

4

Подбор мотор-редукторов

Спецификация мотор-редукторов 37
Параметры приводов общий 38
Данные, необходимые для определения параметров привода 38
Процесс определения параметров привода 39
Определение мощности двигателя 39
Расчет необходимого крутящего момента 39
Расчет передаточного числа редуктора 39
Расчет коэффициента инерции 39
Определение типа ударной нагрузки 40
Определение минимального коэффициента эксплуатации f_{Bmin} 40
Расчет тормоза 40
Параметры двигателя 41
Механическая характеристика 41
Динамическая мощность 42
Статическая мощность 42
Общая мощность P_G 42
Выбор двигателя 43
IE2 43
IE1 43
Частота холостых пусков Z_0 44
Коэффициент нагрузки K_L 44
Радиальные и осевые нагрузки на выходном валу 45
Радиальные и осевые нагрузки на выходном валу 45
Максимально допустимая радиальная нагрузка в точке приложения силы X 45
Предельная нагрузка подшипников 45
Прочность вала 46
Цилиндрический редуктор серии BG 46
Плоский цилиндрический редуктор серии BF 47
Конический редуктор серии BK 48
Червячный редуктор серии BS 48
Передаточные элементы 49
Коэффициент fz для типа передаточного элемента 49
Осевая нагрузка 49
Подбор по коэффициенту полезного действия 50
Подбор привода по коэффициенту полезного действия 50
Экономичный двигатель: $\eta_{Мотор}$ 50
Математический расчет КПД при частичной нагрузке 50
КПД редуктора $\eta_{Редуктор}$ 51
КПД оборудования $\eta_{Оборудование}$ 51
Ударные нагрузки производственного оборудования 52

BAUER GEAR MOTOR
A REGAL REXNORD BRAND

Bauer Gear Motor GmbH
Eberhard-Bauer-Str. 37 73734 Esslingen
+49 (711) 3518-0 info@bauergears.com

Сведения о заполняющем
Организация: _____
Контактное лицо: _____
Контактный телефон: _____
Email: _____

Опросный лист на мотор-редуктор

Тип мотор-редуктора


☐ Цилиндрический соосный BG


☐ Цилиндрический плоский BF


☐ Конический BK


☐ Цилиндрический с червячной передачей BS


☐ Hiflex
☐ Стандартный
☐ Нержавеющая сталь

Количество: _____
Страна присутствия: _____

Номинальные данные

Номинальная скорость на выходе n2: _____ Об/мин
Момент на выходе редуктора M2: _____ Нм
Мощность двигателя: _____ кВт
Типоразмер двигателя: _____
с переключением полюсов: _____

Напряжение: _____ V
Схема подключ.: ☐ Y ☐ △
Изоляция: ☐ B ☐ F ☐ H
Частота: ☐ 50 Гц ☐ 60 Гц
☐ Работа от ПЧ
Частота работы ПЧ: _____ Гц

Эксплуатационные характеристики

Требуемый сервис фактор: от _____ до _____
Или: Тип приводной машины (конвейер, миксер, мешалка, центрифуга и т.д.): _____
Количество пусков в час: _____

Дневной цикл работы: ☐ 8 часов ☐ 16 часов ☐ 24 часов
☐ Легкие удары ☐ Средние удары ☐ Тяжелые удары
Режим работы: ☐ S1 ☐ S2 _____ мин ☐ Другой S _____ ПВ = _____ %

Конструкция выходного вала

☐ Цельный вал со шпонкой _____
☐ Полый вал со шпоночным пазом
☐ Цельный вал (DxL), _____ x _____ мм
☐ Второй конец вала двигателя (DxL) ___ x ___ мм
☐ Без шпонки
☐ Полый вал для стяжной муфты
☐ Стяжная муфта
☐ Второй конец вала двигателя с призматической шпонкой (ZW)
☐ Второй конец вала с четырехгранником (ZV)
☐ Другой (приложить эскиз)
☐ Полый шлицевой вал DIN 5480

Монтажное исполнение

☐ Лапа со сквозными отверстиями
☐ Лапа с резьбовыми отверстиями
☐ Моментный рычаг с резиновыми амортизаторами
☐ A-фланец со сквозными отверстиями
☐ C-фланец с резьбовыми отверстиями
☐ Опорная плита
☐ сзади ☐ внизу
☐ спереди ☐ вверху
☐ слева ☐ направо

Монтажное положение (в соотв. со стр. 2 - H1, H2, V1, V2 и т. д.): _____
Положение клеммной коробки (в соотв. со стр. 3): ☐ I ☐ II ☐ III ☐ IV
Другое _____

Покраска
☐ Стандартный RAL 7031
☐ Другой RAL _____

Условия окружающей среды

Степень защиты: ☐ IP54 ☐ IP65 ☐ IP66 ☐ IP67 ☐ IP68 ☐ IP69K
☐ Установка в помещении ☐ Установка на открытом воздухе ☐ Агрессивная среда: _____
Температура окружающей среды: От _____ °C до + _____ °C Относительная влажность: _____ %

Модульная технология

☐ Тормоз, напряжение: _____ В Необходимый тормозной момент: ___Нм ☐ Ручной отпуск тормоза
☐ Стопор обратного хода: ☐ слева ☐ направо ☐ Датчик износа тормозного диска ☐ Подогрев тормоза
☐ Защита двигателя термисторами ☐ Защита двигателя термостатами ☐ Антиконденсатный обогрев двигателя
☐ Датчик температуры-сопротивления KTY ☐ Датчик температуры-сопротивления PT100
☐ Энкодер, тип: _____ Импульсов за оборот: Выходной сигнал ☐ HTL \ ☐ TTL
☐ Защитный колпак от дождя ☐ Принудительная вентиляция

Дополнительные требования можно указать в свободной письменной форме.

Подбор мотор-редукторов

Параметры приводов

Параметры приводов общий

Процесс изготовления товаров и продукции не обходится без движения в производственном оборудовании при подаче и перемещении сырья и изделий. Для реализации этих перемещений в стационарных производственных установках используются мотор-редукторы. Конструктивные параметры приводов должны оптимально соответствовать каждому процессу перемещения.

Эти процессы могут сильно отличаться в машинах и установках. Опытный конструктор сокращает необходимые движения до минимального набора стандартных решений:

- Непрерывные линейные движения;
- Реверсивные линейные движения;
- Линейные движения по горизонтали;
- Вертикальные и наклонные линейные движения при поднятии или опускании грузов;
- Непрерывные и реверсивные вращательные движения.

