

## ПРЕДИСЛОВИЕ

**В** становлении инженера-механика определяющую роль играет курсовое проектирование по деталям машин и основам конструирования. Выполнение первой самостоятельной конструкторской работы завершает общеинженерную подготовку будущего инженера, за которой (и на основе которой) следуют курсовые работы и проекты по специальным дисциплинам, требующие дальнейшего развития его эвристической деятельности.

Целью курсового проектирования по деталям машин является закрепление знаний по общеинженерным дисциплинам: инженерной графике, технологии конструкционных материалов, материаловедению, сопротивлению материалов, теории машин и механизмов и др.

Курсовое проектирование по деталям машин и основам конструирования способствует формированию следующих общекультурных (ОК) и профессиональных (ПК) компетенций: ОК-1, ОК-3, ОК-6, ОК-10, ПК-1, ПК-2, ПК-8, ПК-9.

В процессе проектирования студенту предстоит обеспечить требуемую долговечность работы привода и его необходимую надежность. При этом должно быть уделено серьезное внимание технологичности конструкции (простоте изготовления, удобству сборки и регулировок), предохранению привода от перегрузок, коррозии, перегрева.

Основным объектом индивидуальных заданий на проектирование являются приводные станции различных сельскохозяйственных и транспортных машин с двигателем, редуктором (вариатором, коробкой передач), открытыми передачами.

Выбор объясняется как абсолютной необходимостью данного узла для машин, так и тем обстоя-

тельством, что он наиболее полно охватывает все разделы курса «Детали машин и основы конструирования».

Однако в связи с тем, что в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования (направление 660 300 «Агроинженерия», утверждено 05.04.2000 г.) в число тем, изучаемых дисциплиной «Детали машин и основы конструирования», включается обширный раздел «Подъемно-транспортные машины», в пособие включен раздел по проектированию простейших грузоподъемных и представляющих интерес в расчетном плане грузозахватных устройств.

Настоящее пособие по курсовому проектированию предназначено помочь студенту ясно представить его цели и задачи, объем и последовательность работы над проектом в целом. В книге нашли отражение ряд разделов курса «Детали машин и основы конструирования», которые остаются за бортом большинства пособий по курсовому проектированию. К их числу следует отнести расчет и конструирование вариаторов, проектирование коробок передач с механизмами переключения и др.

В книге предпринята также попытка исключить при проектировании разночтения в обозначениях физических величин, их размерностях и применяемых сокращениях в тексте.

Авторы стремились при изложении всех разделов придерживаться определенной логической последовательности, облегчающей пользование пособием при проектировании. Для отдельных, наиболее типичных, схем привода приведены примеры расчетов, образцы сборочных и рабочих чертежей.

Требованием времени является сегодня перевод трудоемкого процесса проектирования — инженерных расчетов и разработки рабочих и сборочных чертежей — на компьютерную основу. В пособии приводятся необходимые методические рекомендации по применению для этих целей наиболее отработанной программы «Компас-график».

В приложениях представлены справочные материалы, необходимые для выполнения инженерных расчетов, сборочных и рабочих чертежей.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

**КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРИВОДА.  
РАСЧЕТ  
МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ**

# ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЕКТИРОВАНИИ. ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТОВ

## 1.1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ

В настоящем пособии употребляются следующие термины и понятия, используемые в технике и характерные для курса деталей машин.

*Изделие* — любой предмет или набор предметов, спроектированный и изготовленный предприятием.

*Деталь* — изделие, изготовленное без применения сборочных операций из определенной марки или сортамента материала. Отрезок биметаллической пластины или электрического провода (кабеля) с этой позиции являются деталями, хотя включают разные материалы.

*Сборочная единица* — изделие, составные части которого подлежат соединению между собой сборочными операциями (сваркой, клепкой, резьбовыми, штифтовыми или клиновыми соединениями и др.).

*Узел* — сборочная единица, которая может выполнять определенную функцию в изделиях одного назначения только совместно с другими составными частями.

