PTC.

Устройства тепловой защиты, встраиваемые в клеммную коробку

В устройствах тепловой защиты, или термостатах, используется биметаллический автоматический выключатель дискового типа мгновенного действия для размыкания и замыкания цепи при достижении определённой температуры. Устройства тепловой защиты называют также «кликсонами» (по названию торговой марки от Texas Instruments). Как только биметаллический диск достигает заданной температуры, он размыкает или замыкает группу контактов в подключённой схеме управления. Термостаты оснащены контактами для нормально разомкнутого или нормально замкнутого режима работы, но одно и то же устройство не может использоваться для двух режимов. Термостаты предварительно откалиброваны производителем, и их установки менять нельзя. Диски герметично изолированы и располагаются на контактной колодке.

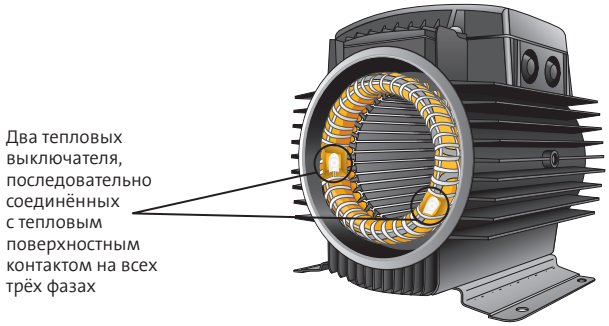
Тепловой автоматический выключатель без нагревателя

Тепловой автоматический выключатель с нагревателем

Тепловой автоматический выключатель без нагревателя для трехфазных электродвигателей (устройство защиты в схеме «звезда»)

Через термостат может подаваться напряжение в цепи аварийной сигнализации — если он нормально разомкнут, или термостат может обесточивать электродвигатель — если он нормально замкнут и последовательно соединён с контактором. Так как термостаты находятся на наружной поверхности концов катушки, то они реагируют на температуру в месте расположения. Применительно к трёхфазным электродвигателям термостаты считаются нестабильной защитой в условиях торможения или в других условиях быстрого изменения температуры. В однофазных электродвигателях термостаты служат для защиты при блокировке ротора.

Тепловая защита для последовательного соединения с обмоткой или контуром управления в электродвигателе



Тепловая защита, встраиваемая в обмотки

Тепловой автоматический выключатель, встраиваемый в обмотки

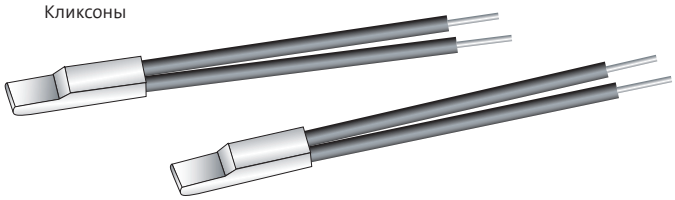
Устройства тепловой защиты могут быть также встроены в обмотки, см. иллюстрацию справа.

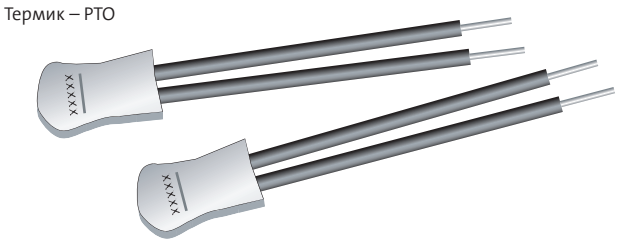
Они действуют как сетевой выключатель как для однофазных, так и для трёхфазных электродвигателей. В однофазных электродвигателях мощностью до 1,1 кВт устройство тепловой защиты устанавливается непосредственно в главном контуре, чтобы оно выполняло функцию устройства защиты на обмотке. Кликсон и Термик — примеры тепловых автоматических выключателей. Эти устройства называют также PTO (Protection Thermique a Ouverture).

Внутренняя установка

В однофазных электродвигателях используется один одинарный тепловой автоматический выключатель. В трёхфазных электродвигателях — два последовательно соединённых выключателя, расположенных между фазами электродвигателя. Таким образом, все три фазы контактируют с тепловым выключателем. Тепловые автоматические выключатели можно установить на конце обмоток, однако это приводит к увеличению времени реагирования. Выключатели должны быть подключены к внешней системе управления. Таким образом электродвигатель защищается от постепенной перегрузки. Для тепловых автоматических выключателей реле — усилителя не требуется.

Тепловые выключатели НЕ ЗАЩИЩАЮТ двигатель при блокировке ротора.





Тепловые автоматические выключатели, чувствительные к изменению тока и температуры

Принцип действия теплового автоматического выключателя

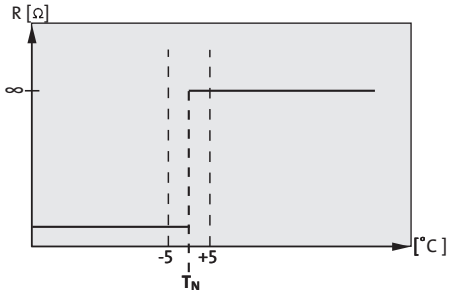
На графике справа показана зависимость сопротивления от температуры для стандартного теплового автоматического выключателя. У каждого производителя эта характеристика своя. TN обычно лежит в интервале 150—160 °C.

Подключение

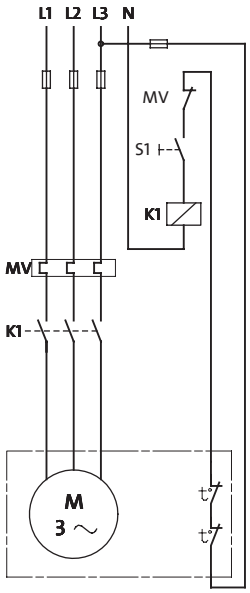
Подключение трёхфазного электродвигателя со встроенным тепловым выключателем и реле перегрузки.

Обозначение TP на графике

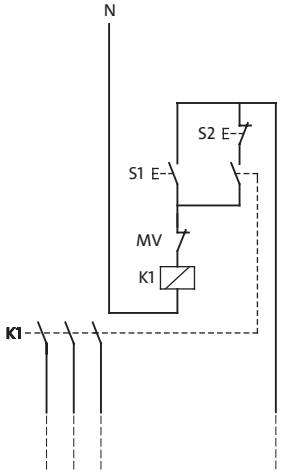
Защита по стандарту IEC 60034—11: TP 111 (постепенная перегрузка). Для того чтобы обеспечить защиту при блокировке ротора, электродвигатель должен быть оборудован реле перегрузки.



Зависимость сопротивления от температуры для стандартного теплового автоматического выключателя



Автоматическое повторное включение



Повторное включение вручную

S1	Переключатель вкл.–выкл.
S2	Выключатель
K1	Контактор
t	Тепловой автоматический выключатель в электродвигателе
M	Электродвигатель
MV	Реле перегрузки

Тепловые автоматические выключатели нагружаются следующим образом:

U_{max} = 250 В AC

IN = 1,5 A

I_{max} = 5,0 A (ток включения и выключения)

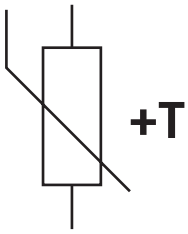
Терморезисторы, встраиваемые в обмотки

Второй тип внутренней защиты — это терморезисторы, или датчики с положительным температурным коэффициентом (PTC). Терморезисторы встраиваются в обмотки электродвигателя и защищают его при блокировке ротора, продолжительной перегрузке и высокой температуре окружающей среды. Тепловая защита обеспечивается с помощью контроля температуры обмоток электродвигателя с помощью PTC датчиков. Если температура обмоток превышает температуру отключения, сопротивление датчика меняется соответственно изменению температуры.

В результате такого изменения внутренние реле обесточивают контур управления внешнего контактора. Электродвигатель охлаждается, и восстанавливается приемлемая температура обмотки электродвигателя, сопротивление датчика понижается до исходного уровня. В этот момент происходит автоматическое приведение модуля управления в исходное положение, если только он предварительно не был настроен на сброс данных и повторное включение вручную.

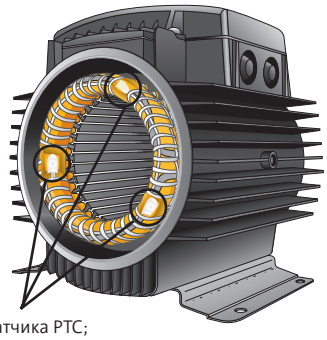
Если терморезисторы установлены на концах катушки самостоятельно, защиту можно классифицировать только как TP 111. Причина в том, что терморезисторы не имеют полного контакта с концами катушки, и, следовательно, не могут реагировать так быстро, как если бы они изначально были встроены в обмотку.

Система, чувствительная к температуре терморезистора, состоит из датчиков с положительным температурным коэффициентом (PTC), устанавливаемых последовательно, и твердотельного электронного выключателя в закрытом блоке управления. Набор датчиков состоит из трёх — по одному на фазу. Сопротивление в датчике остаётся относительно низким и постоянным в широком диапазоне температур, с резким увеличением при температуре срабатывания. В таких случаях датчик действует как твердотельный тепловой автоматический выключатель и обесточивает контрольное реле. Реле размыкает цепь управления всего механизма для отключения защищаемого оборудования. Когда температура обмотки восстанавливается до допустимого значения, блок управления можно привести в прежнее положение вручную.



Терморезистор / PTC. Срабатывает только при достижении заданной температуры. Терморезистор должен быть подсоединён к цепи управления, которая при увеличении сопротивления терморезистора отключает двигатель от сети питания. Используется в трёхфазных электродвигателях.

Датчики PTC



3 датчика PTC;
По одному на каждой фазе

Защита PTC, встроенная в обмотки

Номин. темп. срабатывания T [°C]	145	150	155	160	165	170
Цвет провода	белый	чёрный	синий	синий	синий	белый
	чёрный	чёрный	чёрный	красный	коричневый	зелёный

Цвета проводов датчиков PTC помогают определить температуру срабатывания. Датчик PTC на верхнем рисунке срабатывает при T_{TC} =160 °C. Датчики PTC имеют температуры срабатывания T_{TC} в диапазоне от 90 до 180 °C с интервалом 5 градусов

Все электродвигатели Grundfos мощностью от 3 кВт и выше оснащены терморезисторами. Система терморезисторов с положительным температурным коэффициентом (PTC) считается устойчивой к отказам, так как в результате выхода из строя датчика или отсоединении провода датчика возникает бесконечное сопротивление, и система срабатывает так же, как при повышении температуры, — происходит обесточивание контрольного реле.

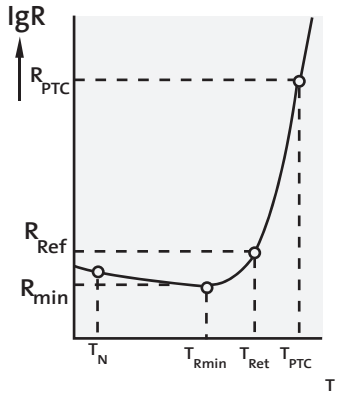
Принцип действия терморезистора

Критические значения зависимости сопротивление/температура для датчиков системы защиты электродвигателя определены в стандартах DIN 44081/ DIN 44082.

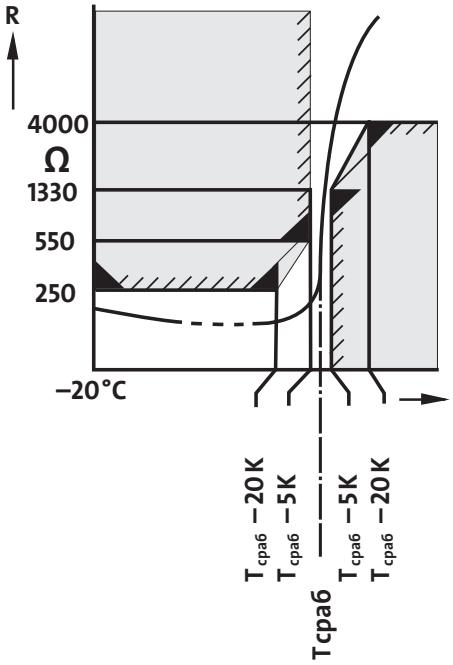
На кривой DIN справа показано сопротивление в датчиках терморезистора в зависимости от температуры.

По сравнению с PTO терморезисторы имеют следующие преимущества:

- Более быстрое срабатывание благодаря меньшему объёму и массе.
- Лучше контакт с обмоткой электродвигателя.
- Датчики устанавливаются на каждой фазе.
- Обеспечивают защиту при блокировке ротора.



Типичная зависимость сопротивления от температуры терморезистора PTC (DIN 44081/44082)



Критические значения характеристики сопротивление/температура для датчиков защиты электродвигателя.

$T_{сраб}$ = температура срабатывания терморезистора.

Данные кривые относятся к одному датчику.

Обычно в электродвигателе установлено три таких датчика.

Обозначение TP для электродвигателя с PTC

Защита двигателя TP 211 реализуется, только когда терморезисторы PTC полностью установлены на концах обмоток на заводе-изготовителе. Защита TP 111 реализуется только при самостоятельной установке на месте эксплуатации. Электродвигатель должен пройти испытания и получить подтверждение о соответствии его маркировке TP 211. Если электродвигатель с терморезисторами PTC имеет защиту TP 111, он должен быть оснащён реле перегрузки для предотвращения последствий заклинивания.

Соединение

На рисунках справа представлены схемы подключения трёхфазного электродвигателя, оснащённого терморезисторами PTC, с расцепителями Siemens. Для реализации защиты как от постепенной, так и от быстрой перегрузки, мы рекомендуем следующие варианты подключения электродвигателей, оснащённых датчиками PTC, с защитой TP 211 и TP 111.

Электродвигатели с защитой TP 111

Если электродвигатель с терморезистором имеет маркировку TP 111, это значит, что электродвигатель защищён только от постепенной перегрузки.
Для того чтобы защитить электродвигатель от быстрой перегрузки, электродвигатель должен быть оборудован реле перегрузки. Реле перегрузки должно подключаться последовательно к реле PTC.

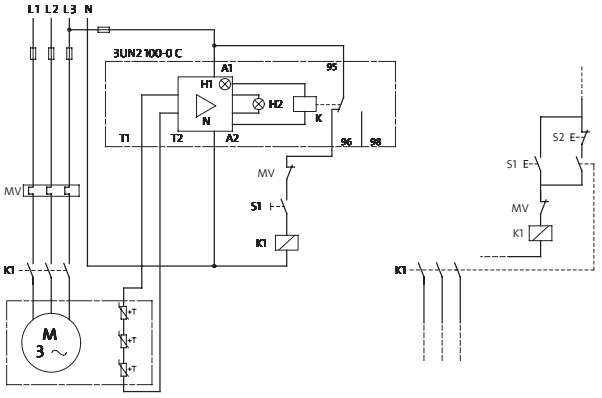
Электродвигатели с защитой TP 211

Защита TP 211 двигателя обеспечивается, только если терморезистор PTC полностью встроен в обмотки. Защита TP 111 реализуется только при самостоятельном подключении.

Терморезисторы разработаны в соответствии со стандартом DIN 44082 и выдерживают нагрузку U_{max} 2,5 В DC. Все отключающие элементы предназначены для приёма сигналов от терморезисторов DIN 44082, т. е терморезисторов компании Siemens.

Обратите внимание! Очень важно, чтобы встроенное устройство PTC было последовательно соединено с реле перегрузки. Многократные повторные включения реле перегрузки могут привести к сгоранию обмотки в случае блокировки электродвигателя или пуска при высокой инерции. Поэтому очень важно, чтобы температурные показатели и данные по потребляемому току устройства PTC и реле перегрузки соответствовали норме. Это достигается при последовательном соединении этих устройств.

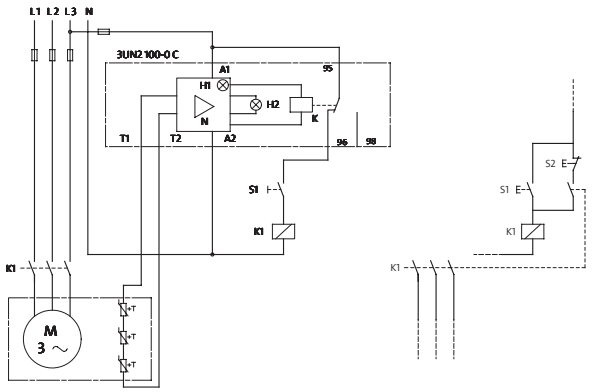
Электродвигатели с защитой TP 111



Автоматическое повторное включение

Повторное включение вручную

Электродвигатели с защитой TP 211



Автоматическое повторное включение

Повторное включение вручную

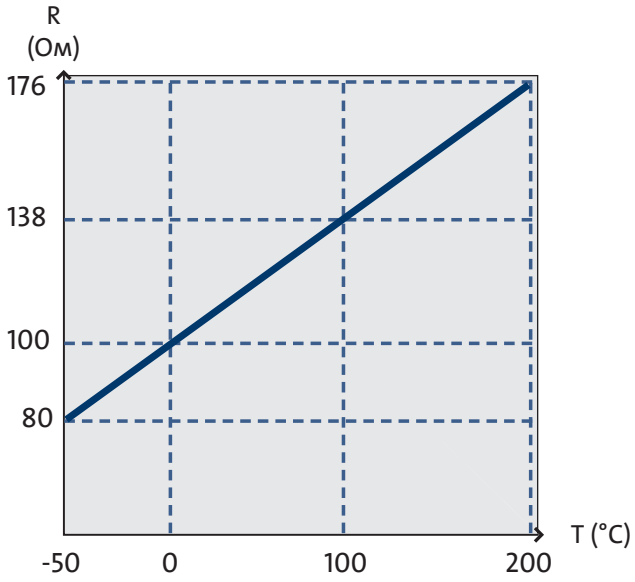
S1	Переключатель вкл./выкл.
K1	Контактор
t	Терморезистор в электродвигателе
M	Электродвигатель
MV	Реле перегрузки электродвигателя

Отключающий элемент 3UN2 100-0C с автоматическим повторным включением:

A	Реле-усилитель
C	Выходное реле
H1	Светодиод «Готов к работе»
H2	Светодиод «Отключение»
A1, A2	Соединение для управляющего напряжения
T1, T2	Соединение для цепи терморезистора

PT 100 — датчик температуры

PT 100 является устройством защиты. Сопротивление устройства PT 100 постоянно меняется с увеличением температуры. Сигнал от датчика температуры PT 100 может использоваться микропроцессором для управления с обратной связью, чтобы точно определять температуру обмотки. Кроме того, его можно использовать для контроля температуры подшипников.



PT 100 – датчик температуры

Обобщение полученных знаний

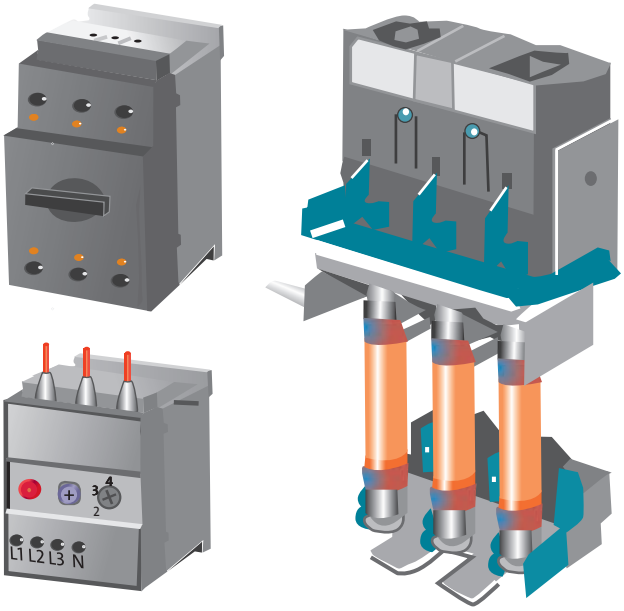
Для защиты электродвигателя от перегрева применяется несколько методов. Далее представлена обобщённая информация о самых важных устройствах защиты и их характеристики.

Устройства внешней защиты

Устройства внешней защиты: плавкие предохранители, автоматические выключатели, реле перегрева и перегрузки по току — реагируют на ток, идущий от электродвигателя. Устройства внешней защиты предназначены для отключения электродвигателя, если ток превышает номинальное значение тока полной нагрузки. При перегреве электродвигателя этот вид защиты не сработает; например, если вход в крышке вентилятора закрыт полиэтиленовым пакетом или при чрезмерно высокой температуре окружающей среды ток увеличиваться не будет, зато будет повышаться температура. Устройства внешней защиты предохраняют от поломок в случае блокировки ротора.

Устройства внутренней защиты

Устройства внутренней защиты, такие как терморезисторы, намного эффективнее устройств внешней защиты. Это объясняется тем, что они измеряют температуру обмотки. Самыми распространёнными устройствами внутренней защиты являются терморезисторы PTC и тепловые автоматические выключатели.

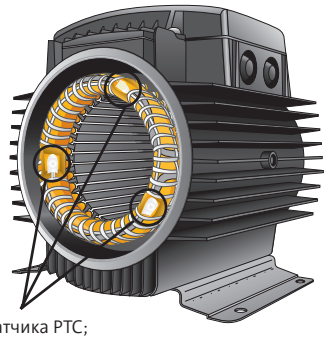


Внешняя защита двигателя

Терморезисторы PTC

Терморезисторы PTC (терморезисторы с положительным температурным коэффициентом) могут встраиваться в обмотки электродвигателя производителем или устанавливаться позднее. Обычно устанавливают последовательно три терморезистора PTC: по одному на обмотке каждой фазы. Они могут иметь температуру отключения в диапазоне от 90 до 180 °C с шагом 5 °C. Терморезисторы PTC должны быть подключены к реле терморезистора, которое расцепляет цепь питания двигателя при резком увеличении сопротивления терморезистора (по достижении температуры отключения). Эти устройства нелинейные. При температуре окружающей среды сопротивление трёх терморезисторов будет равно 200 Ом; оно резко увеличится до 3000 Ом (по 1000 Ом каждый) при температуре отключения. Если температура ещё повысится, сопротивление терморезистора PTC может достигнуть нескольких тысяч Ом. Реле терморезистора обычно срабатывают при 3000 Ом или при достижении сопротивления срабатывания, указанного в стандарте DIN 44082.

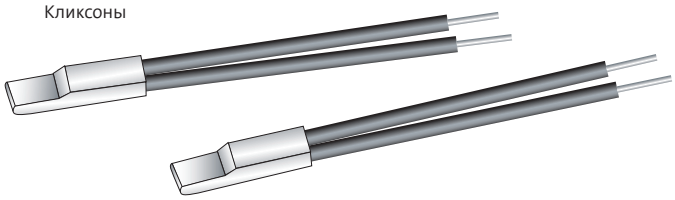
Датчики PTC

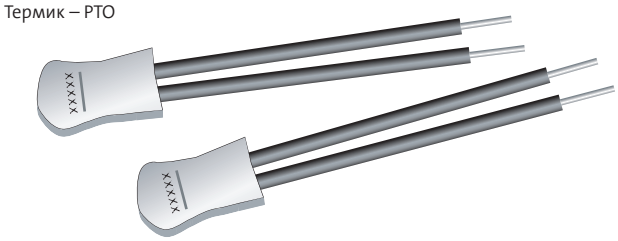


Защита PTC, встроенная в обмотки

Тепловой автоматический выключатель и термостаты

Тепловые автоматические выключатели — это небольшие биметаллические выключатели, которые срабатывают в зависимости от температуры. Они могут иметь широкий диапазон температур отключения. Как правило, они представлены двумя типами: нормально разомкнутым и нормально замкнутым. Наиболее распространённым является нормально замкнутый тип: один или два последовательно соединённых выключателя обычно встраиваются в обмотки, как и терморезисторы, и могут быть напрямую подключены к цепи катушки главного контактора. Таким образом, никакого реле не требуется. Такой тип защиты дешевле терморезисторов, но, с другой стороны, он менее чувствительный и не может обеспечить защиту при блокировке ротора.



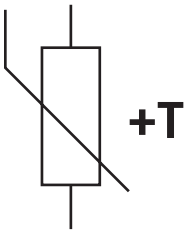


Тепловые автоматические выключатели, чувствительные к току и температуре

Что предлагает Grundfos?

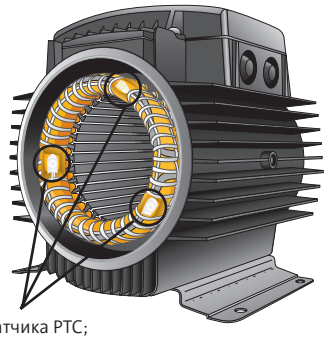
Все однофазные и трёхфазные электродвигатели Grundfos мощностью от 3 кВт и выше поставляются со встроенной тепловой защитой. Электродвигатели с датчиками PTC поставляются с тремя датчиками, по одному на каждой фазе. В основном эта защита необходима для предохранения от медленно увеличивающейся температуры в электродвигателе, но также и для защиты от резко увеличивающейся температуры. В зависимости от конструкции электродвигателя и его применения, тепловая защита может также служить для других целей или предотвращать повышение до опасного уровня температуры в контроллерах, установленных в двигателях.

В связи с этим, если электродвигатель насоса должен быть полностью защищён, его необходимо оборудовать и реле перегрузки, и устройством PTC (если электродвигатель не имеет защиты TP 211). Реле перегрузки и PTC должны быть соединены последовательно, чтобы электродвигатель не запускался повторно прежде, чем оба устройства будут приведены в исходное положение. Таким образом, не возникнет перегрузки или перегрева электродвигателя.



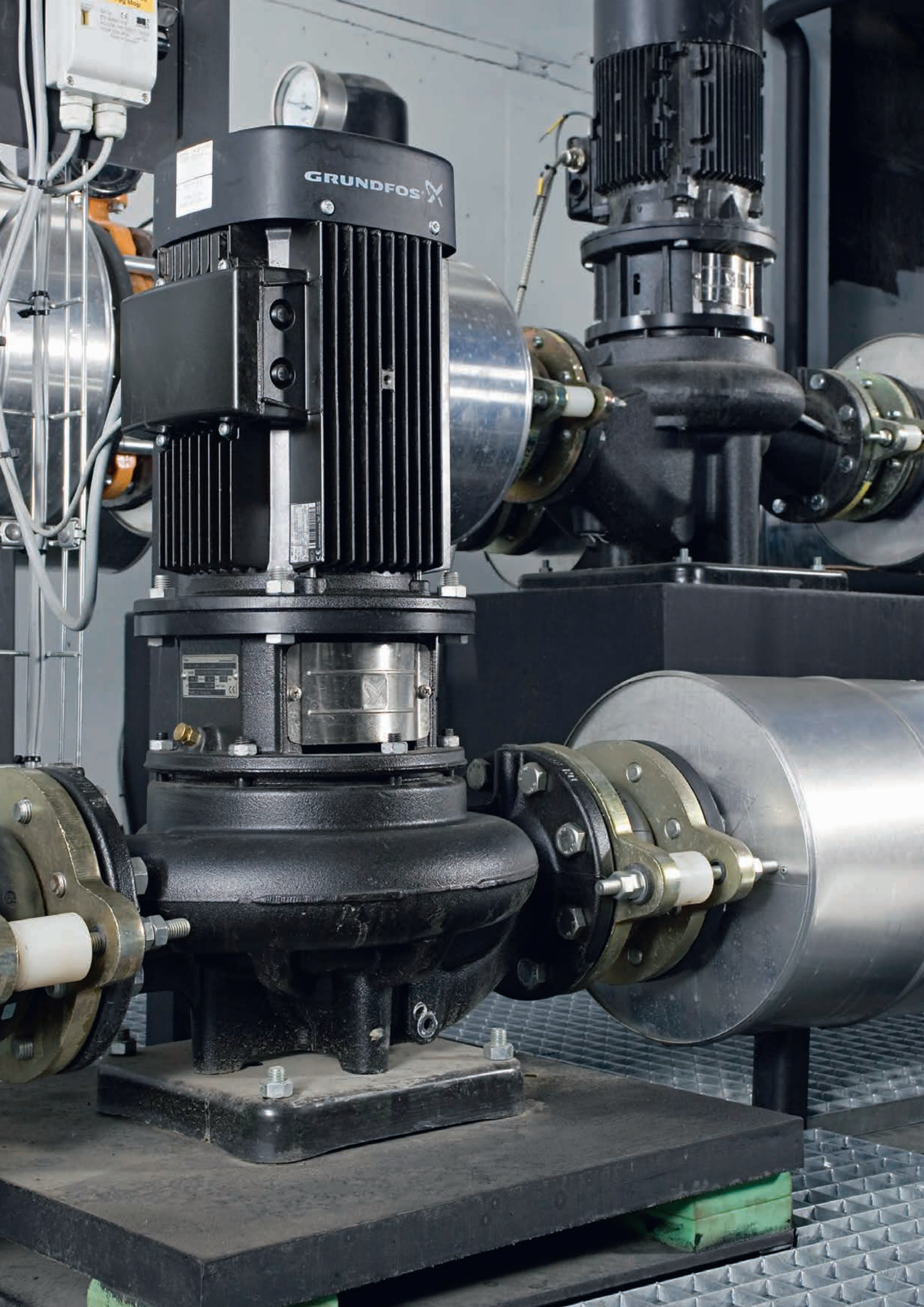
Терморезистор / PTC. Чувствителен только к температуре.
Терморезистор должен быть подключен к контуру управления, который при резком росте сопротивления отключит электродвигатель. Используется в трёхфазных электродвигателях.

Датчики PTC



3 датчика PTC;
По одному на каждой фазе

Защита PTC, встроенная в обмотки


GRUNDFOS

Типы подшипников 132
Подшипники скольжения и игольчатые подшипники 132
Шарикоподшипники 132
Роликовые подшипники 133
Маркировка/кодовое обозначение подшипников 133
Габаритные размеры 135
Зазор в подшипниках 135
Выбор внутреннего зазора подшипника 136
Выбор первоначального зазора 137
О подшипниках в электродвигателях переменного тока, используемых для привода насосов 138
Харатеристики шарикоподшипников с глубокими дорожками качения и радиально-упорных подшипников 138
Предварительный натяг 139
Назначение предварительного натяга 140
Уплотнение 140
Что следует учитывать при установке блоков подшипников в стандартных электродвигателях 141
Осевые нагрузки 141
Усилие предварительного натяга 141
Допустимая нагрузка на упорный подшипник и зазор 141
Рабочий зазор 142
Рекомендации 142
Замена смазки 142
Как оценить ресурс подшипника 143
L_{10}, или номинальный ресурс 143
F_{10h}, или эксплуатационный ресурс 144
L_{10h} — Вычисление ресурса подшипника 145
a_1 — Поправочный коэффициент для большей точности определения ресурса 145
a_2 — Поправочный коэффициент для специальных подшипников 145
a_3 — Поправочный коэффициент для рабочих условий 145
C — Динамическая номинальная нагрузка 145
P — Эквивалентная динамическая нагрузка 145
Нагрузка на подшипник при запуске насоса 146
Осевая сила F_a 146
Радиальная сила F_r 146
Экваивалентная динамическая нагрузка на однорядные шарикоподшипники с глубокими дорожками качения 147
Эквивалентная динамическая нагрузка на радиально-упорные подшипники (однорядные) 147
Влияние смазки на ресурс подшипника 147
Пример вычисления 1: 148
Пример вычисления 2: 150
Как определить ресурс консистентной смазки — F_{10h} 152
Повреждения подшипников 153
Насосы высокого давления и конструкция подшипников электродвигателя 154
Специально изготовленные подшипники для электродвигателей 154
Гибридные подшипники 155
Полностью керамические подшипники 155
Подшипники с керамическим покрытием 156

Типы подшипников

Подшипники служат опорами вала в электродвигателе.

Подшипники разделяются на 2 типа:

— подшипники качения,

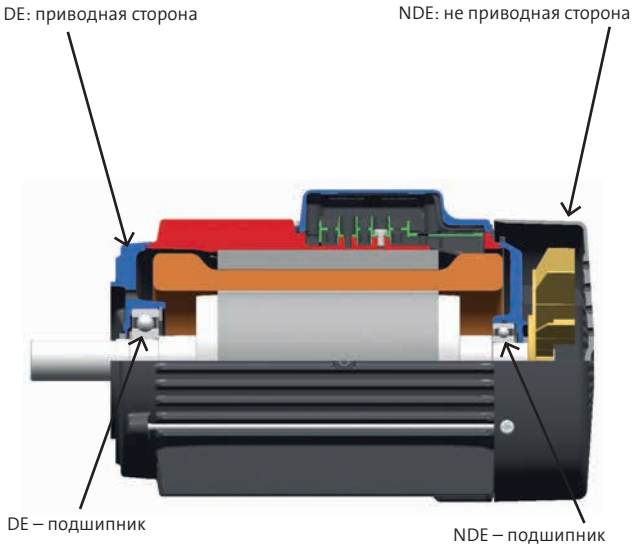
— подшипники скольжения.

В зависимости от формы тел качения, подшипники качения бывают:

— шариковыми;

— роликовыми;

— игольчатыми.



Подшипники скольжения и игольчатые подшипники

Подшипники скольжения и игольчатые подшипники используются в электродвигателях бытовых электроприборов. Они, как правило, применяются для систем с обдувом (например, в вентиляторах), когда необходимо обеспечить низкий уровень шума.

Шарикоподшипники

Шарикоподшипники используются практически во всех типоразмерах электродвигателей для промышленного применения, включая электродвигатели насосов. Шарикоподшипники имеют следующие преимущества:

- работают в широком диапазоне температур;
- подходят для работы с высокой частотой вращения;
- обеспечивают небольшие потери на трение.

Выделяют несколько типов подшипников: открытые шарикоподшипники, шарикоподшипники с одной защитной шайбой и уплотнённые шарикоподшипники.

Роликовые подшипники

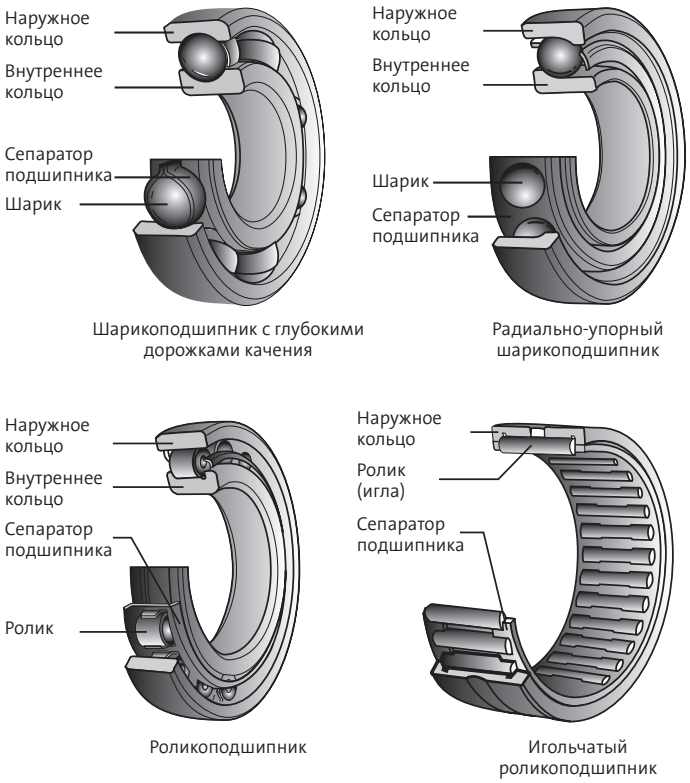
Большинство роликовых подшипников состоит из трёх компонентов: колец с дорожками качения (внутреннее кольцо и наружное кольцо), элементов качения (шариков или роликов) и сепаратора для элемента качения. Сепаратор подшипника имеет несколько функций, например, он разделяет элементы качения, удерживает их между внутренним и наружным кольцами так, чтобы элементы качения не выпадали и при этом свободно вращались.

Выделяют два типа элементов качения: шарики и ролики. Котакт шарика и дорожки осуществляется в точке, а ролика — по линии. Ролики бывают четырёх типов: игольчатые, конические, цилиндрические и сферические. На элементы качения и кольца подшипников приходится вся нагрузка, приложенная к подшипнику.

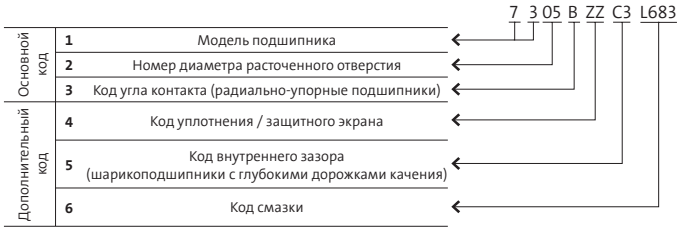
Маркировка/кодовое обозначение подшипников

Маркировка подшипников представляет собой кодовую комбинацию, которая отражает такие показатели, как размер, модель, конструкцию, точность и т.п. Она включает в себя несколько букв, которые формируют три базовые группы кодов: основной цифровой код и два дополнительных кода. Порядок и описание этих кодов представлены в таблице на следующей странице. Основной цифровой код содержит общую информацию о модели подшипника, габаритные размеры и др., а также информацию о коде угла контакта, о номере диаметра расточенного отверстия и последовательном коде подшипника.

Два дополнительных кода выводятся из серии префиксных кодов и серии конечных кодов. Эти коды представляют информацию о внутреннем зазоре, погрешности подшипника и целый ряд других показателей, которые относятся к внутренней конструкции и спецификации подшипников.



Различные типы шариковых и роликовых подшипников



Расшифровка типового обозначения подшипника

Расшифровка типового обозначения подшипника

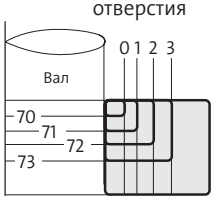
7 3 05 B ZZ C3 L683

Основной код	1	Модель подшипника
	2	Номер диаметра расточенного отверстия
	3	Код угла контакта (радиально-упорные подшипники)
Дополнительный код	4	Код уплотнения / защитного экрана
	5	Код внутреннего зазора (шарикоподшипники с глубокими дорожками качения)
	6	Код смазки

1 Обозначение модели подшипника

Модель подшипника	Обозначение типа	Тип подшипника		Тип подшипника
		ряд ширин	ряд диаметров	
60 62 63	6	(1) (0) (0)	0 2 3	шарикоподшипники с глубокими дорожками
70 72 73	7	(1) (0) (0)	0 2 3	радиально-упорные шарикоподшипники
NU10 NU2 NU22 NU3 NU23 NU4	NU	1 (0) 2 (0) 2 (0)	0 2 2 3 3 4	роликоподшипники

Типоразмер | Номер диаметра расточенного отверстия



2 Номер диаметра расточенного отверстия

Номер диаметра расточенного отверстия	Диаметр расточенного отверстия d мм	Комментарий
04 05 06 ⋮ ⋮ 88 92 96	20 25 3 ⋮ ⋮ 440 460 480	Номер диаметра расточенного отверстия представляет собой двузначное число, полученное делением диаметра расточенного отверстия на 5. Чтобы получить величину диаметра расточенного отверстия в мм, двузначный код нужно умножить на 5. Пример: 7305 => 05] 5 = 25 Диаметр расточенного отверстия под подшипник = 25

3 Код угла контакта

Код	Номинальный угол контакта	Тип подшипника
A B C	30° 40° 15°	Радиально-упорные шарикоподшипники

4 Код уплотнения / защитного экрана

Код	Описание
LLB	Уплотнение из синтетического каучука (бесконтактного типа)
LLU	Уплотнение из синтетического каучука (контактного типа)
ZZ	Защитный экран
ZZA	Съёмный защитный экран

Тип уплотнения зависит от выбора производителя

5 Код внутреннего зазора

Код	Пояснение
C2	Радиальный внутренний зазор меньше стандартного
C3	Радиальный внутренний зазор больше стандартного
C4	Радиальный внутренний зазор больше C3

6 Код смазки

Пример из каталогов производителей подшипников:
L683 = NTN код для Klüberquiet BQH 72-102

Габаритные размеры

Электродвигатели Grundfos оснащены высококачественными подшипниками следующих производителей:

SKF

NSK

NTN

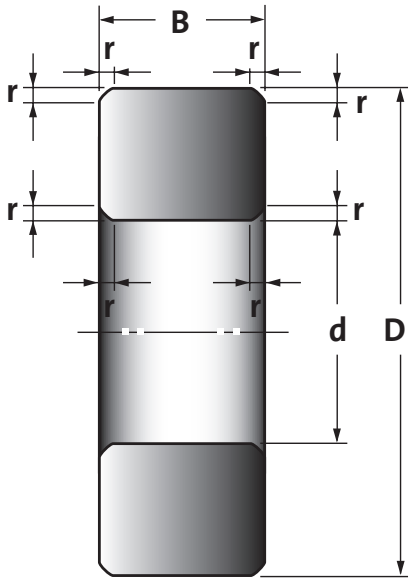
FAG (INA)

Типоразмеры подшипников стандартизированы. Сведения приведены в ISO 15 и ISO 492.

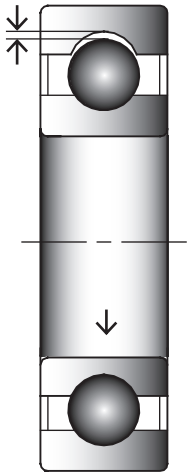
Зазор в подшипниках

Принцип работы подшипников качения таков, что одно из колец (наружное или внутреннее) всегда остаётся подвижным, даже если другое зафиксировано. Зазор представляет собой допустимое перемещение для кольца. Выделяют два вида зазоров: радиальный внутренний зазор и осевой внутренний зазор.

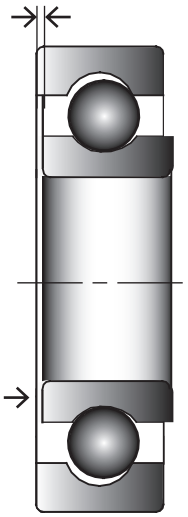
Радиальное допустимое перемещение кольца является радиальным внутренним зазором, а осевое допустимое перемещение — осевым внутренним зазором. Как правило, осевой внутренний зазор в 6–10 раз больше радиального внутреннего зазора.



