

УКАЗАТЕЛЬ ТЕХНИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ

1. ВВЕДЕНИЕ	2
2. ЭЛЕМЕНТЫ ПЕРЕДАЧИ	2
2.1 Зубчатые передачи	2
2.2 Прямозубые передачи	3
2.3 Реечные передачи	4
3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИМЕЧАНИЯ	4
3.1 Соединение	4
3.2 Рабочее расстояние	4
3.3 Смазка	5
3.4 Механическая обработка	5
3.5 Материалы	5
4. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ	5
ГЛОССАРИЙ	6



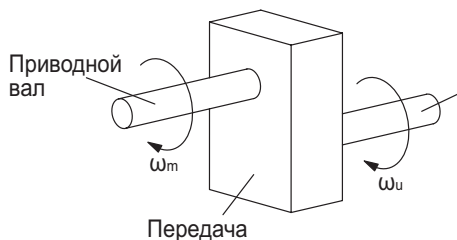
Machine elements

1. ВВЕДЕНИЕ

Механическая зубчатая передача состоит из ряда элементов, необходимых для передачи мощности в механической системе, и обеспечивает передачу энергии от двигателя на рабочий механизм в течение определенного периода времени:



Передача мощности двигателя на зубчатую передачу обычно происходит через ведущий вал. Рабочий вал (также называемый ведомым валом) в свою очередь передает мощность от зубчатой передачи на рабочий механизм.



Мощность, достигающая рабочего механизма, всегда отличается от мощности, передаваемой двигателем. По сути, во время передачи часть мощности рассеивается при трении или нагреве. Для определения фактической расходуемой мощности по сравнению с генерируемой используется значение КПД η :

$$\eta = \frac{P_u}{P_m} = \frac{M_r \cdot \omega_u}{M_m \cdot \omega_m} < 1$$

где:

- Приводная мощность (P_m) = Полезная мощность (P_u) + Рассеянная мощность (P_d).
- M_m и M_r являются крутящим моментом и моментом сопротивления, соответственно.
- ω_m и ω_u являются угловой скоростью ведущего вала и угловой скоростью ведомого вала, соответственно.

Приводная мощность обычно выражается в виде:

$$P_m [W] = M_m [Nm] \cdot \omega_m \left[\frac{\text{rad}}{s} \right] = \frac{M_m [Nm] \cdot n_m [\text{rpm}]}{9.55} \quad \text{где} \quad \omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$$

Где n_m – это количество оборотов ведущего вала, выраженное в оборотах в минуту (об/мин), и 9,55 в качестве коэффициента преобразования для перевода числа радиан в секунду в об/мин.

Характерным параметром передачи является **передаточное отношение τ** , то есть отношение угловой скорости ведущего вала к угловой скорости ведомого вала:

$$\tau = \frac{\omega_m}{\omega_u} = \frac{n_m}{n_u}$$

$\tau > 1$: передача с понижением
 $\tau = 1$: передача без изменения
 $\tau < 1$: передача с повышением

2. ЭЛЕМЕНТЫ ПЕРЕДАЧИ

Для обеспечения передачи движения, как описано в предыдущем пункте, требуются специальные механические детали. Зубчатая передача – это механизм, используемый для передачи движения и/или механического момента от одного объекта к другому. Обычно она состоит из двух или более зубчатых колес, которые могут быть одинакового или разного размера. Одно из двух колес передает движение (ведущее зубчатое колесо) на другое (ведомое зубчатое колесо). Ведомое колесо вращается в направлении, противоположном направлению вращения ведомого колеса. Малые зубчатые колеса обычно называются шестерней, а большие – просто колесом. Существуют несколько различных типов зубчатых передач, среди которых наиболее распространенными являются: прямозубые, косозубые, конические, реечные и червячные. Каждый тип зубчатых передач обеспечивает передачу движения между осями с разным расположением.

2.1 ТЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Зубчатые передачи передают мощность между твердыми телами через взаимодействие последовательно зацепляющихся зубьев. Окружность, вдоль которой происходит зацепление двух зубчатых колес, называется **делительной окружностью**. Расстояние между центрами делительных окружностей колес называется **рабочим расстоянием**.

