

Статья по сферам применения, рекомендациям применения различных типов редукторов (R, F, K, NMRV)

Механический редуктор - передающий и преобразующий крутящий момент механизм с одной или более механическими передачами. Основные характеристики редуктора — КПД, передаточное отношение, максимальные угловые скорости валов, максимально допустимые крутящий момент и радиальная нагрузка, уровень шума.

Редукторы делятся на семь основных видов: цилиндрические, конические, червячные, планетарные, волновые, спироидные и комбинированные. В данной статье мы рассмотрим наиболее распространенные червячные (**тип NMRV**), цилиндрические (плоско-цилиндрические - **тип F**), коническо-цилиндрические – **тип K**, соосно-цилиндрические – **тип R**) типы редукторов.

Червячный редуктор (тип NMRV) – состоит из винта (червяка), косозубого колеса (червячного колеса) и имеют развернутое под 90 градусов расположение выходного вала. К достоинствам червячного мотор-редуктора можно отнести:

1. низкая стоимость – цена на червячный мотор-редуктор в сравнении с цилиндрическими со схожими характеристиками ниже.
2. компактность - червячный мотор-редуктор будет значительно меньшего размера по сравнению с аналогичным мотор-редуктором с зубчатой передачей с одним и тем же передаточным числом редуктора.
3. широкий диапазон передаточных чисел - передаточное число червячной пары в стандартном исполнении может достигать 1:110, а в специализированном 1000 и более.
4. низкий уровень шума передачи и плавность хода - благодаря особенностям зацепления червячной пары редукторы обладают большей плавностью хода и меньшим уровнем шума по сравнению с цилиндрическими.
5. самоторможение червячной пары – при отсутствии вращения ведущего вала (червяка) ведомый вал затормаживается и его невозможно повернуть. Это свойство начинает проявляться при передаточных числах от 35 и выше.

К основным недостаткам можно отнести:

1. низкий КПД - КПД снижается с увеличением передаточного отношения за счет повышения трения скольжения витков червяка о зубья червячного колеса.
2. нагрев редуктора – энергия затраченная на преодоление силы трения в червячной паре (энергия, которая не была передана на выходной вал) преобразуется в тепло и рассеивается в окружающую среду поверхностью корпуса редуктора.
3. маленький ресурс работы – увеличенный износ из-за наличия повышенного по сравнению с другими типами редукторов трения скольжения в зацеплении.
4. ограничение по передаваемой мощности - червячную передачу не рекомендуется использовать при передаваемой мощности более 15 кВт.
5. ограничение в использовании - не рекомендуется использовать при частых пусках и неравномерной нагрузке на выходной вал.
6. люфт выходного вала - в случае с червячной передачей этот фактор имеет свойство увеличиваться по мере износа червячной пары.

Червячные редукторы применяются для конвейеров, транспортеров, подъемников, механических мешалок, насосов, приводов ворот, станков для обработки металла и дерева, где нет больших ударных нагрузок и невысока периодичность включения.

Цилиндрические редукторы (тип K, F, R) представляют одну из самых больших групп редукторов. Цилиндрические передачи подразделяются на одно-, двух-, трех- и четырехступенчатые. Данная характеристика представлена исходя из оценки фактора количества ступеней. Также существует еще одна классификация – по расположению валов, входного и выходного. По такому типу цилиндрические редукторы делятся на соосные (тип R), параллельноосные (тип F) и с угловым расположением осей (тип K). Коническо-цилиндрические редукторы (тип K) независимо от числа ступеней изготавливают с конической ступенью, т.е. быстроходный и тихоходный вал повернуты относительно друг друга на 90°. Валы ступеней могут располагаться по одной вертикальной или горизонтальной оси, что сказывается на размерах корпуса редуктора, либо смещены друг относительно друга. К достоинствам цилиндрического мотор-редуктора можно отнести:

1. высокий КПД – за счет незначительных сил трения в зацеплении, цилиндрические редукторы позволяют передавать усилие с высокой эффективностью, что обеспечивает их КПД в районе 95-99%.
2. низкий нагрев редуктора – за счет малых сил трения на ее преодоление затрачивается не значительное количество энергии, что обуславливает низкое тепловыделение и увеличивает эксплуатационный ресурс редуктора.
3. способность передавать высокие мощности - высокий КПД и незначительные механические потери позволяют передавать большие мощности на выходной вал, что в повышает энергоэффективность установки в целом.
4. надежность работы при частых пусках и неравномерной нагрузке – данные режимы работы не приводят к увеличению износа в отличие от редукторов червячного типа.
5. малый люфт выходного вала – цилиндрические редукторы обладают высокой относительно других типов редукторов кинематической точностью.