Габаритные размеры радиально-упорных подшипников



Радиальный внутренний зазор



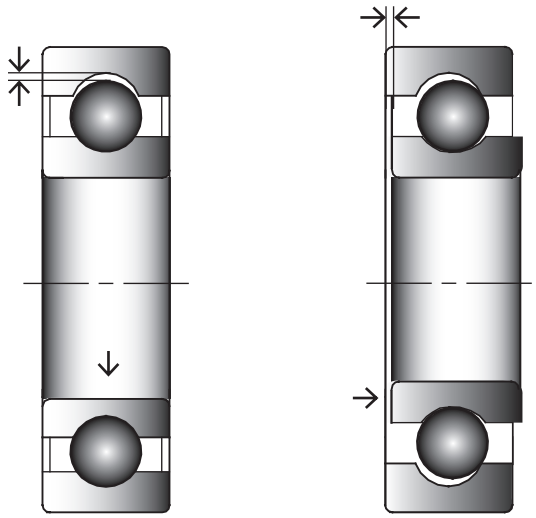
Осевой внутренний зазор

Американская ассоциация производителей подшипников (ABMA) и ISO представили классификацию радиальных внутренних зазоров для подшипников. Выделяют пять классов зазоров:

- C2
- CN, стандартный зазор
- C3
- C4
- C5

C2 является наименьшим допустимым зазором, а C5 — наибольшим, по отношению к внутреннему диаметру подшипника.

Радиальный внутренний зазор — это промежуток между верхним шариком и наружным кольцом.



Радиальный внутренний зазор

Осевой внутренний зазор

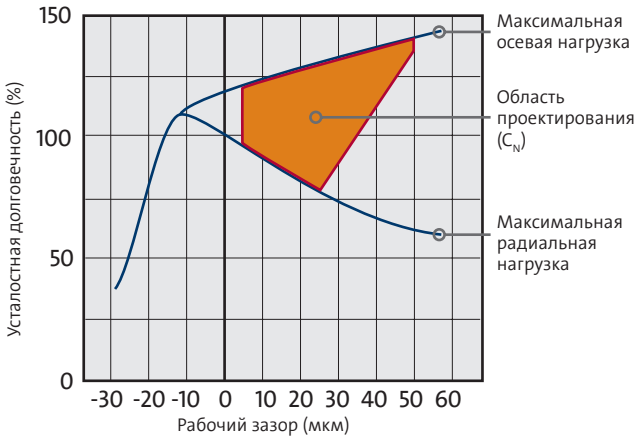
Выбор внутреннего зазора подшипника

Первоначальный внутренний зазор — это значение зазора, с которым подшипник выпускается при производстве. Рабочий внутренний зазор — это зазор, характерный для подшипника при его монтаже и эксплуатации. Для того чтобы увеличить ресурс (долговечность) подшипника, теоретически он должен иметь по возможности минимальную величину внутреннего зазора при нормальной рабочей температуре.

Однако поддерживать оптимальные значения зазора в нормальных рабочих условиях трудно. Меняющиеся рабочие условия могут привести к тому, что зазор уменьшится настолько, что вызовет перегрев подшипника, в результате чего сократится его ресурс.

Когда шарикоподшипники с глубокими дорожками качения нагружены в осевом направлении, целесообразно увеличивать рабочий зазор, как это описано на следующей странице.

Очень важно выбрать рабочий внутренний зазор, значение которого будет минимальным. В нормальных условиях эксплуатации (т.е. при нормальной нагрузке, посадке, частоте вращения и температуре) величина рабочего зазора, равная CN, является удовлетворительной с точки зрения долговечности подшипника.



Соотношение между долговечностью и рабочим зазором для шарикоподшипников с глубокими дорожками

Выбор первоначального зазора

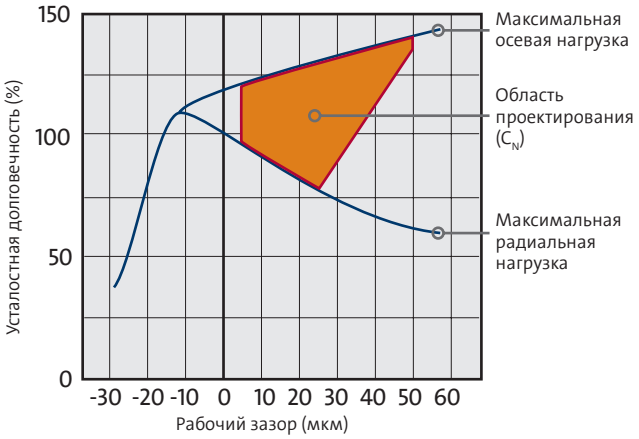
Первоначальный зазор — это фактическая величина зазора подшипника перед установкой, он обозначается, например, как: C3 или C4. Рабочий зазор — это фактическая величина зазора после установки подшипника и во время эксплуатации, когда на него влияет перепад температур. Рабочий зазор влияет на подшипник во время эксплуатации, а именно на уровень производимого шума, вызывает усталостную нагрузку подшипника и его нагрев.

Ресурс подшипника может быть большим, если зазор будет минимальным. Но если величина рабочего зазора будет ниже определённого уровня, ресурс подшипника будет очень маленьким. В связи с этим величина первоначального зазора должна быть такой, чтобы значение рабочего зазора было положительным.

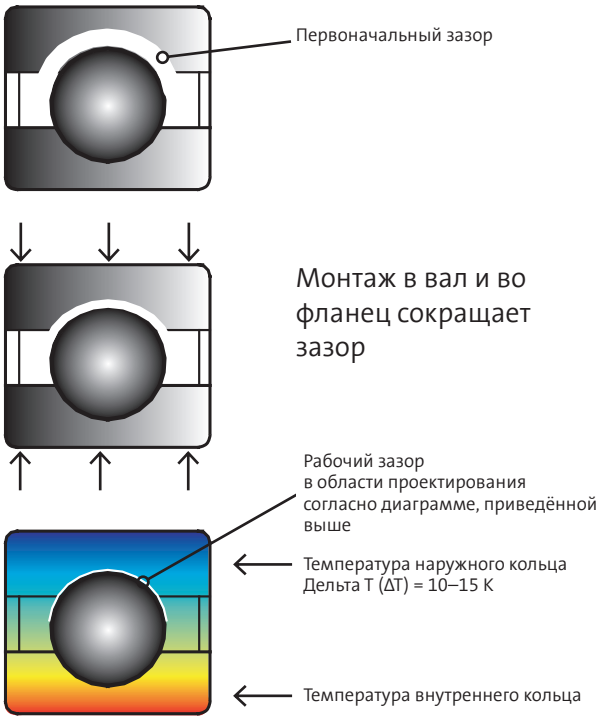
Кроме зазора необходимо учитывать монтажные размеры, от которых зависит возникновение посадки с натягом между подшипником и валом. Кроме того, очень важно учитывать разность температур между внутренним кольцом и наружным. Как правило, разность температур составляет 10—15 K, так как потери в роторе электродвигателя преобразуются в тепло, которое выводится через вал и подшипник.

Благодаря плотной посадке и разности температур подшипники с зазором C3 обычно используются в электродвигателях переменного тока. Подшипники с зазором C4 часто используются в электродвигателях насосов как DE-подшипники (подшипники со стороны привода). Это объясняется тем, что подшипник с зазором C4 может воспринимать большие осевые нагрузки, чем подшипник с зазором C3. Поэтому ресурс подшипников с зазором C4 больше в тех областях применения, где прилагаются, в основном, осевые нагрузки,— например, в небольших многоступенчатых насосах.

Очень важно при замене подшипника устанавливать новый подшипник с зазором такого же класса. Если электродвигатель оборудован подшипниками C3, а новые подшипники имеют зазор C4, появляется риск возникновения шума. Если электродвигатель оборудован подшипниками C4, а новые подшипники имеют зазор C3, может уменьшиться ресурс подшипников. Такая замена не рекомендуется.



Соотношение между ресурсом и рабочим зазором шарикоподшипников с глубокими дорожками качения (принцип устройства)

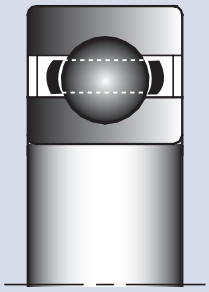
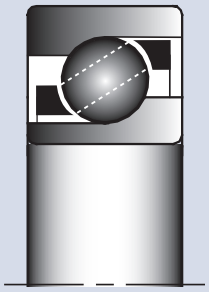


Как правило, разность температур составляет 10—15 K. Разность температур сокращает зазор, так как внутреннее кольцо расширяется больше, чем наружное кольцо.

О подшипниках в электродвигателях переменного тока, используемых для привода насосов

Большая часть шарикоподшипников используется в стандартных электродвигателях насосов; самыми распространёнными из них являются шарикоподшипники с глубокими дорожками качения и радиальноупорные подшипники.

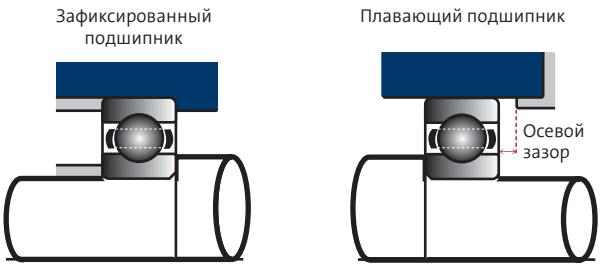
Эти типы шарикоподшипников воспринимают нагрузки, прилагаемые к подшипникам электродвигателя.

Характеристики двух типов подшипников	Шарикоподшипники с глубокими дорожками качения	Радиально-упорные подшипники
Исполнение — без уплотнений		
Цена	Индекс 100	Индекс 160—260
Допустимая нагрузка на радиально-упорный подшипник	Индекс 100	Индекс 100
Допустимая нагрузка на упорный подшипник	Индекс 100	Индекс 300
Действие осевой нагрузки	В оба направления	Только однонаправленный

Харатеристики шарикоподшипников с глубокими дорожками качения и радиально-упорных подшипников

Электродвигатели насосов Grundfos изготавливаются с блоками подшипников, которые обычно состоят из зафиксированного подшипника (DE-подшипника, т.е. подшипника на стороне привода) и подшипника с осевым зазором (NDE-подшипника, т.е. подшипника на стороне без привода). Осевой зазор необходим изза теплового расширения электродвигателя во время эксплуатации, производственных допусков и т.п.

Компоновка подшипников

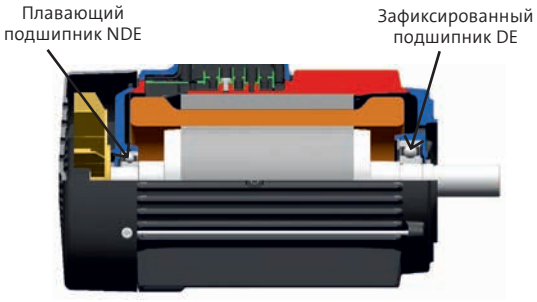


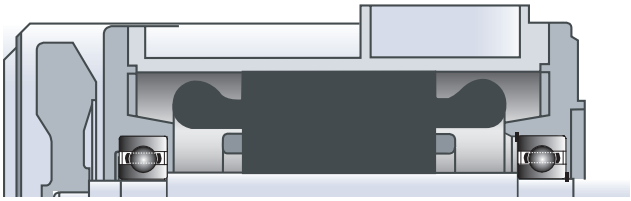
Предварительный натяг

Натяг подшипникового узла фиксируется пружинной шайбой, которая устанавливается против неподвижной опоры. Зафиксированным может быть как шарикоподшипник с глубокими дорожками качения, так и радиально-упорный подшипник.

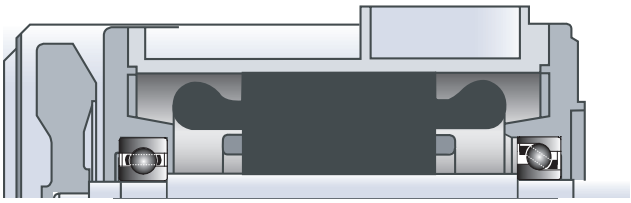
Иллюстрация справа демонстрирует зафиксированный DE-подшипник со стопорными кольцами между внутренним кольцом и валом, а также наружным кольцом и фланцем. Данный метод блокировки используется в небольших электродвигателях, до типоразмера 132. В более крупных электродвигателях, типоразмера 132 и выше, используются стопорные кольца и/или крышки подшипников, чтобы наружное кольцо при приложении к нему осевых нагрузок не перемещалось.

Иллюстрация справа демонстрирует блок подшипников с пружиной в NDE и зафиксированный радиально-упорный подшипник в DE для усилий от электродвигателя. Для того чтобы радиально-упорный подшипник мог воспринимать осевые нагрузки, подшипник должен быть установлен особенным образом. Поверхность внутреннего кольца опирается на буртик подшипника, а поверхность наружного кольца — на фланец.





Блок подшипников с плавающим подшипником и пружинной шайбой на стороне без привода и зафиксированным шарикоподшипником с глубокими дорожками качения на стороне с приводом



Блок подшипников с пружиной на стороне без привода и зафиксированным радиально-упорным подшипником на стороне с приводом для усилий, прилагаемых вне электродвигателя

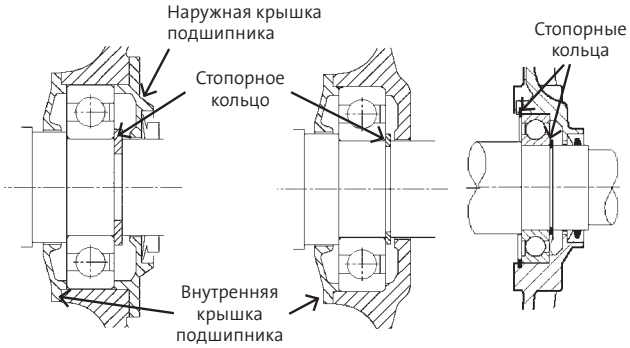


Схема установки зафиксированных DE-подшипников

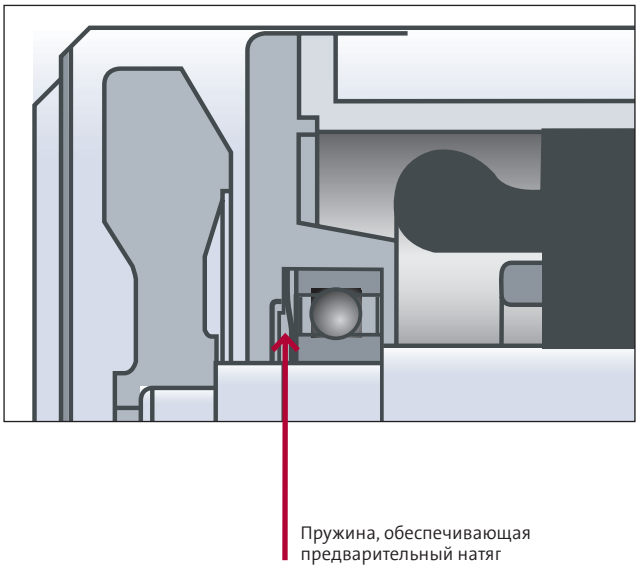
Назначение предварительного натяга

Когда подшипник находится под предварительным натягом, элементы качения и поверхности дорожек качения постоянно находятся под воздействием упругих сил сжатия в точках касания. В связи с этим подшипник закреплён очень жёстко, и даже при определённых нагрузках на подшипник не происходит ни радиального, ни осевого смещения.

Предварительный натяг необходим для:

- точности установки и точности перемещения;
- предотвращения появления шумов, вибрации и эксцентричности вала;
- предотвращения заедания и регулирования вращения элементов качения.

Кроме того, в отношении упорных шариковых и роликовых подшипников, установленных на горизонтальных валах, следует отметить, что предварительный натяг поддерживает правильную центровку (совмещение) элементов качения. Применение пружинной шайбы в сочетании с плавающим подшипником является одним из самых распространённых методов создания предварительного натяга.



Уплотнение

Уплотнительная система в электродвигателе изготавливается в соответствии с его IP-классом. В электродвигателях с необслуживаемыми подшипниками, заполненными консистентной смазкой, используется несколько уплотнений: одно уплотнение в самом подшипнике и одно или несколько уплотнений как часть конструкции электродвигателя. Уплотнение подшипника может быть изготовлено как из антифрикционного металла, так и из обычного эластомера. Как правило, промежуток между фланцами и валом заполняется уплотнением из эластомера определённого вида.

Что следует учитывать при установке блоков подшипников в стандартных электродвигателях

В данном разделе мы рассмотрим некоторые наиболее важные моменты, которые следует учитывать при установке блоков подшипников в электродвигателях.

Осевые нагрузки

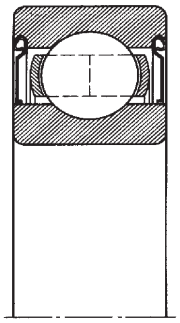
Блок подшипников должен работать в продольном направлении. Свободная посадка подшипника позволяет ему свободно перемещаться при внутренних осевых нагрузках.

Усилие предварительного натяга

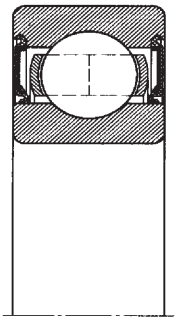
Для нейтрализации шумов во время работы блок подшипников должен иметь предварительный натяг в продольном направлении, например при помощи пружинной шайбы. Рекомендованное усилие предварительного натяга составляет около 1,5 % от номинальной динамической нагрузки подшипника. Номинальная динамическая нагрузка будет рассмотрена в этой главе далее.

Допустимая нагрузка на упорный подшипник и зазор

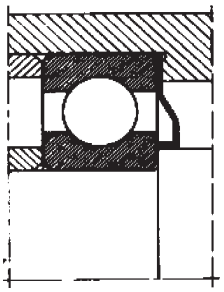
Если шарикоподшипник с глубокими дорожками качения должен обеспечивать незначительное увеличение допустимой нагрузки на упорный подшипник, то радиальный зазор должен быть близок к нулю или, по возможности, с минимальным значением выше нуля во время эксплуатации. Как правило, для электродвигателей выбирают шарикоподшипники с глубокими дорожками качения с зазором C3; на один класс выше стандартного зазора (CN). В некоторых случаях вместо подшипников C3 используются подшипники C4, так как они обеспечивают немного больший зазор, чем подшипники C3.



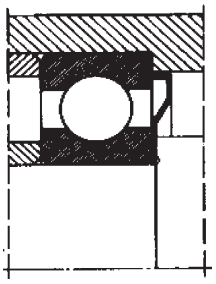
Шарикоподшипник с глубокими дорожками качения с металлическими стыковыми накладками. Известен как тип ZZ



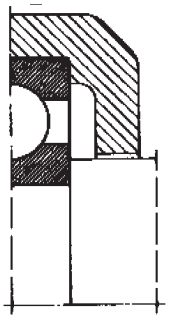
Шарикоподшипник с глубокими дорожками качения с резиновыми манжетами



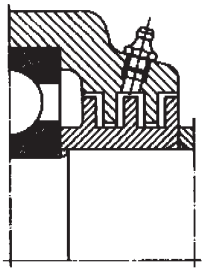
Установка подшипника с упругой металлической уплотнительной шайбой



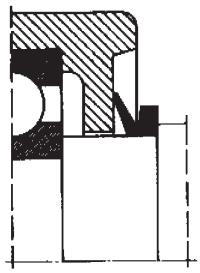
Установка подшипника с упругим металлическим уплотнением



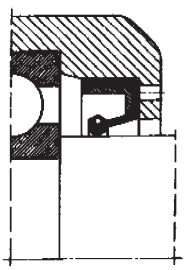
Щелевое уплотнение



Лабиринтное уплотнение



Осевое манжетное уплотнение



Радиальное манжетное уплотнение

Рабочий зазор

Радиальный зазор подшипника образуется во время эксплуатации, так как в подшипнике есть первоначальный зазор, который является результатом диаметральных изменений вследствие установки подшипника (плотная посадка) и перепада температур в подшипнике. Обычно перепад температур между внутренним и наружным кольцом не должен превышать 10–15 K. Выбор шарикоподшипника с глубокими дорожками качения (с зазором C3 или C4) для DE (стороны с приводом) зависит от типа насоса. Зазор C4 увеличивает допустимую нагрузку на подшипник при осевых нагрузках, он менее чувствителен к перепаду температур. Подшипники с зазором C3 воспринимают осевые нагрузки насосов с разгрузкой гидравлического давления и насосов с короткими рабочими периодами и, следовательно, с продолжительными периодами простоя.

Рекомендации

Всегда устанавливайте подшипники в соответствии с рекомендациями поставщика относительно допусков на размеры, шероховатости установленных ГОСТ.

Замена смазки

Подшипники, установленные на электродвигателе мощностью до 11 кВт являются необслуживаемыми. В электродвигателях большей мощности смазку подшипников необходимо менять согласно технической документации.

Типы насосов	Осевые нагрузки	Типы подшипников и рекомендованный зазор	
		Сторона привода	Сторона без привода
CR (макс. 3 кВт) низконапорные TP	От умеренных до значительных усилий. Нагрузка «вытягивает» вал из электродвигателя	Зафиксированный шарикоподшипник с глубокими дорожками качения (C4)	Шарикоподшипник с глубокими дорожками качения (C3)
CR от 4 кВт и больше	Сильное тяговое усилие. Нагрузка «вытягивает» вал из электродвигателя	Зафиксированный радиально-упорный подшипник	Шарикоподшипник с глубокими дорожками качения (C3)
NB, CV высоконапорные TP	Умеренные усилия. Нагрузка «вытягивает» вал из электродвигателя	Зафиксированный шарикоподшипник с глубокими дорожками качения (C3)	Шарикоподшипник с глубокими дорожками качения (C3)
NK, CPH	Малые усилия (упругая муфта)	Зафиксированный шарикоподшипник с глубокими дорожками качения (C3)	Шарикоподшипник с глубокими дорожками качения (C3)
CR SF	Нагрузка «вдавливает» вал в электродвигатель	Шарикоподшипник с глубокими дорожками качения (C4)	Зафиксированный радиально-упорный подшипник

Как оценить ресурс подшипника

Ресурс (долговечность) подшипника зависит от нескольких факторов, например, нагрузки, смазки, скорости вращения и применения. Поэтому не проводя испытаний, очень сложно оценить время, через которое конкретный подшипник выйдет из строя. Обычно, при нормировании надежности говорят о партии изделий. Электродвигатели типоразмера 132 и больше с закрытыми подшипниками с постоянной консистентной смазкой не требуют замены смазки. В связи с этим ресурс подшипников можно разделить на две группы: номинальный ресурс (L_{10}) и эксплуатационный ресурс (F_{10}).

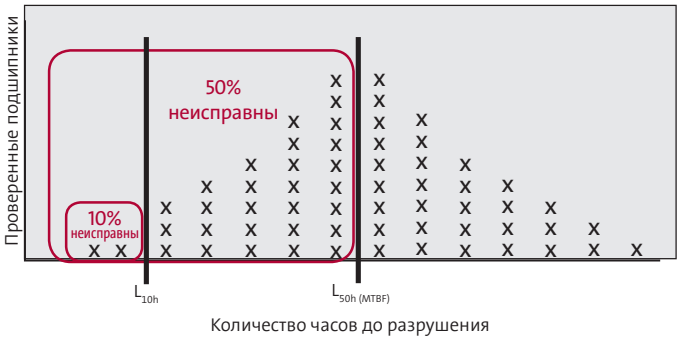
Следующие абзацы посвящены этим двум понятиям.

L_{10}, или номинальный ресурс

L_{10} — это ресурс, выраженный либо в часах, либо в миллионах оборотов, который полностью вырабатывают (или превышают) 90 % одинаковых шарикоподшипников, составляющих одну группу. L_{10} — это ресурс подшипников, выраженный либо в часах, либо в миллионах оборотов, который вырабатывают подшипники до того момента, когда потребуется их замена.

L_{10h} = L_{10}, выраженному в часах.

Величина L_{10h} должна соответствовать статистическим распределениям, которые зависят от номинальных нагрузок, габаритных размеров и допусков. Методика вычислений определена в стандарте ISO 281:1990, она предполагает, что подшипник смазывается надлежащим образом в течение всего срока службы и что он установлен корректно.



L_{10} — это ресурс, выраженный либо в часах, либо в миллионах оборотов, который полностью отрабатывают (или превышают) 90 % практически одинаковых шарикоподшипников, составляющих одну группу.

Ещё одним общепринятым способом обозначения ресурса подшипника является L_{50h}, который считается также средним ресурсом, или средним временем до разрушения (MTBF). L_{50h} — это ресурс, который полностью вырабатывают (или превышают) 50 % практически одинаковых шарикоподшипников, составляющих одну группу. На практике величина L_{50h} превышает L_{10h} не больше, чем в пять раз.

В обычных условиях L_{10h} (ресурс подшипников) находится в интервале 16 000–40 000 часов для подшипников электродвигателей.

F_{10h}, или эксплуатационный ресурс

F_{10h} выражает ресурс консистентной смазки. На долговечность консистентной смазки влияют следующие факторы:

- тип консистентной смазки;
- рабочая температура;
- размер подшипника;
- монтаж;
- частота вращения.

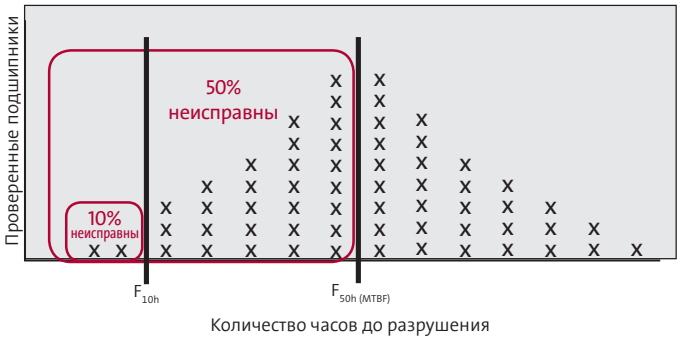
Для расчёта эксплуатационного ресурса консистентной смазки F_{10h} не существует никаких стандартных методов. Тем не менее, ведущие производители подшипников разработали различные методы вычислений для оценки F_{10h}.

Эксплуатационный ресурс консистентной смазки F_{10h} находится в интервале 30 000—40 000 часов для подшипников электродвигателей.

Решение о замене подшипника с постоянной консистентной смазкой принимается в соответствии с величиной L_{10h} или F_{10h} (определяющей является наименьшая величина).

В электродвигателях типоразмера 160 (и больше) используются открытые подшипники с заменяемой смазкой. Если говорить о периодичности смазки, то здесь определяющей величиной для принятия решения о смене подшипника является величина L_{10h}.

Невозможно абсолютно точно предсказать, как долго прослужит подшипник в реальных условиях. Тем не менее, вычисления могут быть очень полезны.



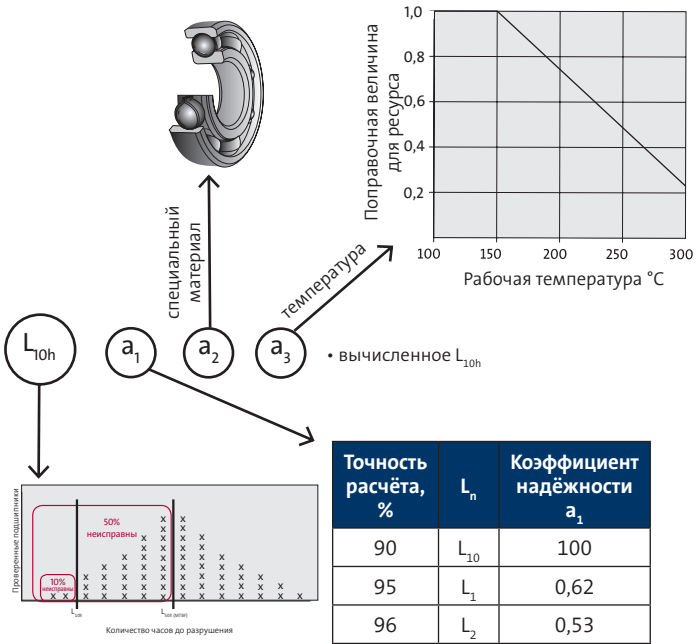
F_{10h} выражает ресурс консистентной смазки

L_{10h} — Вычисление ресурса подшипника

Рассчитать ресурс подшипника L_{10h} можно с помощью формулы, приведённой в правой части страницы. Далее мы тщательно проанализируем те коэффициенты, которые составляют ресурс подшипников L_{10}.

10 % всех подшипников изнашиваются, как только достигнут значения L_{10h}.

$$L_{10h} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \frac{1000000}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{p}\right)^3$$



Точность расчёта, %	L_n	Коэффициент надёжности a_1
90	L_{10}	100
95	L_1	0,62
96	L_2	0,53
97	L_3	0,44
98	L_4	0,33
99	L_5	0,21

a_1 — Поправочный коэффициент для большей точности определения ресурса

Если необходимо определить ресурс L_{1h} (1 % подшипников изнашивается по достижении величины L_{1h}), коэффициент a_1 должен быть равен 0,21. В стандартных условиях учитывается ресурс L_{1h}, когда a_1=1.

a_2 — Поправочный коэффициент для специальных подшипников

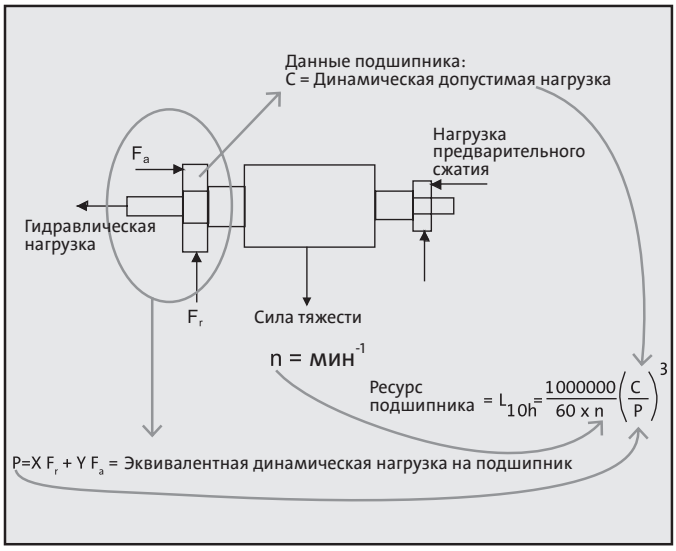
(Подшипники из специальных материалов со специальной обработкой).

Для стандартных подшипников этот коэффициент всегда равен 1.

a_3 — Поправочный коэффициент для рабочих условий

Если смазка или другие рабочие условия лучше стандартных, этот коэффициент может быть больше 1. Если рабочие условия неудовлетворительные, коэффициент может упасть намного ниже 1. Для того чтобы использовать поправочный коэффициент больше 1, необходимо знать область применения подшипника. Поэтому при определении номинального ресурса подшипников электродвигателя коэффициент a_3 должен быть равным 1.

n — Частота вращения подшипника [мин$^{-1}$]. Равна частоте вращения электродвигателя.



C — Динамическая номинальная нагрузка

Данная величина относится к определённому типоразмеру подшипника, она указывается в каталоге на подшипники.

P — Эквивалентная динамическая нагрузка

P выражает величину нагрузки, прилагаемой к подшипнику во время работы, и вычисляется по стандартным правилам. Следует обратить внимание на то, что методы расчёта зависят от типа подшипника.

Нагрузка на подшипник при запуске насоса

Для того чтобы рассчитать эквивалентную динамическую нагрузку P на подшипник, необходимо знать, какие усилия влияют на подшипник. Выделяют два вида усилий: осевая сила F_a и радиальная сила F_r.

Осевая сила F_a

Осевая сила F_a вычисляется по следующей формуле:

Применительно к вертикальному монтажу электродвигателя

$$F_a = F_{гидр.} + F_{пружин.} + F_{сила\ тяжести\ для\ ротора}$$

Применительно к горизонтальному монтажу электродвигателя

$$F_a = F_{гидр.} + F_{пружин.}$$

Радиальная сила F_r

Радиальная сила F_r вычисляется по следующей формуле:

Применительно к вертикальному монтажу электродвигателя

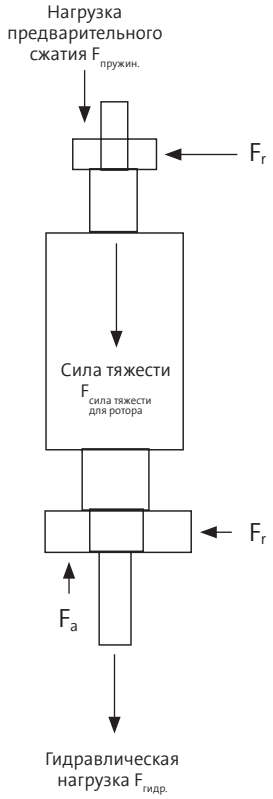
$$F_r = 0{,}1 \cdot F_a$$

Применительно к горизонтальному монтажу электродвигателя

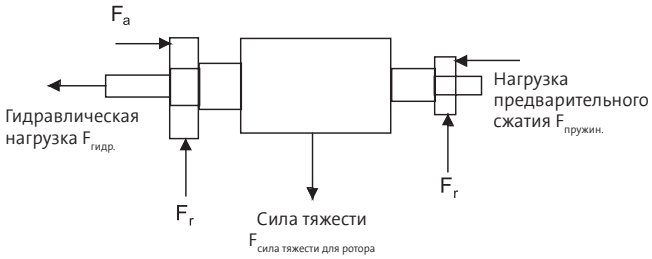
$$F_r = 0{,}1 \cdot F_a + 0{,}5 \cdot F_{сила\ тяжести\ для\ ротора}$$

Вычисление F_r умножением F_a на коэффициент 0,1 выполнялось эмпирически в соответствии с конкретным применением (электродвигатели для работы насосов).

Вертикальный монтаж



Горизонтальный монтаж



Экваивалентная динамическая нагрузка на однорядные шарикоподшипники с глубокими дорожками качения

Для однорядных шарикоподшипников с глубокими дорожками качения эквивалентная кратковременная нагрузка рассчитывается по формуле:

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

Коэффициенты X и Y берутся из диаграмм, приведённых в правой части страницы. Для определения величины Y необходимо установить соотношение F_a/C_0. Величина C_0 выражает номинальную стабильную нагрузку. Её можно найти в каталоге на подшипники вместе со значением номинальной кратковременной нагрузки C.

Коэффициенты X и Y для подшипников приведены для подшипников с величинами стандартных зазоров (что соответствует подшипникам с зазором C3) и величинами для подшипников с допустимым зазором при эксплуатации (что соответствует подшипникам с зазором C4).

Эквивалентная динамическая нагрузка на радиально-упорные подшипники (однорядные)

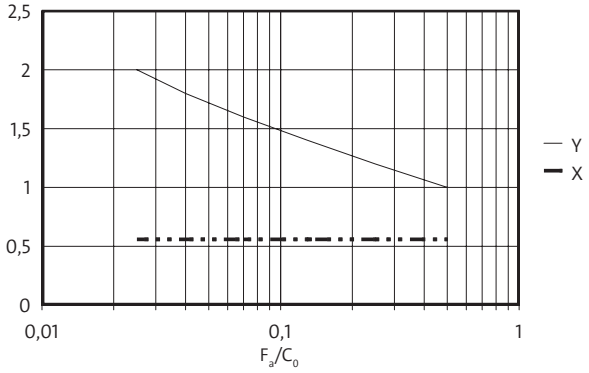
Для однорядных радиально-упорных подшипников эквивалентная кратковременная нагрузка рассчитывается по формуле:

$$P = 0{,}35 \cdot F_r + 0{,}57 \cdot F_a$$

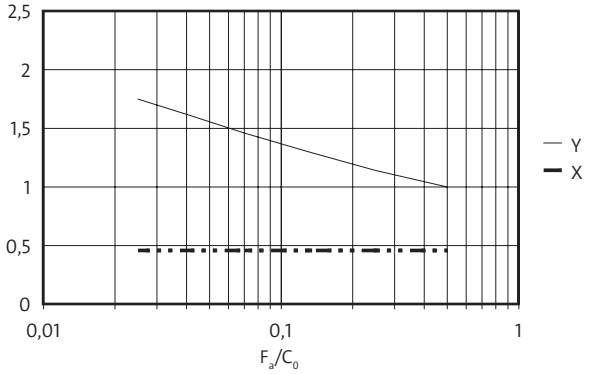
Влияние смазки на ресурс подшипника

Расчётный ресурс L_{10h} подшипников с постоянной консистентной смазкой с двойными стыковыми накладками ограничен эксплуатационным ресурсом консистентной смазки. Для электродвигателей Grundfos мощностью до 7,5 кВт предполагаемый ресурс консистентной смазки находится в пределах от 16 000 до 40 000 часов, в зависимости от температуры окружающей среды, уровня загрязнения и других рабочих условий. При расчёте ресурса электродвигателей, в которых можно менять смазку, очень важно следовать рекомендациям производителя, чтобы расчётный ресурс L_{10h} был равен фактическому ресурсу.

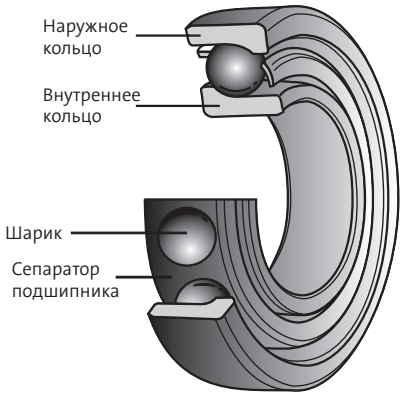
X и Y в зависимости от F_a/C_0
стандартный зазор



X и Y в зависимости от F_a/C_0
допустимый зазор при эксплуатации



Коэффициенты X и Y в зависимости от F_a/C_0 для стандартного зазора и допустимого зазора при эксплуатации



Радиально-упорный шарикоподшипник

На следующих страницах представлена процедура расчёта ресурса шарикоподшипников с глубокими дорожками качения и радиально-упорных подшипников.

Пример вычисления 1:

Упорный подшипник, установленный в электродвигателе MG 2,2 кВт насоса CR 32–1 (шарикоподшипник с глубокими дорожками качения).

Тип монтажа	Вертикальный монтаж
Рабочий режим	Q = 15 м³/ч, H = 19 м, 50 Гц
Гидравлическая нагрузка от насоса	505 Н
Частота вращения подшипника	n = 2900 мин⁻¹
Электродвигатель	MG90 – 2,2 кВт
Упорный подшипник в электродвигателе	Шарикоподшипник с глубокими дорожками качения 6305 с зазором C4
Система смазки	Не используется — подшипник с постоянной консистентной смазкой
Масса ротора	4 кг
Нагрузка предварительного сжатия в электродвигателе	350 Н
Номинальная кратковременная нагрузка	C = 22 500 Н
Номинальная стабильная нагрузка	C_0 = 11 600 Н

Данные, используемые в примере для электродвигателя MG 2,2 кВт в насосе CR 32–1.

Этап 1: Силы, действующие на подшипник

Вертикальный монтаж

$$F_a = F_{гидр.} + F_{сжат.} + F_{сила\ тяжести\ для\ ротора}$$

$$F_a = 505\ Н + 350\ Н + 40\ Н = 895\ Н$$

$$F_r = 0{,}1 \cdot F_a$$

$$F_r = 0{,}1 \cdot 895 = 90\ Н$$

Этап 2: Вычисление эквивалентной кратковременной нагрузки на подшипник

$$F_a/C_0 = 895\ H / 11\,600\ H = 0{,}08$$

Коэффициенты X и Y выбираются в диаграмме. Подшипник имеет зазор C4, поэтому следует использовать значения допустимого зазора при эксплуатации электродвигателя в сборке. Использованные величины: X = 0,46 и Y = 1,43.

Эквивалентная кратковременная нагрузка может быть рассчитана следующим образом:

$$P = 0{,}46 \cdot F_r + 1{,}43 \cdot F_a$$

$$P = 0{,}46 \cdot 90\ H + 1{,}43 \cdot 895 = 1\,321\ H$$

Этап 3: Вычисление ресурса L_{10h} подшипников

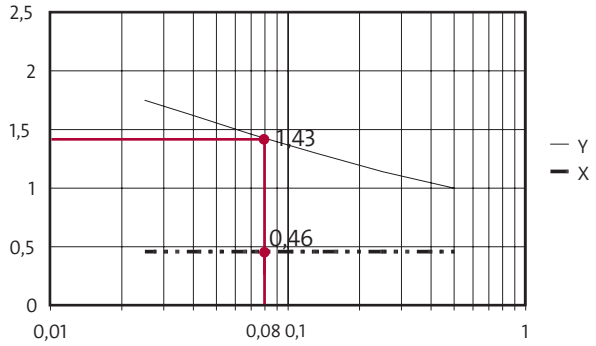
$$L_{10h} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \frac{1000000}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^3$$

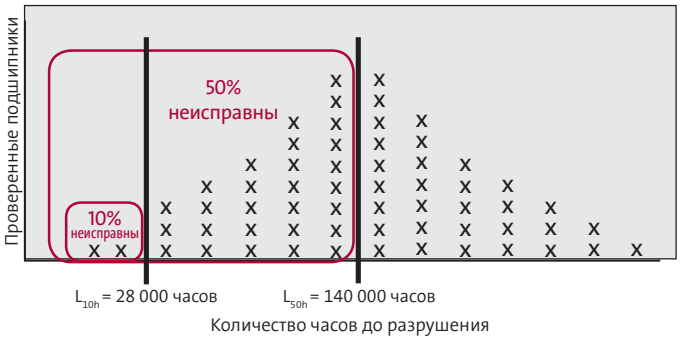
$$L_{10h} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{1000000}{60 \cdot 2900} \cdot \left(\frac{22500}{1321}\right)^3 = 28000h$$

Этап 4: Оценка расчётного ресурса подшипника

Расчётный ресурс подшипника L_{10h} = 28 000 ч. Однако такие факторы, как температура, уровень загрязнения и т.п., могут отрицательно повлиять на ресурс консистентной смазки, а, следовательно, ресурс подшипника может быть меньше расчётной величины L_{10h}.

X и Y в зависимости от F_a/C_0
допустимый зазор при эксплуатации





Пример вычисления 2:

Упорный подшипник в электродвигателе 18,5 кВт, установленном в насосе CR45—3—2 (радиально-упорный подшипник).

Тип монтажа	Вертикальный монтаж
Рабочий режим	Q = 26 м³/ч, H = 98 м, 60 Гц
Гидравлическая нагрузка от насоса	1 · 1262 + 2 · 947 = 3156 Н
Частота вращения подшипника	n = 3516 мин⁻¹
Электродвигатель	Siemens 18,5 кВт
Упорный подшипник в электродвигателе	Радиально-упорный подшипник 7309B
Система смазки	Используется – замена смазки через каждые 3000 часов работы
Масса ротора	21 кг
Нагрузка предварительного сжатия в электродвигателе	400 Н
Номинальная кратковременная нагрузка	C = 60 500 Н
Номинальная стабильная нагрузка	C_0 = 41 500 Н

Данные, используемые в примере для электродвигателя Siemens 18,5 кВт в насосе CR45–3–2.