Профиль зубьев может иметь различную форму. Наиболее распространенными являются зубья с **эвольвентным профилем**. Эвольвента – это траектория движения точки, принадлежащей прямой, перекачивающейся без скольжения по окружности.

В большинстве случаев зубья получают при смещении инструмента в радиальном направлении по делительной поверхности. Головкой зуба называется часть, выступающая за делительную поверхность и расположенная между делительной окружностью и окружностью вершин зубьев. Часть между делительной окружностью и окружностью впадин называется ножкой зуба. Каждая из боковых поверхностей зуба называется профилем. Он разделен на две части из делительной окружности: внешняя называется **поверхностью головки зуба**, внутренняя – **боковой поверхностью зуба**.

Профиль зуба (рисунок 1) может быть разделен на две части: **высоту головки (h_a)** – радиальное расстояние между **делительной окружностью (d)** и **окружностью вершин зубьев (d_a)**; **высоту ножки (h_f)** – радиальное расстояние между делительной окружностью и **окружностью впадин зубьев (d_f)**, разграничивающее основание зубьев. Сумма этих двух размеров составляют **высоту зуба (h)**.

Шаг **зацепления (p)** – это расстояние между двумя одноименными точками двух соседних зубьев, измеренное по делительной окружности. Ширина **впадин (e)** – это длина дуги делительной окружности между двумя соседними зубьями. Толщина **зуба (s)** – это длина дуги делительной окружности между торцами одного зуба. Наконец, ширина **венца (b)** – это ширина зуба по его оси.

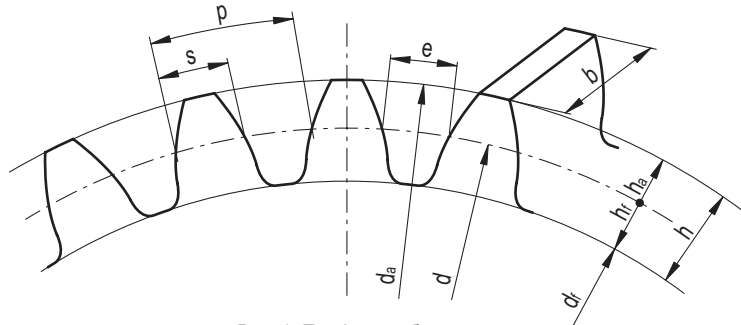


Рис. 1. Профиль зубьев

Для обеспечения надлежащего зацепления два зубчатых колеса с радиусом делительной окружности, равным r_1 и r_2 , должны иметь одинаковый шаг p . Таким образом, шаг зацепления зависит от делительной окружности следующим образом:

$$2\pi \cdot r_1 = p \cdot z_1 \quad \text{и} \quad 2\pi \cdot r_2 = p \cdot z_2$$

где z – это количество зубьев на колесе. Отсюда можно выполнить основное измерение для использования зубчатых передач, т. е. **модуль (m)**:

$$m = \frac{p}{\pi} = \frac{d_1}{z_1} = \frac{d_2}{z_2}$$

Надежное зацепление достигается за счет одинакового шага p двух зубчатых колес, поэтому их модуль m должен быть одинаковым.

Количество зубьев также может зависеть от передаточного отношения τ согласно следующей формуле:

$$\tau = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{r_2}{r_1}$$

Другим необходимым условием для зацепления двух зубчатых колес является одинаковый угол наклона линии зуба. Зубья ведущего колеса передают на зубья ведомого колеса силу F , направление действия которой формирует угол зубчатого зацепления α с общей касательной к двум делительным окружностям. Значение угла зубчатого зацепления α влияет на минимальное количество зубьев на колесе, обеспечивающих эвольвентную форму профиля. Угол зубчатого зацепления у элементов зубчатой передачи от ELESА равен 20° .

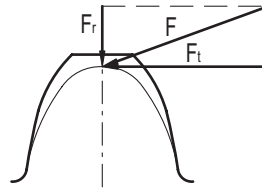
2.2 Прямозубые передачи

Прямозубые передачи являются самым распространенным видом зубчатых передач. Зубья расположены на внешней (или внутренней) поверхности колеса. В частности, прямозубые зубчатые передачи используются для передачи вращательного движения между двумя параллельными осями (или валами).