Любой процесс движения делится на:

- Фазу ускорения;
- Фазу движения с постоянной скоростью;
- Фазу торможения.

При расчете параметров привода все отрезки движения следует рассматривать отдельно, чтобы определить, на какой из них приходятся максимальные нагрузки. По максимальной нагрузке производится выбор системы привода.
Наша отдельная публикация «Руководство по проектированию» предназначена для оказания помощи в различных областях применения.

Данные, необходимые для определения параметров привода

Дополнительно к данным, приведенным («Спецификация мотор-редукторов») для определения параметров привода требуются следующие данные:

Обозначение	Описание	Единица измерения
Z	Частота пусков	[раз/ч]
t_d	Время работы в день	[ч]
t_a	Время задержки	[с]
n_2	Частота вращения выходного вала	[об/мин]
n	Номинальное количество оборотов вала ротора	[об/мин]
J	Момент инерции массы	[кгм²]
J_{ext}	Внешний момент инерции массы	[кгм²]
J_{ext}	Внешний момент инерции массы относительно вала ротора двигателя	[кгм²]
J_{rot}	Момент инерции массы ротора	[кгм²]
F	Нагрузка	[Н]
m	Масса	[кг]
v	Скорость	[м/с]
a	Ускорение	[м/с²]
g	Ускорение силы тяжести	[м/с²]
P_{dyn}	Динамическая мощность	[кВт]
P_s	Статическая мощность	[кВт]
P	Мощность	[кВт]
M_2	Крутящий момент выходного вала	[Нм]
M_{2erf}	Необходимый крутящий момент привода	[Нм]
M_N	Номинальный крутящий момент на валу ротора	[Нм]
M_a	Тормозящий момент	[Нм]
M_L	Замедляющий или движущий момент нагрузки	[Нм]
M_{gr}	Удельный максимальный крутящий момент редуктора с передаточным числом i	[Нм]
M_{Br}	Номинальный момент тормоза	[Нм]
i	Передаточное число редуктора	
FI	Коэффициент инерции	

Процесс определения параметров привода

Параметры двигателя

Определение мощности двигателя

Необходимую мощность в целом можно рассчитать следующим образом:

$$P = \frac{F \times v}{\eta}$$

Как описано выше, процессы движения делятся на фазу ускорения (динамическая мощность), фазу с постоянной скоростью (статическая мощность) и фазу торможения (замедления).

В зависимости от процесса движения, сила F, которая должна преодолеть все виды сопротивления трансмиссии, такие как трение качения, сила трения, подъемная сила, ускорение, и т. д., очень сильно влияет на мощность и должна быть определена специально для конкретного случая применения.

С рекомендациями для правильного расчета мощности двигателя можно ознакомиться в главе 15.

Расчет необходимого крутящего момента

После определения мощности двигателя можно перейти к расчету необходимого крутящего момента выходного вала редуктора.

$$M_2 = \frac{P \times 9550}{n_2}$$

Расчет передаточного числа редуктора

Передаточное число редуктора является отношением номинальной скорости вращения двигателя (см. главу 15, таблица параметров двигателя) к желаемой частоте вращения выходного вала мотор-редуктора.

$$i = \frac{n}{n_2}$$

Определение размеров редуктора

Расчет коэффициента инерции

Коэффициент инерции FI является отношением суммы моментов инерции всех масс, приводимых в движение двигателем и преобразованных в скорость двигателя, включая момент инерции ротора двигателя, к моменту инерции ротора:

$$FI = \frac{J_{ext'} + J_{rot}}{J_{rot}} \quad \text{где} \quad J_{ext'} = \frac{J_{ext}}{i^2}.$$

Подбор мотор-редукторов

Процесс определения параметров привода

Определение типа ударной нагрузки

Ударная нагрузка (см. главы 6, 7, 8, и 9) рассчитывается исходя из коэффициента FI, типа передаточного элемента и относительного момента ускорения.

Определение минимального коэффициента эксплуатации f_{Bmin}

Исходя из рабочего времени за один день, частоты пусков и установленной ударной нагрузки, можно из таблиц в главах 6, 7, 8, и 9 получить коэффициент эксплуатации f_{Bmin}.

Теперь на основе этого минимального коэффициента эксплуатации f_{Bmin} по таблицам выбора подбирается мотор-редуктор, который обладает более высоким коэффициентом эксплуатации при требуемой частоте вращения выходного вала, крутящем моменте выходного вала и мощности двигателя.

Важно! Коэффициент эксплуатации относится только к статически необходимому крутящему моменту для данного применения, который должен перекрываться крутящим моментом выходного вала выбранного мотор-редуктора.
Динамическая составляющая при этом не учитывается.

Реальный коэффициент эксплуатации мотор-редуктора по отношению к статически необходимому крутящему моменту можно рассчитать следующим образом:

$$f_B = \frac{M_{gr}}{M_{2erf}}$$

В качестве последнего шага необходимо определить дополнительные элементы конструкции мотор-редуктора.

Расчет тормоза

В основном, функциональность использования тормозов определяется на основании количества энергии трения, возникающей при срабатывании стояночного или рабочего тормоза. Определение стояночного или рабочего тормоза дано в главе 16.

Как только станут известны все параметры и требования, необходимый тормозной момент можно рассчитать следующим образом:

$$M_{br} = M_a \pm M_L$$

$$M_a = \frac{J \times n}{9{,}55 \times t_a}$$

Если нет конкретной информации по применению, мы рекомендуем выбрать тормозной момент для установок с горизонтальным приводом с 1–1,5-кратным номинальным моментом двигателя.