Этап 1: Силы, действующие на подшипник

$$F_a = F_{гидр.} + F_{сжат.} + F_{сила\ тяжести\ для\ ротора}$$

$$F_a = 3156\ Н + 400\ Н + 210\ Н = 3766\ Н$$

$$F_r = 0{,}1 \cdot F_a$$

$$F_r = 0{,}1 \cdot 3766\ Н = 377\ Н$$

Этап 2: Вычисление эквивалентной кратковременной нагрузки на подшипник

$$P = 0{,}35 \cdot F_r + 0{,}57 \cdot F_a$$

$$P = 0{,}35 \cdot 377\ H + 0{,}57 \cdot 3766\ H = 2\,279\ H$$

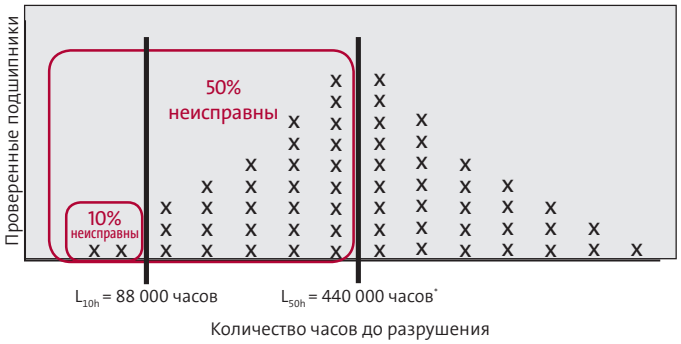
Этап 3: Вычисление ресурса L_{10h} подшипника

$$L_{10h} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \frac{1000000}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^3_{(h)}$$

$$L_{10h} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{1000000}{60 \cdot 3516} \cdot \left(\frac{60500}{2279}\right)^3 = 88000h$$

Этап 4: Оценка расчётного ресурса подшипника

Расчётный ресурс подшипника L_{10h} = 88 000 ч. Для того чтобы ресурс консистентной смазки не оказывал влияние на ресурс подшипника, смазка подшипника должна осуществляться через каждые 3000 часов работы.



* В данном примере, если подшипники смазываются через каждые 3000 часов.

Как определить ресурс консистентной смазки — F_{10h}

В стандартных электродвигателях применяются либо подшипники с постоянной консистентной смазкой, либо подшипники, в которых смазку можно менять. Обычно подшипники электродвигателя нагреваются сильнее остальных подшипников. Кроме теплоты трения, они дополнительно нагреваются за счёт тепловых потерь обмоток электродвигателя и ротора. В связи с этим для подшипников электродвигателя используется консистентная смазка с высокой термостойкостью. Все поставщики подшипников предлагают широкий ассортимент консистентной смазки, которая используется в электродвигателях.

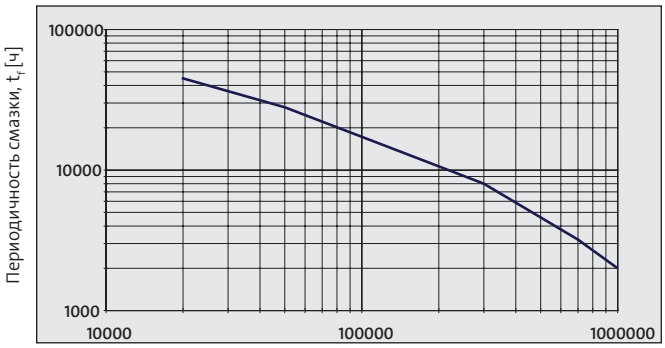
Базовая периодичность смазки определяется на основе значения грузоподъёмности подшипника. На иллюстрации справа представлена упрощённая кривая для высокотемпературной консистентной смазки, используемой в электродвигателях. Базовая периодичность смазки t_f выражает ресурс консистентной смазки — F_{10h} с частотой повреждений около 10 %.

Если условия эксплуатации отличаются от нормальных, то смазку следует выполнять чаще. При этом для определения величины периодичности смазки t_{fq} используется следующая формула и коэффициенты уменьшения.

$$F_{10h} \text{ или } t_{fq} = t_f \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \cdot f_6$$

В некоторых случаях в меняющихся рабочих условиях сокращённая периодичность замены смазки намного меньше базовой периодичности смазки. Если сокращённую периодичность замены смазки не учитывать, это может привести к значительному увеличению частоты повреждений.

Базовая периодичность смазки



t_f = базовая периодичность смазки, $t_{fq} = F_{10h}$

Грузоподъёмность = $K_f \cdot n \cdot d_m$ [мм/мин]

K_f: Тип подшипника.
Шарикоподшипники с глубокими дорожками качения = 1
Радиально-упорные подшипники = 1,6

n: Частота вращения подшипника [мин$^{-1}$]

d_m: Средний диаметр подшипника = $\frac{D+d}{2}$ [мм]
D = наружный диаметр подшипника [мм]
d = внутренний диаметр [мм]

Коэф. уменьшения		Уровень уменьшения	Коэф. уменьшения
f_1	Пыль и влага на рабочих поверхностях подшипника	Умеренное	f_1 = от 0,9 до 0,7
		Сильное	f_1 = от 0,7 до 0,4
		Очень сильное	f_1 = от 0,4 до 0,1
f_2	Влияние пылевидной нагрузки и вибраций	Умеренное	f_2 = от 0,9 до 0,7
		Сильное	f_2 = от 0,7 до 0,4
		Очень сильное	f_2 = от 0,4 до 0,1
f_3	Увеличение температуры подшипника (указанные коэффициенты f_3 применимы к высокотемпературной консистентной смазке)	90 °C	f_3 = от 0,9 до 0,6
		105 °C	f_3 = от 0,6 до 0,3
		120 °C	f_3 = от 0,3 до 0,1
f_4	Дополнительная нагрузка	P/C* = от 0,1 до 0,15	f_4 = от 1,0 до 0,7
		P/C = от 0,15 до 0,25	f_4 = от 0,7 до 0,4
		P/C = от 0,25 до 0,35	f_4 = от 0,4 до 0,1
f_5	Воздушный поток через подшипник	Слабый поток	f_5 = от 0,7 до 0,5
		Сильный поток	f_5 = от 0,5 до 0,1
f_6	Вертикальный вал	Зависит от уплотнения	f_6 = от 0,7 до 0,5

*P = Эквивалентная кратковременная нагрузка.
C = Номинальная кратковременная нагрузка на подшипник.

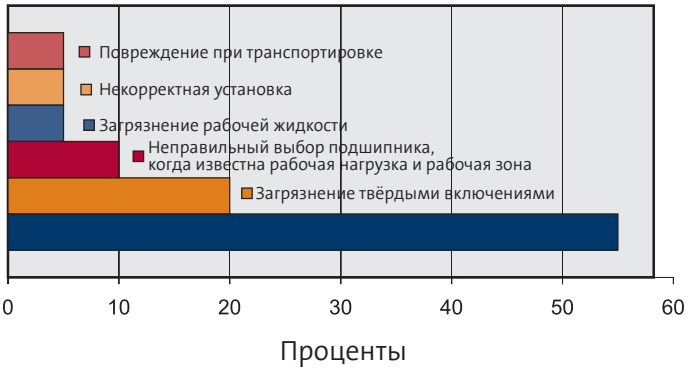
Повреждения подшипников

Подшипники — наиболее изнашиваемые компоненты электродвигателя. Чаще всего ремонт электродвигателя требуется именно из-за проблем с подшипниками. По статистике большинство повреждений подшипников связано со смазкой подшипников. Второй по распространённости причиной повреждений является загрязнение. Под влиянием внешних факторов менее 1 % всех подшипников полностью отрабатывают свой ресурс, который мог бы быть вполне достижимым в идеальных условиях.

При разрушении подшипника бывает сложно точно определить причину. Наиболее распространёнными причинами разрушения подшипников в электродвигателях насосов являются:

- износ;
- уменьшение или истирание слоя смазки;
- слишком высокая температура окружающей среды;
- перегрузка насоса;
- коррозия;
- подшипниковые токи от привода частотного преобразователя;
- неправильный монтаж;
- повреждение при транспортировке;
- вибрации.

Причины повреждений в роликовых подшипниках



Причины повреждений в роликовых подшипниках. Всего лишь около 1 % всех роликовых подшипников полностью отрабатывают свой ресурс

Насосы высокого давления и конструкция подшипников электродвигателя

Насосы высокого давления составляют часть широкого ряда изделий компании Grundfos. Разница между насосом высокого давления и насосом с обычным давлением заключается в том, что комплект камер в насосе высокого давления перевёрнут, что обеспечивает защиту торцевого уплотнения вала от действия давления. Под действием гидравлических осевых нагрузок насос высокого давления не вырывает вал из электродвигателя, а вталкивает его в электродвигатель.

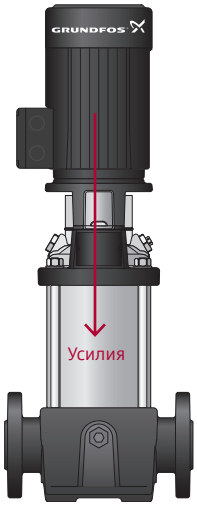
В отличие от стандартных насосов блок подшипников перевёрнут, чтобы воспринимать давление от насоса. Подшипник на стороне без привода (NDE) устанавливается как зафиксированный радиально-упорный подшипник, который воспринимает давление, а подшипник на стороне привода (DE) устанавливается как плавающий шарикоподшипник с глубокими дорожками качения.

Специально изготовленные подшипники для электродвигателей

Преобразователи чцастоты позволяют регулировать частоту вращения электродвигателя и корректировать её в соответствии с меняющейся нагрузкой. Электродвигатели с частотными преобразователями могут создавать блуждающие токи, которые вызывают в подшипнике образование электрических дуг и могут привести к его разрушению. Чтобы этого не произошло, кольца и шарики подшипников покрывают специальными защитными материалами. Однако нанесение такого покрытия очень дорогостоящий и длительный процесс.

В подшипниках нового поколения, предлагаемых сегодня на рынке, используется эффект «выхода из штопора» (spin-off) из авиационной промышленности, в которой применяются следующие три типа подшипников:

- Гибридные подшипники.
- Полностью керамические подшипники.
- Подшипники с керамическим покрытием.

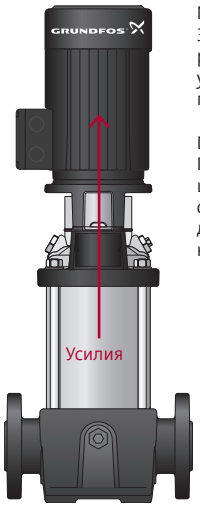


NDE: Шарикоподшипник с глубокими дорожками качения

DE: Зафиксированный радиально-упорный подшипник

Стандартный насос CR

Гидравлические усилия из насоса, направленные от электродвигателя



NDE: Зафиксированный радиально-упорный подшипник

DE: Плавающий шарикоподшипник с глубокими дорожками качения

Насос высокого давления CR

Гидравлические усилия из насоса, направленные в электродвигатель

Как уже отмечалось несколько раз в этой главе, разрушения большинства электродвигателей сегодня связаны с проблемами со смазкой. Керамические тела качения лучше сопротивляются загрязнениям.

Гибридные подшипники

Дорожки качения гибридных подшипников изготавливаются из стали, а сами шарикоподшипники — из керамики, обычно из нитрида кремния. В отличие от стальных подшипников, гибридные подшипники имеют следующие преимущества:

- Они могут достигать большей частоты вращения и лучшей точности.
- Больший эксплуатационный ресурс.

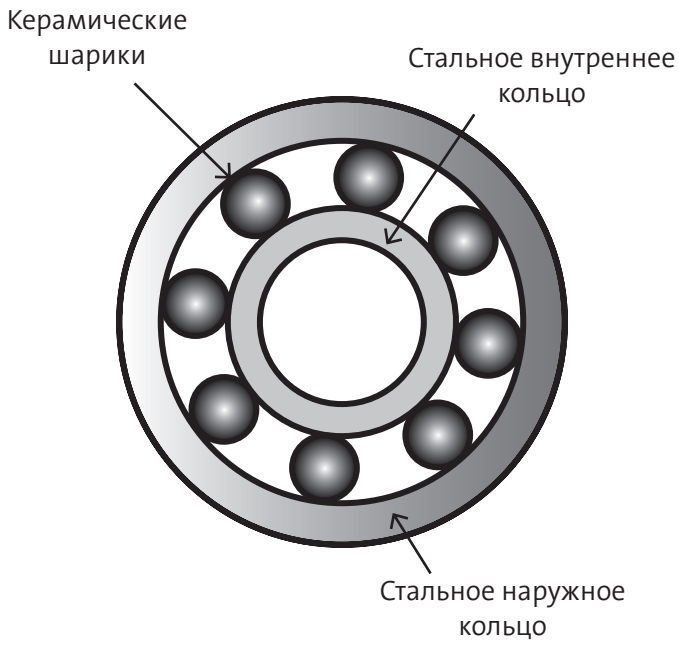
Эти особенности говорят сами за себя. Сегодня гибридные подшипники находят широкое распространение в технике.

Недостатком гибридных подшипников является то, что они дороже стандартных подшипников. Несмотря на то, что гибридные подшипники становятся всё более доступными, их использование не всегда экономически оправдано.

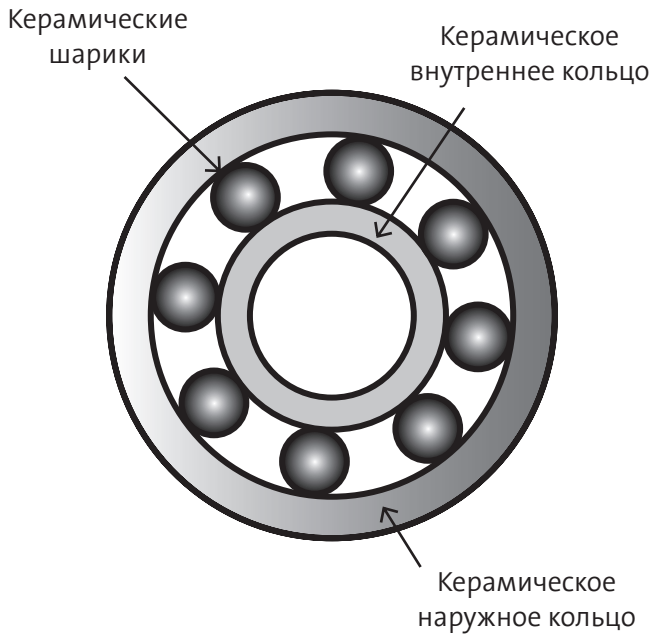
Полностью керамические подшипники

Полностью керамические подшипники, как следует из названия, изготовлены полностью из керамики. Полностью керамические подшипники имеют следующие преимущества:

- Устойчивы к действию электрического тока и магнитного поля.
- Износостойкость и коррозионная стойкость.
- Не требуют смазки и технического обслуживания, особенно при их использовании при высоких и низких температурах.
- Устойчивы к агрессивным средам.



Гибридные подшипники



Полностью керамические подшипники

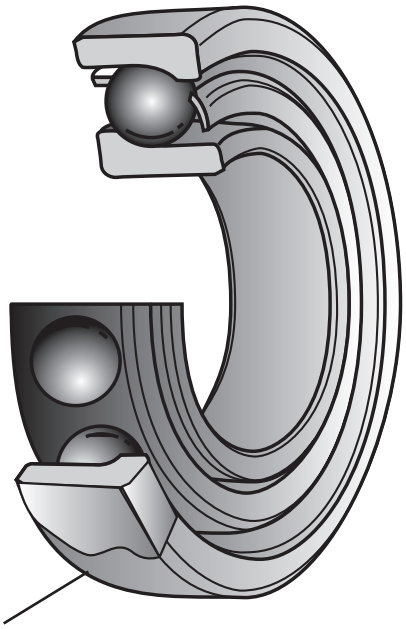
Подшипники с керамическим покрытием

Подшипники данного типа имеют керамическое покрытие на наружном и внутреннем кольцах. Шарики, а также внутреннее и наружное кольца изготовлены из стали. Изолированные подшипники отличаются и от гибридных, и от керамических подшипников по своему эксплуатационному ресурсу, термостойкости и прочности. Изолированные подшипники используются для того, чтобы не допустить разрушения подшипника от действия токов, обусловленных работой электродвигателя вместе с преобразователем частоты.

Изолирующее покрытие на наружном кольце подшипника — это оксид алюминия, который наносится на подшипник способом плазменного напыления. Такой вид покрытия выдерживает напряжение пробоя изоляции 1000 В.

Подшипники с электрической изоляцией могут быть нескольких типов. Наиболее распространённые: цилиндрические роликоподшипники и шарикоподшипники с глубокими дорожками качения с наружным диаметром больше 75 мм — т.е. это подшипники серии выше 6208.

Подобно гибридным и керамическим подшипникам, изолированные подшипники дороже стандартных подшипников, хотя постепенно они становятся всё более доступными. Изолированные подшипники всё чаще используются наряду со стандартными подшипниками в качестве NDE подшипников в частотнорегулируемых электродвигателях типоразмера 250 и больше.



Изолированные подшипники – подшипники с керамическим покрытием

Преобразователь частоты 160
Фильтр на входе 161
Выпрямитель 161
Контур аккумулирования энергии или промежуточный контур 161
Инвертор 161
Функции инвертора 161
Фильтры на выходе для преобразователей частоты 165
Подшипниковые токи при работе с преобразователями частоты 168
Специально изготовленные подшипники для электродвигателей 169
Гибридные подшипники 170
Полностью керамические подшипники 170
Изолированные подшипники — подшипники с керамическим покрытием 171
Меры предосторожности при работе с преобразователем частоты 172
Электродвигатели без фазовой изоляции 172
Электродвигатели с фазовой изоляцией 172
Электродвигатели с усиленной фазовой изоляцией 172
Рекомендации 173

Преобразователь частоты

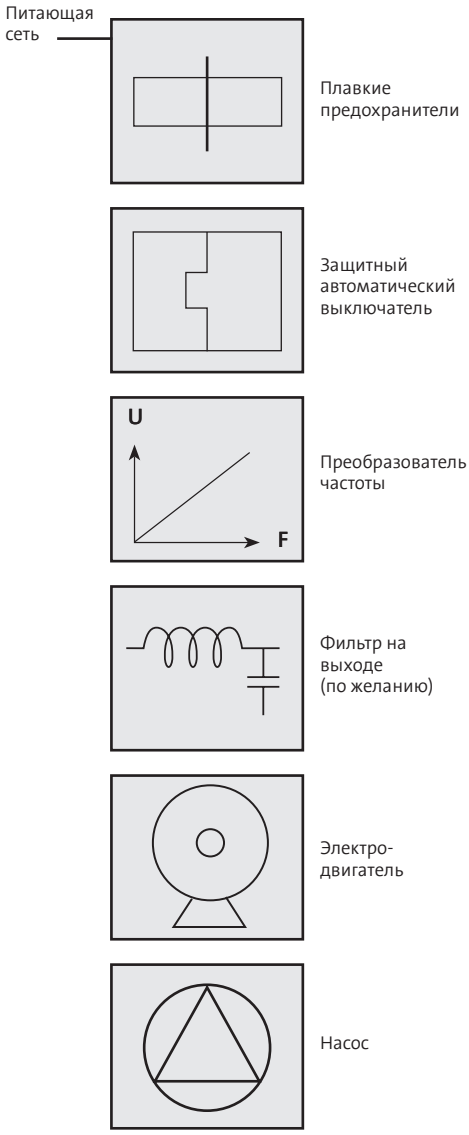
Укомплектованная установка с электродвигателем, регулируемым преобразователем частоты, включает в себя целый набор различных компонентов, которые необходимо выбирать строго в соответствии с определённой областью применения.

Компоненты установки выбираются в соответствии с фактическим применением, начиная с подбора подходящего насоса. Выбирается электродвигатель, подходящий определённому насосу. Фильтр на выходе преобразователя частоты должен воспринимать полную нагрузку насоса и в то же время соответствовать преобразователю частоты.

Преобразователь частоты должен иметь номинальную мощность, соответствующую насосу, а плавкие предохранители и защитный автоматический выключатель должны подходить для конкретного преобразователя частоты.

Далее представлена информация по подбору подходящих компонентов.

Преобразователь частоты позволяет регулировать частоту вращения (об/мин) асинхронного электродвигателя. Для этого регулируется частота, поступающая к электродвигателю.



Компоненты типового монтажа

В данном разделе основное внимание уделяется элементу передачи энергии в преобразователе частоты. Схема стандартного преобразователя частоты представлена справа, дополнительные контуры передачи энергии включают в себя:

- фильтр на входе;
- выпрямитель;
- контур аккумулирования энергии, или промежуточный контур;
- инвертор.

Функции различных компонентов дополнительных контуров:

Фильтр на входе

Фильтр на входе предотвращает переход помех внутри преобразователя частоты на другие компоненты, подсоединённые к сети. Кроме того, он предотвращает переход помех от питающей сети на преобразователь частоты, так как они мешают его работе.

Выпрямитель

Выпрямитель преобразует пременный ток AC в постоянный DC.

Контур аккумулирования энергии или промежуточный контур

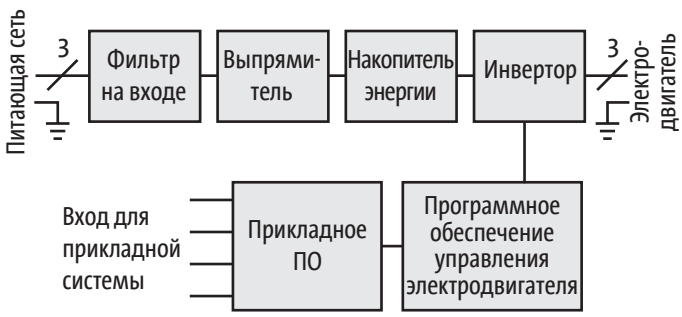
Напряжение постоянного тока от выпрямителя направляется в контур аккумулирования энергии, где на него накладывается напряжение переменного тока. Амплитуда напряжения пременного тока зависит от нагрузки на инвертор. Если нагрузки нет, то нет и пульсации.

Инвертор

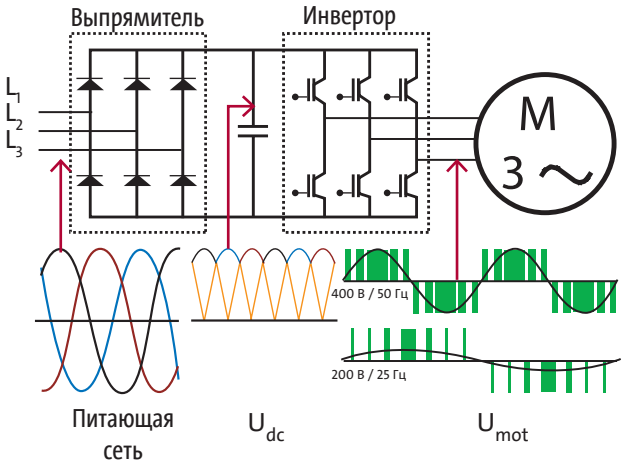
Инвертор преобразует напряжение постоянного тока в выходное напряжение с переменной частотой и амплитудой. Инвертор имеет шесть контакторов, которые могут быть включены или выключены.

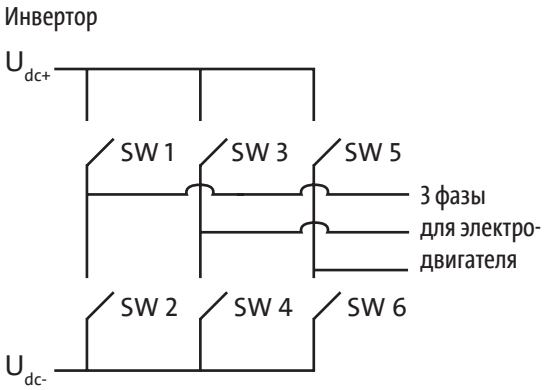
Функции инвертора

Шесть контакторов в инверторе переключаются по шаблону так, что в статоре создаётся циркуляционное поле. Шаблон переключения отражает фактическое выходное напряжение и частоту преобразователя частоты.



Стандартный преобразователь частоты





Инвертор оборудован шестью контакторами, которые включаются по определенной схеме (шаблону)

Как видно из схемы справа, фазы выходов могут быть подсоединены либо только к U_{dc+} или U_{dc-}, либо не присоединены совсем. Контактор 1 и контактор 2 никогда не включаются одновременно. Однако, если всё-таки это случается, в преобразователе частоты возникает короткое замыкание. В результате преобразователь частоты может быть повреждён. Далее мы проанализируем фактическое выходное напряжение при переключении по определённому шаблону. Напряжение между фазами выхода A и B вычисляется следующим образом:

$$U_A - U_B = U_{dc+} - U_{dc-}$$

Напряжение U_{dc+} рассчитывается как (Земля принимается за реперную точку)

$$U_{dc+} = (U_{сеть} \cdot \sqrt{2})/2$$

Где $U_{сеть}$ — входное напряжение питающей сети на преобразователь частоты. U_{dc+} в стандартной европейской установке с $U_{сеть}$ = 400 В вычисляется следующим образом:

$$U_{dc+} = (400\ В \cdot \sqrt{2})/2 = 283\ В$$

U_{dc-} вычисляется таким же образом, только с противоположной поляризацией, когда потенциал Земли принимается за реперную точку.

$$U_{dc-} = -283\ В$$

Теперь проанализируем напряжения, подаваемые на электродвигатель. В трёх диаграммах справа представлены изображения 3-х различных состояний контакторов инвертора. В первой диаграмме напряжение, поступающее в электродвигатель, следующее:

$$U_A - U_B = 0\ В$$

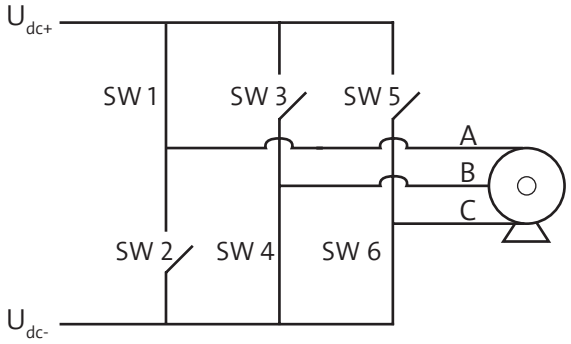
Во второй диаграмме напряжение, поступающее в электродвигатель:

$$U_A - U_B = 283\ В - (-283\ В) = 566\ В$$

В третьей диаграмме напряжение, поступающее в электродвигатель:

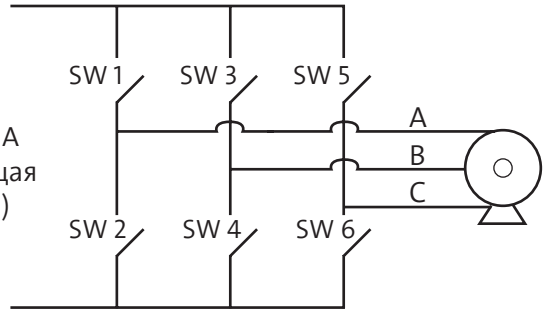
$$U_A - U_B = 0\ В$$

Инвертор

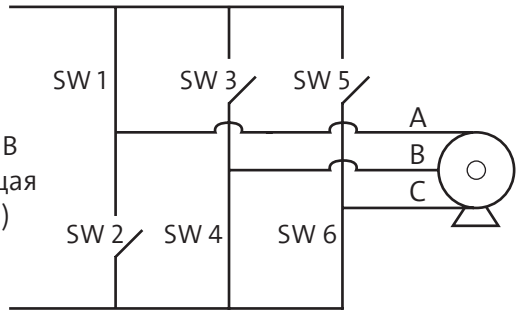


3 различных состояния контакторов инвертора

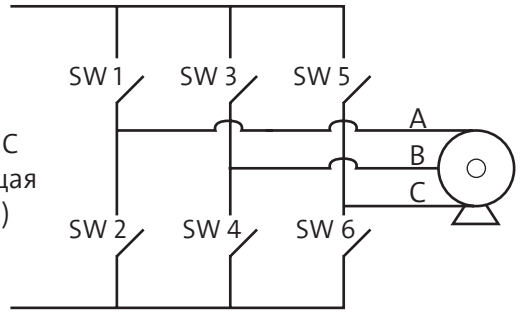
Период времени A (следующая страница)



Период времени B (следующая страница)



Период времени C (следующая страница)



Ещё один способ отображения выходных импульсов от инвертора представлен в диаграмме справа. Получить представление об основных функциях преобразователя частоты мы сможем, если проанализируем импульс. Преобразователь частоты генерирует серию импульсов по шаблону между тремя фазами выходов, статор препятствует распространению этих импульсов. Выходное напряжение (среднеквадратичное значение) импульсов соответствует фактической выходной частоте вращения. Среднеквадратичное значение выходных импульсов зависит от продолжительности этих импульсов. Более длительные импульсы соответствуют более высокому напряжению. В следующем разделе мы подробно рассмотрим импульсы и проблемы, которые они вызывают.

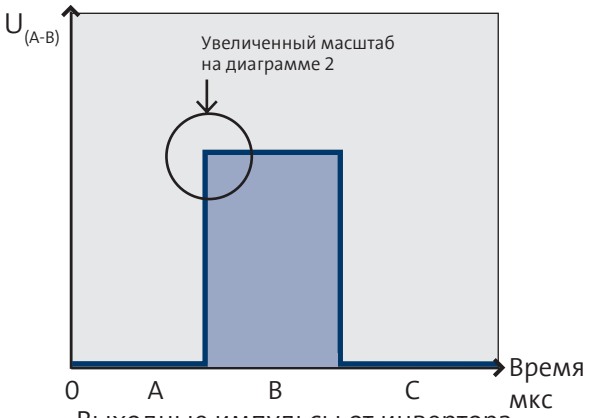
Изменение выходного напряжения в единицу времени можно охарактеризовать как ΔU/Δt, или математически: значение dU/dt стремится к бесконечности. Цифра в правой части достигает бесконечности dU/dt. В реальных условиях этого не происходит. Требуется некоторое время, чтобы перевести полупроводниковые контакторы инвертора из непроводящего режима в проводящий режим. В реальном переключении, мы предполагаем, что предел dU/dt достигнет определённого значения.

К примеру, разберём данные из предыдущего раздела. Время переключения составляет, например, 0,3 мкс.

dU/dt = 565 В / 0,3 мкс = 1883 В/мкс

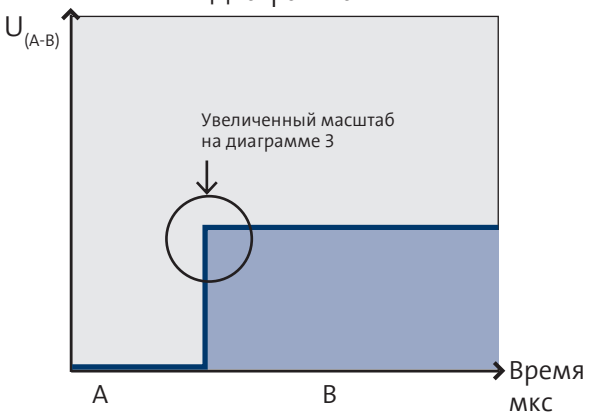
Величина dU/dt обусловлена компонентами, используемыми в преобразователе частоты. Производители преобразователей частоты работают над тем, чтобы минимизировать время переключения, так как это приведёт к уменьшению потерь в преобразователе частоты. Современные тенденции конструирования преобразователей частоты ведут к уменьшению размеров и снижению потерь мощности, а для этого необходимо увеличить dU/dt. Высокое значение dU/dt отрицательно влияет на систему изоляции, используемой в электродвигателе, величина dU/dt уменьшается с увеличением длины кабеля.

Диаграмма 1



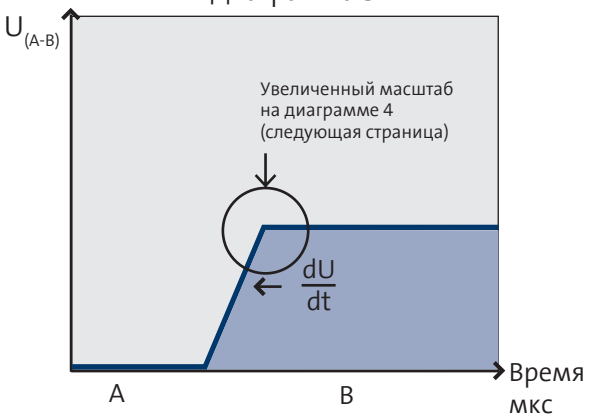
Выходные импульсы от инвертора

Диаграмма 2



Переходный период при переключении инвертора

Диаграмма 3



Переключение и dU/dt

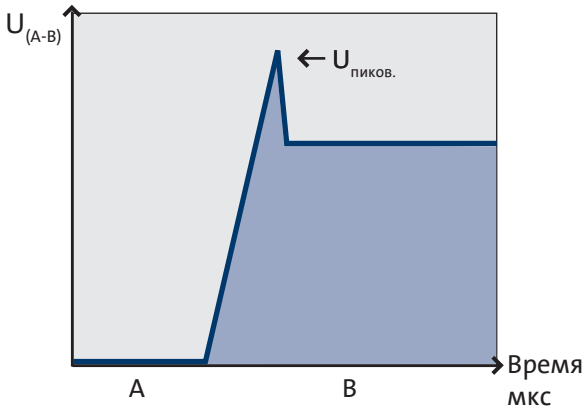
Чем длиннее кабель между преобразователем частоты и электродвигателем, тем ниже значение dU/dt. Причина в том, что кабель добавляет цепи некоторую индуктивность, которая влияет на величину dU/dt. В следующем разделе мы рассмотрим влияние фильтров, которое заключается в том, что величина dU/dt уменьшается. Эти фильтры в основном используются для защиты электродвигателей от слишком высокого dU/dt и $U_{пиков.}$.

$U_{пиков.}$ — ещё один фактор, влияющий на ресурс системы изоляции внутри электродвигателя. На предыдущих иллюстрациях представлено выходное напряжение преобразователя, работающего в идеальных условиях. Однако, в реальных ситуациях преобразователь частоты и электродвигатель соединены кабелем. Кабель влияет на выходное напряжение преобразователя частоты.

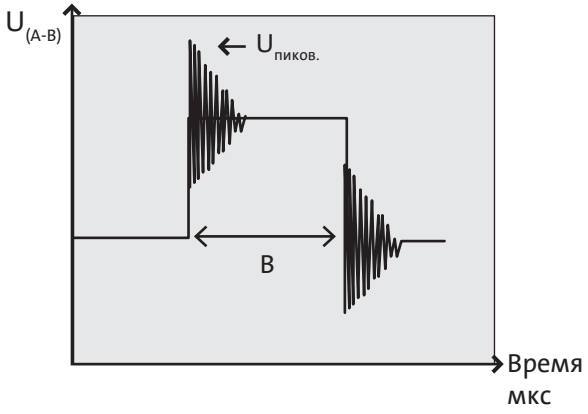
Напряжение $U_{пиков.}$ связано с собственной ёмкостью кабеля. Напряжение $U_{пиков.}$ высокое, система изоляции в электродвигателе препятствует распространению этого высокого напряжения всякий раз, как инвертор посылает импульс. Обычно это происходит тысячу раз в секунду. В некоторой степени $U_{пиков.}$ зависит от длины кабеля, так как собственная ёмкость кабеля повышается с увеличением его длины.

Напряжение $U_{пиков.}$ обычно не влияет на работу устройства, если кабель, соединяющий электродвигатель и преобразователь частоты, короткий (меньше 15–20 м).

На предыдущих страницах мы увидели, что проблема эксплуатации электродвигателя с преобразователями частоты заключается в том, что фактическое выходное напряжение представляет собой серию импульсов. Это влияет на изоляционную систему внутри электродвигателя из-за dU/dt и $U_{пиков.}$. На следующих страницах мы разберём, как уменьшить воздействие на изоляцию электродвигателя.



Упрощённый выходной импульс с $U_{пиков.}$



Выходной импульс с $U_{пиков.}$

Фильтры на выходе для преобразователей частоты

Фильтр на выходе из частотного преобразователя уменьшает нагрузку на изоляцию электродвигателя. Существует множество типов фильтров на выходе.

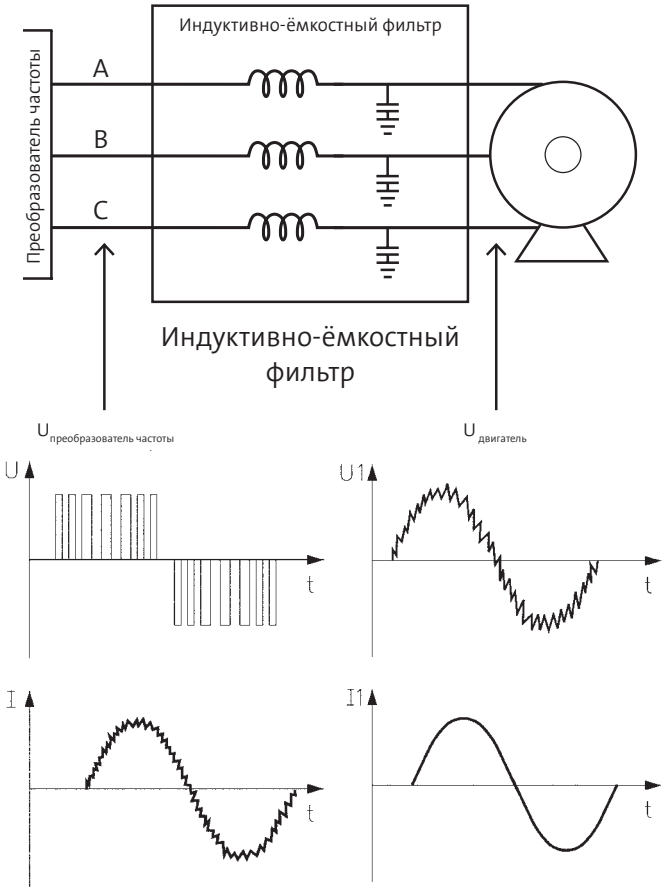
Основной функцией фильтров на выходе для преобразователей частоты является уменьшение значений dU/dt и $U_{пиков.}$. В результате квадратный профиль кривой меняется на синусоидальный. Уменьшить величины dU/dt можно при помощи различных фильтров:

- Стабилизаторов на выходе (катушек двигателя).
- Индуктивно-ёмкостных фильтров.

Стандартным способом уменьшения значений dU/dt является последовательное подключение стабилизатора к обмоткам электродвигателя. Для того чтобы повысить производительность фильтра, можно использовать дополнительные компоненты системы, такие как конденсаторы. При уменьшении значений dU/dt, $U_{пиков}$. также уменьшается. Таким образом, сводится к минимуму риск перегрузки ($U_{пиков.}$), так как загрузка и разгрузка кабеля осуществляется медленнее.

Фильтр на выходе вызывает определённые потери мощности. Их величина зависит от частоты переключения преобразователя частоты. Часто уменьшают частоту переключений, если для сокращения потерь мощности подключён фильтр на выходе. Однако установка фильтра на выходе будет всегда сказываться на общей производительности системы. Невозможно использование фильтра без определённых потерь. Информацию о максимальной частоте переключения для фильтров на выходе можно найти в руководствах и технических справочниках.

Причины электрического перенапряжения, которое может вызвать повреждение изоляции электродвигателя из-за частичных разрядов в обмотках двигателя



Фильтр на выходе приводит к потере напряжения (спад напряжения на стабилизаторах) между преобразователем частоты и электродвигателем, то есть на электродвигатель подается меньшее напряжение. Обычно, это явление не сказывается на работе устройства. Однако выходное напряжение преобразователя частоты никогда не превышает входного напряжения. Введение фильтра на выходе в такой ситуации приведёт к дополнительному падению напряжения. От преобразователя частоты в электродвигатель будет поступать немного больший ток, увеличится скольжение в электродвигателе и, следовательно, упадёт производительность насоса.

Вследствие преобразования прямоугольного импульса в более синусоидальный фильтры на выходе для преобразователей частоты будут вызывать помехи. Периоды работы стабилизаторов в фильтре противоположны частоте переключений преобразователя. Такая конструкция вызывает возникновение помех под влиянием усилий, прилагающихся к стабилизаторам, когда в прямоугольных импульсах меняется напряжение. Для уменьшения уровня помех, а также повышения теплопроизводительности фильтров, многие из них герметизированы. Если установлен фильтр на выходе, уровень помех может незначительно измениться.

При подборе оборудования необходимо обращать внимание на фильтры с конденсаторами, соединенные с «землей». Ток утечки может увеличиться вследствие увеличения ёмкости относительно «земли». Всё это может негативно сказаться на защитном автоматическом выключателе, используемом на месте установки.

Как правило, проблему можно обнаружить при первом нажатии кнопки «Пуск» на преобразователе частоты. Почему? Потому что конденсаторы в фильтре начинают работать, только когда преобразователь частоты генерирует выходное напряжение. Это значит, что ток утечки возрастает, когда инвертор генерирует выходные импульсы, а это происходит именно при нажатии кнопки «Пуск».

Очень важно, чтобы был установлен защитный автоматический выключатель, на который не повлияет ток утечки и не вызовет размыкания (отключения). Производители индуктивно-ёмкостных фильтров должны предоставлять информацию о токе утечки или о соответствующем защитном автоматическом выключателе.

Последний вопрос связанный с фильтрами, — монтаж. Фильтры всегда должны устанавливаться в соответствии с прилагаемой технической документацией.

Обычно, документация включает в себя рекомендации по выбору кабеля, максимальной длине кабеля, ограничениям по температуре окружающей среды, максимальной допустимой частоте переключений, максимальном токе электродвигателя и по другим вопросам. Инструкции изготовителя должны строго соблюдаться.

Если у Вас есть вопросы по выбору фильтра на выходе преобразователя частоты, Вам следует обратиться к производителю преобразователя частоты. Необходимо предоставить данные о типоразмере электродвигателя или максимальной нагрузке, максимальные допустимые значения dU/dt и $U_{пиков}$. и другую информацию относительно применения.

Подшипниковые токи при работе с преобразователями частоты

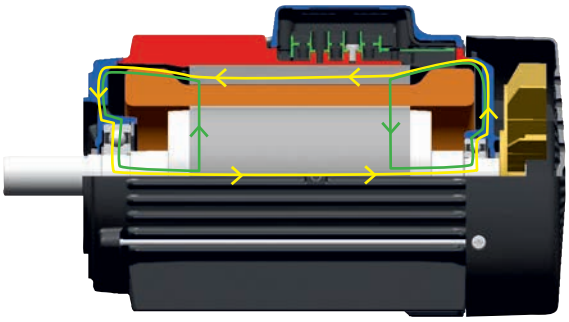
В последнее время значительно выросло количество неполадок электродвигателей, связанных с действием напряжения и токов на их валы. Разряд напряжения от тока, проходящего по подшипникам, может вызвать повреждение или разрушение подшипников, если они надлежащим образом не заизолированы.