*Кинематическая пара* — соединение двух сопряженных звеньев, допускающее их относительное движение. По виду движения они могут быть вращательными, поступательными, винтовыми и др.

*Механизм* — система деталей, предназначенная для изменения параметров движения, преобразования одного вида движения в другой.

*Привод* — устройство, приводящее в движение машину или механизм. Состоит из двигателя, передаточного механизма и механизма управления.

*Агрегат* — сборочная единица, обладающая полной взаимозаменяемостью и способностью выполнять конкретную функцию как в изделии, так и самостоятельно.

*Машина* — самодостаточное устройство, предназначенное для выполнения конкретных функций и способное облегчить физический и умственный труд человека.

## 1.2. ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

№	Наименование величины	Рекомендуемая символика	Единица измерения	Обозначение
1	Длина	$L, l$	метр	м
2	Площадь	$A, S$	квадратный метр	м <sup>2</sup>
3	Объем	$V$	кубический метр	м <sup>3</sup>
4	Время	$t$	секунда	с
5	Период	$T$		
6	Частота периодического процесса	$f$	герц	Гц
7	Частота вращения	$n$	секунда в минус первой степени	с <sup>-1</sup>
8	Плоский угол	$\alpha, \beta, \theta$	радиан, градус	рад, град.
9	Скорость линейная	$v$	метр в секунду	м/с
10	Ускорение линейное	$a$	метр на секунду в квадрате	м/с <sup>2</sup>
11	Угловая скорость	$\omega$	радиан в секунду	рад/с

№	Наименование величины	Рекомендуемая символика	Единица измерения	Обозначение
12	Угловое ускорение	$\varepsilon$	радиан на секунду в квадрате	рад/с <sup>2</sup>
13	Масса	$m$	килограмм	кг
14	Плотность	$\rho$	килограмм на кубический метр	кг/м <sup>3</sup>
15	Маховой центробежный момент	$I$	килограмм-метр в квадрате	кг·м <sup>2</sup>
16	Момент инерции сечения:			
	полярный	$I_p$	метр в четвертой степени	м <sup>4</sup>
	осевой	$I_x, I_y$		
	центробежный	$I_{xy}$		
17	Момент сопротивления плоской фигуры:		метр в кубе	м <sup>3</sup>
	полярный	$W_p$		
	осевой	$W_x, W_y$		
18	Сила:	$F$	Ньютон	Н
	нормальная	$F_n$		
	тангенциальная, касательная	$F_t$		
	радиальная	$F_r$		
	осевая	$F_a$		
19	Сила тяжести, вес	$G$		
20	Интенсивность распределенной нагрузки	$q$	Ньютон на метр	Н·м
21	Момент силы, изгибающий момент	$M$	Ньютон на метр	Н·м
22	Вращающий момент	$T$	Ньютон на метр	Н·м
23	Мощность	$P$	Ватт	Вт
24	Давление	$p$	Паскаль	Па

№	Наименование величины	Рекомендуемая символика	Единица измерения	Обозначение
25	Напряжение:		Паскаль	Па
	нормальное	$\sigma$		
	касательное	$\tau$		
26	Модули упругости:		Паскаль	Па
	при растяжении (сжатии)	$E$		
	при сдвиге	$G$		
27	Передаточное отношение	$i$	$i = n_1/n_2$	—
28	Передаточное число	$u$	$u = z_{\max}/z_{\min}$	—
29	Пределы текучести:		Паскаль	Па
	по нормальным напряжениям	$\sigma_T$		
	по касательным напряжениям	$\tau_T$		
30	Пределы прочности:		Паскаль	Па
	по нормальным напряжениям	$\sigma_B$		
	по касательным напряжениям	$\tau_B$		
31	Пределы выносливости:		Паскаль	Па
	по нормальным напряжениям	$\sigma_{-1}, \sigma_0$ и др.		
	по касательным напряжениям	$\tau_{-1}, \tau_0$ и др.		
32	Коэффициент линейного расширения	$\alpha$	Паскаль в минус первой степени	Па <sup>-1</sup>
33	Жесткость при растяжении, сжатии	$k$	Ньютон на метр	Н/м
34	Жесткость при кручении	$k$	Ньютон-метр на радиан	Н·м/рад

Продолжение табл.