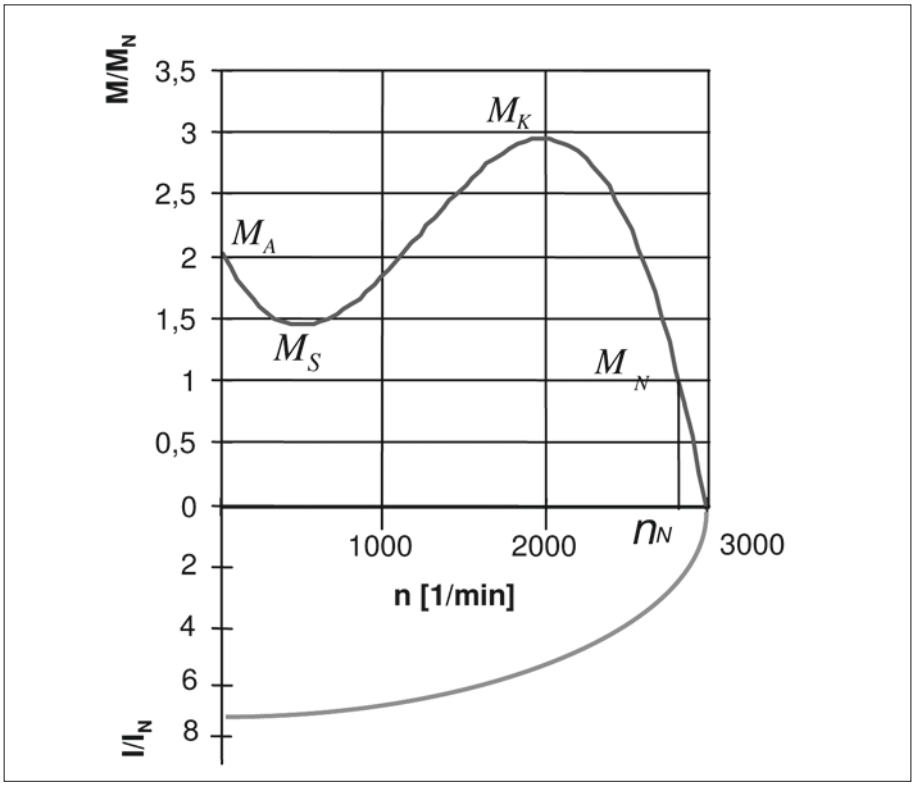
При использовании со значительными моментами инерции внешних масс (FI более 2) и с известной частотой пусков в час, размер тормоза в обязательном порядке должен быть определен по термически допустимой работе переключений. Подробные характеристики тормоза смотрите в главе 16.

Для подъемных механизмов по соображениям техники безопасности всегда следует выбирать двойной номинальный момент двигателя в качестве тормозного момента.

Механическая характеристика

Параметрическая кривая зависимости крутящиего момента от скорости вращения описывает рабочие характеристики асинхронного двигателя. Схематически представленные на диаграмме опорные точки крутящих моментов являются существенным критерием при выборе двигателя.

Кривая зависимости крутящего момента от скорости вращения



С помощью **начального пускового момента M_A**, называемого также моментом при заторможенном роторе, определяется ускорение оборудования или системы. При питании от сети следует учитывать, что указанные в характеристиках двигателя пусковые моменты, в большинстве случаев в виде отношения M_A/M_N, являются постоянными параметрами и не подвержены влиянию. Это означает, что желаемое ускорение может быть приблизительно достигнуто только в том случае, если двигатель работает непосредственно от сети. Режим работы через частотный преобразователь рассматривается отдельно

Минимальный крутящий момент M_S является минимальным крутящим моментом, проявляющимся во время разгона. Но в любом случае он должен быть больше действующего в данное время момента нагрузки, иначе привод не сможет разогнаться

Опрокидывающий момент M_K является максимальным крутящим моментом, который может развить двигатель. При увеличении нагрузки выше номинального момента M_n пробуксовка **s** продолжает расти, скорость вращения **n** уменьшается и двигатель развивает больший крутящий момент. Он может достичь максимального значения M_K. Затем двигатель «опрокидывается». Это означает, что его скорость вращения при данном значении пробуксовки (критическое скольжение) неожиданно падает. Когда пройден момент опрокидывания, нужно сразу снять нагрузку или отключить двигатель. В противном случае двигатель разрушается из-за стремительного нагревания

Номинальный крутящий момент M_N- это постоянно присутствующий при длительной эксплуатации крутящий момент при номинальной мощности P_N и номинальном числе оборотов n_N.

Подбор мотор-редукторов

Параметры двигателя

Динамическая мощность

Динамическая мощность является силой, которая дает ускорение всей системе (нагрузка, передаточные элементы, редуктор и двигатель).

$$P_{dyn} = \frac{m \times a \times v}{\eta}$$

P_{dyn}	Динамическая мощность [Вт]
m	Масса [кг]
a	Ускорение [м/с²]
v	Скорость [м/с]
ŋ	Коэффициент полезного действия

4

Статическая мощность

Статическая мощность учитывает все силы, проявляющиеся в условиях нулевого ускорения. К ним относятся, среди прочего, трение качения, силы трения, подъемная сила (с учетом подъема) и энергия ветра.

$$P_S = \frac{F_F \times v}{\eta}$$

P_S	Статическая мощность [Вт]
F_F	Сопротивление движению [Н]

Общая мощность P_G

$$P_G = P_{dyn} + P_S$$

$$P_G = \frac{m \times a \times v}{\eta} + \frac{F_F \times v}{\eta}$$

Горизонтальное движение, вращение и вертикальное движение верх	
Время разгона [с]	$t_A = \frac{\left(J_M + \frac{J_{ext}}{\eta}\right) \times n_M}{9{,}55 \times \left(M_A - \frac{M_L}{\eta}\right)}$
Частота пусков [раз/ч]	$Z = Z_0 \times \frac{1 - \left(\frac{M_L}{M_A \times \eta}\right)}{\left(\frac{J_S + \frac{J_{ext}}{\eta} + J_M}{J_M}\right)} \times K_L$
Вертикальное движение вниз	
Время разгона [с]	$t_A = \frac{\left(J_M + \frac{J_{ext}}{\eta}\right) \times n_M}{9{,}55 \times \left(M_A - (M_L \times \eta)\right)}$
Частота пусков [раз/ч]	$Z = Z_0 \times \frac{1 - \left(\frac{M_L \times \eta}{M_A}\right)}{\left(\frac{J_S + J_M + (J_{ext} \times \eta)}{J_M}\right)} \times K_L$

Выбор двигателя

Пример:

Необходимый динамический момент на двигателе (для ускорения): 126 Нм

Необходимый статический момент на двигателе: 70,0 Нм

Общий момент на двигателе: 196 Нм

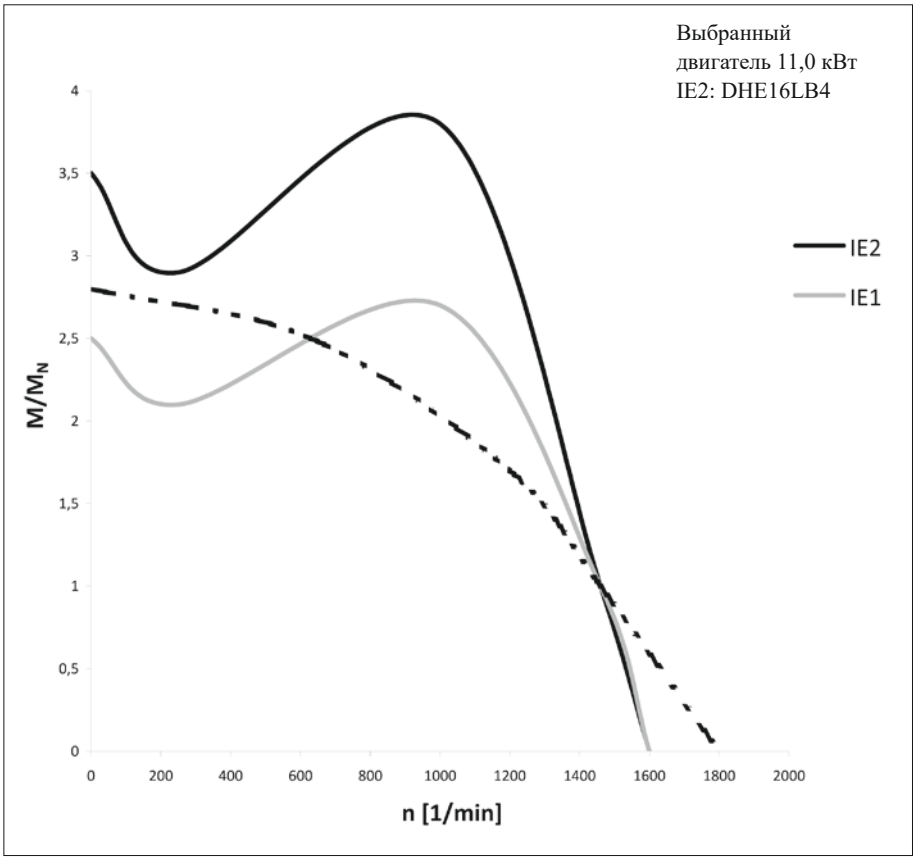
IE2

P_N [кВт]	Тип	n_N [об/мин]	M_N [Нм]	I_N 400 В [A]	cosφ	ŋ (нагрузка 100%) [%]	ŋ (нагрузка 75%) [%]	ŋ (нагрузка 50%) [%]	I_A/I_N	M_A/M_N	M_S/M_N	M_K/M_N	J_{rot} [кгм²]
7,5	DHE13LA4	1460	49	15,1	0,81	88,9	89,2	87,9	7,0	3,3	3,0	3,5	0,0345
9,5	DHE16MB4	1470	62	19,7	0,78	89,4	89,4	86,5	6,8	2,9	2,5	3,2	0,057
11	DHE16LB4	1470	71	22,5	0,78	90,3	90,0	88,3	7,9	3,5	2,9	3,8	0,076
15	DHE16XB4	1470	97	31	0,77	90,6	90,8	88,8	7,2	3,2	2,8	3,5	0,087
18,5	DHE18LB4	1470	120	35	0,83	91,5	91,7	90,0	7,9	3,6	3,0	3,3	0,160

IE1

P_N [кВт]	Тип	n_N [об/мин]	M_N [Нм]	I_N 400 В [A]	cosφ	ŋ (нагрузка 100%) [%]	ŋ (нагрузка 75%) [%]	ŋ (нагрузка 50%) [%]	I_A/I_N	M_A/M_N	M_S/M_N	M_K/M_N	J_{rot} [кгм²]
7,5	DSE13MA4	1440	50	15,3	0,81	87,5	87,8	87,1	6,2	2,8	2,5	3,2	0,02900
9,5	DSE13LA4	1440	63	19,2	0,82	87,1	87,5	87,5	6,0	2,9	2,6	3,0	0,03450
11	DSE16MB4	1460	72	22,6	0,81	87,7	88,0	87,3	6,0	2,5	2,1	2,7	0,05700
15	DSE16LB4	1460	98	29,5	0,83	88,9	89,2	88,9	6,1	2,5	2,1	2,8	0,07600
18,5	DSE16XB4	1460	121	37,5	0,81	89,3	89,9	88,5	6,1	2,6	2,2	2,8	0,08700

В связи со значительно большим начальным пусковым моментом (M_A) двигателей IE2 (M_A/M_N 3,5) по сравнению с двигателями IE1 (M_A/M_N 2,5) для этого примера можно использовать привод мощностью 11 кВт IE2 (DHE16LB4). В противном случае следует выбрать двигатель 15 кВт IE1 (DSE16LB).



Подбор мотор-редукторов

Параметры двигателя

Частота холостых пусков Z_0

Если частота пусков превышает нормальный уровень (ориентировочное значение около 60 пусков в час), то при проектировании привода следует учитывать дополнительную тепловую и, в зависимости от типа передачи, механическую нагрузку.

Частота пусков на холостом ходу Z_0 - это количество пусков двигателя в час на холостом ходу без посторонних моментов инерции (без нагрузки), при котором достигается допустимая температура обмотки для класса изоляции F.

Частота пусков на холостом ходу Z_0:

P_N [кВт]	Тип	Z_0 [раз/час]
0,12	DPE05LA4	65000
0,12	DPE06LA4	65000
0,18	DPE07LA4	47000
0,25	DPE08MA4	36000
0,37	DPE08LA4	27000
0,55	DPE08XA4	19000
0,75	DPE09LA4	15000
1,1	DPE09XA4	11000
1,5	DPE09XA4C	8700
2,2	DPE11MA4	6400
3	DPE11LA4	5000
4	DPE11LA4C	4000
5,5	DPE13LA4	3100
7,5	DPE13XA4	2400
9,5	DPE16LB4	2000
11	DPE16LB4	1800
15	DPE16XB4	1400
18,5	DPE18LB4	1200
22	DPE18XB4	1000

Частота пусков на холостом ходу снижается внешними нагрузками до допустимой рабочей частоты пусков. Влияние нагрузки объясняется коэффициентом инерции FI и коэффициентом нагрузки K_L.