Действие токов на валы электродвигателей необходимо учитывать при мощности электродвигателей от 75 кВт и выше. В исключительных случаях рассматриваются двигатели меньшей мощности.

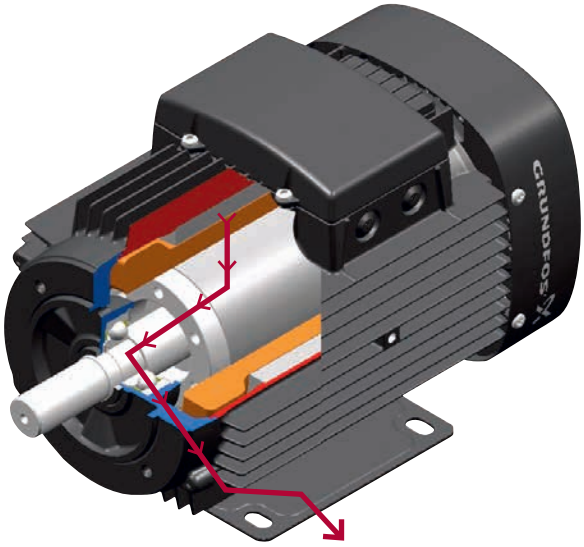
Токи в подшипниках трёхфазных электродвигателей переменного тока вызываются индуктивными токами вала от асимметричных обмоток статора. Как правило, они незначительные.

При действии гармоник, асимметрии напряжений инвертора, неправильно подобраной длине кабеля и плохом заземлении между инвертором и электродвигателем могут возникнуть токи утечки в подшипниках электродвигателя, которые также называют токами в подшипниках. Эти подшипниковые токи могут вызвать преждевременное повреждение и последующее разрушение подшипников. Постоянное присутствие тока в подшипниках приводит к короблению дорожек на наружном и внутреннем кольцах, вызывает и ускоряет износ подшипника.

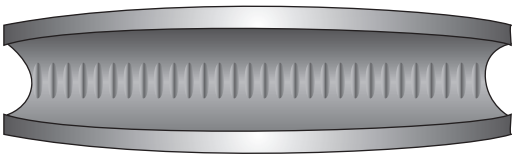
Обычно в небольших электродвигателях должны применяться изолированные или керамические подшипники на обоих концах вала. Более мощные электродвигатели могут быть оборудованы одним изолированным подшипником или одним керамическим подшипником.



Циркулирующий ток в подшипниках как большая цепь, проходящая через оба подшипника, или как небольшая цепь, проходящая через каждый подшипник в отдельности



Токи в подшипниках от вала на землю



Коробление дорожек на внутреннем кольце подшипника, вызванное постоянным действием тока

Специально изготовленные подшипники для электродвигателей

Преобразователи частоты позволяют регулировать частоту вращения электродвигателя и корректировать её в соответствии с меняющейся нагрузкой. Электродвигатели с частотными преобразователями могут создавать блуждающие токи, которые вызывают в подшипнике образование электрических дуг и могут привести к его разрушению. Чтобы этого не произошло, кольца и шарики подшипников покрывают специальными защитными материалами. Однако нанесение такого покрытия очень дорогостоящий и длительный процесс.

В подшипниках нового поколения, предлагаемых сегодня на рынке, используется эффект «выхода из штопора» (spin-off) из авиационной промышленности, в которой применяются следующие три типа подшипников:

- Гибридные подшипники.
- Полностью керамические подшипники.
- Подшипники с керамическим покрытием.

На следующих страницах данные типы подшипников представлены подробнее.

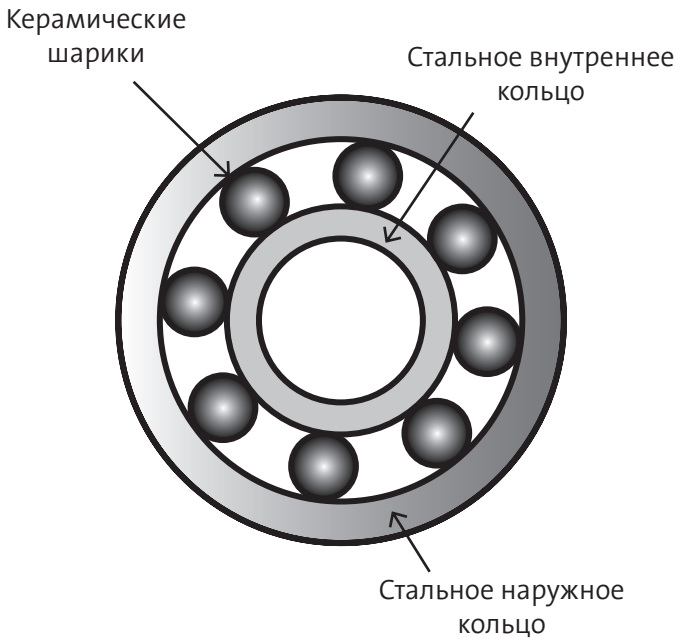
Гибридные подшипники

Дорожки качения гибридных подшипников изготавливаются из стали, а сами шарикоподшипники — из керамики, обычно из нитрида кремния. В отличие от стальных подшипников, гибридные подшипники имеют следующие преимущества:

- они могут достигать большей частоты вращения и лучшей точности;
- больший эксплуатационный ресурс.

Эти особенности говорят сами за себя. Сегодня гибридные подшипники находят широкое распространение в технике.

Недостатком гибридных подшипников является то, что они дороже стандартных подшипников. Несмотря на то, что гибридные подшипники становятся всё более доступными, их использование не всегда экономически оправдано.

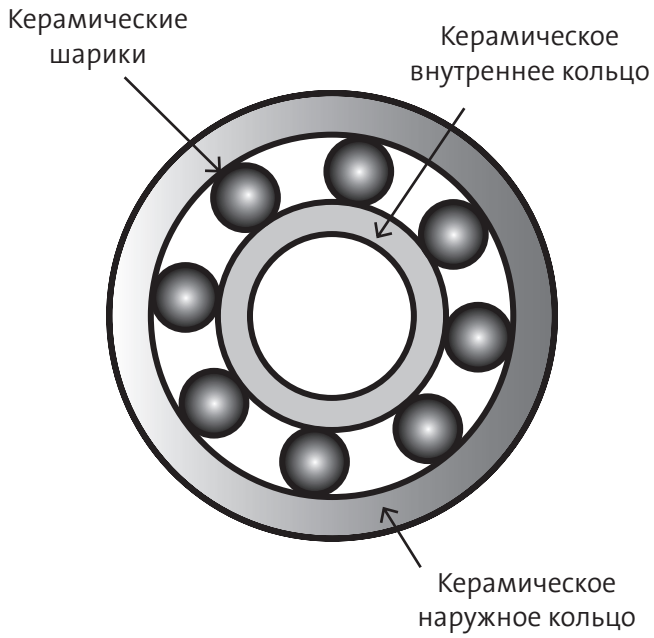


Гибридные подшипники

Полностью керамические подшипники

Полностью керамические подшипники, как следует из названия, изготовлены полностью из керамики. Полностью керамические подшипники имеют следующие преимущества:

- устойчивы к действию электрического тока и магнитного поля;
- износостойкость и коррозионная стойкость;
- не требуют смазки и технического обслуживания, особенно при их использовании при высоких и низких температурах;
- устойчивы к агрессивным средам.



Полностью керамические подшипники

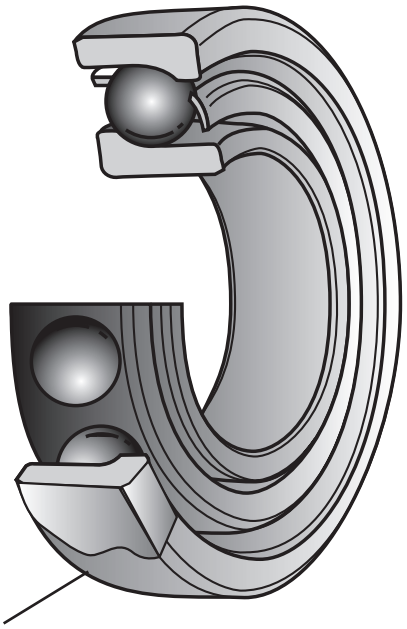
Изолированные подшипники — подшипники с керамическим покрытием

Подшипники данного типа имеют керамическое покрытие на наружном и внутреннем кольцах. Шарики, а также внутреннее и наружное кольца изготовлены из стали. Изолированные подшипники отличаются и от гибридных, и от керамических подшипников по своему эксплуатационному ресурсу, термостойкости и прочности. Изолированные подшипники используются для того, чтобы не допустить разрушения подшипника от действия токов, обусловленных работой электродвигателя вместе с преобразователем частоты.

Изолирующее покрытие на наружном кольце подшипника — это оксид алюминия, который наносится на подшипник способом плазменного напыления. Такой вид покрытия выдерживает напряжение пробоя изоляции 1000 В.

Подшипники с электрической изоляцией могут быть нескольких типов. Наиболее распространённые: цилиндрические роликоподшипники и шарикоподшипники с глубокими дорожками качения с наружным диаметром больше 75 мм — т.е. это подшипники серии выше 6208.

Подобно гибридным и керамическим подшипникам, изолированные подшипники дороже стандартных подшипников, хотя постепенно они становятся всё более доступными. Изолированные подшипники всё чаще используются наряду со стандартными подшипниками в качестве NDE подшипников в частотнорегулируемых электродвигателях типоразмера 250 и больше.



Изолированные подшипники – подшипники с керамическим покрытием

Меры предосторожности при работе с преобразователем частоты

Говоря о мерах предосторожности при работе с преобразователем частоты, мы подразумеваем работу 4 типов электродвигателей:

- электродвигатели без фазовой изоляции между обмотками и концом катушки;
- электродвигатели с фазовой изоляцией между обмотками и концом катушки;
- электродвигатели с усиленной фазовой изоляцией;
- электродвигатели с изолированным подшипником.

Ниже следует краткое описание типов электродвигателей.

Электродвигатели без фазовой изоляции

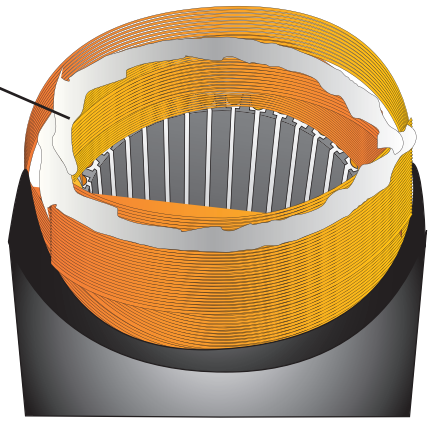
В электродвигателях, изготовленных в соответствии с современными правилами, без применения фазовой изоляции, при постоянных напряжениях (среднеквадратичное значение) выше 460 В повышается риск пробивных разрядов в обмотках, а, следовательно, разрушения электродвигателя. Это относится ко всем электродвигателям, изготовленным согласно данным правилам. Продолжительная работа с пиками напряжения выше 650 В вызывает повреждение электродвигателя. Стандартные электродвигатели типоразмера MG 71 и MG 80, до 415 В включительно (50 Гц) и 440 В (60 Гц) изготавливаются без фазовой изоляции.

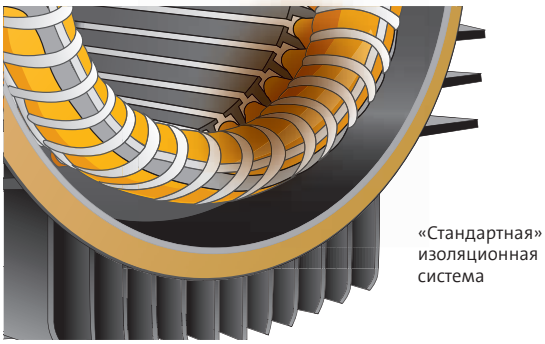
Электродвигатели с фазовой изоляцией

В трёхфазных электродвигателях, начиная с Grundfos MG, MMG, и некоторых исполнениях MG 71 и MG 80, используется фазовая изоляция, а, следовательно, не требуется соблюдать особые меры предосторожности.

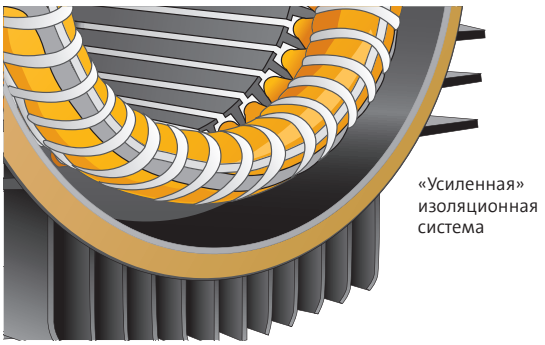
Электродвигатели с усиленной фазовой изоляцией

При значениях напряжения питания в диапазоне от 500 до 690 В электродвигатель должен иметь усиленную изоляцию или должен быть защищён фильтрами dU/dt. При напряжении питания 690 В и больше электродвигатель должен быть оборудован усиленной изоляцией и фильтрами dU/dt.





Такое повреждение стандартного электродвигателя является результатом работы с преобразователем частоты при напряжении выше 500 В



Различие между «усиленной» изоляционной системой и «стандартной» изоляционной системой

Рекомендации

Все компоненты в двигателях с частотными преобразователями должны быть тщательно подобраны. Плавкие предохранители должны соответствовать действующим нагрузкам. Защитный автоматический выключатель должен быть разработан специально для использования с преобразователями частоты. Если применяется фильтр на выходе, помните, что это может привести к некоторому повышению тока утечки. Фильтр на выходе должен соответствовать преобразователю частоты, а преобразователь частоты — конкретному типоразмеру электродвигателя.

Чтобы не допустить снижения рабочих характеристик и производительности электродвигателей, не используйте большие преобразователи частоты для электродвигателей небольшой мощности. Используйте фильтр, соответствующий определённому преобразователю. Если у вас есть вопросы по преобразователю частоты, обращайтесь к производителю. Всегда следуйте инструкциям руководства по монтажу.

GRUNDFOS

Приёмка электродвигателя 176
Условия хранения электродвигателя 176
Подъём электродвигателя 177
Что означают символы и знаки в фирменной табличке 177
Входные данные электрооборудования 178
Механическая полезная мощность 179
Рабочие характеристики 179
Надёжность 179
Максимальная температура окружающей среды 180
Конструкционные особенности 180
Как измеряется сопротивление изоляции 182
Сушка обмоток статора 183
Горячие поверхности 184
Другие факторы 184
Подшипники и смазка 185
Регулирование взаимного положения валов насоса и электродвигателя 185
Как проводить регулирование взаимного положения 186
Что нужно знать об основании/ фундаменте и гашении вибрации 189
Что следует знать о температуре окружающей среды и высоте установки над уровнем моря 190
Что следует знать об охлаждении 192
Как поддерживать влажность воздуха 194
Что следует знать об антиконденсационных нагревателях 195
Защита от дождя и солнца 195
Дренажные отверстия 195
О коррозии 196
Обычное покрытие 196
Специальное покрытие 196
Что следует знать о клеммах и направлении вращения 197
Клеммная коробка 198
Подключение электродвигателя 199
Соединение по схеме «звезда» (Y) 199
Соединение по схеме «треугольник» (Δ) 199
Диапазон номинального напряжения 200
Колебание напряжения и частоты во время эксплуатации 200
Предельные значения напряжения и частоты для электродвигателей 200
Как определить асимметрию напряжений и/или токов 201
Асимметрия фазовых напряжений 201
Каковы предельно допустимые значения асимметрии? 202
Что делать в случае асимметрии напряжений/токов 202
Что нужно знать о звуке 203
Что нужно знать об измерении звука для электродвигателей 204
Звуковое давление от нескольких источников звука 205
Звуковое давление в зависимости от частоты вращения 205

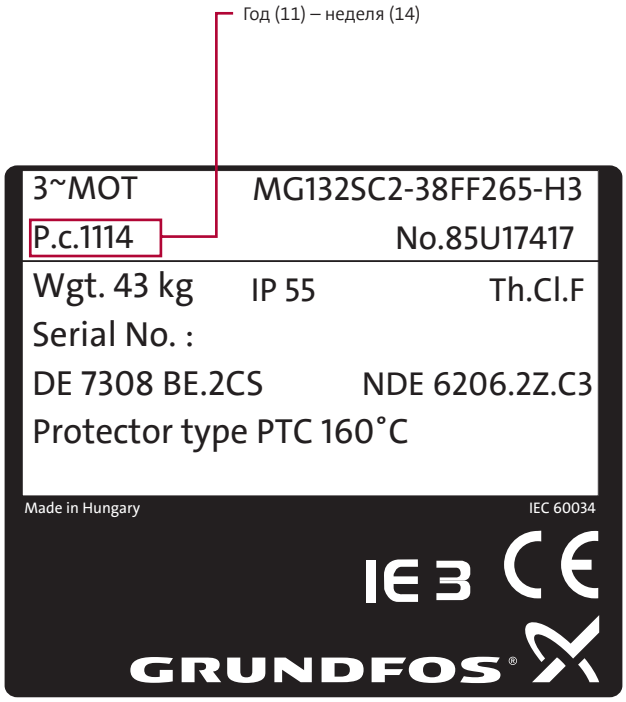
Приёмка электродвигателя

Вам кажется, что всё, о чём пойдёт речь далее, — очевидно; тем не менее, об этом часто забывают. Поэтому сразу же после получения электродвигателя проверьте его на предмет внешних повреждений, и если Вы считаете, что электродвигатель повреждён, немедленно сообщите об этом поставщику. Необходимо также сверить данные в фирменной табличке с Вашим заказом, особенно в отношении напряжения, схемы соединений («звезда» или «треугольник») и классификации Ex электродвигателя; следует проверить обозначение категории, типа защиты и температуры. После того как Вы убедитесь в том, что полученный электродвигатель соответствует заказанному, Вам следует проверить, не препятствует ли что-либо свободному вращению вала электродвигателя. Для этого проверните вал вручную.

Условия хранения электродвигателя

Немаловажным фактором являются условия хранения электродвигателя. Для того обеспечить защиту электродвигателя, необходимо следовать следующим руководящим принципам.

- Хранить электродвигатель можно исключительно в сухом незапыленном помещении. На электродвигатель не должны действовать вибрации.
- Незащищённые части электродвигателя, такие как концы вала и фланцы, должны быть защищены от коррозии специальным маслом или консистентной смазкой.
- Время от времени необходимо проворачивать вал, чтобы смазка была равномерно распределена по ширине подшипника.
- Подшипники в электродвигателях, которые хранились или не использовались слишком долго, при пуске двигателя могут вызвать шумы, уровень которых будет выше нормы. Шум образуется из-за того, что консистентная смазка подшипника неравномерно распределена по подшипнику. В большинстве случаев, как только консистентная смазка подшипников распределяется в подшипнике и нагревается, шум исчезает.



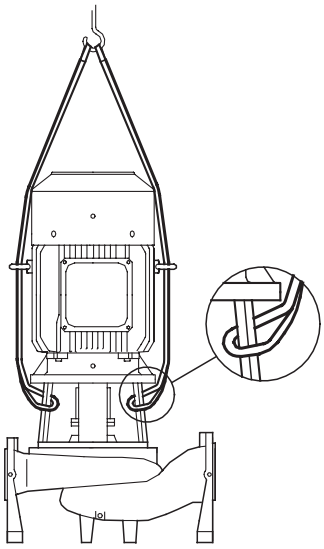
Подъём электродвигателя

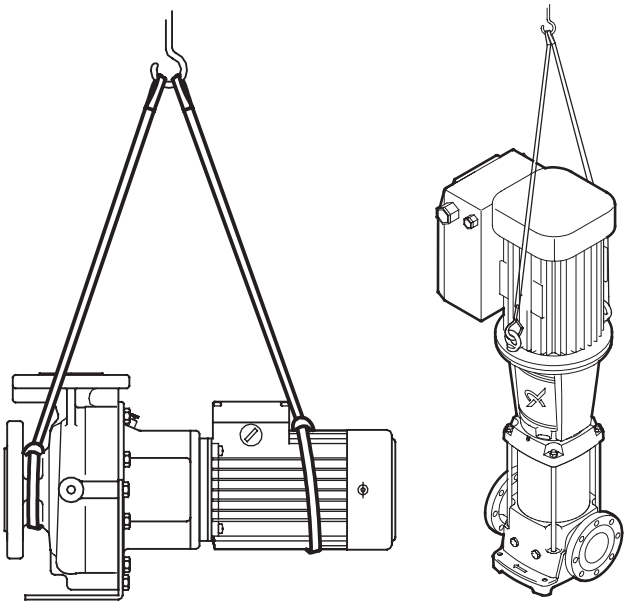
Для того чтобы избежать повреждений подшипников при подъёме электродвигателя, следуйте следующим рекомендациям:

- Никогда не поднимайте электродвигатель за вал.
- Поднимать электродвигатель можно только при помощи рым-болтов.
- Посмотрите, какой вес электродвигателя указан в фирменной табличке или в Руководстве по монтажу и эксплуатации.
- Поднимайте электродвигатель всегда очень осторожно, чтобы не повредить подшипники.
- Рым-болты, прикреплённые к кожуху статора, используются только для подъёма электродвигателя, а не для подъема всего агрегата.

Что означают символы и знаки в фирменной табличке

В этом разделе представлен обзор обозначений различных данных фирменной таблички электродвигателя. Все эти данные можно разделить на 6 основных групп: входные данные электрооборудования, выходные значения механической части, рабочие характеристики, безопасность, надёжность и конструкция.





В руководстве по монтажу и эксплуатации вы найдёте информацию о том, как правильно поднимать и перемещать насосный агрегат (насос и электродвигатель)

Входные данные электрооборудования

Напряжение

Эти данные говорят о том, при каком напряжении может работать электродвигатель. Параметры электродвигателя, определённые в фирменной табличке, такие как коэффициент мощности, КПД, вращающий момент и ток, определены для номинального напряжения и номинальной частоты. Если электродвигатель используется при напряжениях, отличных от напряжений, указанных в фирменной табличке, его рабочие характеристики будут другими.

Частота

Обычно для электродвигателей частота на входе составляет 50 или 60 Гц. Если в фирменной табличке указано больше одного значения частоты, в ней также должны быть даны и остальные параметры, различные для различных значений частоты на входе.

Фаза

Данный параметр представляет количество линий электроснабжения, питающих электродвигатель. Применяются однофазные и трёхфазные линии.

Ток

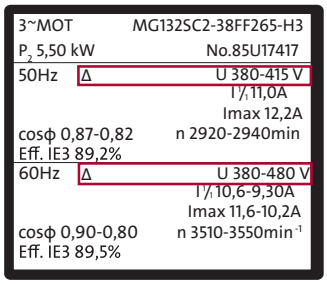
Ток, указанный на фирменной табличке, соответствует номинальной выходной мощности. Ток может отличаться от величины в амперах, указанной в фирменной табличке, если фазы несимметричны или если напряжение оказалось меньше указанного в фирменной табличке.

Тип

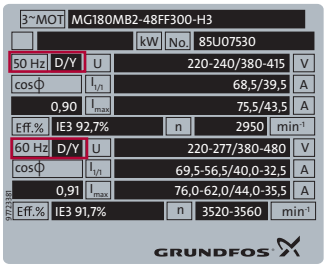
Некоторые производители обозначают этим термином является ли электродвигатель однофазным или многофазным, с одной частотой вращения или несколькими, или указывают тип конструкции. Тем не менее, никаких промышленных стандартов для определения типа не существует. Пример обозначения электродвигателя Grundfos: MG90SA2–24FF165–C2

Коэффициент мощности

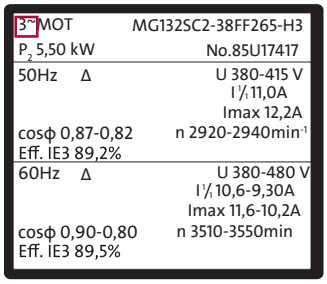
Коэффициент мощности указывается в фирменной табличке, как «PF», или «P.F», или cosφ. Коэффициент мощности обозначает соотношение между активной мощностью (Вт) и полной мощностью (ВА), выраженное в процентах. В численном выражении коэффициент мощности равен косинусу угла отставания входного тока по отношению к напряжению. Коэффициент мощности для электродвигателя с полной нагрузкой указывается в фирменной табличке электродвигателя.



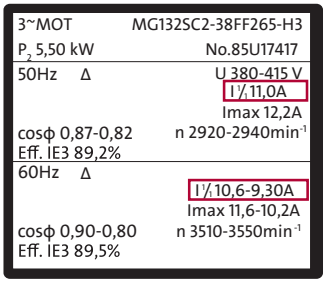
Напряжение



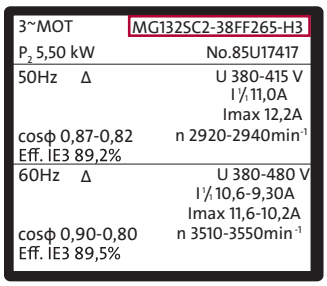
Частота 50 Гц и 60 Гц



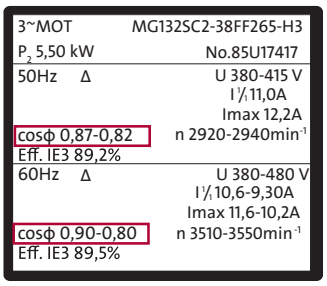
Трёхфазный двигатель



Ток



Обозначение типа



Коэффициент мощности, называемый cosφ

Механическая полезная мощность

в кВт или лошадиных силах
кВт или лошадиные силы (л.с.) — выражение механической полезной мощности при номинальном режиме работы электродвигателя.

Частота вращения при полной нагрузке
Частота вращения при полной нагрузке — это скорость, с которой обеспечивается номинальный вращающий момент при номинальной нагрузке и номинальной выходной мощности. Обычно частота вращения при полной нагрузке даётся в об/мин. Такую частоту вращения иногда называют скоростью проскальзывания или фактической частотой вращения ротора.

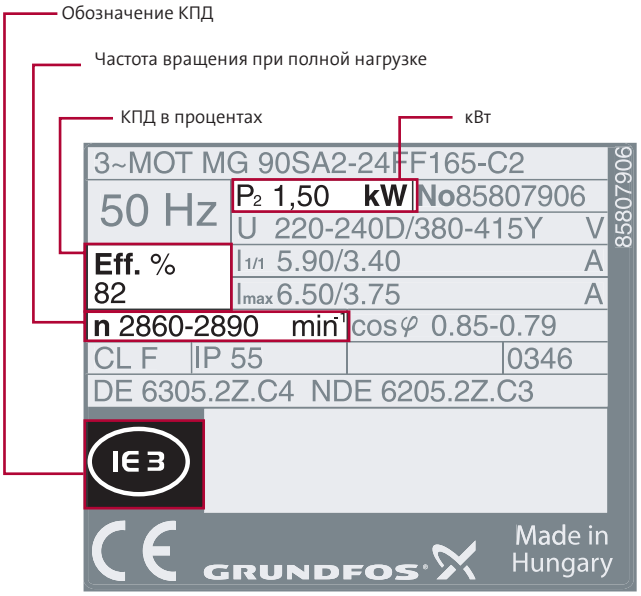
Рабочие характеристики

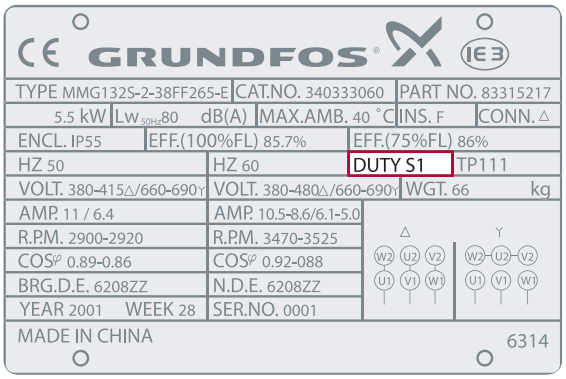
КПД
КПД — это выходная мощность электродвигателя, разделённая на его входную мощность и умноженная на 100. КПД выражается в процентах. Производитель гарантирует КПД в пределах определённого поля допуска, которое зависит от стандарта, напр., IEC или NEMA. Поэтому при оценке рабочих параметров электродвигателя необходимо обращать внимание на значение минимального гарантированного КПД.

Режим работы
Данный параметр определяет период времени, в течение которого электродвигатель может безопасно поддерживать рабочие параметры, указанные в фирменной табличке. В большинстве случаев электродвигатели имеют постоянно рабочие параметры, что обозначается в фирменной табличке символами S1 или «Cont». Если в табличке нет никаких обозначений, электродвигатель предназначен для работы в режиме S1.

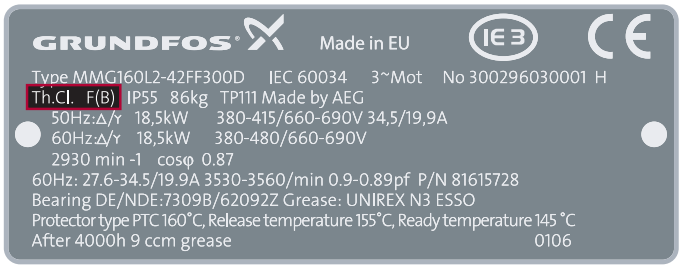
Надёжность

Класс нагревостойкости изоляции
Класс нагревостойкости изоляции (INSUL CLASS) — это отражение стандартной классификации допуска на температуру обмотки электродвигателя. Класс нагревостойкости изоляции имеет буквенное обозначение, например, «B» или «F», в зависимости от способности обмотки выдержать данную рабочую температуру за заданный ресурс. Чем дальше буква по порядку в алфавите, тем выше нагревостойкость. Например, номинальный ресурс изоляции класса нагревостойкости «F» при заданной рабочей температуре выше, чем номинальный ресурс изоляции класса «B».





Режим работы

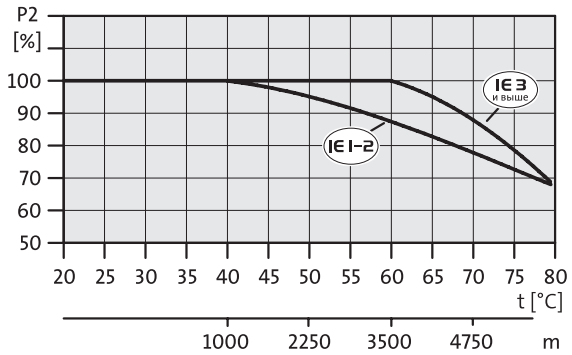


Класс нагревостойкости изоляции.
Cl.F(B) = класс F с повышением температуры класса B

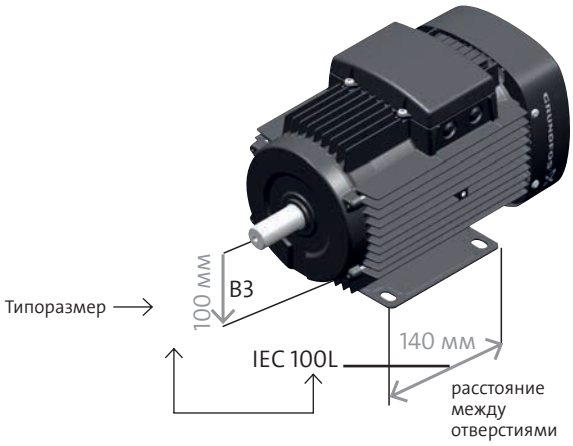
Максимальная температура окружающей среды

Иногда максимальная температура окружающей среды, при которой может работать электродвигатель, обозначается в фирменной табличке. Если она не указана, это означает, что она составляет 50 °C для электродвигателей IE1 и IE2, а для электродвигателей IE3 и выше — как правило, 60 °C. Электродвигатель может эксплуатироваться при максимальной возможной температуре и при этом находиться в пределах допуска класса нагревостойкости изоляции.

Высота над уровнем моря
Данное обозначение используется для того, чтобы показать, при какой максимальной высоте над уровнем моря повышение температуры электродвигателя не превышает допустимых значений и при этом сохраняются все остальные параметры, указанные в фирменной табличке. Если высота над уровнем моря не включена в фирменную табличку, это значит, что она составляет максимум 1000 метров.



Кривая понижения выходной мощности с ростом температуры окружающей среды или увеличением высоты установки над уровнем моря

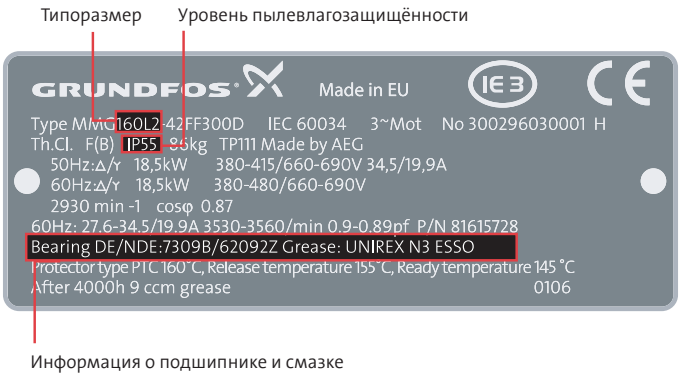


Конструкционные особенности

Уровень пылевлагозащищённости
Уровень пылевлагозащищённости классифицирует электродвигатели по степени защиты от окружающей среды и по методу его охлаждения. Уровень пылевлагозащищённости в фирменной табличке обозначается как IP или ENCL.

Типоразмер
Данные по типоразмеру, приведённые в фирменной табличке, представляют важную информацию. Она определяет установочные размеры, такие как монтажная модель подошвенного шпура и высота вала.

Подшипники
Подшипники являются тем компонентом электродвигателя переменного тока, который требует технического обслуживания. Здесь, как правило, представлена информация как для подшипников на стороне привода (DE – drive end), так и для подшипников на противоположной стороне — стороне без привода (NDE — non-drive end).



NEMA
Кроме той информации, о которой мы говорили выше, в фирменные таблички NEMA включена некоторая дополнительная информация. Наибольшее значение имеет буквенный код, код изделия и эксплуатационный коэффициент.

Буквенный код
Буквенный код обозначает ток при заторможенном роторе в кВА на лошадиную силу. Буквенный код состоит из букв от A до V. Чем дальше буква кода по порядку в алфавите, тем выше удельный пусковой ток.

Код изделия
Код изделия включает в себя характеристики вращающего момента и ток электродвигателя. Код изделия (A, B, C или D) обозначает различные категории электродвигателя. Большая часть электродвигателей имеют кодовое обозначение A или B.

Характеристика вращающего момента электродвигателя с кодом A такая же, как у электродвигателя с кодом B, единственное отличие кода A заключается в том, что для таких двигателей нет ограничений по пусковому току. Для электродвигателей с кодом B производитель должен указывать предельное значение тока, чтобы пользователи могли применять свои пусковые устройства. Таким образом, при установке электродвигателя на месте эксплуатации очень важно проверить код изделия, так как некоторые производители дают своим изделиям буквенные обозначения, которые не считаются отраслевым стандартом, что может вызвать проблемы при пуске двигателя.

Эксплуатационный коэффициент
Электродвигатель, предназначенный для работы при номинальной мощности, указанной в фирменной табличке, имеет эксплуатационный коэффициент 1,0. Это означает, что электродвигатель может работать при 100 % своей номинальной мощности. Для некоторых областей требуется электродвигатель, который может работать с превышением своей номинальной мощности. В этом случае электродвигатель с эксплуатационным коэффициентом 1,15 можно использовать при номинальной мощности. Электродвигатель с эксплуатационным коэффициентом 1,15 может эксплуатироваться, когда значение мощности на 15 % выше мощности, указанной в табличке на электродвигатель.

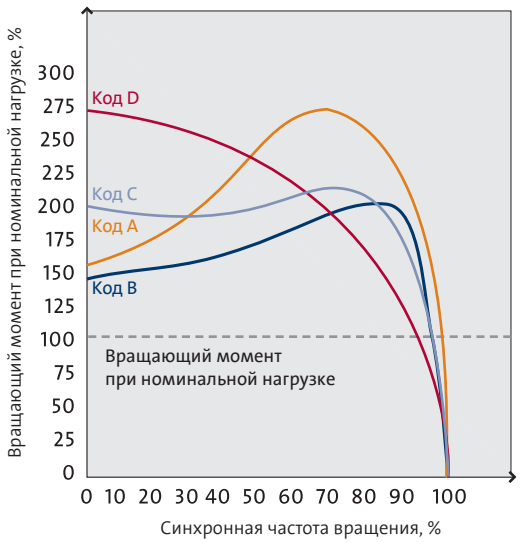
Однако ресурс каждого электродвигателя, работающего постоянно с эксплуатационным коэффициентом, превышающим 1, будет меньше, чем ресурс при эксплуатации на номинальной мощности.

Буквенный код NEMA	Заторможенный ротор кВА/л.с.	Буквенный код NEMA	Заторможенный ротор кВА/л.с.
A	0–3,15	L	9,0–10,0
B	3,15–3,55	M	10,0–11,2
C	3,55–4,0	N	11,2–12,5
D	4,0–4,5	O	не используется
E	4,5–5,0	P	12,5–14,0
F	5,0–5,6	Q	не используется
G	5,6–6,3	R	14,0–16,0
H	6,3–7,1	S	16,0–18,0
I	не используется	T	18,0–20,0
J	7,1–8,0	U	20,0–22,4
K	8,0–9,0	V	22,4 и больше

Формулы:

$$\text{Трехфазный кВА} = \frac{\text{напряжение} \cdot \text{пусковой ток} \cdot \sqrt{3}}{1000}$$

$$\text{Однофазный кВА} = \frac{\text{напряжение} \cdot \text{пусковой ток}}{1000}$$



Как измеряется сопротивление изоляции

Если электродвигатель не будет пущен в эксплуатацию сразу же после поставки, необходимо организовать его защиту от воздействия внешних факторов, таких как влажность, температура и загрязнения, чтобы не допустить повреждения изоляции. Прежде чем включить электродвигатель после длительного хранения, следует измерить сопротивление изоляции.

Если электродвигатель хранится в условиях высокой влажности, должны проводиться регулярные измерения. Практически невозможно сформулировать какие-либо стандарты для минимального фактического сопротивления изоляции электродвигателя, так как сопротивление зависит от конструктивных особенностей электродвигателя, используемого изоляционного материала и номинального напряжения. Исходя из опыта эксплуатации, минимальное сопротивление изоляции можно принять равным 10 МОм.

Измерение сопротивления изоляции выполняется с помощью мегаомметра — омметра с диапазоном высокого сопротивления. Измерение сопротивления производится: между обмотками и «землёй» электродвигателя на которые подаётся постоянное напряжение в 500 или 1000 В. В ходе измерения и сразу же после него на клеммах может присутствовать опасное напряжение, к ним НЕЛЬЗЯ ПРИКАСАТЬСЯ.

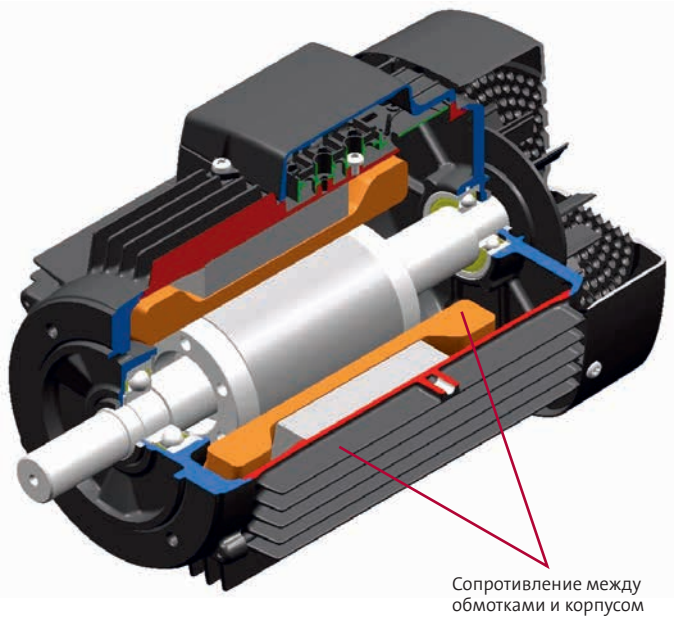
Сопротивление изоляции

- Минимальное сопротивление изоляции новых обмоток или обмоток после чистки или ремонта относительно «земли» составляет 10 МОм или более.
- Минимальное сопротивление изоляции, R, вычисляется умножением номинального напряжения, Un, на постоянный множитель 0,5 МОм / кВ. Например: если номинальное напряжение составляет 690 В = 0,69 кВ, минимальное сопротивление изоляции: 0,69 кВ · 0,5 мегом / кВ = 0,35 мегом

Измерение

- Минимальное сопротивление изоляции обмоток относительно земли измеряется с 500 В постоянного тока. Температура обмоток должна быть 25 °C ± 15 °C.
- Максимальное сопротивление изоляции должно измеряться с 500 В постоянного тока при рабочей температуре обмоток 80–120 °C в зависимости от типа электродвигателя и КПД.

Величина сопротивления изоляции	Уровень изоляции
2 МОм или меньше	Очень плохая
2–5 МОм	Плохая
5–10 МОм	Ниже нормы
10–50 МОм	Хорошая
50–100 МОм	Очень хорошая
100 МОм или больше	Отличная



Измерение сопротивления изоляции

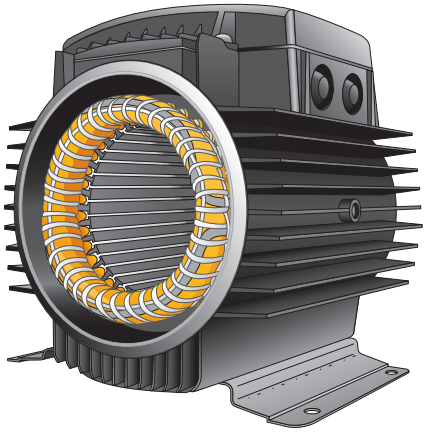
Проверка

- Если сопротивление изоляции нового электродвигателя, электродвигателя после чистки или ремонта, который некоторое время не эксплуатировался, составляет меньше 10 МОм, это можно объяснить тем, что в обмотки попала влага и их необходимо просушить.
- Если электродвигатель эксплуатируется в течение долгого промежутка времени, минимальное сопротивление изоляции может упасть до критического уровня. Двигатель сохраняет работоспособность, если сопротивление его изоляции упало до минимального расчетного значения. Однако, если зарегистрировано такое падение сопротивления, двигатель необходимо остановить, чтобы исключить вероятность поражения обслуживающего персонала блуждающими токами.