Данные о максимальном крутящем моменте, отображенные в таблицах технических характеристик, являются результатом теоретических расчетов и экспериментальных данных, полученных в лаборатории.

Теоретические расчеты выполнены по формуле Льюиса. Согласно этой формуле зуб, входящий в зацепление, не поддается изгибанию под действием силы F (принимаемой как статическая сила), передаваемой зубчатыми колесами. Эта теория основана на следующих предположениях:

- напряжение общей силы F приложено к вершине зуба
- радиальная составляющая силы (F_r), которая определяет напряжения сжатия на зуб, считается незначительной; из этого следует, что в расчет принимается составляющая силы F , определяющая изгиб зуба, и, для простоты, имеет то же значение, что и тангенциальная сила (F_t), приложенная на делительную окружность
- для расчета принимается во внимание наиболее неблагоприятная ситуация, когда в зацеплении участвует только одна пара зубьев



Затем сила (F_t) соотносится с крутящим моментом M при помощи диаметра делительной окружности:

$$M = F_t \cdot \frac{d}{2}$$

Экспериментальные данные получены путем проведения лабораторных испытаний и проверены программным обеспечением с учетом положений Директивы VDI 2736 по разработке технополимерных зубчатых колес. Испытания проводились в крайне жестких условиях при непрерывной эксплуатации со скоростью 100–150 об/мин без какой-либо смазки.

Значения крутящих моментов, указанные в таблицах технических характеристик, являются приблизительными и не могут считаться действительными для каждого возможного применения. Условия эксплуатации (об/мин, рабочая температура, соединение с элементами зубчатой передачи, изготовленными из различных материалов, наличие или отсутствие смазки, коэффициент условий эксплуатации и т. д.) сильно влияют на производительность.

Инженер-конструктор должен учитывать фактические условия эксплуатации, отличающиеся от лабораторных.

2.3 Реечные передачи

Реечная передача представляет собой зубчатое колесо и зубчатую рейку с бесконечным радиусом окружности. Она применяется для преобразования вращательного движения в поступательное и обратно. Зубчатое колесо, входящее в зацепление с рейкой, называется шестерней.

В отличие от прямозубых передач, самой важной механической характеристикой реечных передач является максимальное напряжение, прилагаемое на один зуб. Это объясняется тем, что на данный конкретный элемент передачи не прилагается крутящий момент.

Значения максимального напряжения, указанные в таблицах технического описания, получены в результате лабораторных испытаний, во время которых сила, прилагаемая к зубу передачи, постепенно увеличивалась до момента его отламывания. Приведенные значения означают максимальное напряжение, которое может прилагаться на один зуб, находящийся в зацеплении.

Увеличение числа находящихся в зацеплении зубьев не приведет к линейному увеличению максимального прилагаемого напряжения, так как в оптимальных условиях всегда работает только один зуб.

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИМЕЧАНИЯ

3.1 Соединение

Технополимерные элементы передачи можно соединять и с технополимерными, и с металлическими зубчатыми колесами. В случае соединения с металлическими колесами, более высокая теплопроводность металла обеспечивает более быстрое рассеивание тепла, накопленного во время работы. В случае металлополимерных передач лучшим вариантом является использование металлической шестерни и технополимерного зубчатого колеса, поскольку степень износа технополимерных зубчатых колес ниже.

3.2 Рабочее расстояние

Рабочее расстояние I – это расстояние между центрами валов, на которые установлены зубчатые колеса. Значение расстояния определяется по следующей формуле:

$$I = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

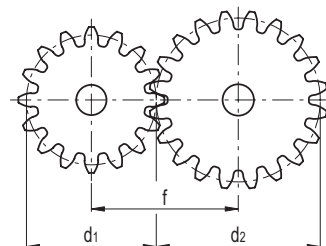
где параметры d_1 и d_2 являются диаметрами делительной окружности зубчатых колес.