Коэффициент нагрузки K_L

Коэффициент нагрузки учитывает относительную нагрузку *P/PN* и относительную продолжительность работы двигателя *ED* между двумя переключениями.

Допустимая частота пусков находится в квадратичной зависимости от относительной нагрузки. Влияние относительной продолжительности включения различно: на холостом ходу или при низкой нагрузке из-за продолжительного охлаждения *ED* дает разгрузочный эффект. При номинальной или высокой загрузке *ED* создает нагрузку из-за потери мощности.

Коэффициент нагрузки K_L для 4-полюсных двигателей рассчитывается следующим образом:

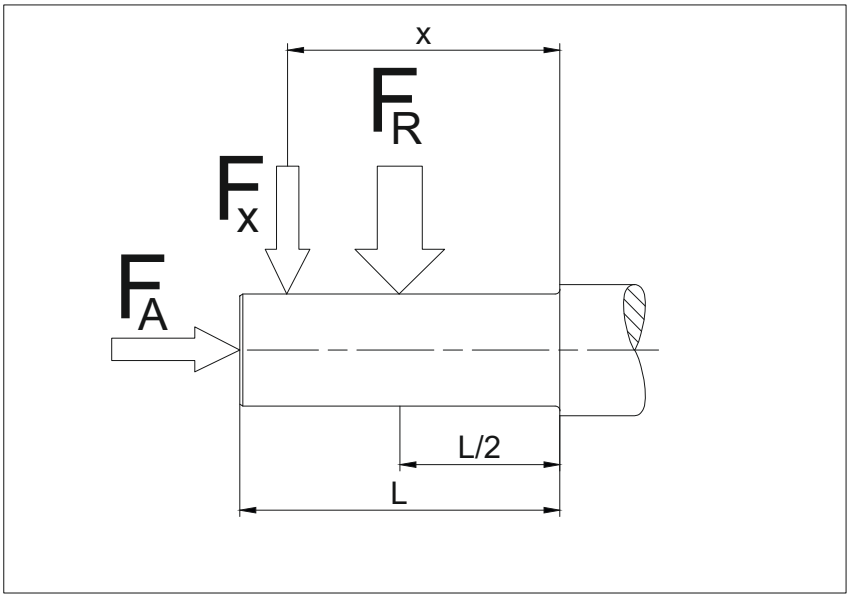
$$K_{L100} = 1 - \left(\frac{P}{P_n} \right)^{1,5}$$

$$K_L = 0,35 + (K_{L100} - 0,25) \times ED$$

Радиальные и осевые нагрузки на выходном валу

В таблицах подбора для каждого мотор-редуктора с цельным валом приведены допустимые значения радиальных нагрузок $F_{R\,(N,V)}$ относительно середины выходного вала x = I/2. Указанные значения действительны как для двигателей на лапах, так и для моделей с фланцами. Если точка приложения силы F_X находится не в центре, необходимо заново рассчитать допустимую радиальную нагрузку с учетом срока службы подшипников и прочности вала.

Максимально допустимая радиальная нагрузка в точке приложения силы X



$F_{R(N,V)}$	Допустимая радиальная нагрузка (x = I/2) в соответствии с таблицами выбора (Н)
X	Расстояние от буртика вала до точки приложения силы (мм)
F_A	Осевая нагрузка (Н)

Для оценки радиальной нагрузки, возникающей в точке приложения силы X, необходимо определить допустимые радиальные нагрузки в точке X для максимальной нагрузки подшипников и для прочности вала.

Если расчетные допустимые радиальные нагрузки в точке приложения силы X больше возникающей радиальной нагрузки, то привод можно использовать для данной цели.

Если расчетные значения недостаточны или точка приложения силы X находится за пределами длины выходного вала L, следует обратиться к нам за консультацией.

Предельная нагрузка подшипников

$$F_{XL1} = F_q \times \frac{0{,}5 + b}{\left(\frac{X}{I} + b\right)}$$

$$F_{XL2} = F_q \times \frac{0{,}5 + a}{\left(\frac{X}{I} + a\right)}$$

Подбор мотор-редукторов

Радиальные и осевые нагрузки на выходном валу

Прочность вала

$$F_{XW1} = F_{qmax} \times \frac{0,5}{\left(\frac{X}{l}\right)}$$

$$F_{XW2} = F_{qmax} \times \frac{0,5 + c}{\left(\frac{X}{l} + c\right)}$$

4

Так и есть:

F_q является допустимой поперечной силой F_{RN} для выбранного передаточного числа и подшипников (обычные или усиленные), или F_{RV} из таблиц подбора мотор- редукторов.

F_{qmax} является максимальной поперечной силой для выбранного размера привода по таблицам подбора мотор-редукторов, независимо от типа крепления (обычные или усиленные). Коэффициенты a, b и c представлены для каждого типа редуктора в последующих таблицах.

Цилиндрический редуктор серии BG

Типоразмер	Подшипники	Код выходного вала	l	a	b	c
BG04	обычные	-.1	24	0,5625	1,5000	-
BG05	обычные	-.1	28	0,5893	1,3929	-
BG06	обычные	-.1	30	0,6667	1,4167	-
BG10	обычные	-.1	40	0,7125	1,6750	-
		-.7		1,1000	2,0625	-
BG20	обычные	-.1	50	0,6100	2,2500	-
		-.7		0,9400	2,5800	-
BG30	обычные	-.1	60	0,5917	2,1750	-
		-.7		0,9417	2,5250	-
BG40	обычные	-.1	60	0,6917	2,3667	-
		-.7		1,0083	2,6833	-
BG50	обычные	-.1	80	0,5625	2,0000	-
		-.7		0,8563	2,2938	-
BG60	обычные	-.1	100	0,5300	2,0200	-
		-.7		0,7650	2,2550	-
BG70	обычные	-.1	120	0,4750	1,7292	-
		-.7		0,7292	1,9833	-
BG80	обычные	-.1	140	0,4286	1,7000	-
		-.7		0,6000	1,8714	-
BG90	обычные	-.1	200	0,3675	1,5300	-
		-.7		0,5825	1,7450	-
BG100	обычные	-.1	220	0,3477	1,4341	-
		-.7		0,5386	1,6250	-