Сушка обмоток статора

Если сопротивление изоляции ниже минимального допустимого значения, обмотки слишком влажные и требуют сушки. Сушку обмоток следует выполнять с большой осторожностью. Повышенная температура и её резкое увеличение способствует образованию паров, которые повреждают обмотки. В связи с этим скорость роста температуры не должна превышать 5 °C/ч, а обмотки не должны нагреваться больше, чем на 150 °C для электродвигателей класса F.

В процессе сушки необходимо строго контролировать температуру и регулярно измерять сопротивление изоляции. Как обмотки реагируют на повышение температуры? Сначала сопротивление изоляции падает из-за повышения температуры, но в ходе сушки оно увеличивается. Каких-либо указаний относительно продолжительности сушки нет; она выполняется до тех пор, пока измеряемые величины сопротивления изоляции не будут постоянными и не превысят минимально допустимого значения. Однако если после сушки сопротивление всё ещё низкое, это означает, что изоляция повреждена и двигатель необходимо заменить.



Статор в корпусе, подготовленный для сушки

Горячие поверхности

В определённых рабочих условиях температура корпуса электродвигателя может превышать 70 °C. В таких случаях на видном месте необходимо разместить предупреждающую табличку (см. рисунок справа).

Для обычных электродвигателей Grundfos указывает только класс нагревостойкости изоляции в соответствии с IEC 62114. Электродвигатели MG/MMG/MGE относятся к классу F (т.е. они выдерживают температуры до 155 °C). В таких двигателях допускается рост температуры обмоток на 80 °C (как у класса B) В худшем случае (при температуре окружающей среды 40 °C) температура внутри двигателя достигнет 120 °C.

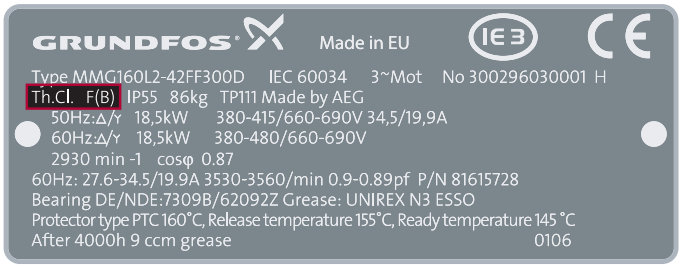
Температура корпуса статора тоже возрастает, но, благодаря охлаждению, не так сильно, как внутренняя температура. Рассмотрим пример: электродвигатель Grundfos мощностью 7,5 кВт, IE1, работает при температуре окружающей среды 40 °C с 100 % частотой вращения и нагрузкой.

В зависимости от того, в какой точке корпуса статора проводится измерение, температура будет в пределах от 60 до 90 °C; самые горячие точки приходятся на фланец со стороны привода.

Единственным нормативным документом по темпертуре поверхностей является директива ATEX 99/4/EC. В соответствии с этой директивой определять, можно или нет установить электродвигатель в условиях с взрывоопасной атмосферой, должны местные уполномоченные службы. Под взрывоопасной атмосферой подразумевается среда, содержащая газ, испарения или воспламеняюшуюся пыль.

Другие факторы

Кроме температуры, на сопротивление изоляции влияет множество факторов. Влага, химикаты, масло, вибрация, абразивные частицы и механическое истирание в результате частых пусков/остановов, — всё перечисленное сокращает ресурс изоляции. В некоторых областях применения, если есть возможность точно определить условия рабочей среды и нагрузки электродвигателя, можно использовать соответствующие средства защиты обмотки, чтобы обеспечить требуемый ресурс электродвигателя, несмотря на негативное влияние внешних факторов.



Класс	Изоляция	Поверхность	Подшипник
	Темп. (°C)	Темп. (°C)	Темп. (°C)
B	130	60–90	60–90
F	155	80–120	70–120

Характерные температуры в зависимости от класса изоляции. Класс F допускает температуру нагрева как у класса B.

Подшипники и смазка

При монтаже электродвигателя следует обратить внимание на периодичность повторной смазки подшипников. Обычно информация о том, как часто она требуется, приведена в отдельной бирке, расположенной на крышке вентилятора или непосредственно в фирменной табличке электродвигателя.

Все стандартные электродвигатели в насосах Grundfos типоразмера 160 и больше оснащены подшипниками, которые необходимо периодически смазывать. Электродвигатели типоразмера меньше 160 оборудованы необслуживаемыми подшипниками.

Русский Рекомендации по смазке	English Lubrication instructions	Deutsch Schmieranweisung	Français Instructions de graissage	Espanol Instrucciones de engrase
Смазка Castrol LMX или другая высокотемпературная смазка на основе лития.	Grease Castrol LMX or similar high-temperature lithiumbased grease.	Fett: Castrol LMX oder entsprechendes lithiumbasiertes Hochtemperaturfett.	Graisse Castrol LMX ou graisse semblable haute température et à base de lithium.	Grasa Castrol LMX u otra grasa de alta temperatura a base de litio.
Внимание!! если при замене используется смазка отличная, от используемой ранее, необходимо проверить совместимость двух видов смазок	Important!! -If another brand of grease is used, check its mixability.	Wichtig!! -Falls anderes Fett benutzt wird, muss die Mischbarkeit untersucht werden.	Important!! -Si une autre marque de graisse est uti- lisée, rechercher sa miscibilité.	Importante!! -En el caso de usar otra marca de grasa debe checarse su mezclabilidad
- Замечание по периодичности и количеству смазки - Электродвигатель необходимо смазывать во время его работы.	-Observe lubrication intervals and grease quantities. -The motor should be lubricated when operating.	-Schmierintervalle und Fettmengen be achten. -Nachschmierung muss bei Motor in Be trieb vorgenommen werden.	-Observer intervalles et quantités de graissage. -Lubrifier le moteur lorsqu'il est en marche.	-Respetar intervalos y cantidades mode engrase. -El engrase debe realizarse con el motor en marcha.
- Электродвигатель необходимо смазывать перед тем, как он будет остановлен на длительный срок (сезонная работа)	-The motor should be lubricated before it is stopped for a long period (sea-sonal operation).	-Wird der Motor über einen längeren Zeit raum abgestellt (Saisonbetrieb): Nachschmieren vor der Stillstands-periode.	-Lubrifier le moteur avant un arret de longue durée (marche saison-nière).	-Si el motor queda fuera de servicio durante un periodo prolongado debe engrasarse antes de pararse.
- Замена подшипников Количество смазки для заполнения новых подшипников: A=60 г B=30 г	-When replacing bearings: Quantity of grease for filling up new bearings: A=60g B=30g	-Bei Lagertausch: Fettmenge zum Auffüllen der neuen Lager: A=60g B=30g	-Remplacement des paliers: Quantité de graisse pour le remplissage des nouveaux paliers: A=60g B=30g	-Reemplazo de los cojinetes: Cantidad de grasa para el relleno de los nuevos cojinetes: A=60g B=30g

	Периодичность смазки Lubrication interv Schmierintervall Int. de graissage Intervaldo de engrase	Количество смазки Grease quantity Fettmenge Quantité de graisse Cantidad de grasa
A B 98.2086	4000 h	10 g

Регулирование взаимного положения валов насоса и электродвигателя

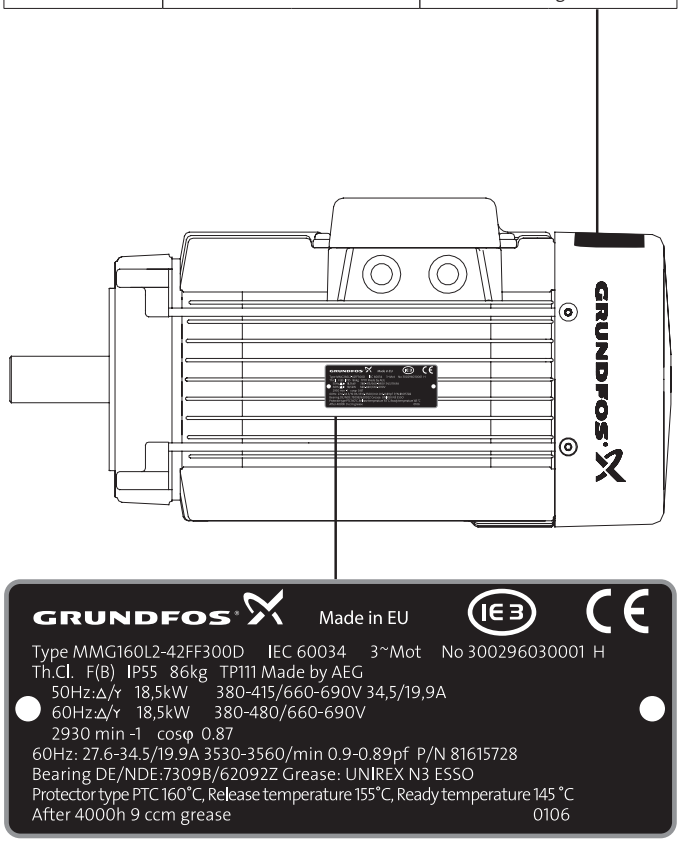
Когда насосный агрегат поставляется с завода в сборке, полумуфты уже точно сцентрированы за счет тонких прокладок, установленных под опорными поверхностями насоса и электродвигателя, как того требуют технические условия.

Соосность валов насоса и электродвигателя может быть нарушена в процессе транспортировки. В любом случае соосность необходимо проверить после установки насоса на месте эксплуатации.

Чтобы откорректировать соосность, используйте тонкие регулировочные прокладки, устанавливаемые под опорную поверхность насоса или электродвигателя.

Убедитесь, что регулировка выполнена корректно. Правильное взаимное положение электродвигателя и насоса увеличивает рабочий ресурс муфты, подшипников и торцевых уплотнений.

Проверьте окончательную центровку, когда насос достигнет своей рабочей температуры в нормальных условиях эксплуатации.



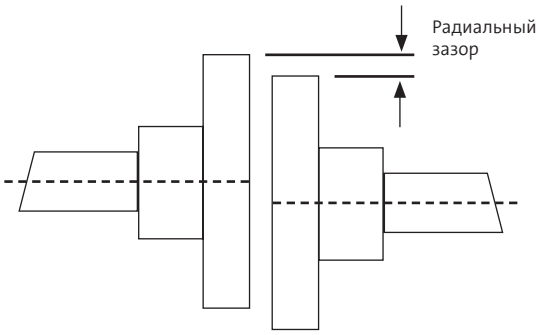
Обычно информация о том, как часто требуется повторная смазка, приведена в отдельной бирке, расположенной на крышке вентилятора или непосредственно в фирменной табличке электродвигателя

Как проводить регулирование взаимного положения

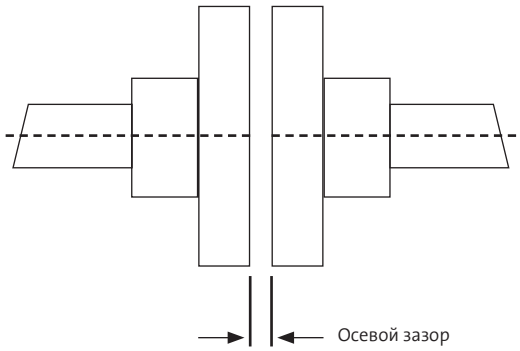
Наилучшим способом регулировки взаимного положения является использование индикатора с круговой шкалой, который кладут на каждую полумуфту, при этом результаты считываются как радиально, так и по оси. Вал медленно вращают, замеряя отклонения. Значение на индикаторе не должно превышать ±0,1 мм.

Квалифицированный слесарь может выставить соосность с помощью щупа для измерения зазоров и стальной линейки, при условии, что муфты не имеют дефектов и отцентрованы. Отклонение измерений по 4-м точкам не должно превышать 0,03 мм.

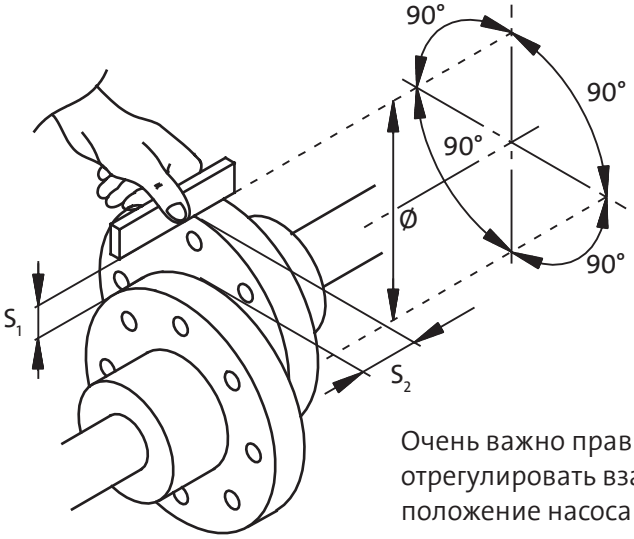
При регулировании/выравнивании взаимного положения очень важно учитывать влияние повышения температуры электродвигателя и приводного механизма. Расширение связанных между собой механизмов может изменить их соосность/взаимное положение валов во время работы электродвигателя. После того как будет точно выставлено взаимное положение всего агрегата (электродвигатель и основания), необходимо зафиксировать электродвигатель болтами. Для выполнения регулировки взаимного положения и проверки используются также инструменты с видимым лазерным лучом.



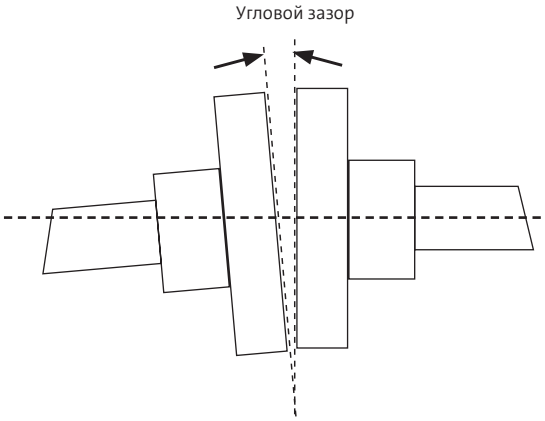
Радиальное согласование (концентричность) S_1



Согласование осей S_2

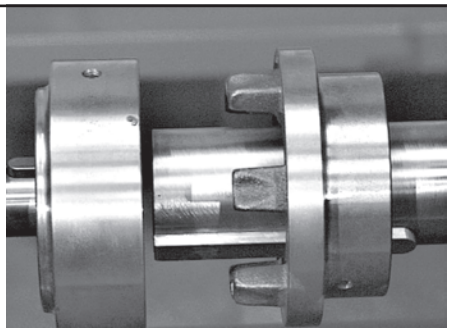


Очень важно правильно отрегулировать взаимное положение насоса и электродвигателя

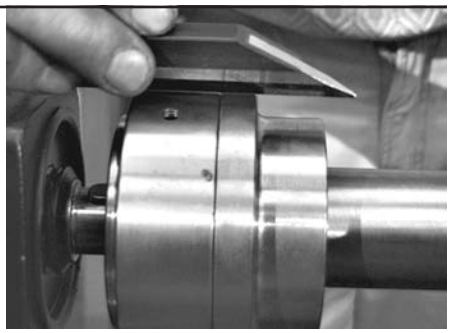


Угловое выравнивание

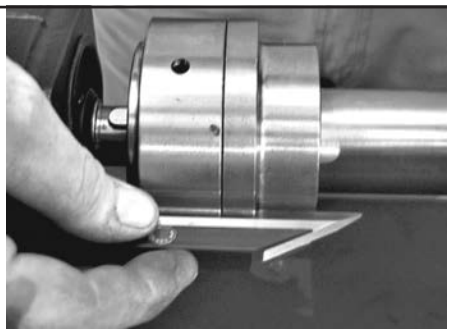
Этап 1
Зазор между торцами валов должен соответствовать значению S_2, приведённому в документации на насос. Валы поверните на 180°.



Этап 2
Проверьте соосность.

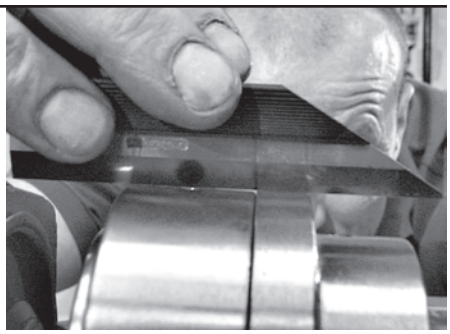


Этап 3
Повторите проверку соосности, повернув валы на 90 °C.

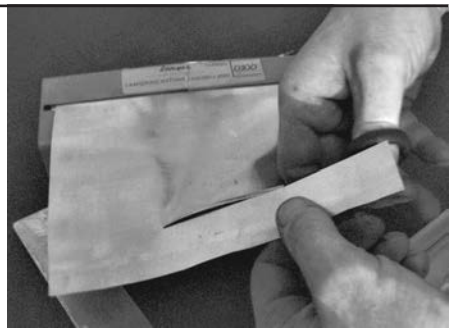


Этап 4
Затяните болты, крепящие насос и электродвигатель к плите-основанию.

Этап 5
Проверьте соосность. Допустимое отклонение для S_1 составляет ±0,1 мм. Если соосность в норме, переходите к этапу 10.



Этап 6
Вырежьте прокладку требуемого размера.

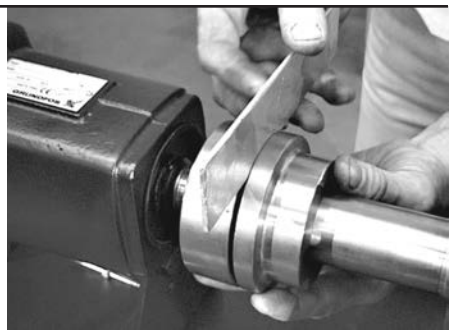


Этап 7
Установите ее в требуемое положение.

Этап 8
Вновь затяните болты.

Этап 9
Еще раз тщательно проверьте соосность.

Этап 10
Зазор между торцами валов S_2 должен соответствовать значению, указанному в документации на насос. Допуск составляет ±0,1 мм.



Что нужно знать об основании/ фундаменте и гашении вибрации

Для того чтобы достичь оптимального режима работы и сократить до минимума шумы и вибрацию, необходимо продумать систему гашения вибрации насоса в конкретных ситуациях. В принципе, она всегда необходима при работе насосов с электродвигателями мощностью больше 7,5 кВт. Но электродвигатели меньшей мощности также вызывают нежелательные шумы и вибрацию.

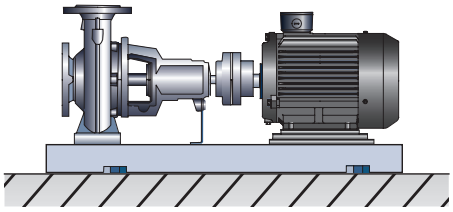
Шум и вибрация появляются в результате вращения электродвигателя и насоса, а также могут быть вызваны течением жидкости в трубопроводе и соединениях. Влияние на окружающую среду — субъективно и зависит от правильности монтажа и состояния системы.

Насос должен устанавливаться на ровное, жёсткое основание/фундамент. Оптимальным решением является бетонный фундамент.

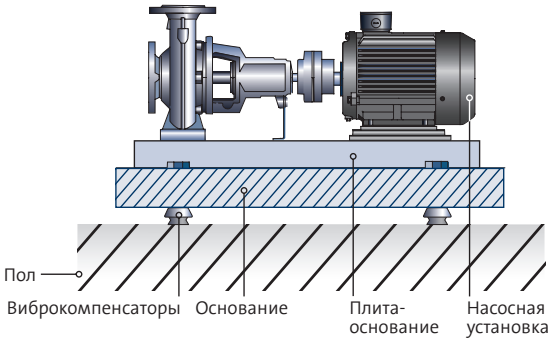
Опытным путем было определено, что вес бетонного основания должен быть в полтора раза больше веса насоса, чтобы обеспечить гашение вибрации. Основание должно быть со всех четырёх сторон на 100–200 мм больше плиты-основания.

Чтобы вибрация не передавалась на здание или на трубопровод, рекомендуется установить правильно рассчитанные виброкомпенсаторы и вибровставки. Выбор компенсатора вибрации зависит от типа установки. Неправильно подобранный компенсатор в некоторых случаях увеличивает уровень вибрации. Поэтому подбирать компенсаторы вибрации должен опытный инженер-проектировщик.

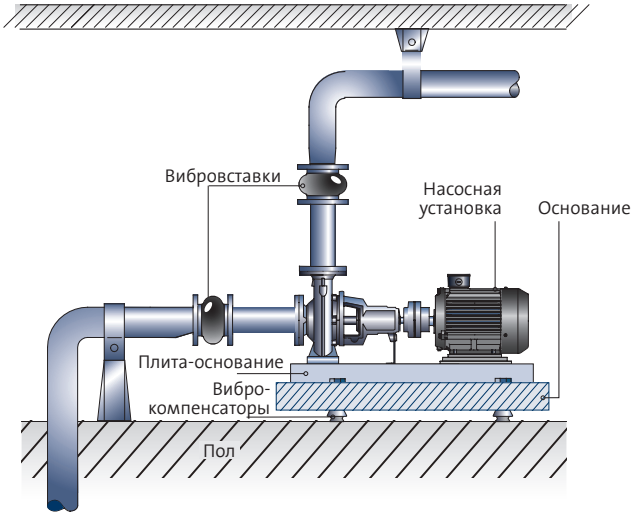
Если насос смонтирован на основании с виброкомпенсаторами, вибровставки тоже должны быть установлены. Это позволяет исключить передачу усилий на фланцы насоса. Если электродвигатели со шпоночной канавкой используются в насосах в соединении с гладким валом, например в насосах Grundfos CR, шпоночная канавка ДОЛЖНА БЫТЬ заполнена полушпонкой. В противном случае уровень вибрации превысит рекомендованный уровень, а, следовательно, уменьшится ресурс подшипников и торцевого уплотнения вала.



Пол: монтаж непосредственно на полу, в результате – распространение вибрации



Основание – устанавливается непосредственно на бетонном полу, выполняет функцию пола



Что следует знать о температуре окружающей среды и высоте установки над уровнем моря

При установке электродвигателя следует учитывать такие важные факторы, как температура окружающей среды и высота установки над уровнем моря. Фактически оба эти фактора влияют на срок службы подшипников и изоляционной системы.

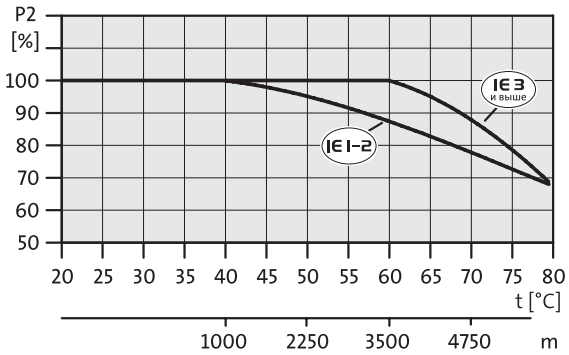
Далее представлено краткое описание того, что следует знать о температуре окружающей среды при установке электродвигателя.

- Электродвигатель, сконструированный в соответствии со стандартом IEC 60034–1, должен отвечать требованиям по классу нагревостойкости изоляции при температуре окружающей среды в диапазоне от –15 до +40 °C.
- Если температурные условия эксплуатации электродвигателя меняются и выходят за пределы диапазона от –15 до +40 °C. Выходная мощность будет снижена, следовательно необходимо выбрать более мощный электродвигатель. Для электродвигателей IE3 при номинальной выходной мощности, приемлема температура окружающей среды, равная 60 °C.
- Если электродвигатель работает при температуре окружающей среды, превышающей 40 °C, срок службы смазки подшипников может сократиться и потребуется их замена или более частая смазка.

Что касается высоты установки над уровнем моря, нужно помнить следующее:

- Электродвигатель может работать со 100 % нагрузкой, если он установлен на высоте до 1000 м над уровнем моря.
- Если электродвигатель установлен на высоте, превышающей 1000 м над уровнем моря, необходимо уменьшить номинальную нагрузку двигателя, так как в этих условиях плотность воздуха ниже и, следовательно, более низкая охлаждающая способность. Смотрите пример на иллюстрации справа.

Применительно к электродвигателю IE1 нагрузку следует уменьшить до 88 % в случае установки двигателя на высоте 3500 м над уровнем моря. Или выбрать двигатель с запасом по мощности.



Падение мощности электродвигателя в зависимости от температуры и высоты над уровнем моря

Ключевой составляющей ресурса электродвигателя является прочность изоляционной системы. Кроме вибрации, влажности, химического воздействия окружающей среды и других факторов, сокращающих ресурс, ключевым моментом для изоляции и ресурса электродвигателя является максимальная температура, которую выдерживает изоляционная система, и предельные температуры для компонентов системы.

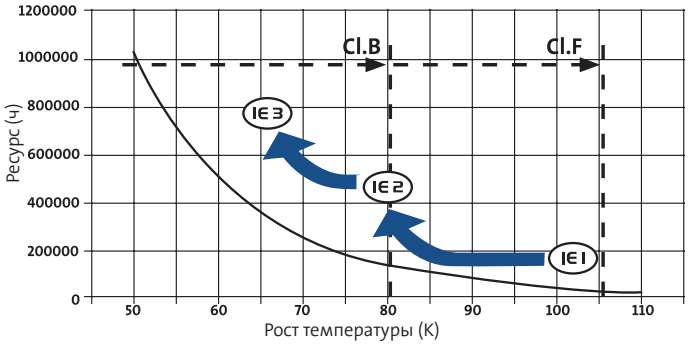
Опытным путём было установлено, что ресурс изоляции будет удваиваться с каждыми 10 градусами неиспользованного температурного диапазона. Например: если электродвигатель с изоляцией класса F (155 °C) рассчитан на работу при суммарной максимальной температуре 120 °C (класс B) неиспользованный диапазон составит 35 °C. Этот дополнительный запас повысит предполагаемый ресурс изоляции электродвигателя с 50 000 часов до 400 000 часов.

Электродвигатели IE3 предназначены для работы при температуре окружающей среды до 60 °C.

Если электродвигатель эксплуатируется с неполной нагрузкой, температура внутри него будет ниже. Следовательно, суммарная максимальная температура будет ниже, а прогнозируемый срок службы электродвигателя увеличится.

Таким же образом, если электродвигатель эксплуатируется при температуре окружающей среды ниже 40 °C, прогнозируемый срок службы электродвигателя увеличится. То же правило «десяти градусов» применимо к электродвигателям, работающим при температурах выше номинальной. В этом случае ресурс изоляции сокращается в два раза с каждыми 10 °C перегрева. Это относится и к подшипникам.

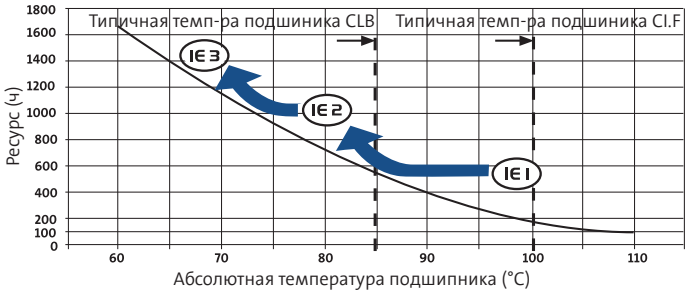
Зависимость ресурса от температуры



Понижение температуры на 10 K удваивает эксплуатационный ресурс изоляционной системы. Типичное повышение температуры электродвигателей IE3 находится в пределах 50–70 K.

Поэтому у них более продолжительный эксплуатационный ресурс изоляционной системы, чем у других электродвигателей.

Зависимость ресурса от температуры подшипника 6360



При 110 °C эксплуатационный ресурс подшипника эквивалентен индексу 100. Как показывает вычисление, эксплуатационный ресурс подшипника значительно увеличивается, если температура подшипника падает. Зависимость почти такая же, как у ресурса изоляционной системы.

Что следует знать об охлаждении

Для охлаждения электродвигателя используется вентилятор, установленный на валу в соответствии со стандартами IEC 60034–6, IC 0141. Чтобы обеспечить охлаждение электродвигателя, следует выполнять следующие условия:

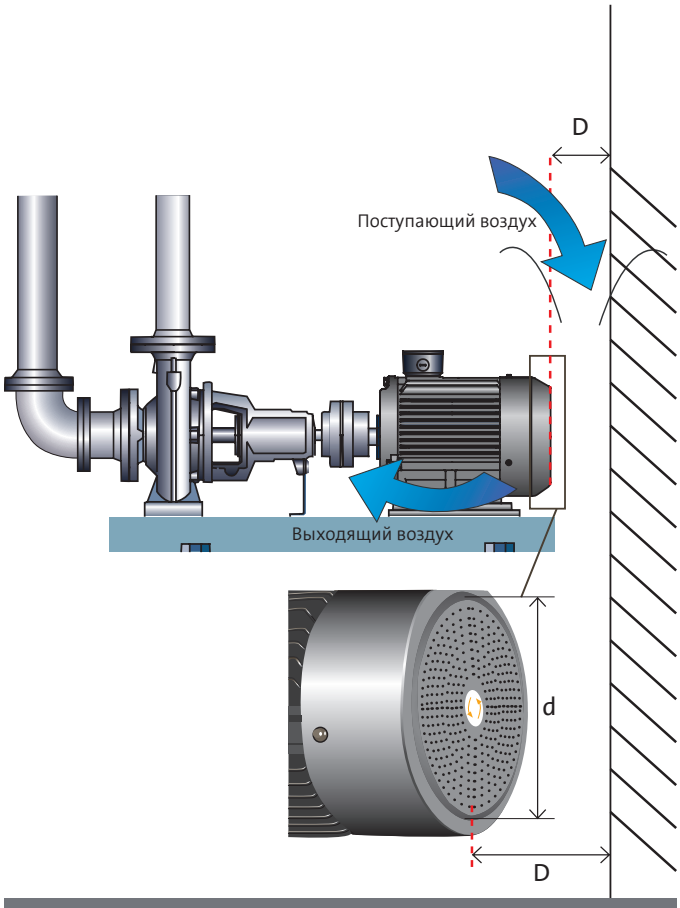
- Устанавливать двигатель так, чтобы обеспечить достаточный приток воздуха.
- Следить за тем, чтобы температура охлаждающего воздуха не превышала 40 °C.
- Поддерживать чистоту охлаждающих рёбер на поверхности корпуса, отверстий в крышке вентилятора и лопастей вентилятора.

Если насос установлен возле стены, важно, чтобы надлежащее количество охлаждающего воздуха попадало в пространство между крышкой вентилятора и стеной. Если расстояние слишком мало, количество охлаждающего воздуха сократится, и электродвигатель будет работать при более высокой температуре, что приведёт к уменьшению ресурса электродвигателя.

Чаще всего для сокращения шумов электродвигатель накрывают экраном. Вследствие этого электродвигатель нагревает воздух внутри экрана.

Поэтому важно, чтобы воздух из окружающей среды проникал под экран и охлаждал электродвигатель. Иначе электродвигатель медленно нагревает воздух вокруг себя до тех пор, пока устройство тепловой защиты, встроенное в него, не отключит двигатель. Некоторые производители электродвигателей указывают, сколько воздуха нужно, чтобы охладить электродвигатель определённого типоразмера. Иллюстрация справа является своего рода руководством по определению количества воздуха, которое требуется для охлаждения электродвигателя.

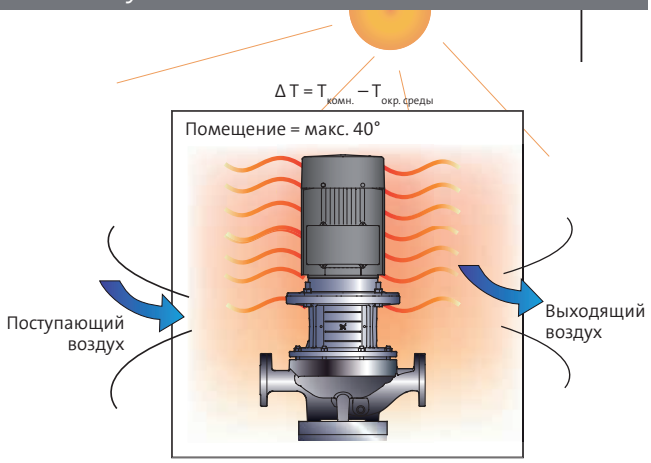
Потери в электродвигателе преобразуются в тепло. Таким образом, зная КПД электродвигателя, можно предположить, сколько тепла он выделяет.



4 свободных поверхности = > D = d / 4
3 свободных поверхности = > D = d / 3
2 свободных поверхности = > D = d / 2
1 свободная поверхность = > D = d

минимум 50 мм!

D = расстояние до стены
d = диаметр вентиляционного отверстия в крышке вентилятора
1. Площадь воздухоприёмника крышки вентилятора = $d^2 \cdot \pi / 4$
2. Практическая площадь воздухоприёмника = $\pi \cdot D \cdot d$



Потери в электродвигателе преобразуются в тепло, которое рано или поздно нагреет помещение. Чтобы температура не превысила 40 °C, необходимо поступление в помещение свежего охлаждающего воздуха.

Для расчета требующегося притока воздуха в помещение, где установлены электродвигатель и насос, используется следующая формула:

$$G = \frac{3600 \cdot Q}{(C_p \cdot \Delta T \cdot P)} = \text{минимальный приток воздуха в м}^3\text{/ч}$$

Q = Количество энергии, которую необходимо отвести = потери в электродвигателе (Вт)

C_p = Постоянная теплопроизводительности для воздуха = 1004,3 (Дж/кг*К)

P = Плотность воздуха (кг/м³)

ΔT = Разница между температурой поступающего воздуха и температурой в помещении.

Давайте рассмотрим пример с электродвигателем, имеющим следующие характеристики:

- Электродвигатель MG Grundfos мощностью 4 кВт.
- КПД электродвигателя 86 %.

Электродвигатель установлен в помещении и выделяет следующее количество тепла (кВт) при полной нагрузке:

$$Q = P1 - P2 = \text{мощность двигателя} \cdot \left(\frac{1}{\eta} - 1\right)$$

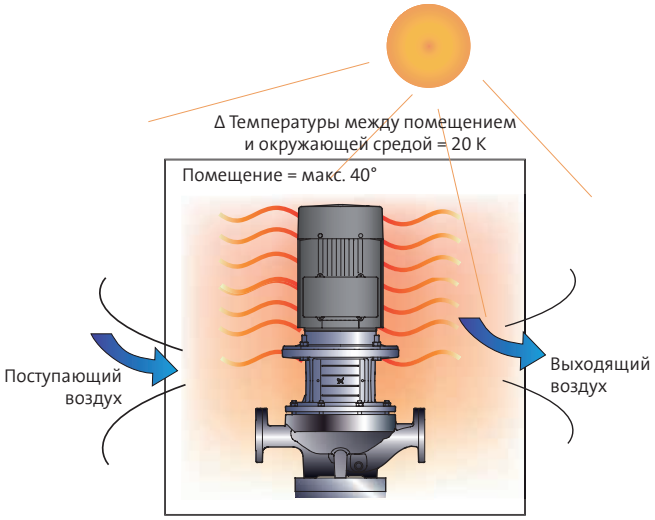
$$Q = 4{,}0\ \text{кВт} \cdot \left(\frac{1}{0{,}86} - 1\right) = 0{,}7\ \text{кВт} = 700\ \text{Вт}$$

Температура окружающей среды в помещении должна быть ниже 40 °C. Температура наружного воздуха –20 °C, таким образом, разница в температуре 20 K (ΔT). Теперь можно рассчитать объем воздуха для охлаждения помещения.

$$G = \frac{3600 \cdot 700\ \text{Вт}}{(1004{,}3 \cdot 20 \cdot 1{,}251)} = 93\ \text{м}^3\text{/ч}$$

Требуется в час 93 м³ охлаждающего воздуха с разностью температур в 20 K, чтобы температура в помещении не опускалась ниже 40 °C.

Данная информация необходима для того, чтобы определить размер вентиляционной системы.



Температура в помещении должна быть ниже 40 °C. Измеренная температура вне помещения составляет 20 °C, таким образом, разность температур составляет 20 K (ΔT).

Необходимый приток воздуха для электродвигателя мощностью 4 кВт

Диаграмма охватывает электродвигатели мощностью 4 кВт с номинальным КПД 86%. Чем меньше температура охлаждающего воздуха, тем меньше его требуется.

Как поддерживать влажность воздуха

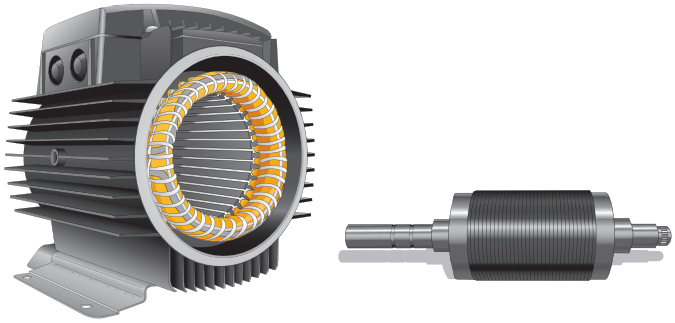
Если электродвигатель установлен в среде с высокой влажностью воздуха, в электродвигателе образуется конденсат. Выделяют два вида конденсации: медленную и быструю. Медленная конденсация является результатом влияния низких ночных температур, быстрая — результат резкого охлаждения из-за солнечного тепла и последующих осадков.

Электродвигатели Grundfos MG и MMG имеют защиту IP 55 и могут эксплуатироваться в условиях с постоянной относительной влажностью 85 % при 25 °C. Возможна кратковременная эксплуатация данных электродвигателей в условиях, когда относительная влажность воздуха составляет 95 % при 40 °C. Если влажность воздуха постоянно высокая, выше 85 % относительной влажности, дренажное отверстие во фланце электродвигателя должно быть открыто. При открытом дренажном отверстии класс пылевлагозащищённости электродвигателя меняется с IP 55 на IP 44.

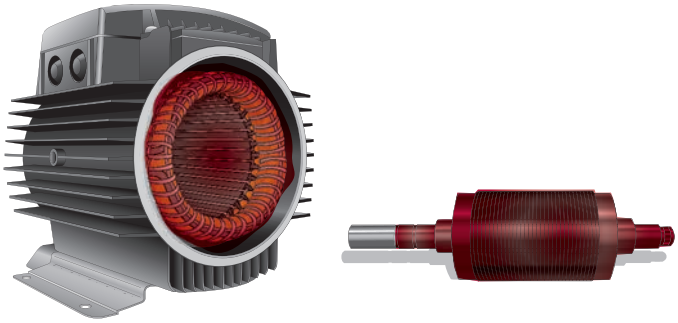
Однако если класс пылевлагозащищённости электродвигателя должен остаться IP 55, так как он установлен в пыльной среде, в обмотку статора должен быть встроен антиконденсационный нагреватель. Это позволяет поддерживать постоянную температуру электродвигателя во время простоя и, тем самым, избегать появления конденсата. Если относительная влажность воздуха составляет 95–100 %, а температура окружающей среды выше 25 °C, электродвигатель должен иметь усиленную изоляцию между обмотками.

Если в среде, где установлен двигатель, есть насекомые, изоляция между обмотками должна быть изготовлена в специальном тропическом исполнении с добавлением отравляющих средств против насекомых.

Электродвигатели с тропической защитой не входят в программу Grundfos по электродвигателям. Однако Grundfos сотрудничает с производителями электродвигателей, которые могут предложить двигатели в таком исполнении.



Стандартная изоляционная система

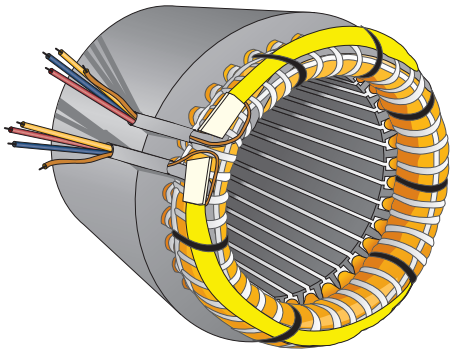


Изоляционная система с тропической защитой
• специальное дополнительное лаковое покрытие
• обработка инсектецидами

Что следует знать об антиконденсационных нагревателях

Некоторые электродвигатели оборудованы антиконденсационными нагревателями, предотвращающими образование конденсата в течение длительного времени. Антиконденсационные нагреватели подсоединены таким образом, что они начинают работать, как только электродвигатель выключается, и останавливаются, когда электродвигатель включается снова.

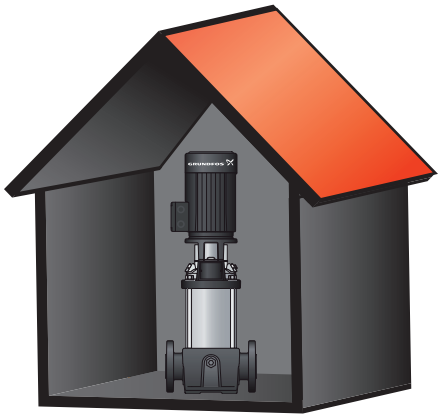
В фирменной табличке электродвигателя или в клеммной коробке можно найти информацию о напряжении питания и характеристики антиконденсационных нагревателей, используемых в электродвигателе.



Статор, оборудованный антиконденсационными нагревателями

Защита от дождя и солнца

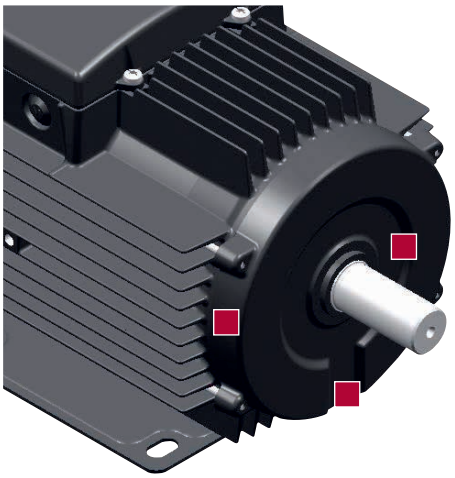
Если электродвигатель установлен на открытом воздухе, он должен иметь соответствующий кожух, защищающий от конденсата и осадков.



Защита от воздействия атмосферных осадков и солнечного света

Дренажные отверстия

Электродвигатели, эксплуатируемые на открытом воздухе или в условиях повышенной влажности, а особенно электродвигатели, которые работают периодически, должны иметь дренажное отверстие. Через дренажное отверстие выводится вода, например, конденсат из корпуса статора. Все электродвигатели MG и MMG производства Grundfos имеют дренажные отверстия. Электродвигатель поставляется с завода с дренажным отверстием, плотно закрытым специальной заглушкой. После удаления заглушки, когда дренажное отверстие открыто, уровень пылевлагозащищённости электродвигателя меняется с IP 55 на IP 44.