№	Наименование величины	Рекомендуемая символика	Единица измерения	Обозначение
35	Ударная вязкость	$\alpha_n$	Джоуль на квадратный метр	Дж/м <sup>2</sup>
36	Работа, энергия	$A, E, W$	Джоуль	Дж
37	Радиус кривизны	$\rho$	метр	м
38	Кривизна	$\rho^{-1}$	метр в минус первой степени	м <sup>-1</sup>
39	Коэффициент трения скольжения	$f, \mu$	—	—
40	Коэффициент трения качения	$k$	метр	м
41	Ускорение свободного падения	$g$	метр на секунду в квадрате	м/с <sup>2</sup>

### 1.3. КРАТНЫЕ И ДОЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Наименование	Обозначение	Множитель
тера	Т	10 <sup>12</sup>
гига	Г	10 <sup>9</sup>
мега	М	10 <sup>6</sup>
кило	к	10 <sup>3</sup>
гекто	г	10 <sup>2</sup>
дека	да	10 <sup>1</sup>
деци	д	10 <sup>-1</sup>
санти	с	10 <sup>-2</sup>
милли	м	10 <sup>-3</sup>
микро	мк	10 <sup>-6</sup>
нано	н	10 <sup>-9</sup>
пико	п	10 <sup>-12</sup>

#### 1.4. СОКРАЩЕНИЯ, ДОПУСКАЕМЫЕ В ТЕКСТОВОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТОВ

абс.	— абсолютный
атм.	— атмосферный
внесист.	— внесистемный
вт.	— второй
в т. ч.	— в том числе
г.	— город, год
гл. обр.	— главным образом
д. б.	— должно быть
др.	— другой
ед.	— единица
ИСО	— международная организация по стандартизации
кв.	— квадратный
к.-л.	— какой-либо
к.-н.	— какой-нибудь
кол-во	— количество
коэф.	— коэффициент
к-рый	— который
куб.	— кубический
макс.	— максимальный
мин.	— минимальный
мн.	— многие
наиб.	— наиболее
наим.	— наименее
напр.	— например
наст.	— настоящий
нач.	— начальный
неск.	— несколько
техн.	— технический
практ.	— практический, практически
разл.	— различный
размерн.	— размерность
рис.	— рисунок
след.	— следующий
см.	— смотри, смотрите
сокр.	— сокращенно, сокращение

т. о.	— таким образом
угл.	— угловой
уд.	— удельный
ур-ние	— уравнение
усл.	— условный
физ.	— физический
ф-ла	— формула
ф-ция	— функция
числ.	— числовой, численность
ч.-л.	— что-либо
экз.	— экземпляр
ЭДС	— электродвижущая сила
электр.	— электрический
энергет.	— энергетический
эфф.	— эффективный
явл.	— является

## 1.5. ТРЕБОВАНИЯ К ИЗДЕЛИЯМ. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

**Основные требования**, предъявляемые к конструируемой машине, — работоспособность и высокая надежность, технологичность, минимальные габариты, металлоемкость и стоимость, удобство эксплуатации, ремонтпригодность, соответствие требованиям безопасности и технической эстетики. Работоспособность машины предусматривает ее соответствие всем требованиям (критериям) для реализации данного качества.

*Прочность* — главный критерий работоспособности машины. Различают прочность статическую, когда разрушение (или пластическая деформация, несовместимая с дальнейшим функционированием машины) происходит от кратковременной перегрузки, и прочность циклическую, когда разрушение является следствием многократного воздействия переменных нагрузок, вызывающих усталость материала, появление усталостных трещин.

Расчеты на прочность могут быть проектными, имеющими цель предварительно определить параметры конст-

рукции, не усложняя расчеты и пренебрегая несущественными факторами, и проверочными, где уже возможно учесть все факторы для разработанной реальной конструкции. При проектном расчете обычно применяют условия прочности  $\sigma \leq [\sigma]$  или  $\tau \leq [\tau]$ , а при проверочных расчетах чаще используется расчет по допускаемому запасу прочности  $n \geq [n]$ , с учетом всех факторов и коэффициентов.