Плоский цилиндрический редуктор серии BF

Типоразмер	Подшипники	Код выходного вала	l	a	b	c
BF06	обычные	-.1	50	0,4500	1,4100	-
BF10	обычные	-.1	60	0,5083	1,4833	-
		-.2		0,6500	1,6250	-
BF20	обычные	-.1	70	0,4286	1,3571	-
		-.2		0,5571	1,4857	-
BF30	обычные	-.1	80	0,3875	1,2563	-
		-.2		0,5688	1,4375	-
BF40	обычные	-.1	100	0,4050	1,2250	-
		-.2		0,5250	1,3450	-
BF50	обычные	-.1	120	0,3125	1,0625	-
		-.2		0,3959	1,1458	-
BF60	обычные	-.1	140	0,3286	1,0821	-
		-.2		0,4036	1,1571	-
	усиленные	-.1		-	-	0,2750
		-.2		-	-	0,3643
BF70	обычные	-.1	180	0,2722	1,0566	-
		-.2		0,3056	1,0889	-
	усиленные	-.1		-	-	0,2194
		-.2		-	-	0,2639
BF80	обычные	-.1	220	0,2878	1,3536	-
		-.2		0,2873	1,3518	-
	усиленные	-.1		-	-	0,2364
		-.2		-	-	0,2268
BF90	обычные	-.1	260	0,2500	1,4231	-
		-.2		0,2500	1,4231	-
	усиленные	-.1		-	-	0,2027
		-.2		-	-	0,1950

Подбор мотор-редукторов

Радиальные и осевые нагрузки на выходном валу

Конический редуктор серии BK

Типоразмер	Подшипники	Код выходного вала	l	a	b	c
BK06	обычные	-.1	50	0,4375	1,9875	-
		-.2		0,4375	1,9875	-
		-.7		0,9125	2,4625	-
		-.8		0,9125	2,4625	-
BK10	обычные	-.1	60	0,5917	2,2417	-
		-.2		0,5917	2,2417	-
BK20	обычные	-.1	70	0,5071	2,2357	-
		-.2		0,5071	2,2357	-
	усиленные	-.1		-	-	0,3929
		-.2		-	-	0,3929
BK30	обычные	-.1	80	0,5250	2,2750	-
		-.2		0,5250	2,2750	-
	усиленные	-.1		-	-	0,4125
		-.2		-	-	0,4125
BK40	обычные	-.1	100	0,4300	2,1700	-
		-.2		0,4300	2,1700	-
	усиленные	-.1		-	-	0,3400
		-.2		-	-	0,3400
BK50	обычные	-.1	120	0,4083	1,9417	-
		-.2		0,4083	1,417	-
	усиленные	-.1		-	-	0,3250
		-.2		-	-	0,3250
BK60	обычные	-.1	140	0,3536	1,8036	-
		-.2		0,3536	1,0836	-
	усиленные	-.1		-	-	0,3121
		-.2		-	-	0,2979
BK70	обычные	-.1	180	0,2861	1,6694	-
		-.2		0,2861	1,6694	-
	усиленные	-.1		-	-	0,2428
		-.2		-	-	0,2317
BK80	обычные	-.1	220	0,2818	1,5545	-
		-.2		0,2818	1,5545	-
	усиленные	-.1		-	-	0,2305
		-.2		-	-	0,2214
BK90	обычные	-.1	260	0,2519	1,6096	-
		-.2		0,2519	1,6096	-
	усиленные	-.1		-	-	0,1989
		-.2		-	-	0,1912

Червячный редуктор серии BS

Типоразмер	Подшипники	Код выходного вала	l	a	b	c
BS02	обычные	-.1	30	0,6000	2,1000	-
		-.2		-	-	-
		-.7		1,3333	2,8333	-
		-.8		-	-	-
BS03	обычные	-.1	40	0,4375	1,9875	-
		-.2		-	-	-
		-.7		0,9125	2,4625	-
		-.8		-	-	-
BS04	обычные	-.1	40	0,5375	1,7875	-
		-.2		-	-	-
BS06	обычные	-.1	50	0,4800	1,9400	-
		-.2		-	-	-
BS10	обычные	-.1	60	0,5917	2,3083	-
		-.2		-	-	-
BS20	обычные	-.1	70	0,5500	2,4357	-
		-.2		-	-	-
BS30	обычные	-.1	80	0,5312	2,4313	-
		-.2		-	-	-
BS40	обычные	-.1	120	0,4292	1,7042	-
		-.2		-	-	-

Передаточные элементы

При использовании передаточных элементов (таких как шестерни, звездочки, клиновые ремни и т.д.) можно рассчитать возникающие радиальные нагрузки следующим образом.

$$F_R = \frac{2000 \times M}{D_T} \times f_Z \leq F_{R(N,V)}$$

F_R Радиальная нагрузка [Н]
M Момент вращения [Нм]
D_T Делительная окружность передаточного элемента [мм]
f_Z Добавочный коэффициент

При определении возникающей радиальной нагрузки FR необходимо предусмотреть добавочный коэффициент f_Z, который зависит от типа передаточного элемента, установленного на выходном валу.

Коэффициент fz для типа передаточного элемента

Передаточный элемент	Добавочный коэффициент f_z	Примечания
Шестерни	1	=> 17 зубьев
Шестерни	1,15	< 17 зубьев
Звездочки	1	=> 17 зубьев
Звездочки	1,25	< 17 зубьев
Зубчатая рейка	1,15	< 17 зубьев (малая шестерня)
Клиновый ремень	2....2,5	из-за силы предварительного натяжения
Плоский ремень	2....3	из-за силы предварительного натяжения
Фрикционный диск	3....4	

Осевая нагрузка

Для максимальных осевых нагрузок FA на выходном валу (растягивающее усилие или давление) мотор-редукторов Bauer с лапой, фланцем или полым валом действительны следующие параметры:

$$F_A = 0{,}5 \times F_{R(N,V)}$$

При больших осевых нагрузках необходимо согласование с изготовителем.