Дренажные отверстия на рисунке отмечены красными квадратами ■

О коррозии

Для защиты электродвигателя от коррозионных разрушений его покрывают тонким слоем краски. Красочное покрытие делится на две категории: обычное и специальное.

Обычное покрытие

Обычное покрытие — это стандартное покрытие; все электродвигатели Grundfos имеют стандартное красочное покрытие. В соответствии со стандартом DIN 600 721–2–1, например, для монтажа в помещении и на открытом воздухе. Данное покрытие подходит для применения в умеренном климате.

Специальное покрытие

Специальное покрытие наносят на электродвигатели Grundfos, изготавливаемые по специальному заказу. В соответствии со стандартом DIN 600 721–2–1, например, для монтажа на открытом воздухе в коррозионной, морской среде или среде, содержащей химические вещества. Данное покрытие подходит для применения в любой местности.

Электродвигатели морского исполнения используются в кораблях. Они разработаны специально для работы в коррозионной среде.

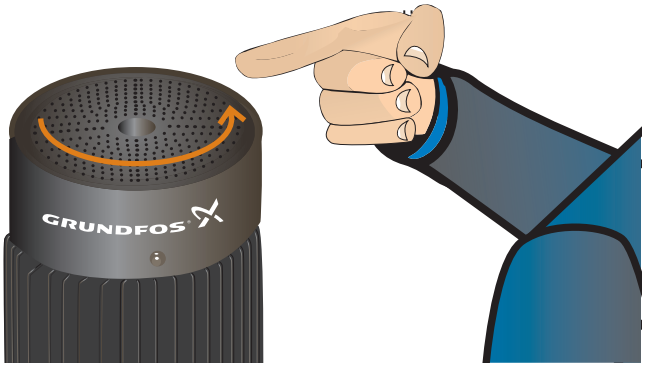
Что следует знать о клеммах и направлении вращения

Клеммы

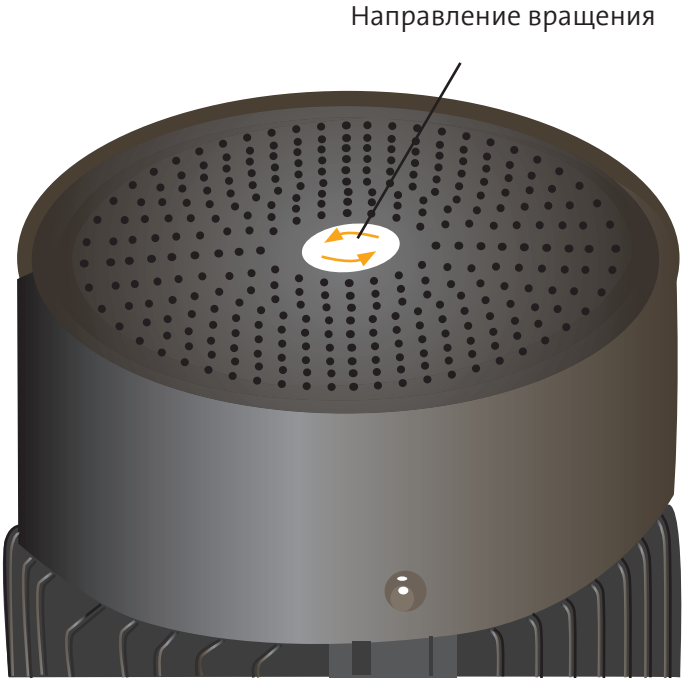
Прежде чем запустить электродвигатель, убедитесь, что его вал вращается в правильном направлении. Если направление вращения неправильное его легко можно изменить. Если электродвигатель трёхфазный, Вам нужно всего лишь переставить местами два фазных кабеля. Если электродвигатель — однофазный, необходимо свериться со схемой электрических соединений в клеммной коробке. Электродвигатель имеет вентилятор, который может вращаться только в одном направлении.

Примеры направлений вращения различных насосов

Тип	Направление вращения
Насосы CR, высоконапорные	По часовой стрелке / + Против часовой стрелки
TP, низконапорный	По часовой стрелке
TP, высоконапорный	Против часовой стрелки
NB	Против часовой стрелки
NK	Против часовой стрелки



Прежде чем запустить электродвигатель, убедитесь, что он вращается в правильном направлении

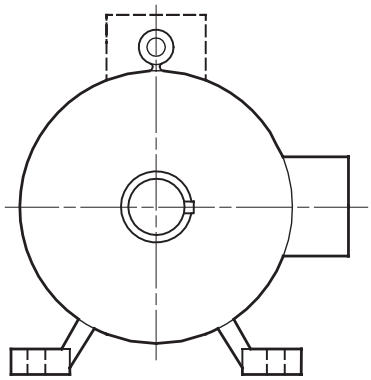


Клеммная коробка

Как правило, электродвигатели изготавливаются с клеммной коробкой, установленной «на 12 часов», и кабельными вводами по обеим сторонам. Однако некоторые электродвигатели поставляются с поворотными клеммными коробками (шаг поворота — 90 градусов). В целях безопасности неиспользуемые кабельные вводы следует заглушить.

Говоря о безопасности при обращении с клеммной коробкой электродвигателя, следует помнить следующее:

- Напряжение может поступать в клеммную коробку к нагревательным элементам или для прямого нагрева обмоток, даже если электродвигатель остановлен. Поэтому НИКОГДА не открывайте клеммную коробку, пока не отключите питание электродвигателя.
- Конденсатор однофазного электродвигателя может держать заряд, который появляется в клеммах электродвигателя, даже когда электродвигатель не работает.



Как правило, электродвигатели изготавливаются с клеммной коробкой, установленной «на 12 часов», и кабельными вводами по обеим сторонам. Однако некоторые электродвигатели поставляются с поворотными клеммными коробками.

Подключение электродвигателя

Электродвигатель может быть подсоединен несколькими способами. Самые распространённые типы соединения: 3-фазное соединение, соединение по схеме «треугольник» (Δ) и соединение по схеме «звезда» (Y).

Соединение по схеме «звезда» (Y)

Коротким замыканием клемм W2, U2 и V2 и подключением питающей сети к W1, U1 и V1, выполняется соединение по схеме «звезда» (Y).

Ток: $I_{фаз} = I_{сети}$

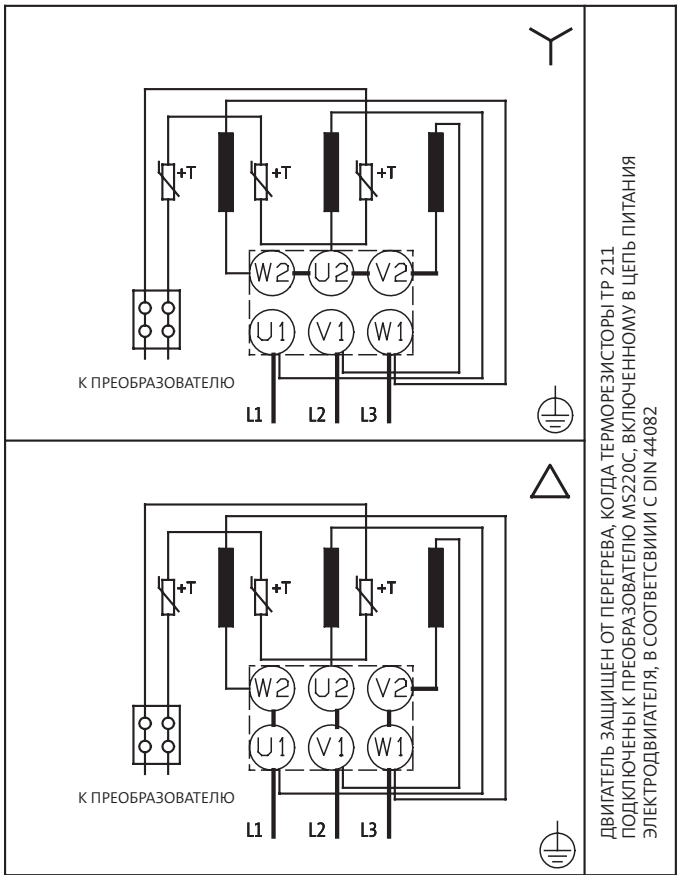
Напряжение: $U_{фаз} = U_{сети} / \sqrt{3}$

Соединение по схеме «треугольник» (Δ)

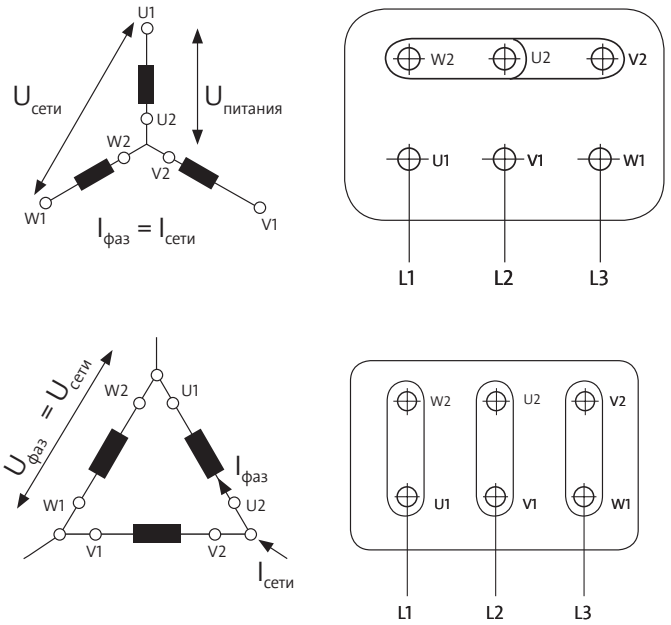
Соединяя конец одной фазы с началом другой фазы, вы получаете подключение по схеме «треугольник» (Δ).

Ток: $I_{фаз} = I_{сети} / \sqrt{3}$

Напряжение: $U_{фаз} = U_{сети}$



Типичная схема электрических соединений



Диапазон номинального напряжения

Электродвигатели Grundfos разрабатывались в соответствии с Европейскими стандартами IEC 60034–1 и IEC 60038.

Колебание напряжения и частоты во время эксплуатации

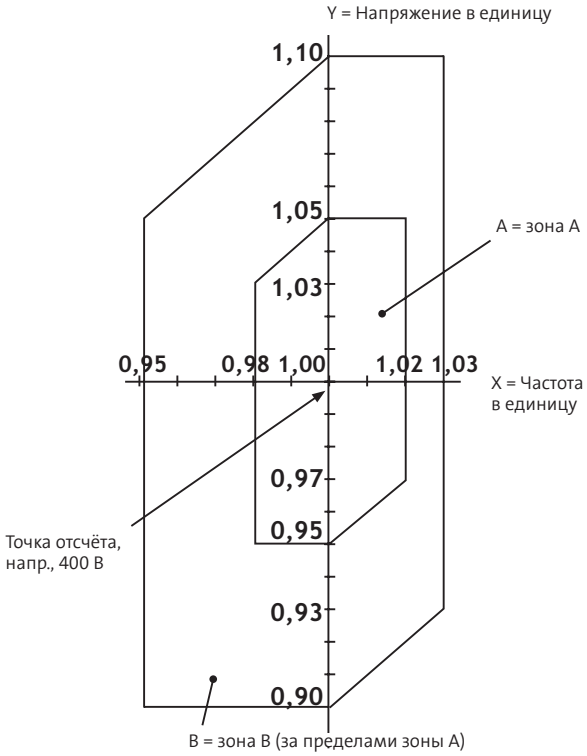
Электродвигатели переменного тока предназначены для использования с питанием фиксированной частоты от источника переменного тока (автономного или через питающую электрическую сеть). Сочетания колебания напряжения с частотой классифицируются либо как зона A, либо как зона B.

В зоне A электродвигатель должен выполнять свою основную функцию. Его рабочие точки не должны обязательно полностью соответствовать номинальному напряжению и частоте, допускаются некоторые отклонения. Повышение температуры может быть выше, чем при номинальном напряжении и частоте. Электродвигатель должен выполнять свою основную функцию в зоне B, но он может иметь более значительные отклонения рабочих точек, чем в зоне A. Повышение температуры может быть выше, чем при номинальном напряжении и частоте, и скорее всего, будет больше, чем в зоне A. Работа двигателя вблизи периметра зоны B не рекомендуется.

Предельные значения напряжения и частоты для электродвигателей

В соответствии с Европейским стандартом IEC 60038, отклонение сетевого напряжения должно быть ±10 % Для номинального напряжения, поступающего к электродвигателям, стандарт EN 60034–1 допускает отклонение ±5 %.

Электродвигатели, используемые Grundfos, предназначены для работы с номинальным напряжением питающей сети в диапазоне, указанном в таблице справа. Максимальная допустимая температура изоляции определённого класса нагревостойкости не будет превышена, если в электродвигатель подаётся напряжение в пределах диапазона номинальных значений. Когда рабочие точки двигателя находятся на границе зоны A, температура обычно поднимается выше номинального значения повышения температуры, приблизительно на 10° по Кельвину.



Колебание напряжения и частоты во время эксплуатации в соответствии с Европейскими стандартами IEC 60034–1 и IEC 60038

Сетевое напряжение в соответствии с IEC 600038	
50 Гц	60 Гц
230 В ± 10 %	–
400 В ± 10 %	–
690 В ± 10 %	–
–	460 В ± 10 %

Электродвигатели Grundfos и диапазон номинального напряжения	
50 Гц	60 Гц
220–240 В ± 5 %	220–277 В ± 5 %
380–415 В ± 5 %	380–440 В ± 5 %
380–415 В ± 5 %	380–480 В ± 5 %
660–690 В ± 5 %	660–690 В ± 5 %

Как определить асимметрию напряжений и/или токов

Причину асимметрии напряжений и токов следует искать в питающей сети или в электродвигателе. В питающей сети может быть асимметрия между фазами или искажение. Асимметрию между фазами можно определить с помощью вольтметра. Однако искажение напряжений невозможно определить с помощью цифрового вольтметра, так как среднеквадратичные значения напряжения меняются не всегда. Часто причина заключается в неисправности электродвигателя.

Проверка фаз покажет, в чем проблема: обмотках электродвигателя или в сети. Для выполнения проверки вращения фазы меняются так, чтобы электродвигатель вращался всегда в одном и том же направлении. Не забывайте фиксировать ток в фазах при каждом отдельном вращении. Если самый сильный ток перемещается с фазой во время вращения, проблема связана с питающей сетью. С другой стороны, самый сильный ток зафиксирован на одной и той же обмотке двигателя, проблема в электродвигателе. Объяснить это можно так: или в электродвигателе другое количество обмоток, или другой искровой промежуток между ротором и статором.

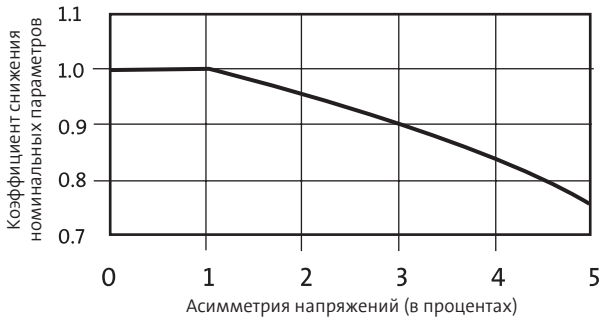
Практически, неуравновешенность напряжений и токов всегда приводит к повышению рабочей температуры, сокращению срока службы электродвигателя и понижению КПД.

Асимметрия фазовых напряжений

Обычно неуравновешенность напряжений приводит к неуравновешенности токов, которая намного сильнее неуравновешенности напряжений. Соотношение между напряжением и током показано в таблице в правой части страницы. Иногда неуравновешенность напряжений известна заранее. Тогда можно использовать схему допустимых отклонений, включённую в Европейский стандарт IEC 892. Схема представлена в иллюстрации справа.

Соотношение между асимметрией напряжений и токов				
Асимметрия напряжений (%)	0	2	3,5	5
Асимметрия токов статора (%)	100	101	104	107,5
Увеличение потерь в статоре (%)	0	4	12,5	25
Повышение температуры (Показатель)	1	1,05	1,14	1,28

Обычно асимметрия напряжений приводит к асимметрии токов, которая намного сильнее асимметрии напряжений



Кривая допустимых отклонений от номинальных значений, включённых в Европейский стандарт IEC 892

Каковы предельно допустимые значения асимметрии?

Степень допустимой асимметрии зависит от ситуации. Когда электродвигатель работает, и наибольшая сила тока трёх фаз при этом ниже номинального предела нагрузки, приведённого в фирменной табличке, как правило, такой двигатель в эксплуатации безопасен. Если наибольшая сила тока фаз выше номинальных значений, данных в фирменной табличке, но не больше чем на 10 %, такой двигатель тоже безопасен в эксплуатации. Более асимметричные токи, как ни странно, наблюдаются, когда нагрузка отсутствует.

И наконец, если наибольшая сила тока трёх фаз превышает среднюю силу тока трёх фаз при работе с нагрузкой не больше, чем на 10 %, двигатель в эксплуатации безопасен.

Пример:

Фирменная табличка: $I_{1/1}$ = 10,0 Ампер

Фаза	Измеренный фазный ток
A	10,6
B	9,8
C	10,2

$$I_{сред.} = \frac{10{,}6 + 9{,}8 + 10{,}2}{3} = 10{,}2\ A$$

Разница в процентах

$$\frac{\text{Наивысший } I_{фаза} - I_{сред.}}{I_{сред.}} \cdot 100$$

$$\frac{10{,}6 - 10{,}2}{10{,}2} \cdot 100 = \frac{0{,}4}{10{,}2} \cdot 100 = 3{,}9\ \%$$

Что делать в случае асимметрии напряжений/токов

Проблема	Решение
Перегорел плавкий предохранитель на конденсаторной батарее для компенсации коэффициента мощности	Найти и заменить перегоревший плавкий предохранитель
Неравномерная однофазная нагрузка трёхфазной системы	Распределить однофазные нагрузки более равномерно по трёхфазной цепи
Неуравновешенность входящих напряжений	Если входящие напряжения в большой степени неуравновешенны, особенно при небольших нагрузках или в периоды без нагрузки, обратитесь в электростанцию общего назначения с просьбой решить данную проблему.

Следует подчеркнуть, что в случае с трёхфазным электродвигателем нельзя допустить асимметрии токов. Однако, низкая степень асимметрии приемлема, если она не превышает 10 % среднего фазного тока. Более значительная асимметрия, превышающая 10 % от среднего фазного тока, сокращает срок службы электродвигателя и увеличивает расход энергии. Как следствие требуется понижение номинальных значений.

Что нужно знать о звуке

Уровень звука в системе измеряется в децибелах (дБ). Шумы — посторонние звуки. Уровень шума можно измерить так:

1. Давление — L_p (па): Давление воздушных волн
2. Мощность — L_W (W): Мощность звука
3. Интенсивность — L_I: Мощность в м^2
   (В этой книге не рассматривается)

Сравнить непосредственно эти три величины нельзя, но их можно использовать в вычислениях, основываясь на стандартах.

Результат расчета:

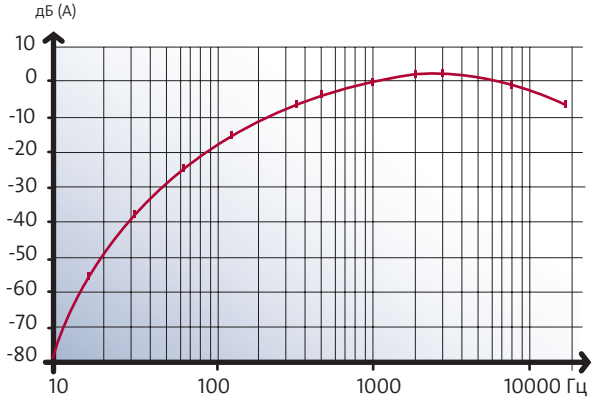
$$L_p + 10^* \text{ дБ} = L_w$$

* Среднее значение, так как возможно отклонение в пределах 8–14 дБ.

В Директиве Европейского Сообщества по машинному оборудованию сказано, что уровни звука указываются как давление, если они ниже 85 дБ(A), и как мощность, если они превышают 85 дБ(A). Уровень шума субъективен и зависит от возможностей слухового восприятия человека, например, молодых или пожилых людей. Поэтому упомянутые выше измерения следует учитывать в для «стандартного» уха, см. рисунок справа. Звуковая нагрузка, называемая нагрузкой A (дБ(A)), и измерения корректируются в зависимости от частоты — в некоторых случаях она увеличивается, в других — уменьшается.

Остальные нагрузки, известные как B и C, используются для других целей, не рассматриваемых в данной книге.

Порог слышимости в зависимости от частоты



Кривая звуковой нагрузки

Сравнить три величины нельзя, но можно использовать их в качестве членов уравнения для вычислений на основе стандартов

Что нужно знать об измерении звука для электродвигателей

Электродвигатели Grundfos соответствуют Европейским стандартам на измерения звукового давления (L_p) и мощности звука (L_w):

EN ISO 3743

EN ISO 4871

EN ISO 11203

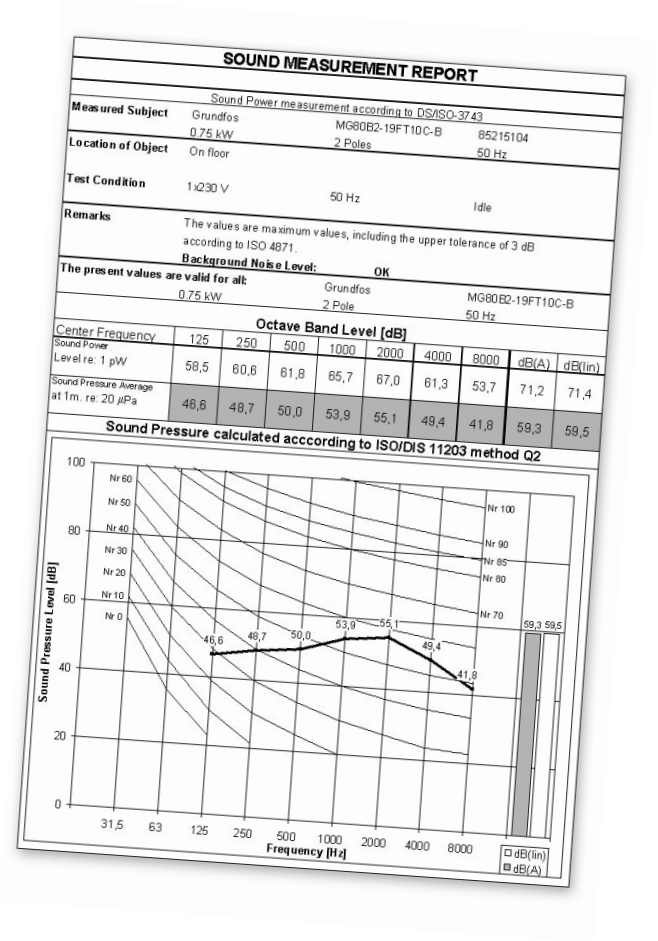
EN 21683, ISO 1683

В зависимости от того, что именно вам необходимо знать при звуковом давлении (L_p) и мощности звука (L_w), изучите следующие стандарты:

1. Мощность звука (L_w) измеряется в соответствии с ISO 3743–2.
2. Мощность звука (L_w) преобразуется в среднее звуковое давление (L_p) на расстоянии 1 м от исследуемого объекта с помощью EN ISO 11203.
3. К измерениям 50 и 60 Гц добавляются 3 дБ в соответствии с EN ISO 4871. Это необходимо для того, чтобы включить погрешности измерительных приборов и калибровочного оборудования, а также производственные допуски изделий.

Как правило, звуковое давление (L_p) измеряется на расстоянии 1 м от исследуемого объекта при относительном давлении 20 мкпа, что соответствует 0 дБ. Мощность звука (L_w) измеряется относительно 1 pW. Мощность звука (L_w) — расчётная единица, её не следует путать со звуковым давлением (L_p), даже если обе величины выражены в дБ(А).

Остальные производители электродвигателей используют такие же стандарты, но допустимо и иное.



Отчёт Grundfos об измерении звука

Звуковое давление от нескольких источников звука

Звуковые давления от нескольких источников звука прибавляются в соответствии с формулой ниже.

Пример:

$$L_{P\ суммарн.} = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} \right)$$

$$L_{P\ суммарн.} = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{45}{10}} + 10^{\frac{50}{10}} \right) = 51{,}19$$

Источник звука 1: 45 дБ (A)
Источник звука 2: 50 дБ (A)

Источник звука 2 / дБ	Источник звука 1: 41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
41	44,0	44,5	45,1	45,8	46,5	47,2	48,0	48,8	49,6	50,5
42	44,5	45,0	45,5	46,4	46,8	47,5	48,2	49,0	49,8	50,6
43	45,1	45,5	46,0	46,5	47,1	47,8	48,5	49,2	50,0	50,8
44	45,8	46,1	46,5	47,0	47,5	48,1	48,8	49,5	50,2	51,0
45	46,5	46,8	47,1	47,5	48,0	48,5	49,1	49,8	50,5	51,2
46	47,2	47,5	47,8	48,1	48,5	49,0	49,5	50,1	50,8	51,5
47	48,0	48,2	48,5	48,8	49,1	49,5	50,0	50,5	51,1	51,8
48	48,8	49,0	49,2	49,5	49,8	50,1	50,5	51,0	51,5	52,1
49	49,6	49,8	50,0	50,2	50,5	50,8	51,1	51,5	52,0	52,5
50	50,5	50,6	50,8	51,0	51,2	51,5	51,8	52,1	52,5	53,0

Прибавляются звуковые давления от двух источников звука

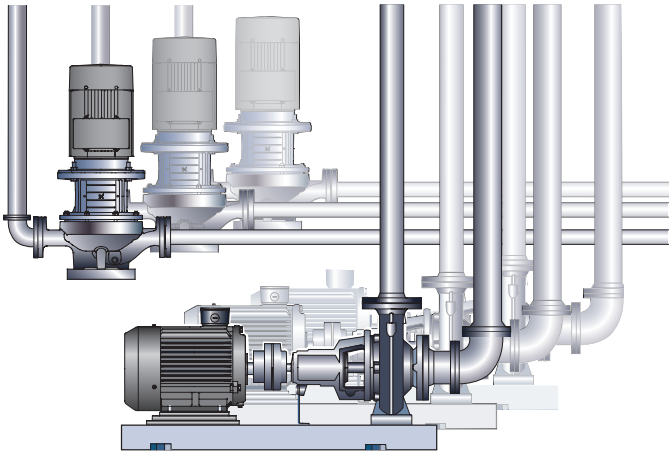
Звуковое давление в зависимости от частоты вращения

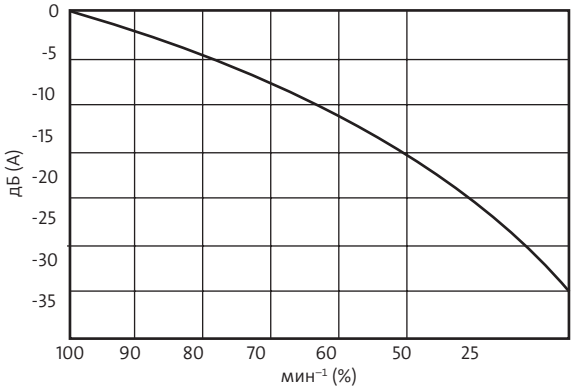
Звуковое давление вентилятора увеличивается с частотой вращения электродвигателя.

Получающееся в результате изменение звукового давления можно оценить при помощи следующей формулы:

$$\Delta L_p = 50 \cdot \log \frac{n_2}{n_1} \text{ дБ (A)}$$

Дельта-L_p — это изменение звукового давления, вызванное изменением частоты вращения с n1 на n2. Формула применима как для увеличения частоты вращения, так и её уменьшения.





Уровень звука понижается при уменьшении частоты вращения электродвигателя

Способы пуска 208
Пусковой ток 208
Прямой пуск 209
Что такое прямой пуск 209
Преимущества 209
Недостатки 209
Пуск «звезда — треугольник» 210
Что такое пуск переключением «звезда — треугольник» 210
Преимущества 210
Недостатки 210
Сравнение DOL и пуска «звезда — треугольник» 212
Пуск через автотрансформатор 213
Что такое пуск через автотрансформатор 213
Преимущества 213
Недостатки 213
Вращающий момент в зависимости от напряжения 213
Плавный пуск 214
Преимущества «плавного» пуска 214
Недостатки 214
Пуск с помощью преобразователя частоты 215
Преимущества 215
Недостатки 215
Пусковые периоды 216
Заключение 216

Способы пуска

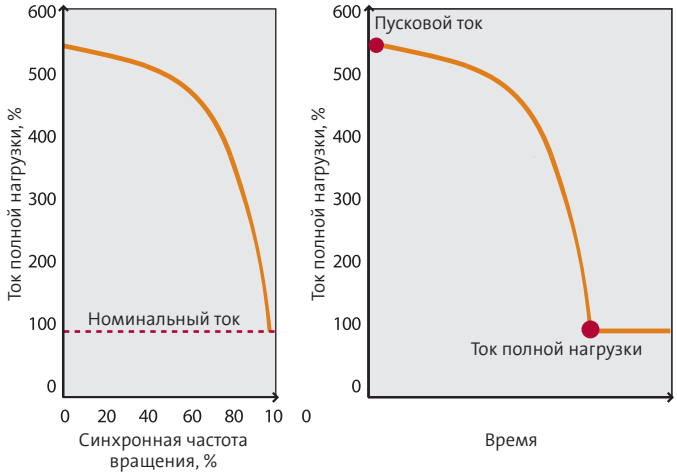
В настоящее время используются различные способы пуска электродвигателей. Современные энергоэффективные двигатели, имеющие более высокие пусковые токи, заставляют уделять большее внимание способам пуска.

Пусковой ток

Когда на электродвигатель подается напряжение, возникает скачок тока, который называют пусковым током или током при заторможенном роторе. Пусковой ток обычно превышает номинальный в 5–10 раз, но действует кратковременно. После разгона электродвигателя ток падает до миминального.

В соответствии с местными нормами и правилами, для того чтобы снизить пусковой ток, используются различные способы пуска. Вместе с этим необходимо принять ряд мер по стабилизации напряжения питания.

Поведение номинального тока при пуске электродвигателя

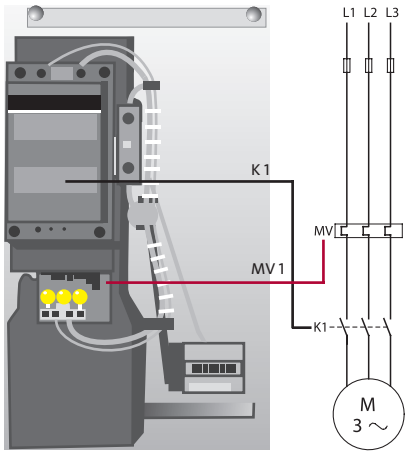


Пусковой ток понижается с разгоном электродвигателя до номинальной частоты вращения

Прямой пуск

Что такое прямой пуск

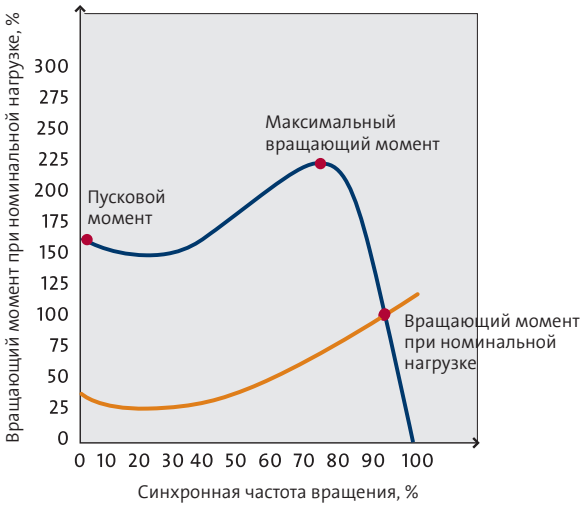
Как следует из названия, прямой пуск означает, что электродвигатель включается прямым подключением к источнику питания при номинальном напряжении. Прямой пуск (direct-on-line starting — DOL) применяется при стабильном питании двигателя, жестко связанного с приводом, например насоса.



K 1 = Контактор
MV 1 = Реле перегрузки

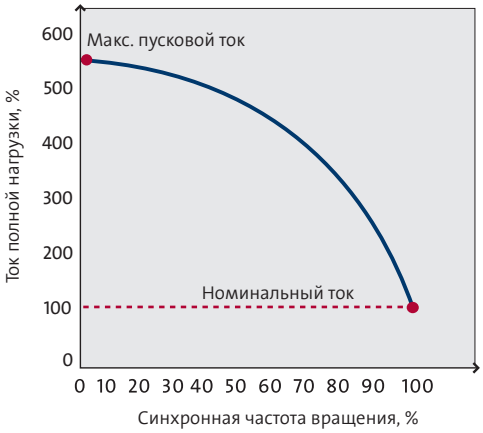
Преимущества

Прямой пуск от сети DOL является самым простым, дешёвым и самым распространённым методом пуска. Кроме того, он даёт наименьшее повышение температуры в электродвигателе во время включения по сравнению со всеми другими способами пуска. Если поступающий ток от сети не имеет специальных ограничений, такой метод является наиболее предпочтительным.
На электростанциях в разных странах действуют различные правила и нормы; например, в Дании для трёхфазных электродвигателей с током при заторможенном роторе около 60 А нельзя всегда использовать прямой пуск от сети. В таких случаях, очевидно, необходимо выбирать другие методы пуска. Электродвигатели, предназначенные для частых пусков/отключений обычно оборудованы системой управления, которая состоит из контактора и устройства защиты от перегрузок (термореле).



Недостатки

Для электродвигателей небольшой мощности, работающих без частых пусков/остановов, необходимо самое простое пусковое оборудование, чаще всего это расцепитель, управляемый вручную. Напряжение подается непосредственно на клеммы электродвигателя. Для небольших электродвигателей пусковой момент будет составлять от 150 до 300 % от номинального, тогда как пусковой ток будет составлять от 300 до 800 % от номинального значения или даже выше.



Пуск «звезда — треугольник»

Что такое пуск переключением «звезда — треугольник»

Целью данного метода пуска, используемого для трёхфазных индукционных электродвигателей, является понижение пускового тока. В момент пуска электропитание к обмоткам статора подключено по схеме «звезда» (Y). Электропитание переключается на схему «треугольник» (Δ), как только электродвигатель разгонится.

Преимущества

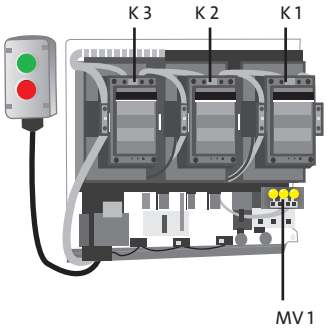
Обычно электродвигатели низкого напряжения мощностью больше 3 кВт рассчитаны на напряжение 400 В при соединении по схеме «треугольник» (Δ) или на 690 В при соединении по схеме «звезда» (Y). Такая унифицированная схема соединения может быть также использована для пуска электродвигателя при меньшем напряжении. Соединение по схеме «звезда — треугольник» дает низкий пусковой ток, составляющий всего одну треть тока при прямом пуске от сети. Пускатели «звезда — треугольник» особенно подходят при вращении больших масс, когда нагрузка «подхватывается» после того, как достигается частота вращения при номинальной нагрузке.

Недостатки

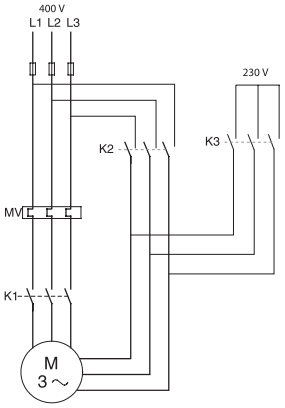
Подобные пускатели также понижают и пусковой момент, приблизительно на 33 %. Данный метод можно использовать только для индукционных электродвигателей, которые имеют подключение к напряжению питания по схеме «треугольник».

Если переключение «звезда — треугольник» происходит при слишком низкой частоте вращения, это может вызвать сверхток, который достигает почти такого же уровня, что и ток при «прямом» пуске DOL. Во время небольшого периода переключения «звезда — треугольник» электродвигатель очень быстро теряет скорость вращения, для восстановления которой также требуется мощный импульс тока.

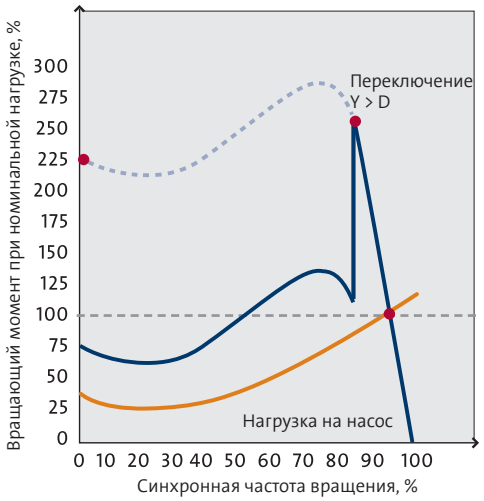
На иллюстрациях справа показана схема работы пускателя Y — D. Пускатель сначала соединяет электродвигатель по схеме «звезда» (контакты K1 и K3). По истечении определённого периода времени, который зависит от конкретной задачи, он переключает двигатель на «треугольник», размыкая контакт K3 и замыкая контакт K2.

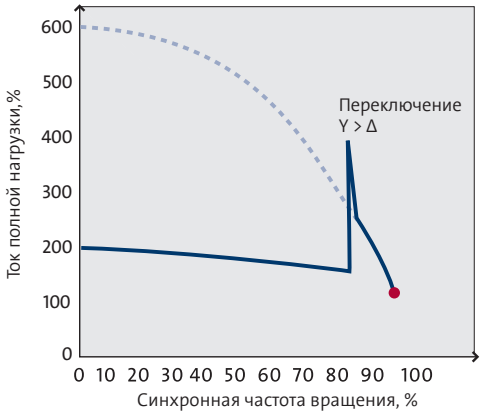


Пускатель «звезда – треугольник» с контакторами и реле перегрузки
K 1 = Основной контактор
K 2 = Контактор треугольника
K 3 = Контактор звезды
MV 1 = Реле перегрузки



Однолинейная схема пускателя «звезда – треугольник»

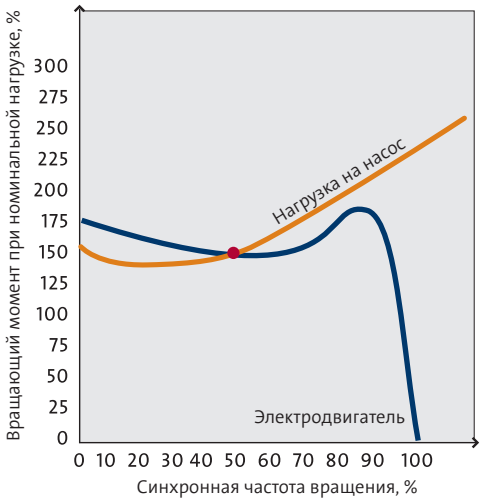




Насосы и электродвигатели Grundfos, обозначенные 3 x 380–415 В Δ (но НЕ 690 В Y), могут быть пущены при помощи пускателей «звезда — треугольник», при этом фактическое напряжение на электродвигателе не должно превышать 400 В.

Пусковой момент и ток значительно ниже при пуске «звезда — треугольник», чем при прямом пуске: одна третья тока при DOL.

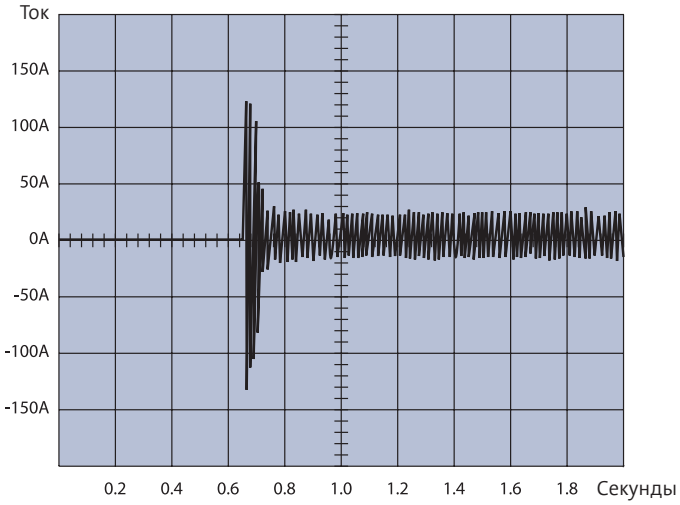
На примере справа электродвигатель медленно ускоряется до уровня, приблизительно, 50 % от номинальной частоты вращения, вследствие несогласованности зависимости частоты вращения электродвигателя от вращающего момента и зависимости нагрузки от вращающего момента.



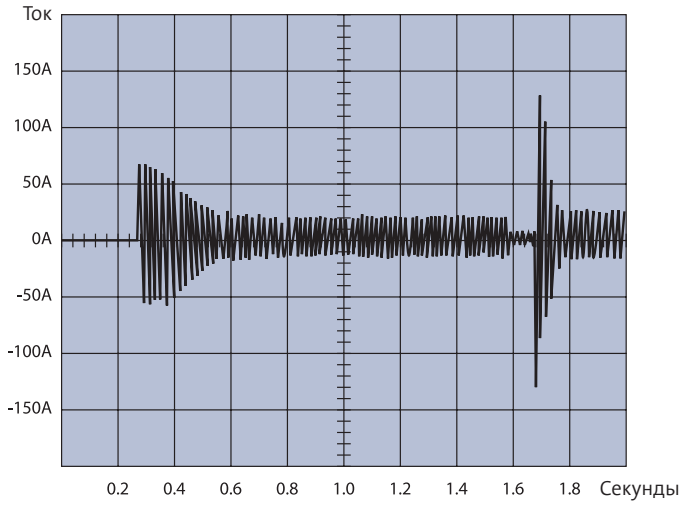
Сравнение DOL и пуска «звезда — треугольник»

В следующих диаграммах представлены токи для насоса Grundfos CR, приводимого в действие электродвигателем Grundfos MG мощностью 7,5 кВт посредством прямого пуска (DOL) и пуска «звезда — треугольник», соответственно. Как Вы можете видеть, способ пуска DOL характеризуется высоким пусковым током, который с течением времени выравнивается и становится постоянным. Способ пуска «звезда — треугольник» характеризуется более низким пусковым током, однако, в процессе пуска при переходе от «звезды» к «треугольнику» наблюдаются пики.