Для эффективного зацепления двух зубчатых колес необходимо обеспечить положительный зазор: эффективное расстояние (f) между центрами двух валов, на которые установлены зубчатые колеса, должно слегка превышать рабочее расстояние (I)

$$f = \frac{d_1 + d_2}{2} + t$$

Для обеспечения оптимального зацепления двух зубчатых колес необходимо иметь положительный зазор между центрами двух валов: эффективное расстояние между двумя центрами валов, на которые установлены зубчатые колеса, немного длиннее, чем рабочее расстояние I . Зацепление без зазора или с отрицательным зазором приведет к усилению трения между зубьями, тем самым увеличивая диапазон рабочих температур и уменьшая сопротивление износу и напряжению. Во избежание таких проблем для зубчатых передач ELESА рекомендуются следующие допуски:

- (+0,03 +0,1) для модулей 0,5 – 1,0 – 1,5
- (+0,08 +0,3) для больших модулей



3.3 Смазка

Одним из главных преимуществ армополимерных зубчатых передач является возможность их использования без смазочного масла благодаря естественным свойствам полимеров. Однако смазку рекомендуется применять по мере возможности, чтобы уменьшить трение и износ, тем самым увеличивая срок службы изделия. Для зубчатых колес Elesa рекомендуется использовать смазки на основе литиевого мыла и синтетического масла.

При одинаковых условиях эксплуатации, оборотах в минуту и крутящем моменте использование смазочных материалов значительно увеличивает срок службы зубчатых передач по сравнению с их работой всухую.

3.4 Механическая обработка

Для правильной работы технополимерных зубчатых передач необходимо выполнить механическую обработку, установив зажимы на зубья, как показано на рисунке 3. Диаметр зажимов должен регулироваться относительно венца зубчатого колеса.

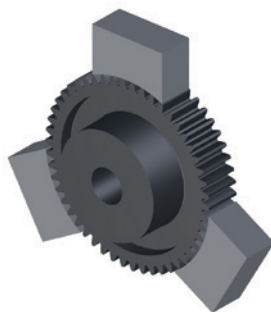


Рис. 3. Зубообработка

3.5 Материалы

Прямозубые и реечные передачи ELESA изготовлены из армированного стекловолокном полимера на основе полиамида. Основные механические характеристики этого типа материала следующие:

- высокое сопротивление скручиванию и прочность на растяжение (приблизительно в три раза выше, чем у ацетальной смолы);
- хорошая устойчивость к высоким температурам;
- низкий коэффициент трения, особенно по сравнению со сталью. Соответственно, технополимерные зубчатые передачи могут использоваться даже в случае, когда смазка запрещена;
- низкий удельный вес, меньший вес по сравнению с металлическими зубчатыми передачами;
- высокая стабильность размеров, высокая износостойкость, химическая стойкость и сопротивление скручиванию.

4. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Элементы зубчатой передачи из армированного полимера на основе полиамида являются эффективной альтернативой металлическим элементам и могут использоваться в различных сферах, требующих уменьшения шума или избежания необходимости смазки. Маленький вес технополимерных элементов зубчатых передач обеспечивает их применение в областях, где требуется снижение общего веса оборудования. Кроме того, высокая устойчивость технополимера к воздействию химических веществ увеличивает коррозионную стойкость к агрессивной среде. The steel gears are often oversized for the effective application they are used for: in this case, the technopolymer gears are an excellent solution and ensure a good mechanical resistance combined with an economical saving.

Область применения технополимерных зубчатых передач довольно широка:

- Упаковочное и конвейерное оборудование
- Промышленные моечные машины
- Станки для обработки стекла и керамики
- Оборудование предприятий общественного питания
- Типографское дело
- Сельскохозяйственные машины
- Химико-фармацевтическая промышленность
- Бытовые приборы





Боковая поверхность зуба: поперечная поверхность зуба, лежащая под делительной окружностью.

Высота головки: высота вершины зуба, т. е. часть зуба между делительной окружностью и окружностью вершин зубьев.

Высота ножки: высота впадины зуба, т. е. часть между окружностью впадин зубьев и делительной окружностью.

Ведомый вал: цилиндрический элемент зубчатой передачи различной длины и толщины, принимающий движение от ведущего вала или ведущего зубчатого колеса.