Подбор мотор-редукторов

Подбор по коэффициенту полезного действия

Подбор привода по коэффициенту полезного действия

В соответствии со стандартом IEC 60034-30-1 и Директивой ЕС ErP 2009/125/EC становится необходимым использование энергосберегающих ресурсов в промышленности, теперь и с юридической точки зрения.
В области промышленного применения электродвигатели являются сегодня крупнейшими потребителями электроэнергии (около 70 %). Они используются во всех областях для решения различных задач, например в вентиляторах, насосах, мельницах, прокатных станах, подъемных механизмах, транспортных средствах, транспортировочных устройствах, бытовой и офисной технике.
В связи с такой широкой областью применения системы с электроприводом являются одним из главных объектов политики энергосбережения. Поскольку электрические машины являются крупными потребителями электроэнергии, даже небольшое повышение эффективности даст большую экономию.
Во многих областях, прежде всего в подъемно-транспортном оборудовании, требуется снижение числа оборотов асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым
мов передачи тягового усилия или внешних/интегрированных механизмов для изменения передаточного числа. В области экономии энергии нельзя пренебрегать эффективностью таких приводов и передаточных средств.

Коэффициент полезного действия системы рассчитывается следующим образом:

$$\eta_{Система} = \eta_{Эд.дв} \times \eta_{Редуктор} \times \eta_{Оборудование}$$

Экономичный двигатель: $\eta_{Мотор}$

В соответствии с Постановлением о двигателях 16640/2009/EC, юридически обязательная директива ЕС ErP 2009/125/EC определяет IE3 (Premium Efficiency) как минимальный коэффициент полезного действия для новых двигателей, работающих в режиме непрерывной эксплуатации (S1) ≥ 0,75 кВт, с 1-го. Января 2017 года.

Выбор правильного размера и типа двигателя целесообразно производить, исходя из новых требований к двигателям серии IE3 с точки зрения экологичности и экономичности.

Новый Регламент (ЕС) 2019/1781 расширяет сферу применения соответствующих двигателей в эксплуатационных характеристиках и ассортименте продукции и устанавливает новые обязательные даты введения в действие - 1 июля 2021 года и 1 июля 2023 года.

Математический расчет КПД при частичной нагрузке

В таблицах параметров двигателей указывается коэффициент полезного действия двигателя в соответствии с Постановлением о двигателях (EU) 2019/1781 для различной степени загрузки: 50 %, 75 % и 100 %.
По значениям КПД при нагрузке 100 % и 75 % можно, как показано ниже, приблизительно рассчитать каждую точку частичной нагрузки и оценить энергетический баланс в каждом конкретном случае.

$$R_{VL} = \frac{\left(\frac{100}{\eta_{100}} - 1\right) - 0{,}75 \times \left(\frac{100}{\eta_{75}} - 1\right)}{0{,}4375}$$

$$R_{VO} = \left(\frac{100}{\eta_{100}} - 1\right) - R_{VL}$$

$$\eta_P = \frac{100}{\left(1 + \frac{R_{VO}}{p}\right) + R_{VL} \times p}$$

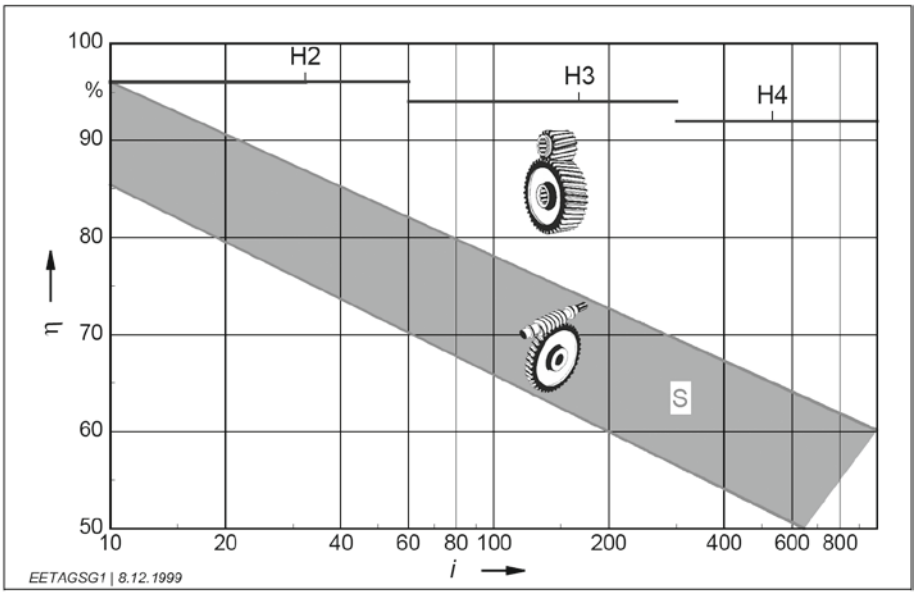
где

η_{100}	КПД при нагрузке 100 %
η_{75}	КПД при нагрузке 75 %
RVL, RVO	Промежуточные результаты
p	Частичная нагрузка, (значения от 0 до 1 или перегрузка)
η_P	КПД в точке частичной нагрузки p

КПД редуктора $\eta_{Редуктор}$

Сравнение общего потенциала экономии в режиме непрерывной работы S1 редукторов и двигателей показывает, что потенциал экономии у редукторов значительно выше, чем у двигателей. Коэффициент полезного действия редукторов зависит, главным образом, от геометрии зубчатых зацеплений и коэффициентов трения подшипников и уплотнений. При высокой частоте вращения на входе и вертикальной конструкции, когда первая ступень передачи полностью вращается в масле, нельзя пренебречь потерями от сопротивления масляной ванны. Вообще, следовало бы избегать вертикальных конструкций.

У червячных передач КПД очень зависит от скорости вращения (см. график). Червячные редукторы Bauer, начиная с типоразмера BS04, предлагаются с цилиндрическим косозубым колесом. Это позволяет получить очень высокие передаточные отношения и более высокую эффективность, чем у червячных передач в чистом виде. Для двухступенчатых червячных редукторов с цилиндрической зубчатой передачей можно принять размер потерь 2 % на каждую ступень.



Ориентировочные значения коэффициента полезного действия (ŋ) для передачи с цилиндрическим косозубым колесом (H) с 2, 3 или 4 ступенями, по сравнению с червячной передачей (S) зависят от передаточного числа (i), соотнесенного с номинальной мощностью редуктора.