Из недостатков цилиндрических редукторов обычно выделяют следующие пункты:

1. ограничение по передаточному числу - передаточное отношение одноступенчатого редуктора не больше 6,3.
2. повышенная шумность - При работе цилиндрического редуктора линия контакта не постоянна, а возникает вновь при вхождении в контакт очередной пары зубьев.
3. установочные габариты – использование для передачи момента только цилиндрических шестерней приводит к увеличению габаритных размеров редуктора.

Цилиндрические редукторы являются одним из наиболее распространенных типов редукторов, которые применяются в различных областях, начиная от машиностроения и заканчивая робототехникой. Основной причиной такого распространения является высокий КПД цилиндрических редукторов, что делает его использование наиболее экономически выгодным.

Ниже приведена сводная таблица с основными сведениями о редукторах рассматриваемых типов, которые могут повлиять на выбор оборудования.

Критерий сравнения	Цилиндрические редукторы	Червячные редукторы
КПД	96-98% (в зависимости от количества ступеней)	Менее 95%. Чем меньше передаточное число, тем ниже КПД. Например, для $i=7,5$ КПД ~90%, для $i=30$ КПД ~80%, для $i=100$ КПД ~50% и т.д.
Максимальный распространенный габарит	187	150
Максимальный крутящий момент для указанного габарита	50000	1360
Диапазон распространенных передаточных чисел	3-300	7,5-110
Шум в составе мотор-редуктора (относительно рассматриваемых типов редукторов)	Высокий	Низкий
Ограничения в использовании	Нет	Не рекомендуется использовать при частых пусках и неравномерной нагрузке на выходной вал
Нагрев (относительно рассматриваемых типов редукторов)	Низкий	Высокий. Чем выше передаточное число, тем больше нагрев.
Дополнительные условия	<ol style="list-style-type: none"> При реверсивном режиме работы и в случае применения редукторов в механизмах повышенной ответственности крутящий момент на тихоходном валу должен быть понижен на 25%. Крутящий момент на тихоходном валу в повторно-кратковременном режиме работы должен быть понижен при числе пусков «а» в час соответственно: $4 \leq a \leq 30$ - на 16%; $30 \leq a \leq 120$ - на 20%; $120 \leq a \leq 240$ - на 30%. Для двухсторонних валов допускаемые радиальные консольные нагрузки должны быть снижены на 50% 	<ol style="list-style-type: none"> В случае применения редуктора с расположением червячного вала над колесом величину нагрузки необходимо понизить на 20%. При реверсивном режиме работы и в случае применения редукторов в механизмах повышенной ответственности крутящий момент на тихоходном валу должен быть понижен на 25%. При эксплуатации редукторов в повторно-кратковременном режиме работы без остановок свыше 30 минут режим считается непрерывным. В непрерывном режиме работы редукторы передаточное число >50 применять не рекомендуется. Крутящий момент на тихоходном валу в повторно-кратковременном режиме работы должен быть понижен при числе пусков «а» в час соответственно: $4 \leq a \leq 30$ - на 16%; $30 \leq a \leq 120$ - на 20%; $120 \leq a \leq 240$ - на 30%. Для двухсторонних валов допускаемые радиальные консольные нагрузки должны быть снижены на 50%. Червячную передачу не рекомендуется использовать при передаваемой мощности более 15 кВт
Люфт выходного вала (относительно рассматриваемых типов редукторов)	не большой	большой
Цена (относительно рассматриваемых типов редукторов)	выше	ниже
Срок службы (80 %-й ресурс) передачи	~ 20000 часов	~ 10000 часов