Ведущий вал: цилиндрический элемент зубчатой передачи различной длины и толщины, на который оборудованием передается движущая сила и который передает движение и мощность.

Головка зуба: часть зуба, выступающая за делительную окружность.

Делительная окружность: окружность, вдоль которой происходит зацепление двух зубчатых колес.

Зазор: расстояние между зубьями двух зубчатых колес, находящихся в зацеплении. Зазором также можно считать разницу между фактическим расстоянием между центрами валов, на которые установлены зубчатые колеса, и рабочим расстоянием, измеренным в виде суммы делительных прямых двух зубчатых колес. Отрицательный зазор (когда фактическое расстояние меньше рабочего) влияет на сближение зубьев колес, приводя к более плотному контакту между зубьями, что значительно усложняет процесс передачи и создает риск заклинивания. Положительный зазор уменьшает риск заклинивания, но в случае чрезмерности ослабляет контакт между зубьями, ограничивая передаваемый крутящий момент и снижая КПД.

Зуб: часть, выступающая наружу или внутрь от окружности впадин зубьев, обеспечивающая путем контакта с другим зубом второго элемента передачу крутящего момента или силы между двумя разными узлами передачи.

Зубчатая передача: механизм, используемый для передачи движения от одного вала к другому при помощи двух зубчатых элементов, главным образом колес. Обычно он включает в себя два или более зубчатых колеса одинакового или разного размера.

Износ: ухудшение состояния материала из-за трения с другим материалом.

Ножка зуба: часть зуба, расположенная ниже делительной окружности.

Модуль: отношение диаметра делительной окружности зубчатого колеса к количеству зубьев. Он является одним из определяющих параметров зубьев: обязательным условием для надежного зацепления двух зубчатых колес является одинаковый модуль.

Окружность вершин зубьев: окружность, ограничивающая высоту зубьев.

Окружность впадин зубьев: окружность, ограничивающая глубину впадин зубьев.

Поверхность головки зуба: поперечная поверхность зуба, лежащая над делительной окружностью.

Прямозубая передача: механизм с зубчатыми колесами, у которых линия контакта зубьев располагается параллельно оси вращения, что обеспечивает передачу движения между двумя параллельными осями.

Рабочее расстояние: теоретическое расстояние между центрами валов, на которые установлены зубчатые колеса. Значение расстояния определяется суммой делительных прямых двух зубчатых колес.

Реечная передача: зубчатая рейка (часть колеса с бесконечным радиусом), которая вместе с зубчатым колесом, называемым шестерней, используется для преобразования

вращательного движения в непрерывное поступательное и обратно.

Смазка: вещество, в большинстве случаев жидкое, используемое для уменьшения трения между двумя поверхностями, надвигающимися друг на друга, и защиты механических деталей от износа. Для зубчатых колес Elesa рекомендуется использовать смазки на основе литиевого мыла и синтетического масла.

Толщина зуба: ширина зуба по его оси.

Трение: сила трения, возникающая при контакте двух тел, прижимаемых друг к другу, и замедляющая их относительное движение. Наличие трения подразумевает потерю механической энергии, переходящей в тепло.

Угол зубчатого зацепления: угол между касательной к делительной окружности и нормалью к боковой поверхности зуба в точке касания делительной окружности и боковой поверхности зуба. Является основной характеристикой зацепления: соединяться могут только колеса с одинаковым углом зубчатого зацепления.

Шаг зацепления: расстояние между двумя одноименными точками двух соседних зубьев, измеренное по делительной окружности. Шаг зацепления позволяет рассчитать модуль зацепления и служит основной мерой для оценки возможности соединения двух зубчатых колес: соединение зубчатых колес с разным шагом зацепления является невозможным.

Шестеренка: в системе с двумя зубчатыми колесами шестеренкой называется колесо меньшего диаметра. Шестеренкой также называется зубчатое колесо, входящее в зацепление с зубчатой рейкой (которая считается частью колеса с бесконечным радиусом делительной окружности) для преобразования вращательного движения в поступательное и обратно.

Ширина венца: длина дуги делительной окружности, которая ограничена зубом.

Ширина впадин: длина дуги делительной окружности между двумя соседними зубьями. Обозначает пустое пространство между двумя зубьями.