КПД оборудования $\eta_{Оборудование}$

При рассмотрении общей эффективности потенциал экономии в системе привода является наивысшим. Конструкторы и инженеры всегда должны стремиться к оптимизации передаточных элементов

Передаточный элемент	Условия	КПД
Тросы	Полный обхват шкива (на опоре скольжения или качения)	0,91-0,95
Клиновые ремни	Полный обхват клиноременного шкива (нормальное натяжение ремня)	0,88-0,93
Полимерные ремни	Полный обхват/ролики на опоре качения (нормальное натяжение ремня)	0,81-0,85
Резиновые ремни	Полный обхват/ролики на опоре качения (нормальное натяжение ремня)	0,81-0,85
Зубчатые ремни	Полный обхват/ролики на опоре качения (нормальное натяжение ремня)	0,90-0,96
Цепи	Полный обхват/шестерни на опорах качения (зависит от размера цепи)	0,90-0,96
Шпиндели	Трапецевидная винтовая ось Шариковый винт	0,30 – 0,70 0,70 – 0,95
Редуктор	2 % для каждой ступени цилиндрической и конической передачи, для червячной и других типов зубчатого зацепления - по данным изготовителя	0,94-0,98

Подбор мотор-редукторов

Ударные нагрузки производственного оборудования

В стандартах и директивах, в отраслевой документации и документах отдельных производителей оборудованию присваивается класс ударной нагрузки. Если, например, дробилке или прессу присвоен класс ударной нагрузки III, то это оправдано. С другой стороны, ленточный конвейер, отнесенный при благоприятных условиях к классу ударной нагрузки I, при повторно-кратковременном режиме работы, высокой скорости и изменении передаточного отношения из-за провисшей цепи может быстро перейти в класс ударной нагрузки III.
Поэтому не нужно безоговорочно принимать классификацию следующей таблицы. Она служит для примерной ориентации. При окончательном назначении класса ударной нагрузки следует учитывать критерии, определенные компанией Bauer - прежде всего, коэффициент инерции, частоту пусков и передаточные элементы.

Область применения привода	Класс ударной нагрузки		
Строительные машины			
Строительные подъемники		II	
Бетономешалки		II	
Дорожно-строительные машины		II	
Химическая промышленность			
Холодильные барабаны		II	
Смесители		II	
Мешалки (для легких сред)	I		
Мешалки (для вязких сред)		II	
Сушильные барабаны		II	
Центрифуги (легкие)	I		
Центрифуги (тяжелые)		II	
Подъемно-транспортное оборудование			
Подъемные лебедки		II	
Подъемники			III
Ленточные транспортеры		II	
Ленточный конвейер (для сыпучих материалов)	I		
Ленточный конвейер (для штучных грузов)		II	
Ковшовые элеваторы		II	
Ленточно-цепные конвейеры		II	
Круговые транспортеры		II	
Грузовые лифты		II	
Мучные ковшовые элеваторы	I		
Пассажирские лифты		II	
Пластинчатые конвейеры		II	
Шнековые транспортеры		II	
Ковшовые элеваторы для щебня		II	
Наклонные подъемники			III
Конвейеры со стальной лентой		II	
Цепные конвейеры		II	
Воздуходувки, вентиляторы			
Ротационные воздуходувки		II	
Воздуходувки (осевые и радиальные)	I		
Вентиляторы башенных охладителей		II	
Вытяжные вентиляторы		II	

Область применения привода	Класс ударной нагрузки		
Резиновое производство			
Экструдеры			III
Каландры		II	
Мешалки			III
Смесители		II	
Вальцовки			III
Деревообработка			
Окорочные барабаны			III
Строгальные станки		II	
Деревообрабатывающие станки	I		
Дисковые пилы			III
Крановые установки			
Стрелоподъемные механизмы	I		
Ходовые механизмы			III
Подъемные механизмы	I		
Поворотные механизмы		II	
Механизмы изменения вылета стрелы		II	
Производство синтетических материалов			
Экструдеры		II	
Каландры		II	
Смесители		II	
Измельчители		II	
Металлообработка			
Листогибочные машины		II	
Листоправильные машины			III
Молоты			III
Строгальные станки			III
Прессы			III
Ножницы		II	
Кузнечные прессы			III
Штамповочные прессы			III
Переборы, карданные передачи	I		
Металлообрабатывающие станки (основные)		II	
Металлообрабатывающие станки (вспомогательные)	I		

Ударные нагрузки производственного оборудования

Область применения привода	Класс ударной нагрузки		
Производство пищевых продуктов			
Фасовочные машины	I		
Месильные машины		II	
Утфелемешалки		II	
Упаковочные машины	I		
Измельчители сахарного тростника		II	
Вальцовые прессы для сахарного тростника			III
Резаки для сахарной свеклы		II	
Мойки для сахарной свеклы		II	
Производство бумаги			
Гауч-прессы			III
Лощильные цилиндры			III
Голландеры		II	
Дефибреры			III
Каландры		II	
Мокрые прессы			III
Волк-машины			III
Отсасывающие прессы			III
Отсасывающие валы			III
Сушильные цилиндры			III
Камни, земля			
Дробилки			III
Вращающиеся печи			III
Молотковые дробилки			III
Барабанные шаровые мельницы			III
Ударные мельницы			III
Кирпичные прессы			III
Текстильное производство			
Намоточные устройства		II	
Набивные машины и красильни		II	
Дубильные барабаны		II	
Волк-машины		II	
Ткацкие станки		II	

Область применения привода	Класс ударной нагрузки		
Прокатные станы			
Ножницы для резки листового металла			III
Кантователи листов		II	
Печные выталкиватели			III
Блюминги и обжимные прокатные станы			III
Транспортировщики слитков			III
Волочильные станы		II	
Установки для удаления окалины			III
Тонколистовые прокатные станы			III
Толстолистовые прокатные станы			III
Моталки (для ленты и проволоки)		II	
Станы холодной прокатки			III
Цепные шлепперы		II	
Ножницы для резки слитков			III
Холодильники прокатного стана		II	
Поперечный шлеппер		II	
Рольганги (легкие)		II	
Рольганги (тяжелые)			III
Роликовые правильные машины		II	
Трубосварочные машины			III
Кромкообрезные ножницы		II	
Обрезные ножницы для отрезания переднего края рулона металла			III
Установки непрерывной разливки			III
Устройство регулировки валов		II	
Манипуляторы			III
Прачечные			
Барабанные сушки		II	
Стиральные машины		II	
Водоподготовка			
Центробежные аэраторы		II	
Водоподъемные шнеки		II	