При пуске по схеме «звезда» (t = 0,3 с), ток уменьшается. Однако, во время перехода от «звезды» к «треугольнику» (в точке t = 1,7 с), импульс тока достигает того же уровня, что и пусковой ток при прямом пуске. Скачок тока может стать ещё больше, так как в период переключения на двигатель не подаётся питание. Значит, двигатель теряет скорость перед подачей полного напряжения (фазового напряжения).



Прямой пуск электродвигателя Grundfos мощностью 7,5 кВт, установленного на насосе Grundfos CR



Пуск электродвигателя Grundfos мощностью 7,5 кВт, установленного на насосе CR способом «звезда – треугольник»

Пуск через автотрансформатор

Что такое пуск через автотрансформатор

Как видно из названия, такой пуск осуществляется с помощью автотрансформатора, последовательно соединённого с электродвигателем во время пуска.

Преимущества

Автотрансформатор понижает напряжение (приблизительно 50–80 % от полного напряжения), чтобы обеспечить пуск при низком напряжении. В зависимости от заданых параметров напряжение снижается в один или два этапа. Понижение напряжения, подаваемого на электродвигатель одновременно, приведёт к уменьшению пускового тока и вращающего пускового момента, но данный способ пуска даёт самый высокий вращающий момент электродвигателя. Если в определённый момент времени к электродвигателю не подаётся питание, он не потеряет скорость вращения, как и в случае с пуском переключением «звезда — треугольник». Время переключения от пониженного напряжения к полному напряжению можно корректировать.

Недостатки

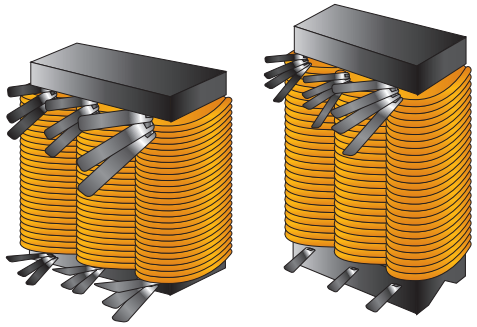
Помимо уменьшения пускового момента, способ пуска через автотрансформатор имеет ещё один недостаток. Как только электродвигатель начинает работать, он переключается на сетевое напряжение, что вызывает скачок тока.

Вращающий момент в зависимости от напряжения

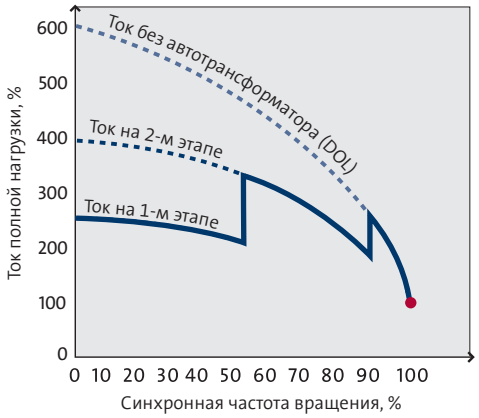
Значения пускового момента пропорциональны квадрату напряжения.

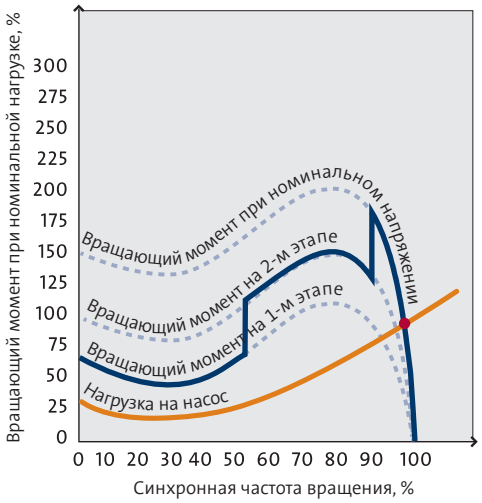
$$\left(\frac{\text{Напряжение}_2}{\text{Напряжение}_1}\right)^2 = \frac{\text{Вращающий момент}_2}{\text{Вращающий момент}_1}$$

$$\left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = \frac{T_2}{T_1}$$



Автотрансформаторы и стабилизаторы

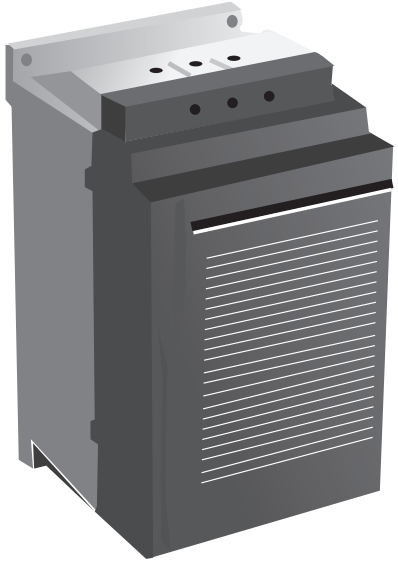




Плавный пуск

Преимущества «плавного» пуска

Принцип «плавного» пуска основан на полупроводниках. Через энергетическую цепь и цепь управления данные полупроводники понижают начальное напряжение электродвигателя. Это приводит к уменьшению вращающего момента электродвигателя. В процессе пуска мягкий пускатель постепенно повышает напряжение электродвигателя, что позволяет электродвигателю разогнаться до номинальной скорости вращения, не образуя большого вращающего момента или пиков тока. Плавные пускатели могут использоваться также для управления торможением электродвигателя. Плавные пускатели не так дороги, как преобразователи частоты.



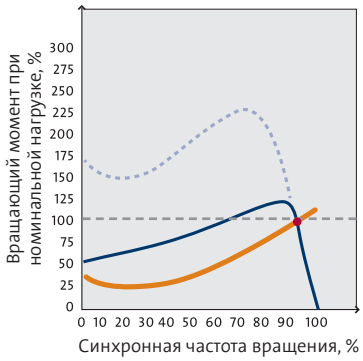
Плавный пускатель

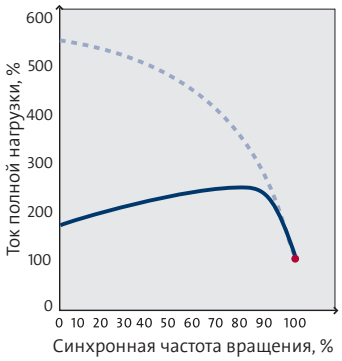
Недостатки

Тем не менее, у них те же проблемы, что и у преобразователей частоты: они могут добавить в систему синусоидальные токи (помехи), что может повлиять на ее функционирование.

Данный способ также обеспечивает подачу пониженного напряжения к электродвигателю во время пуска. Плавный пускатель включает электродвигатель при пониженном напряжении, которое затем увеличивается до полной величины. Напряжение в плавном пускателе уменьшается за счет фазового сдвига. Данный способ пуска не вызывает образования скачков тока. Пусковой период и пусковой ток можно задать.

Линейное изменение напряжения для плавного пускателя. Пусковой период составляет около 1 сек.





Пуск с помощью преобразователя частоты

Что такое пуск с помощью преобразователя частоты
Преобразователи частоты предназначены для пуска и управления электродвигателем.

Преимущества

Преобразователь частоты позволяет снизить пусковой ток, так как электродвигатель имеет жесткую зависимость между током и вращающим моментом.

Недостатки

Преобразователи частоты всё ещё дороже устройств плавного пуска, кроме того, как и устройства плавного пуска, они добавляют в сеть синусоидальные токи.

Преобразователь частоты

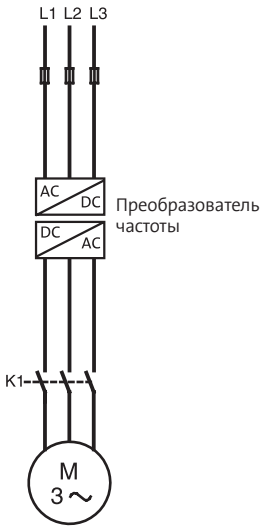
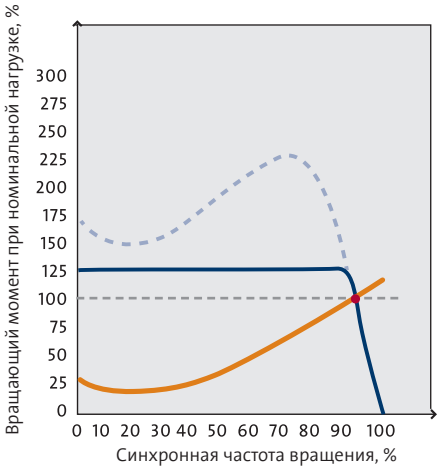
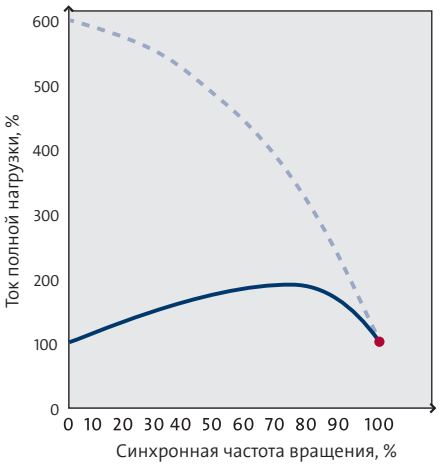


Схема электрических соединений электродвигателя, работающего с преобразователем частоты





Пусковые периоды

Говоря о способах пуска, которые уменьшают пусковой ток, следует отметить, что период пуска не должен быть долгим. Слишком продолжительные периоды пуска могут вызвать перегрев обмоток.

Заключение

Задача любых способов пуска электродвигателя заключается в том, чтобы согласовать характеристики вращающего момента электродвигателя с характеристиками механической нагрузки, при этом необходимо, чтобы пиковые токи не превышали допустимых значений. Существуют различные способы пуска, каждый их которых имеет свои особенности. В следующей таблице в краткой форме представлены сравнительные характеристики наиболее распространённых способов пуска.

Способ пуска	Преимущества	Недостатки
Прямой пуск (DOL)	Простой и экономичный. Безопасный пуск. Самый большой пусковой момент	Высокий пусковой ток.
Пуск «звезда/треугольник» (SD)	Уменьшение пускового тока в три раза.	Скачки тока при переключении «звезда — треугольник». Не подходит, если нагрузка имеет небольшую массу (безинерционная). Пониженный пусковой момент.
Автотрансформатор	Уменьшение пускового тока на u^2, где u — понижение напряжения, напр., 60 % = 0,60.	Скачки тока при переходе от пониженного к полному напряжению.
Плавный пуск	Плавный пуск. Импульсы тока отсутствуют. Меньший гидравлический удар при пуске насоса. Уменьшение пускового тока на требуемую величину, обычно в 2–3 раза.	Пониженный пусковой момент.
Частотный пускатель	Импульсы тока отсутствуют. Меньший гидравлический удар при пуске насоса. Уменьшение пускового тока, обычно, до уровня тока полной нагрузки. Можно использовать для непрерывной подачи питания к электродвигателю.	Пониженный пусковой момент. Высокая стоимость.

GRUNDFOS

Введение 220
Профилактический осмотр 220
Профилактическое техническое обслуживание 220
Техническое обслуживание для устранения неисправностей 220
Что следует знать о ПРОФИЛАКТИЧЕСКОМ ОСМОТРЕ 221
Вентиляция электродвигателя 221
Влажность и конденсация 221
Неплотные соединения 222
Асимметрия напряжений и токов 222
Пониженное и повышенное напряжение 222
Подшипники и смазка 222
Ресурс подшипников 223
Смазка подшипников 223
Типы смазки 224
Смазочные материалы для электродвигателей 225
Периодичность смазки 226
Подшипники заполненные смазкой на весь срок службы 227
Сколько нужно смазочного материала? 227
Ручная замена смазки 229
Автоматическая смазка 229
Что следует знать о ПРОФИЛАКТИЧЕСКОМ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ 230
Данные о состоянии подшипников 230
Данные о состоянии изоляции 230
Измерение изоляции на землю 231
Сопротивление изоляции 231
Измерение 231
Проверка показателя поляризации 232
Чистка и сушка обмоток статора 233
Проверка импульсами высокой частоты 234
Испытание высоким напряжением — HIPOT 235
Полевые испытания высоким напряжением постоянного тока 235
Полевые испытания высоким напряжением переменного тока (AC) и проверка межфазной изоляции 236
Температура электродвигателя 237
Термографическое исследование 238
Что нужно знать о ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ 239
Анализ неисправностей 239
Когда следует ремонтировать, а не заменять 239
Как обеспечить высокое качество ремонтных работ 241
Замена подшипников 242
Разборка 242
Установка новых подшипников 242
Меры предосторожности при установке подшипников 243
Эксплуатационные испытания 243
Запасные части для электродвигателей насосов 244
Контроль присоединительных размеров электродвигателей после ремонта 245
Перпендикулярность установочной поверхности фланца к валу 246
Заключение 246

Введение

Для того чтобы не допустить возникновения неполадок и увеличить срок службы электродвигателей, техническое обслуживание двигателей должно быть регулярным. Электродвигатели и их детали требуют технического осмотра и проверки не реже, чем раз в 6 месяцев. Только тогда можно поддержать КПД электродвигателя на заданном уровне в течение расчётного срока службы. В данном разделе мы рассмотрим три вида технического обслуживания: профилактический осмотр, профилактическое техническое обслуживание и техническое обслуживание для устранения неисправностей.

Профилактический осмотр

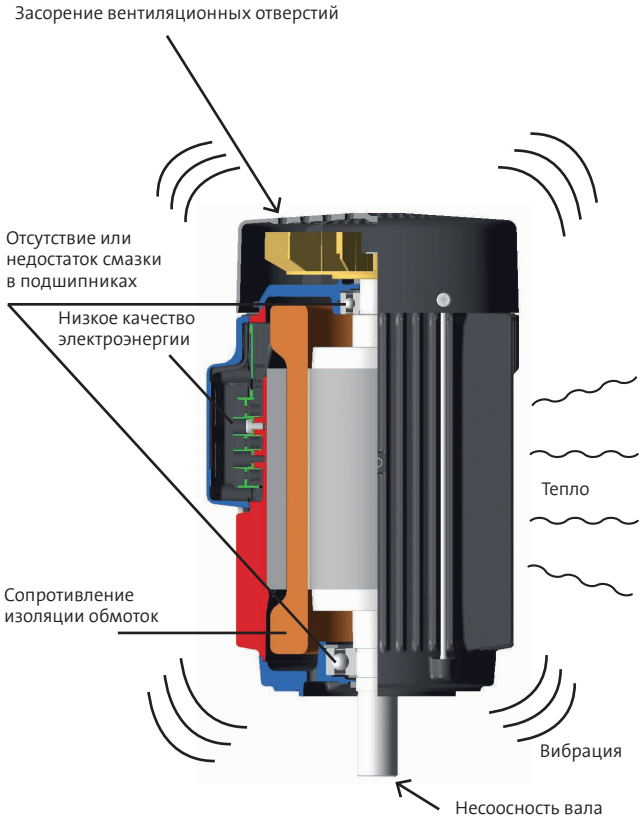
Целью данного вида технического обслуживания является предупреждение неисправностей, которые могут возникнуть в ходе эксплуатации двигателя, для обеспечения его надёжной и бесперебойной работы. Как правило, профилактический осмотр включается в план программы поддержания рабочего состояния всей системы в целом.

Профилактическое техническое обслуживание

Целью данного вида технического обслуживания является проведение требующихся процедур по техническому обслуживанию в нужное время. Чтобы определить эти два параметра, необходимо регулярно контролировать работу электродвигателя, что позволяет своевременно определять неисправности прежде, чем они возникнут. Постоянная регистрация данных в специальном журнале позволяет сравнивать статистические данные по различным параметрам и, таким образом, делать предположения о возможных проблемах.

Техническое обслуживание для устранения неисправностей

Основной целью данного вида технического обслуживания является выполнение ремонта и замены электродвигателя при возникновении каких-либо неисправностей. Техническое обслуживание для устранения неисправностей или аварийный ремонт не являются регулярными работами.



Факторы, влияющие на срок службы электродвигателя в отсутствие надлежащего технического обслуживания

Что следует знать о ПРОФИЛАКТИЧЕСКОМ ОСМОТРЕ

Незапланированные простои приносят значительные убытки, так как чаще всего они связаны с остановкой всего производственного процесса или определённых технологических операций. Профилактический осмотр на регулярной основе помогает предупредить возникновение неисправностей в электродвигателях и, следовательно, не допустить незапланированных остановок производства. На следующих страницах мы рассмотрим самые основные элементы профилактического осмотра.

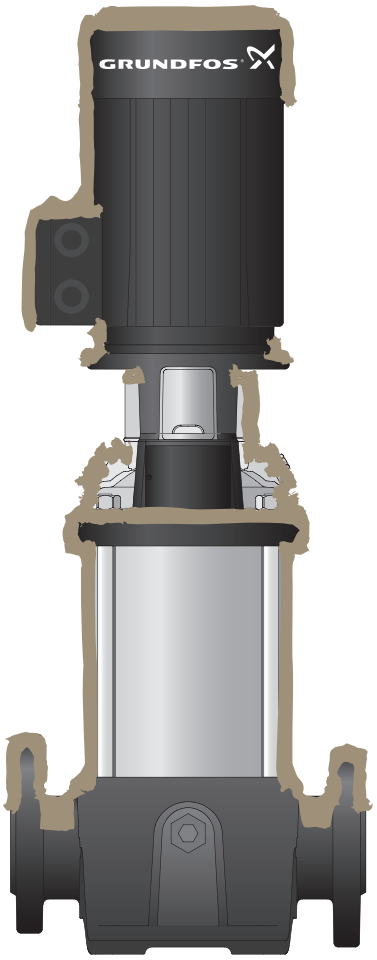
Вентиляция электродвигателя

Если электродвигатель установлен и работает в условиях с ограниченной вентиляцией, температура электродвигателя может подняться до значений, опасных для изоляции электродвигателя и консистентной смазки подшипников, которые в результате могут привести к разрушению подшипников и неисправности двигателя. Часто вентиляционные каналы забиваются пылью и грязью. В связи с этим, чтобы не допустить перегрева электродвигателя, важно регулярно удалять пыль и грязь с поверхности насоса и двигателя потоком воздуха.

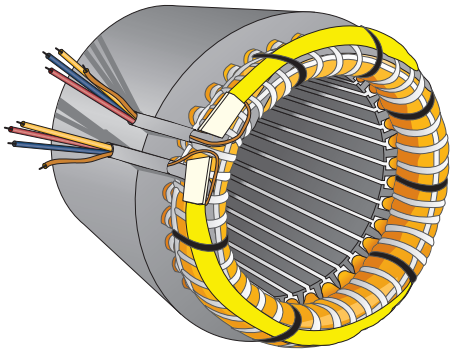
Даже при том, что электродвигатели защищены, очень важно обеспечить для них постоянную вентиляцию на месте установки, чтобы высокая температура не привела к повреждению изоляции и подшипников. Чем ниже температура работающего электродвигателя, тем больше его ресурс. Поэтому кожух вентилятора и охлаждающие ребра должны быть всегда чистыми.

Влажность и конденсация

В закрытых электродвигателях IP 55 водяной пар может конденсироваться и попасть в обмотки электродвигателя и в подшипники. Поэтому во время остановок температура в электродвигателях такого типа должна быть выше, чем температура вокруг двигателя. Для использования этого эффекта применяют статор с нагревательным элементом. Есть ещё один способ решить данную проблему: удалить резьбовые пробки из сливных отверстий, чтобы конденсат вытекал. После удаления пробок уровень пылевлагозащищённости электродвигателя изменится с IP 55 на IP 44.



Часто вентиляционные каналы забиваются пылью и грязью



Статор, оборудованный нагревательным элементом для предотвращения образования конденсата

Неплотные соединения

Все электрические соединения должны быть плотно затянуты в соответствии с рекомендациями. Деформация во время холодных циклов часто вызывают разрушения соединений. Плавкие предохранители, кабельные соединения, контакты и защита пускателя часто отходят, поэтому их необходимо регулярно проверять.

Асимметрия напряжений и токов

Асимметрия напряжений и токов является важным аспектом профилактического осмотра. Необходимо постоянно проверять значения напряжения и тока, чтобы не допустить повреждений электродвигателя. Асимметрия напряжений образуется, когда напряжения трёх фаз отличаются друг от друга. Асимметрия напряжений вызывает также асимметрию линейных токов. В результате возникают различные проблемы: вибрации, пульсации вращающего момента и перегрев одной или нескольких фазовых обмоток. Асимметрия напряжений приводит к понижению КПД электродвигателя и сокращает его ресурс.

Пониженное и повышенное напряжение

Пониженное и повышенное напряжение ускоряют изнашиваемость изоляции статора электродвигателя. Пониженное напряжение резко увеличивает температуру в изоляции. При пониженных напряжениях электродвигатели работают с пониженным КПД полной нагрузки, имеют повышенную рабочую температуру, увеличенное скольжение, меньший вращающий момент, срок службы таких двигателей может уменьшиться. Обычно индуктивные электродвигатели справляются с ситуациями электрического перенапряжения. Однако сильное электрическое перенапряжение может вызвать межвитковое, междуфазное короткое замыкание или короткое замыкание между фазой и «землёй»; то есть короткое замыкание между фазами или между фазами и корпусом.

Подшипники и смазка

В настоящее время подшипники являются наиболее изнашиваемыми компонентами электродвигателя. Дело в том, что изоляционная система больше не подвергается воздействию высоких температур, так как КПД современных электродвигателей выше КПД электродвигателей недавнего прошлого. Короткое замыкание больше не является самой распространённой проблемой двигателей, теперь это шум от подшипников и повреждение подшипников. Поэтому при проведении профилактического осмотра электродвигателя основной задачей является замена и техническое обслуживание подшипников.

Все электрические соединения должны быть плотно затянуты

Асимметрия напряжений

$U_{фаза}$ (В)		$U_{средн.}$ (В)	Асимметрия
1	410	$\frac{410 + 402 + 388}{3} = 400$ В	$410 - 388 = 22$ В $\frac{22}{400} \cdot 100 = 5\%$
2	402		
3	388		

Основные причины отказа электродвигателя, в соответствии с Американской ассоциацией электрических исследований США (Electrical Research Association)

Некоторые подшипники называют подшипниками с постоянной консистентной смазкой или необслуживаемыми. Однако данные термины могут быть неверно истолкованы; они не означают, что подшипники не требуют абсолютно никакого технического обслуживания.

Необслуживаемые подшипники со временем должны заменяться. Когда именно, зависит от срока службы подшипников (L_{10h}) или от срока службы консистентной смазки подшипников (F_{10h}). Срок службы подшипника обычно составляет 16 000 — 40 000 часов, может быть и больше. Что касается срока службы смазки, он обычно составляет не меньше 40 000 часов эксплуатации в нормальных условиях.

Ресурс подшипников

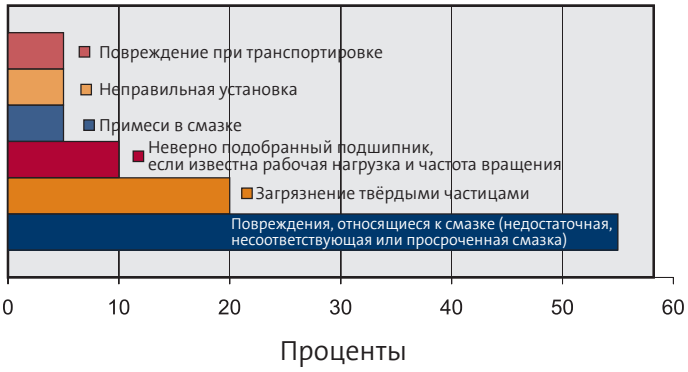
Срок службы подшипников можно рассчитать, основываясь на данных по усталости материала, если известна рабочая нагрузка и частота вращения электродвигателя. Выполнение данных вычислений требует, чтобы подшипники были установлены и смазаны надлежащим образом. В расчётах не учитывается влияние неблагоприятных условий эксплуатации.

Смазка подшипников

В стандартных электродвигателях подшипники всегда имеют консистентную смазку: либо это смазка на весь срок службы (постоянная консистентная смазка), либо смазка, заменяемая через пресс-масленки. Фактически, лишь небольшое количество подшипников отрабатывает свой полный срок службы. Это связано с техническим обслуживанием. Основные причины преждевременного разрушения подшипников:

- Неправильная установка
- Загрязнение
- Неправильное обращение
- Неправильное техническое обслуживание
- Несоответствующая смазка или её отсутствие (просроченная и непригодная смазка, недостаточное количество смазки, примеси в смазке и т.п.)

Причины разрушения подшипников качения



Причины разрушения подшипников качения. Только около 1 % подшипников качения полностью отрабатывают предполагаемый срок службы.

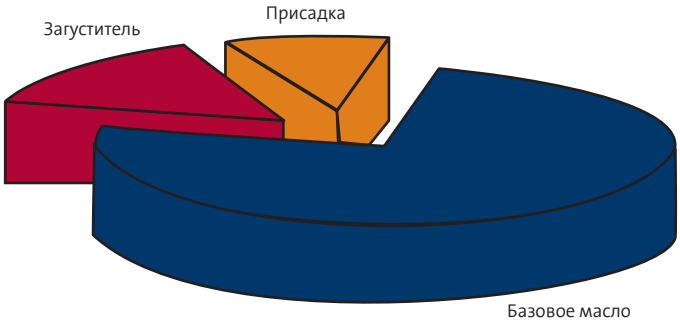
Типы смазки

Выделяют два типа смазки: жидкая и консистентная смазка. По существу, жидкая смазка является идеальным смазочным материалом для подшипников. Однако, консистентная смазка становится всё более популярной. Консистентная смазка изготавливается из мыльных или немыльных загустителей, которые обеспечивают намного более эффективное использование жидкой смазки. В настоящее время для смазывания большинства подшипников используется консистентная смазка. Причина в том, что конструкция корпуса подшипника стала проще и, следовательно, требует менее сложного технического обслуживания, чем раньше, имеет лучшую защиту от утечки и от грязи.

Применение консистентной смазки является очень эффективным методом смазывания подшипников. Далее представлен перечень самых основных преимуществ, которые даёт консистентная смазка:

- С консистентной смазкой легче обращаться, чем с жидкой.
- Консистентная смазка действует как уплотнение и препятствует проникновению загрязняющих веществ в подшипник.
- Удобство — некоторые подшипники имеют заводскую герметизацию и смазку, и не требуют технического обслуживания.
- Рентабельность — с герметизированными и смазанными подшипниками многие детали электродвигателя становятся ненужными. Не требуются крышки для подшипников, пресс-масленки и др.

Существуют различные виды консистентной смазки в зависимости от их состава. Консистентная смазка включает в себя три компонента: базовое масло, загуститель и присадку. Тип базового масла, вязкость масла, загуститель и содержание загустителя определяют свойства консистентной смазки. Физические свойства, такие как плотность консистентной смазки, текучесть, сопротивление вращающему моменту, температура каплепадения, потери на испарение и вымывание водой, — определяются в ходе стандартных испытаний. Такие испытания позволяют определить, какая из консистентных смазок больше подходит для заданой области применения. На рынке предлагаются тысячи видов консистентной смазки с различным составом и рабочими характеристиками.



Состав консистентной смазки

В среднем подшипники электродвигателя нагреваются больше, чем другие подшипники. Они получают двойную тепловую нагрузку: теплота от трения вращения и тепловые потери от обмоток электродвигателя и сердечника ротора. Это значит, что для подшипников электродвигателя требуется консистентная смазка с хорошей теплостойкостью или их необходимо регулярно смазывать. Все поставщики подшипников предлагают большой выбор консистентной смазки, которая подходит именно для подшипников электродвигателя.

Для закрытых подшипников с постоянной консистентной смазкой	
Консистентная смазка Chevron SRI-2	Полимочевинный загуститель
Kluberquiet BQH 72–102	Полимочевинный загуститель
Для открытых подшипников с заменяемой смазкой	
EXXON UNIREX N3	Литиевый загуститель
EXXON UNIREX N2	Литиевый загуститель
Консистентная смазка Shell Alvania G3	Литиевый загуститель

Самые распространённые смазочные материалы для подшипников электродвигателей

Смазочные материалы для электродвигателей

При замене смазки подшипника следует всегда использовать такой же смазочный материал, какой был первоначально. Однако если необходимо использовать другой смазочный материал, следует удалить все остатки прежнего смазочного материала в подшипнике и корпусе, прежде чем использовать новую смазку.

Всегда консультируйтесь с поставщиком, прежде чем смешивать консистентные смазки с другими сгустителями. Некоторые смазочные материалы совместимы, но определить это очень сложно.

Периодичность смазки

Периодичность и тип смазки подшипников указываются на фирменной табличке электродвигателя или на специальной бирке электродвигателя. Если Вы не нашли таких данных ни на табличке, ни на бирке, изучите рекомендации поставщика. Обычно смазывающая способность консистентной смазки со временем понижается. Поэтому в подшипники должна регулярно добавляться свежая консистентная смазка. Периодичность смазки зависит от следующих факторов: типоразмера электродвигателя, эксплуатационного режима, типа используемой консистентной смазки и, самое важное, от числа полюсов, рабочей скорости вращения и рабочей температуры.

Кроме того, на периодичность смазки влияют и другие факторы:

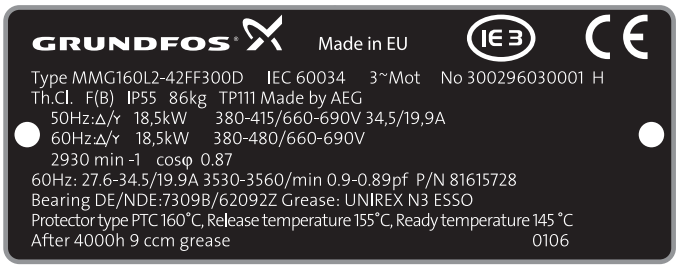
- При вертикальном монтаже время между заменой смазки сокращается на 50 %.
- В загрязнённой/запылённой среде время между заменой смазки сокращается на 25 %.
- В условиях высокой влажности время между заменой смазки сокращается на 10 %.

Тип подшипника, определяет базовую периодичность смазки. В иллюстрации справа показана упрощённая кривая для теплостойкой консистентной смазки электродвигателей. Базовая периодичность смазки t_f выражает ресурс консистентной смазки — F_{10h} с частотой повреждений около 10 %.

При наличии каких-либо отклонений от базовой периодичности смазки t_f время между подачами доз смазки t_{fg} следует сократить на некоторые коэффициенты уменьшения.

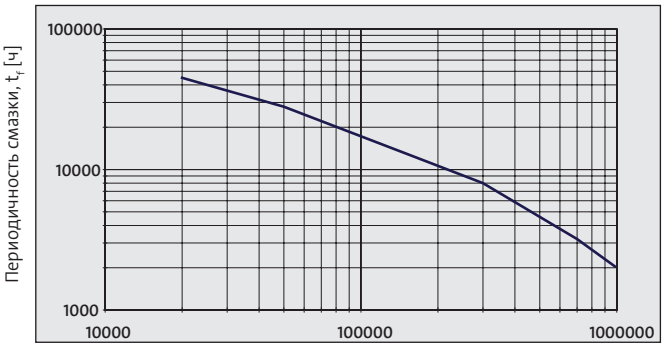
$$F_{10h} \text{ или } t_{fq} = t_f \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \cdot f_6$$

В некоторых случаях, в меняющихся рабочих условиях, сокращённая периодичность замены смазки намного меньше базовой периодичности смазки. Если сокращённый период между заменой смазки не соблюдается, это может привести к значительному увеличению частоты повреждений.



Как правило, информация о периодичности смазки приведена в специальной бирке на крышке вентилятора или непосредственно на фирменной табличке электродвигателя.

Базовая периодичность смазки



Грузоподъёмность (мм/мин)
t_f = базовая периодичность смазки, $t_{fq} = F_{10h}$

Величина подшипника = $K_f \cdot n \cdot d_m$ [мм/мин]

K_f: Тип подшипника.
Шарикоподшипники с глубокими дорожками качения = 1
Радиально-упорные подшипники = 1,6

n: Частота вращения подшипника [мин$^{-1}$]

d_m: Средний диаметр подшипника = $\frac{D+d}{2}$ [мм]
D = наружный диаметр подшипника [мм]
d = внутренний диаметр [мм]

Коэф. уменьшения		Уровень уменьшения	Коэф. уменьшения
f_1	Пыль и влага на рабочих поверхностях подшипника	Умеренное	f_1 = от 0,9 до 0,7
		Сильное	f_1 = от 0,7 до 0,4
		Очень сильное	f_1 = от 0,4 до 0,1
f_2	Влияние пылевидной нагрузки и вибраций	Умеренное	f_2 = от 0,9 до 0,7
		Сильное	f_2 = от 0,7 до 0,4
		Очень сильное	f_2 = от 0,4 до 0,1
f_3	Увеличение температуры подшипника (указанные коэффициенты f_3 применимы к высокотемпературной консистентной смазке)	90 °C	f_3 = от 0,9 до 0,6
		105 °C	f_3 = от 0,6 до 0,3
		120 °C	f_3 = от 0,3 до 0,1
f_4	Дополнительная нагрузка	P/C* = от 0,1 до 0,15	f_4 = от 1,0 до 0,7
		P/C = от 0,15 до 0,25	f_4 = от 0,7 до 0,4
		P/C = от 0,25 до 0,35	f_4 = от 0,4 до 0,1
f_5	Воздушный поток через подшипник	Слабый поток	f_5 = от 0,7 до 0,5
		Сильный поток	f_5 = от 0,5 до 0,1
f_6	Вертикальный вал	Зависит от уплотнения	f_6 = от 0,7 до 0,5

*P = Эквивалентная кратковременная нагрузка.
C = Номинальная кратковременная нагрузка на подшипник.

Подшипники заполненные смазкой на весь срок службы

Замена подшипников, заполненных смазкой на весь срок службы выполняется так же, как замена подшипников с заменяемой смазкой. Интервал замены подшипников, заполненных смазкой на весь срок службы, обычно в два раза больше периода между заменой смазки подшипников с заменяемой смазкой и составляет, максимум, 40 000 часов.

Периодичность замены подшипников, заполненных смазкой на весь срок службы = = 2 · период между смазками подшипников с заменяемой смазкой

ПРИМЕЧАНИЕ: Очень важно, чтобы подшипники, заполненные смазкой на весь срок службы, заменялись подшипниками с таким же смазочным материалом. Электродвигатели Grundfos поставляются с завода с консистентной смазкой (Kluberquiet BQH 72–102), устойчивой к высоким температурам.

Сколько нужно смазочного материала?

Трудно сказать точно, сколько нужно консистентной смазки, чтобы смазать подшипники электродвигателя. Практически, количество смазки зависит от множества факторов, связанных с размером и формой корпуса подшипника, имеющемуся пространством для смазки, скоростью вращения подшипника и типом используемой консистентной смазки. В общем, подшипники должны заполняться смазкой на 30 % — 60 % своего объёма.

Обычно количество свежей смазки определено в инструкции по смазке (на фирменной табличке насоса или электродвигателя). Однако, если такой информации там нет, можно приблизительно рассчитать необходимое количество консистентной смазки по следующей формуле:

$$G = 0{,}005 \cdot D \cdot B$$

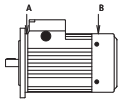
G = Количество консистентной смазки (г)

D = Наружный диаметр подшипника (мм)

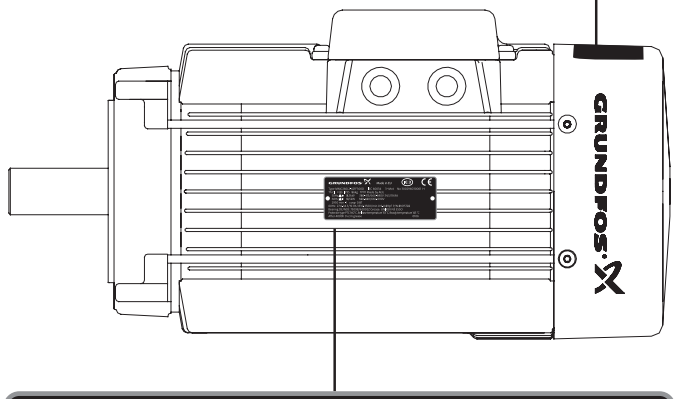
B = Ширина подшипника (мм)

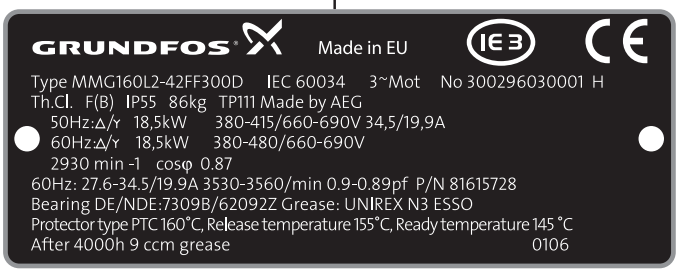
Помните о том, что данная формула является лишь начальной точкой для расчета необходимого количества консистентной смазки для замены смазки в подшипниках. Всегда лучше использовать небольшое количество смазки и выполнять замену смазки часто, чем изредка использовать большое количество смазочного материала.

Русский Рекомендации по смазке	English Lubrication instructions	Deutsch Schmieranweisung	Français Instructions de graissage	Espanol Instrucciones de engrase
Смазка Castrol LMX или другая высокотемпературная смазка на основе лития.	Grease Castrol LMX or similar high-temperature lithiumbased grease.	Fett: Castrol LMX oder entsprechendes lithiumbasiertes Hochtemperaturfett.	Graisse Castrol LMX ou graisse semblable haute température et à base de lithium.	Grasa Castrol LMX u otra grasa de alta temperatura a base de litio.
Внимание!! если при замене используется смазка отличная, от используемой ранее, необходимо проверить совместимость двух видов смазок	Important!! -If another brand of grease is used, check its mixability.	Wichtig!! -Falls anderes Fett benutzt wird, muss die Mischbarkeit untersucht werden.	Important!! -Si une autre marque de graisse est uti- lisée, rechercher sa miscibilité.	Importante!! -En el caso de usar otra marca de grasa debe checarse su mezclabilidad
- Замечание по периодичности и количеству смазки - Электродвигатель необходимо смазывать во время его работы.	-Observe lubrication intervals and grease quantities. -The motor should be lubricated when operating.	-Schmierintervalle und Fettmengen be achten. -Nachschmierung muss bei Motor in Be trieb vorgenommen werden.	-Observer intervalles et quantités de graissage. -Lubrifier le moteur lorsqu'il est en marche.	-Respetar intervalos y cantidades mode engrase. -El engrase debe realizarse con el motor en marcha.
- Электродвигатель необходимо смазывать перед тем, как он будет остановлен на длительный срок (сезонная работа)	-The motor should be lubricated before it is stopped for a long period (sea-sonal operation).	-Wird der Motor über einen längeren Zeit raum abgestellt (Saisonbetrieb): Nachschmieren vor der Stillstands-periode.	-Lubrifier le moteur avant un arret de longue durée (marche saison-nière).	-Si el motor queda fuera de servicio durante un periodo prolongado debe engrasarse antes de pararse.
- Замена подшипников Количество смазки для заполнения новых подшипников: A=60 г B=30 г	-When replacing bearings: Quantity of grease for filling up new bearings: A=60g B=30g	-Bei Lagertausch: Fettmenge zum Auffüllen der neuen Lager: A=60g B=30g	-Remplacement des paliers: Quantité de graisse pour le remplissage des nouveaux paliers: A=60g B=30g	-Reemplazo de los cojinetes: Cantidad de grasa para el relleno de los nuevos cojinetes: A=60g B=30g



Периодичность смазки Lubrication interv Schmierintervall Int. de graissage Intervaldo de engrase	Количество смазки Grease quantity Fettmenge Quantité de graisse Cantidad de grasa
4000 h	10 g





Как правило, информация о периодичности смазки приведена на специальной бирке на крышке вентилятора или непосредственно на фирменной табличке электродвигателя.

В некоторых руководствах по замене смазки количество смазки указывается как объём (CC, CCM или см³), а не как масса (г). Соотношение массы и объёма для смазки подшипников:

Масса = 1,1 · объём

[г] = 1,1 · [см³]

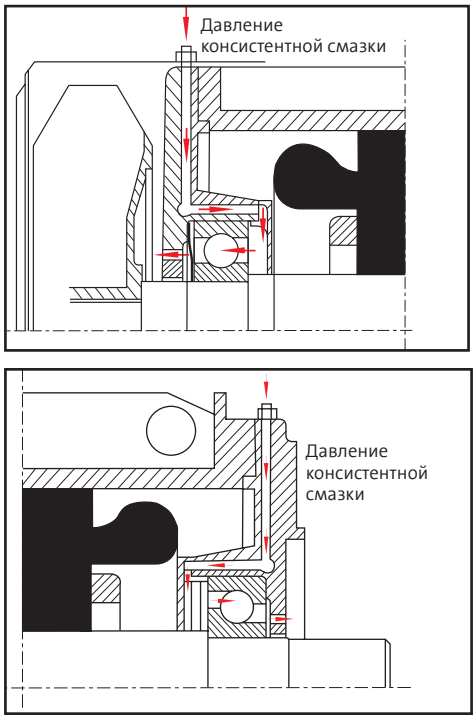
Электродвигатели имеют пресс-масленки для смазки подшипников на обеих сторонах: с приводом и без привода.

Пресс-масленки обычно легкодоступны. Как правило, в современных электродвигателях, смазка сама поступает от пресс-масленки к подшипникам.

На иллюстрации справа показано, как старая консистентная смазка автоматически удаляется из подшипника. Электродвигатели со смазочной системой поставляются с инструкцией по смазке, изображенной на крышке вентилятора. Кроме того, указания по смазке включены в руководство по монтажу и эксплуатации.

В качестве смазочного материала применяется теплостойкая консистентная смазка на литиевой основе, например, EXXON UNIREX N3 или консистентная смазка Shell Alvania G3. Вязкость базового материала должна быть:

- Выше 50 сСт (мм²/сек) при 40 °C и 8 сСт (мм²/сек) при 100 °C.



Конструкция смазочной системы

Ручная замена смазки

Выполняя замену смазки вручную, следует соблюдать следующие правила и очерёдность:

Этап 1: удалить из отверстия для слива консистентной смазки пробку, если таковая предусмотрена.

Этап 2: заправить пресс-масленку свежей консистентной смазкой до тех пор, пока старая консистентная смазка не начнёт выходить через отверстие слива смазки или между валом и фланцем.

Этап 3: после этого электродвигатель должен проработать ещё 1—2 часа, чтобы смазка равномерно распределилась по смазочной камере, а ее излишки вышли. Закрыть отверстие слива консистентной смазки пробкой (если таковая предусмотрена).