По результатам оценки информации вынесенной в таблицу можно ошибочно заключить, что использование червячных редукторов с передаточным числом более 30 не оправдано. Но наличие эффекта самоторможения, относительно низкий уровень шума и не высокая стоимость зачастую являются весомыми аргументами при выборе редуктора червячного типа для оборудования:

Ниже приведена таблица с идентичными по передаточному числу и выходным оборотам редукторам разных типов, а так же ориентировочная розничная цена, за исходный для аналогов берем червячный редуктор NMRV 130 габарита с передаточным числом 20, оборотах выходного вала 70 об/мин и номинальным выходным моментом 615 Нм. При этом необходимо учитывать, что диаметр входного и выходного вала у редукторов разных типов могут отличаться и требуют дополнительной проверки.

Характеристика	Тип редуктора			
	Червячный (NMRV)	соосно-цилиндрические (R)	плоско-цилиндрические (FA)	коническо-цилиндрические (KA)
Габарит	130	77	67	67
Передаточное число (i)	20	18,8	20,9	19,3
Обороты выходного вала (n2), об/мин	70	76	68	74
Номинальный выходной момент (M), Нм	615	690	770	710
Сервис фактор (Sf)	1,2	1,15	1,05	1,05
Номинальная радиальная консольная нагрузка (Fr), Н	7 057	9 240	10 800	11 200
Мощность ЭД (P), кВт	5,5	5,5	5,5	5,5
Высота корпуса редуктора, мм	335	228	317	226
Ширина корпуса редуктора, мм	170	235	210	153
Длина корпуса редуктора, мм	327,5	300	150	274
Цена, руб.*	24 154	31 574	30 388	37 140

* - по ценам 2018г.

Далее для сравнения приведена аналогичная таблица редукторов малого габарита, за исходный для аналогов берем червячный редуктор NMRV 40 габарита с передаточным числом 20, оборотах выходного вала 70 об/мин и номинальным выходным моментом 39 Нм.

Характеристика	Тип редуктора			
	Червячный (NMRV)	соосно-цилиндрические (R)	плоско-цилиндрические (FA)	коническо-цилиндрические (KA)
Габарит	40	27	37	37
Передаточное число (i)	20	19,35	19,27	20,19
Обороты выходного вала (n2), об/мин	70	71	72	68
Номинальный выходной момент (M), Нм	39	50	49	52
Сервис фактор (Sf)	1,11	2,6	4,1	3,6
Номинальная радиальная консольная нагрузка (Fr), Н	1829	2920	4650	4350
Мощность ЭД (P), кВт	0,37	0,37	0,37	0,37
Высота корпуса редуктора, мм	121,5	147	252	164
Ширина корпуса редуктора, мм	78	151	172	123
Длина корпуса редуктора, мм	120	193	123	210
Цена, руб.*	3 360	15 210	17 657	17 081

* - по ценам 2018г.

Согласно приведенных табличных данных, современные цилиндрические редукторы не значительно отличаются габаритными размерами от червячных редукторов, а в больших габаритах даже меньше, т.е. при проектировании нового оборудования или в большинстве случаев модернизации старого оборудования преимущество «компактность» червячных редукторов начиная от 40 габарита становится не актуальным. Низкая стоимость червячных редукторов больших габаритов уравнивается удвоенным ресурсом цилиндрических редукторов, но при не частом использовании механизма использование червячной передачи может быть оправданно, в целом применение червячного редуктора снижает первичные затраты, но увеличивает эксплуатационные.

Таким образом цилиндрический редуктор является наиболее эффективным решением для любой приводной системы, в которой не требуется эффект самоторможения редуктора и передаваемая мощность более 7,5 кВт.

Использование червячного редуктора может быть оправдано:

1. При повышенных требованиях к уровню шума.
2. При наличии потребности в самоторможении.
3. Потребность в компактности (справедливо только для малых габаритов).
4. Ограниченность в денежных средствах.
5. При отсутствии частых пусков и неравномерной нагрузки на выходной вал.