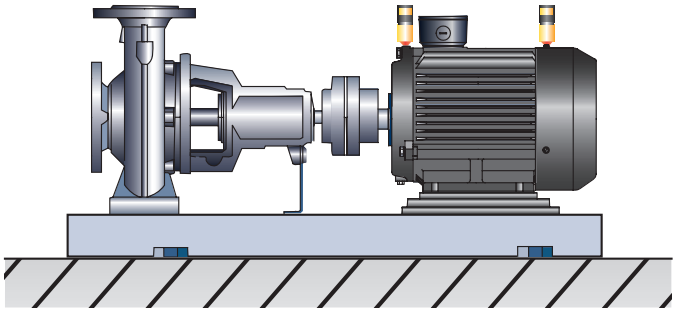
Желательно, чтобы замена смазки производилась при работающем электродвигателе. Иногда это невозможно, и замена смазки выполняется, когда электродвигатель остановлен. В таких случаях используйте только половину предполагаемого количества консистентной смазки. Затем включите двигатель на несколько минут с полной скоростью вращения. Когда электродвигатель будет остановлен, заправьте оставшуюся консистентную смазку, чтобы старая смазка была полностью заменена. После 1—2 часов работы закройте отверстие слива консистентной смазки пробкой (если таковая предусмотрена).

Автоматическая смазка

Существует несколько видов картриджей автоматической смазки. Смазочный картридж устанавливается на пресс-масленках электродвигателя, и смазочный материал подаётся в подшипник автоматически по смазочным ниппелям. Обычно для заправки необходим источник электроэнергии или сжатого газа. Управление системой смазки может осуществляться и централизованной системой управления.

В ходе автоматической смазки из электродвигателя должна удаляться старая консистентная смазка. Если этого не происходит, старая консистентная смазка спрессовывается, что может привести к перегреву подшипника.

Будьте осторожны! при замене смазки в работающем электродвигателе



Смазочный картридж устанавливается на пресс-масленках электродвигателя, и смазочный материал подаётся в подшипник автоматически по смазочным ниппелям.

Что следует знать о ПРОФИЛАКТИЧЕСКОМ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ

Целью профилактического технического обслуживания является сокращение эксплуатационных расходов посредством обнаружения и решения проблем на ранних этапах. Данные о температуре электродвигателя, вибрациях и др. — это лишь некоторые параметры, которые помогают определить, когда электродвигатель надо будет ремонтировать или заменять. На следующих страницах мы рассмотрим некоторые испытания, которые обеспечивают необходимые данные о состоянии электродвигателя.

Данные о состоянии подшипников

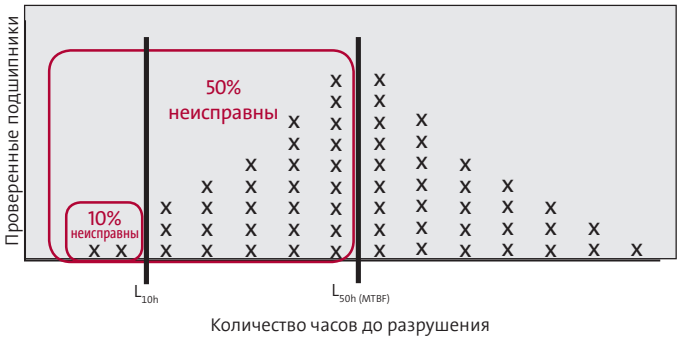
Прогнозировать срок службы подшипника в принципе невозможно. L_{10h}, или номинальный ресурс, — это тот срок службы, который обычно используется для расчётов с нагрузкой. L_{10h} — ресурс, выраженный в часах, который с превышением отрабатывают 90 % группы практически одинаковых шарикоподшипников. Ещё одна принятая форма — L_{50h}, которую также называют медианным ресурсом, или MTBF, — средняя наработка на отказ (т.е. средний период времени между отказами). L_{50h} является ресурсом, который отрабатывают 50 % от группы подшипников.

За основу берется эмпирическое правило: Величина L_{50h} не должна превышать L_{10h} больше, чем в пять раз.

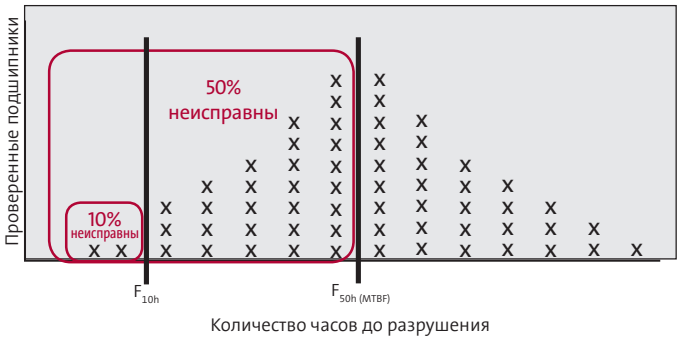
В нормальных условиях L_{10h} (срок службы подшипников) находится в интервале 16 000 — 40 000 часов для подшипников электродвигателей. Как L_{10h}, так и F_{10h} могут показывать, когда следует заменять подшипники с постоянной консистентной смазкой. Показатель наименьшей величины показывает, когда приходит срок заменить подшипник с постоянной консистентной смазкой.

Данные о состоянии изоляции

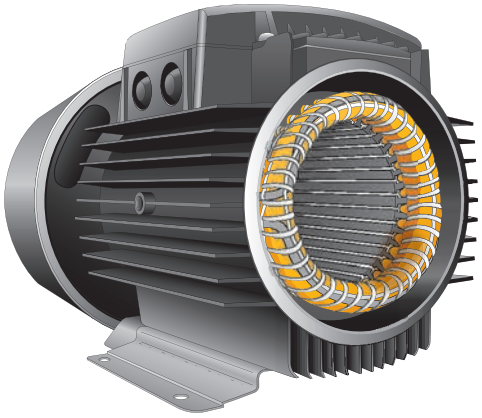
Испытание прочности изоляции электродвигателя позволяет прогнозировать неисправность электродвигателя. Далее представлены самые распространённые способы проверки изоляции, которые помогают заранее определить возможную неисправность электродвигателя: измерения изоляции на землю, проверка показателя поляризации, проверка импульсами высокой частоты и проверка высоким напряжением.



L_{10} — это ресурс, выраженный либо в часах, либо в миллионах оборотов, который полностью отрабатывают (или превышают) 90 % практически одинаковых шарикоподшипников, составляющих одну группу.



F_{10h} выражает ресурс консистентной смазки. F_{10h} – это ресурс, выраженный в часах, который с превышением отрабатывают 90 % группы практически одинаковых шарикоподшипников.



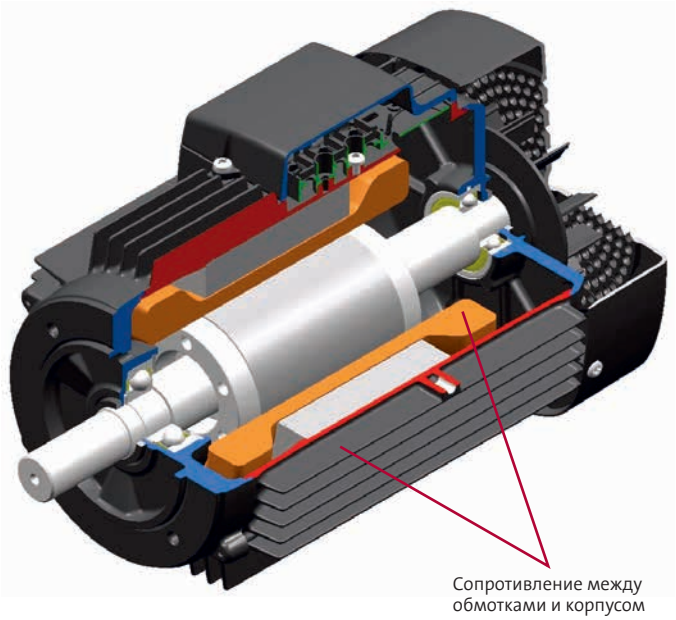
Испытание прочности изоляции электродвигателя позволяет прогнозировать его неисправность.

Измерение изоляции на землю

Измерение изоляции на «землю» является самым простым способом проверки и прогнозирования большей части неисправностей электродвигателя.

При измерении: постоянное напряжение 500 или 1000 В подаётся между обмотками и «землёй». Измерение сопротивления изоляции выполняется при помощи мегомметра — омметра для измерения в диапазоне высоких сопротивлений. В ходе измерения и сразу после него на клеммах присутствует опасное напряжение, и к ним НЕЛЬЗЯ ПРИКАСАТЬСЯ.

Необходимо обратить внимание на три аспекта: сопротивление изоляции, его измерение и проверку.



Измерение сопротивления изоляции

Сопротивление изоляции

- Минимальное сопротивление изоляции новых обмоток или обмоток после чистки или ремонта относительно «земли» составляет 10 МОм или больше.
- Минимальное сопротивление изоляции, R, вычисляется умножением номинального напряжения, U_n, на постоянный множитель 0,5 МОм/кВ. Например: если номинальное напряжение составляет 690 В = 0,69 кВ, минимальное сопротивление изоляции: 0,69 кВ · 0,5 МОм/кВ = 0,35 МОм.

Измерение

- Минимальное сопротивление изоляции обмоток относительно «земли» измеряется при 500 В постоянного тока. Температура обмоток должна быть 25 °C ± 15 °C.
- Максимальное сопротивление изоляции должно измеряться с 500 В постоянного тока при рабочей температуре обмоток 80—120 °C в зависимости от типа электродвигателя и КПД.

Проверка показателя поляризации

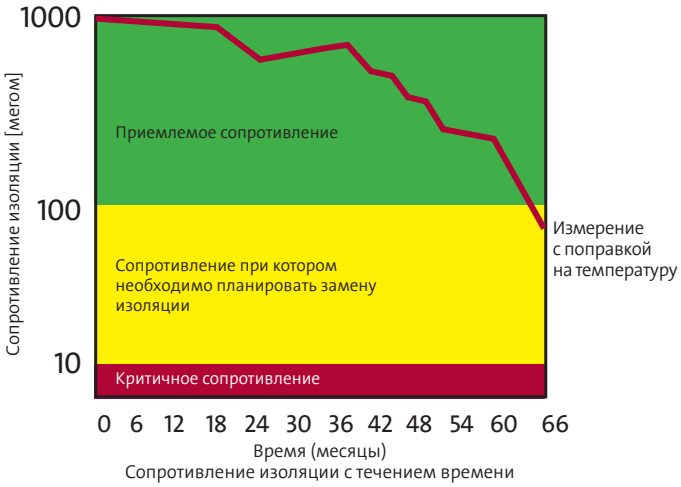
- Если сопротивление изоляции электродвигателя меньше 10 МОм, то возможно что в обмотки попала влага и их необходимо просушить.
- Если электродвигатель эксплуатируется в течение долгого промежутка времени, минимальное сопротивление изоляции может упасть до критического уровня. До тех пор, пока измеренное значение не упадёт ниже расчётной величины минимального сопротивления изоляции, электродвигатель может работать.

Однако если оно будет ниже предельного значения, электродвигатель необходимо немедленно остановить, чтобы не допустить поражения обслуживающего персонала блуждающими токами.

Величина сопротивления изоляции	Уровень изоляции
2 МОм или меньше	Недостаточная
2–5 МОм	Критичная
5–10 МОм	Нерасчётная
10–50 МОм	Хорошая
50–100 МОм	Очень хорошая
100 МОм или больше	Отличная

Рекомендации по величинам сопротивления изоляции

Измерение сопротивления изоляции — полезная процедура, она помогает определить срок ремонта и замены электродвигателя. Измерение сопротивления изоляции должно выполняться регулярно для сбора достаточного количества данных, которые помогут предотвратить неисправность. На диаграмме справа можно видеть предел, когда сопротивление изоляции ослабевает. В данном примере сопротивление изоляции ослабевает через 60 месяцев. Поэтому электродвигатель необходимо снять с эксплуатации, чтобы очистить и просушить обмотки статора. В худшем случае электродвигатель придётся заменить или заменить его обмотки (перемотать).



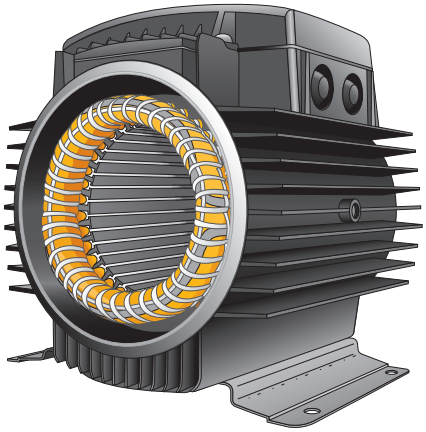
Сопротивление изоляции со временем ослабевает

Чистка и сушка обмоток статора

Если сопротивление изоляции не достигло минимального значения сопротивления изоляции, значит обмотки слишком влажные и требуют сушки. Сушку обмоток следует выполнять с большой осторожностью. Повышенная температура и её резкое увеличение способствуют образованию пара, который повреждает обмотки. В связи с этим скорость повышения температуры не должна превышать 5 °C/ч, а обмотки не должны нагреваться больше, чем на 150 °C для электродвигателей класса F.

В процессе сушки необходимо внимательно контролировать температуру и регулярно измерять сопротивление изоляции. Как обмотки реагируют на повышение температуры? Сначала сопротивление изоляции падает из-за повышения температуры, но в ходе сушки оно увеличивается. Каких-либо указаний относительно продолжительности сушки нет; она выполняется до тех пор, пока измеряемые величины сопротивления изоляции не будут постоянными и выше минимального значения. Однако если после сушки сопротивление всё ещё низкое, это означает, что изоляционная система неисправна, и электродвигатель следует демонтировать.

Электродвигатели, в которые попала влага, масло или проводящая пыль, должны быть тщательно очищены и высушены. Обычно для удаления загрязнений, масла, пыли или соли из роторов, статоров и клеммных коробок используется горячая вода и специальные моющие растворы. После процесса очистки обмотки необходимо просушить. Чтобы достичь приемлемого уровня сопротивления изоляции, требуется от двух часов до нескольких дней.



Статор в корпусе, подготовленный для сушки

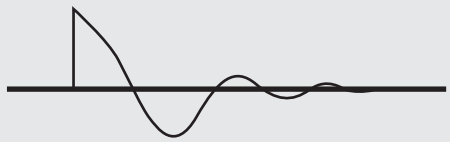
Проверка импульсами высокой частоты

Если проверка сопротивления изоляции определяет износ только на последней стадии, то проверка импульсами высокой частоты позволяет распознать износ изоляции на начальной стадии.

Проверка импульсами высокой частоты определяет состояние межвитковой и межфазной изоляций. Межфазная изоляция обеспечивает защиту между обмоткой и «землёй» и между каждой фазой. Межвитковая изоляция представляет собой тонкую плёнку, накладываемую на поверхность медного провода.

При проверке импульсами высокой частоты в межвитковой и межфазной изоляциях создаётся напряжение. Для создания напряжения конденсатор разряжается на обмотку и, таким образом, скачкообразно повышает напряжение. Импульсы регистрируется осциллографом, который показывает результаты испытаний для каждой фазы электродвигателя. Три фазы электродвигателя идентичны, и, следовательно, полученные импульсы должны быть одинаковы. Неравные импульсы означают, что в электродвигателе повреждена изоляция.

Форма сигнала дефектной обмотки



Форма сигнала неиспорченной обмотки

Испытание высоким напряжением — HIPOT

Испытание высоким напряжением (HIPOT) — это испытание высоким напряжением, которое позволяет определить, обладает ли обмотка определённым уровнем прочности изоляции. В целом, можно сказать, что качественная изоляция выдерживает напряжение такого уровня, который намного выше напряжений, используемых при HIPOT. Таким образом, повреждения изоляции, обнаруженные в ходе очередного испытания при выполнении технического обслуживания электродвигателя, означают, что изоляция электродвигателя непригодна для дальнейшего использования и электродвигатель необходимо ремонтировать. Существует два типа испытаний высоким напряжением: полевые испытания высоким напряжением постоянного тока и полевые испытания высоким напряжением переменного тока.

Полевые испытания высоким напряжением постоянного тока

Полевые испытания высоким напряжением постоянного тока DC ($U_{испытательн.}$) являются стандартными неразрушающими испытаниями. Это значит, что испытание обеспечивает достаточную прочность изоляции. Для определения уровня напряжения, подаваемого на одну минуту для выполнения полевых испытаний высоким напряжением DC электродвигателей, работающих при 600 В или меньше используется следующая формула.

Новые электродвигатели:

$$U_{испытательн.} = 1{,}7 \cdot (2\ U_{номин.} + 1000\ В)$$

Электродвигатели, которые уже находятся в эксплуатации:

$$U_{испытательн.} = 2\ U_{номин.} + 1000\ В$$

$U_{испытательн.}$ = Напряжение для полевых испытаний высоким напряжением DC

$U_{номин.}$ = Номинальное напряжение электродвигателя, напр. 400 В

После выполнения полевых испытаний высоким напряжением постоянного тока необходимо разрядить обмотки, чтобы исключить возможность травматизма персонала.

Полевые испытания высоким напряжением переменного тока (AC) и проверка межфазной изоляции

Испытания высоким напряжением AC фазы на землю и межфазной изоляции — это проверка, необходимая для обеспечения запаса надёжности по рабочему напряжению. Высокое напряжение AC подаётся между обмотками и корпусом и на межфазную изоляцию. Испытания высоким напряжением AC часто используются для определения слабых мест в изоляционной системе.

Испытание является разрушающим. Это значит, что токи, участвующие в испытании, разрушают изоляцию и вызывают её неустранимое повреждение. Полевые испытания высоким напряжением AC ни в коем случае не должны применяться для электродвигателя с низким сопротивлением изоляции.

Испытательные напряжения, используемые для полевых испытаний высоким напряжением AC, соответствуют международному стандарту IEC 60034–1. В соответствии с данным стандартом испытательное напряжение для электродвигателей с мощностью P_2 < 10 000 кВт должно быть:

$$U_{испытательн.} = 2U_{номин.} + 1000\ В$$

$U_{испытательн.}$ = испытательное напряжение для испытаний высоким напряжением AC

$U_{номин.}$ = макс. номинальное напряжение электродвигателя

Испытательное напряжение должно быть минимум 1 500 В в течение 1 минуты. В массовом производстве электродвигателей мощностью до 5 кВт IEC 60034–1 1-минутное испытание можно заменить 1-секундным испытанием, но испытательное напряжение должно увеличиваться на 20 %.

Все более распространёнными становятся испытания высоким напряжением DC, а не AC, так как они требуют испытательного оборудования меньших размеров, а низкий испытательный ток менее опасен для персонала и не повреждает изоляционную систему.

Полевые испытания высоким напряжением AC подходят для проверки новых электродвигателей и электродвигателей с новыми обмотками, но не применяются для обычного планового технического обслуживания.

Температура электродвигателя

Температура электродвигателя влияет на срок его службы и является точной индикацией состояния двигателя во время эксплуатации. Если температура электродвигателя на 10 °C превышает предельно допустимые значения для определённого класса нагревостойкости изоляции, напр., 155 °C для электродвигателей класса F, то срок службы изоляции может сократиться на 50 %. Класс нагревостойкости изоляции всегда указывается в фирменной табличке.

В таблице справа представлены два наиболее распространённых класса нагревостойкости изоляции: B и F. Изоляция каждого класса нагревостойкости должна выдерживать температуру, равную максимальной температуре окружающей среды плюс некоторое повышение температуры в условиях эксплуатации с максимальной нагрузкой.

Контроль температуры подшипников также может быть частью процесса профилактического технического обслуживания. Повышение температуры подшипников с консистентной смазкой не должно превышать 60 °C (на внешней крышке подшипника).

ΔT подшипник = 60 K

Температура окружающей среды = 40 °C

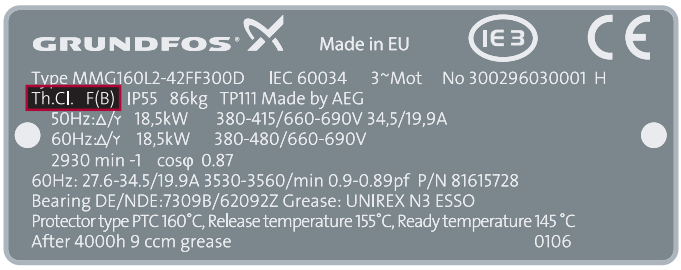
Абсолютная температура подшипника =

= ΔT + температура окружающей среды

60 °C + 40 °C = 100 °C

Абсолютная температура подшипника НЕ ДОЛЖНА превышать 100 °C.

Температуру подшипников электродвигателя можно постоянно контролировать с помощью внешних термометров или встроенных термодатчиков. Предельную температуру и температуру отключения для шарикоподшипников можно задать на 90—100 °C.



Класс	Изоляция	Поверхность	Подшипник
	Темп. (°C)	Темп. (°C)	Темп. (°C)
B	130	60–90	60–90
F	155	80–120	70–120

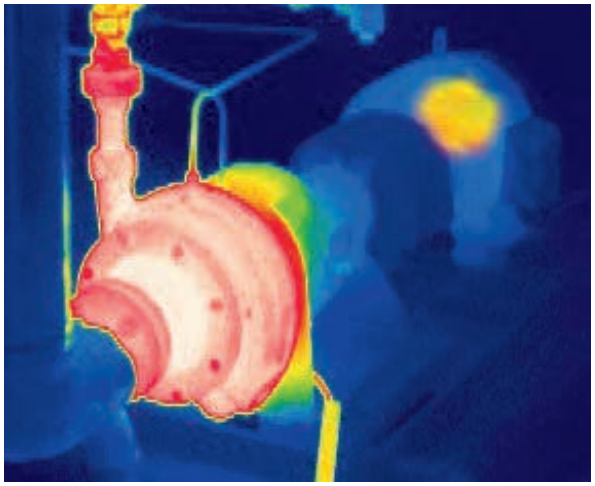
Характерные температуры в зависимости от класса изоляции. Класс F допускает температуру нагрева как у класса B.

Термографическое исследование

Инфракрасное сканирование — это способ устранения неисправностей, который хорошо подходит для электродвигателей. С помощью инфракрасного сканирования можно определить зарождающуюся неисправность в электродвигателе, которые проявляются через повышение температуры. Например, степень износа подшипников или недостаток смазки.

Инфракрасное сканирование позволяет распознавать и фотографировать места локального перегрева в электродвигателе. Таким образом, сканирование помогает обеспечить своевременное реагирование в случае, если было определено место локального перегрева, чтобы не допустить повреждения электродвигателя.

В обычных условиях термографические наблюдения выполняются в ходе нормальной работы и работы при полной нагрузке. Данные наблюдений используются для определения проблем в электродвигателях, решение которых требует техобслуживания, и повышают эффективность программы технического обслуживания в целом.



Термографическое изображение насоса, перекачивающего горячую воду

Инфракрасный термометр

Что нужно знать о ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Анализ неисправностей

При возникновении неисправности электродвигателя его следует осмотреть, определить место и причину поломки. Обычно соответствующий требованиям профилактический осмотр помогает предотвратить неисправность. Если неисправность возникла из-за какого-либо ненадёжного компонента или ненадлежащего технического обслуживания, необходимо проверить всё оборудование такого же типа, чтобы не допустить подобной неисправности где-либо ещё в электродвигателе или в системе.

Когда следует ремонтировать, а не заменять

Из-за больших расходов на электроэнергию обеспечение требуемого КПД электродвигателя является одной из основных задач для пользователей. Поэтому при неисправности в электродвигателе, вызванной какой-либо причиной, возникает вопрос, ремонтировать ли старый электродвигатель или просто заменить его новым. Вследствие постоянного роста цен на электроэнергию пользователи зачастую предпочитают покупать новые электродвигатели. Однако перемотка или иной ремонт электродвигателя может быть в этом случае более дешёвым решением. Для того чтобы определить, что выгоднее: отремонтировать или заменить электродвигатель — следует учесть несколько факторов:

- Стоимость покупки < Стоимость ремонта.
- КПД имеющегося электродвигателя < КПД нового электродвигателя (Электродвигатели с новой обмоткой никогда не обеспечат КПД того же уровня, что электродвигатели в первоначальном состоянии).
- Доступность нового электродвигателя (возможность получить его за короткий срок).
- Расчет энергопотребления на весь период эксплуатации — имеющийся электродвигатель < новый электродвигатель.
- Остаточная стоимость — имеющийся электродвигатель.
- Необходимо ли модифицировать двигатель.
- Стоимость простоя и ремонта — имеющийся электродвигатель или новый электродвигатель.

Ключевым фактором для принятия решения о том, ремонтировать или заменять электродвигатель, является годовая экономия электроэнергии, которая рассчитывается по следующей формуле:

$$кВт_{сэкономл.} = P_2 \cdot Y \cdot \left(\frac{1}{E_{имеющ.}} - \frac{1}{E_{нов.}}\right)$$

P_2 = Выходная мощность — указана в фирменной табличке

Y = Нагрузка в процентном выражении от максимальной номинальной нагрузки — можно найти в электронном каталоге GPC

$E_{имеющ.}$ = КПД (в процентном выражении) имеющегося электродвигателя после ремонта

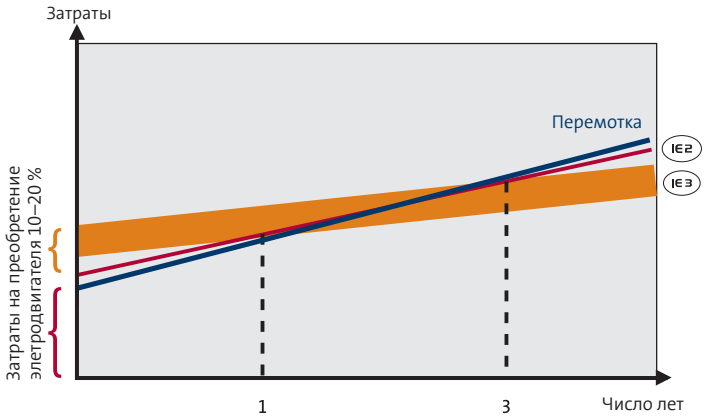
$E_{нов.}$ = КПД (в процентном выражении) заменяющего электродвигателя

Общая величина экономии электроэнергии =

= $кВт_{сэкономл.}$ · число рабочих часов в год · норма кВт·ч

В зависимости от страны, где выполняется перемотка электродвигателя, эта процедура будет стоить не меньше 33 % от стоимости нового электродвигателя или даже больше. К сожалению, КПД электродвигателя после перемотки редко бывает таким же высоким, как у нового электродвигателя. В связи с этим пользователям всегда приходится рассматривать возможность покупки нового электродвигателя. При неисправности электродвигателя или при отделении обмотки от сердечника статора перед перемоткой велика вероятность повышения температуры. Повышенные температуры могут отрицательно влиять на электрические характеристики сердечника статора и увеличить потери в сердечнике с понижением уровня КПД электродвигателя. Чтобы поддержать исходные рабочие характеристики электродвигателя после перемотки, очень важно соблюдать указания производителя. Для поддержания и повышения КПД электродвигателя после процедуры перемотки мастерские по ремонту электродвигателей совместно разрабатывают стандарты качества, проверяют качество перемотки электродвигателей и обучают выполнению данной процедуры.

Период окупаемости



Принципиальная диаграмма стоимости эксплуатации перемотанного электродвигателя в сравнении с новым электродвигателем с другим КПД. В каждой стране своя стоимость перемотки.

Как обеспечить высокое качество ремонтных работ

В обеспечении высокого качества ремонтных работ вам помогут следующие руководящие принципы:

1. Оцените потенциальных поставщиков услуг по ремонту электродвигателя.

2. Определите реальные сроки выполнения ремонтных работ.

3. Подробно опишите поставщикам услуг по ремонту электродвигателя возникшие проблемы.

Для того, чтобы оценить потенциальных поставщиков услуг по ремонту электродвигателя, вам необходимо собрать о них соответствующую информацию. В принципе, всё, что вам нужно сделать, это договориться о встрече и провести в центре технического обслуживания достаточно времени, чтобы оценить возможных поставщиков данных услуг. Далее приведен перечень показателей, которые вам следует отметить, чтобы выполнить всестороннюю оценку поставщика услуг.

- ☑ **Программа контроля качества** — Ищите признаки участия в программе ISO 9000.
- ☑ **Оборудование и технические средства** — Проверьте, располагает ли центр технического обслуживания достаточными техническими средствами и материалами для работы с электродвигателем данного типоразмера.
- ☑ **Контрольно-измерительные приборы** — Проверьте, располагает ли центр технического обслуживания контрольно-измерительными приборами для проверки правильности выполнения ремонтных работ, а именно, оборудованием для определения вибрации, прибором для высоковольтных испытаний.
- ☑ **База неисправностей** — Попросите взглянуть на базу неисправностей центра технического обслуживания. Система записей содержит информацию о выполненных работах по ремонту электродвигателей.
- ☑ **Методы удаления изоляции** — Поинтересуйтесь, какие методы удаления изоляции используются, напр., оплавление, механическое стягивание и т.п. Если используется оплавление, спросите о способах защиты от пламени или локального перегрева и обеспечения равномерной температуры при нагревании нескольких электродвигателей.
- ☑ **Измерительные приборы должны быть откалиброваны**
- ☑ **Оценить эксцентричность фланца** и удлинения вала двигателя после его повторной сборки.
- ☑ **Общие сведения** — Наведите справки о годовом обороте технического центра, квалификации персонала и т.п.
- ☑ **Общее впечатление** — Обратите внимание на внешний вид центра технического обслуживания, соблюдается ли чистота и порядок.

Замена подшипников

Так как подшипники в электродвигателях подвержены истиранию, за один срок службы электродвигателя их приходится менять не один раз. Для того, чтобы не приходилось слишком часто заменять подшипники, необходимо всегда строго следовать рекомендациям производителя.

Далее приведены общие рекомендации по разборке подшипников, установке новых подшипников, мерам обеспечения правильной установки подшипника в электродвигателе.

Разборка

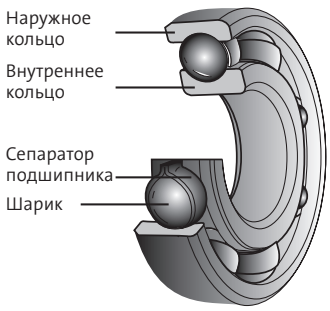
Для выполнения процедур технического обслуживания и текущего ремонта деталей электродвигателя приходится снимать подшипники. При этом вал и крышки не заменяются. Поэтому важно соблюдать чистоту и аккуратность.

Установка новых подшипников

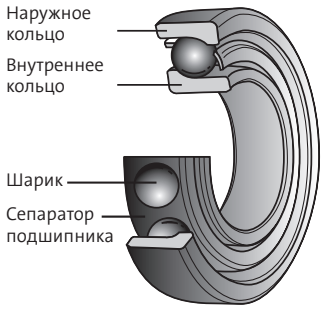
Перед установкой новых подшипников необходимо очистить остальные детали электродвигателя, корпус и вал. Если не удалить старую консистентную смазку и грязь, подшипники будут шуметь, при этом срок службы новых подшипников будет меньше.

Поместите уплотнительную манжету между кольцом подшипника и молотом и лёгким постукиванием прижмите уплотнительную манжету по всей окружности.

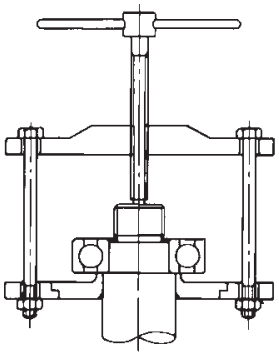
Иногда, для того чтобы было легче установить подшипники больших размеров, их приходится нагревать. Нагреть подшипник можно посредством введения определённого теплового источника в расточенное отверстие подшипника.



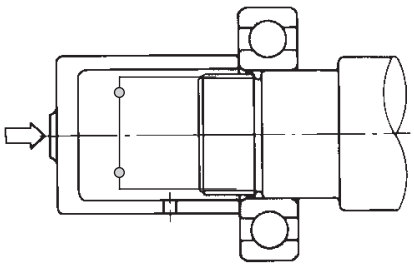
Шарикоподшипник с глубокими дорожками качения



Радиально-упорный шарикоподшипник



Выпрессовка подшипника



Установка нового подшипника

Меры предосторожности при установке подшипников

Подшипники должны быть чистыми. Попадание грязи или загрязняющих веществ в подшипник может вызвать его преждевременное разрушение. Далее даны некоторые рекомендации по обращению с подшипниками и поддержанию чистоты подшипников.

- Руки слесаря должны быть чистыми. Сборка подшипников должна всегда осуществляться только на чистом рабочем месте с помощью чистых инструментов.
- Не удалять с поверхности подшипника консервационное масло. Практически все подшипники можно установить без удаления с них масла.
- Не ронять и не ударять подшипники. При повреждении геометрической формы подшипника его работа будет нарушена.
- Для установки подшипника используйте только инструменты из дерева или лёгкого металла. Нельзя использовать инструменты, которые могут повредить поверхность.
- Открывать упаковку подшипника следует непосредственно перед его установкой
- Внимательно читайте указания производителя и следуйте им.

Эксплуатационные испытания

Чтобы определить, правильно ли установлен подшипник в электродвигателе, необходимо провести испытания. Во-первых, провернуть вал или корпус вручную. Если при этом не возникло никаких проблем, подшипник можно испытать при низкой скорости вращения без нагрузки. Если это тоже не вызвало никаких признаков отклонения от нормы, можно постепенно увеличивать нагрузку и скорость вращения до номинальной. При обнаружении во время испытаний необычных шумов, повышения температуры или вибрации, испытания следует незамедлительно остановить и проверить, правильно ли собран электродвигатель.

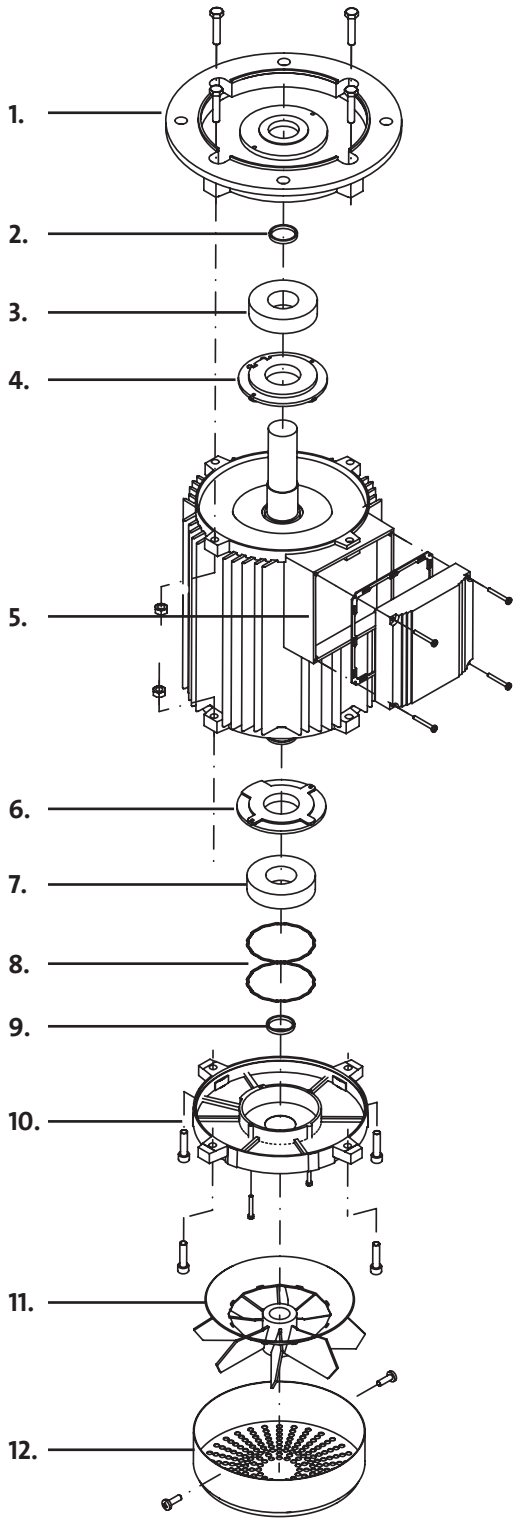
Запасные части для электродвигателей насосов

Повреждённые детали электродвигателя должны заменяться только оригинальными деталями, иначе гарантия будет недействительна.

Для ремонта электродвигателей MG и MMG компании Grundfos используются следующие запасные части:

1. Фланец DE B3
   Фланец DE B5
   Фланец DE B14
2. Уплотнение DE
3. Подшипник DE
4. Крышка подшипника в DE
   Крышка подшипника вне DE
   Стопорное кольцо для подшипников
5. Клеммная коробка (без крышки)
   Крышка клеммной коробки
   Контактная колодка в сборке
6. Крышка подшипника в NDE
   Крышка подшипника вне NDE
   Стопорное кольцо для подшипников
7. Подшипник NDE
8. Пружинная шайба для подшипников
9. Уплотнение на стороне без привода
10. Задний щит (сторона без привода)
11. Вентилятор
12. Кожух вентилятора

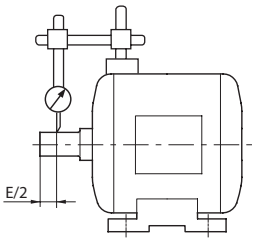
Номера запасных частей можно найти в GPC.



Покомпонентное изображение электродвигателя

Контроль присоединительных размеров электродвигателей после ремонта

Если электродвигатель был разобран, потому что возникла необходимость заменить подшипники, следует проверить эксцентричность фланца и удлинения вала в соответствии с международным стандартом IEC 60072–1.



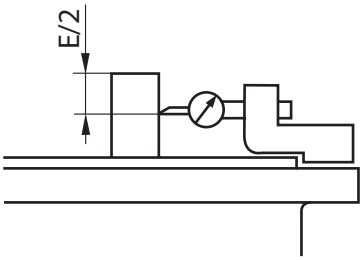
Эксцентричность вала электродвигателя B3

Эксцентричность вала

Диаметр вала	>10 до 18 мм	>18 до 30мм	>30 до 50 мм	>50 до 80 мм	>80 до 120 мм
Максимальная эксцентричность вала в электродвигателях с фланцем (стандартного класса)	35 мкм (0,035 мм)	40 мкм (0,040 мм)	50 мкм (0,050 мм)	60 мкм (0,060 мм)	70 мкм (0,070 мм)

Приставьте индикатор к валу, приблизительно в центре. Зафиксируйте максимальные и минимальные показания индикатора за один медленный оборот вала. Разница в показаниях не должна превышать величину, приведённую в таблице выше.

Это исследование можно выполнить как для электродвигателя, находящегося в горизонтальном положении, так и в вертикальном: с индикатором, прикреплённым непосредственно к электродвигателю или установленным на общей платформе с электродвигателем.



Эксцентричность вала электродвигателей B14/V18/B5/V1

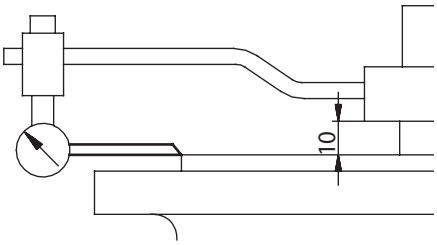
Концентричность центрирующего буртика вала

Фланец	от F55 до F115	от F130 до F265	от FF300 до FF500	от FF600 до F740	от FF 940 до FF1080
Максимальные допуски на концентричность центрирующего буртика вала	80 мкм (0,08 мм)	100 мкм (0,10 мм)	125 мкм (0,125 мм)	160 мкм (0,16 мм)	200 мкм (0,20 мм)

Надёжно закрепите индикатор на валу с помощью устройства, показанного на рисунке, на расстоянии приблизительно 10 мм от установочной поверхности фланца.

Зафиксируйте максимальные и минимальные показания индикатора за один медленный оборот вала. Разница между предельными значениями концентричности от индикатора не должна превышать величину, приведённую в таблице выше.

Проверьте электродвигатель в сборке с вертикальным валом, при этом на результаты измерений не должна влиять сила тяжести.

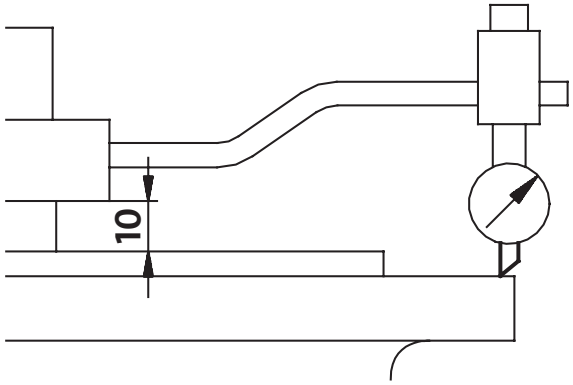


Концентричность центрирующего буртика вала

Перпендикулярность установочной поверхности фланца к валу

Надёжно закрепите индикатор на валу с помощью устройства, показанного на рисунке, на расстоянии приблизительно 10 мм от установочной поверхности фланца.

Зафиксируйте максимальные и минимальные показания индикатора за один медленный оборот вала. Разница между предельными значениями перпендикулярности от индикатора не должна превышать величину, приведённую в таблице ниже. Проверьте электродвигатель в сборке с вертикальным валом, чтобы исключить осевой зазор в подшипнике.



Перпендикулярность установочной поверхности фланца к валу

Фланец	от F55 до F115	от F130 до F265	от FF300 до FF500	от FF600 до F740	от FF 940 до FF1080
Максимальные допуски на перпендикулярность установочной поверхности фланца к валу	80 мкм (0,08 мм)	100 мкм (0,10 мм)	125 мкм (0,125 мм)	160 мкм (0,16 мм)	200 мкм (0,20 мм)

Заключение

Целью технического обслуживания электродвигателя является сокращение внеплановых и дорогостоящих простоев (например, остановка на период выполнения технического обслуживания для устранения неисправностей), которые отрицательно сказываются на технологическом процессе. Профилактический осмотр, несомненно, способствует повышению КПД электродвигателя, а, следовательно, КПД всей установки. Профилактическое техническое обслуживание помогает определить срок замены электродвигателя на более новый, в энергоэффективном исполнении. И последнее, но не менее важное: необходимость в техническом обслуживании для устранения неисправностей возникает, когда профилактический осмотр и профилактическое техническое обслуживание не выполнялись надлежащим образом, или если электродвигатель неправильно сконструирован, или неправильно выбраны его материалы. Техническое обслуживание для устранения неисправностей является крайней мерой, так как оно связано с повреждением электродвигателя и, следовательно, приводит к простою производства.

Для заметок