В курсе «Детали машин и основы конструирования» важную роль играет контактная выносливость деталей, испытывающих в работе многократное перекачивание под нагрузкой (зубчатые и червячные передачи, подшипники качения, фрикционные передачи и вариаторы). Процесс этот сопровождается образованием и ростом трещин на поверхностях качения и последующим выкрашиванием частиц. Для предотвращения этого явления необходимо выполнение условия контактной прочности  $\sigma_H \leq [\sigma_H]$ .

*Жесткость* — способность конструкции противостоять упругим деформациям. Основные условия жесткости:  $y \leq [y]$ ,  $\theta \leq [\theta]$  и  $\varphi \leq [\varphi]$ , где  $y$ ,  $\theta$  и  $\varphi$  — соответственно величина прогиба, угол поворота сечения и угол закручивания, а в квадратных скобках — их допускаемые значения.

Главные объекты расчетов на жесткость в курсе деталей машин — валы редукторов и коробок передач и, особенно, валы-червяки. Недостаточная жесткость данных деталей может привести к недопустимой концентрации напряжений в зубчатых зацеплениях, заеданию в червячных передачах, вибрации деталей зацепления, к изгибным и крутильным колебаниям.

Важно учесть, что роль жесткости как критерия работоспособности непрерывно возрастает в связи с появлением новых материалов и способов термической и термомеханической обработки, позволяющих значительно повысить прочностные параметры материалов и, как следствие, уменьшить размеры деталей. Однако модуль упругости материалов при этом меняется лишь незначительно, в связи с чем требование жесткости в этих условиях является решающим.

*Износостойчивость* — способность деталей сопротивляться изнашиванию, процессу разрушения поверхностных слоев при трении. Это приводит к изменению размеров,

появлению зазоров в сопряжениях. Главный вид изнашивания — абразивно-механическое. Оно является результатом срезания и пластического деформирования микронеровностей при трении в присутствии абразивных частиц. Для сведения этого вида износа к минимуму трущиеся поверхности должны быть защищены от попадания абразивных частиц. Также имеют место коррозионно-механическое и адгезионное изнашивание. В первом случае механическим воздействием преимущественно удаляются продукты коррозии и защитные оксидные пленки, что происходит в сопряжениях, слабо защищенных от воздействия атмосферы. Второй вариант износа связан со схватыванием контактирующих поверхностей, задирами и заеданием, вырыванием частиц металла.

Условие износоустойчивости имеет вид  $p \leq [p]$  или  $p v \leq [p v]$ , где  $p$  — давление в контактирующей паре,  $[p]$  — допускаемая его величина, зависящая от пары материалов и сорта смазки. Второе условие имеет важное значение для скоростных пар трения, поскольку произведение  $p v$  определяет работу сил трения и, следовательно, тепловыделение в сопряжении.

*Теплоустойчивость* — способность машины работать в пределах заданных температур в течение планового срока службы. Этот критерий имеет решающее значение для машин, работа которых связана с большим тепловыделением (тепловые двигатели, литейные машины, прокатное оборудование). При выполнении курсового проекта по деталям машин этот критерий необходимо учесть при расчетах червячных редукторов и подшипников скольжения. Условие теплоустойчивости имеет вид  $t_{уст} \leq [t]$ , где  $t_{уст}$  — установившаяся рабочая температура машины, а  $[t]$  — допускаемая. Однако на практике часто пользуются условием  $Q_{выд} \leq [Q_{отв}]$ , где  $Q_{выд}$  — выделяемая теплота (с учетом передаваемой мощности и КПД),  $Q_{отв}$  — теплота, отводимая от машины конвекционным путем. Последняя зависит от разности температуры  $t_{уст}$  и температуры окружающей обстановки, площади стенок, омываемых воздухом, и коэффициента интенсивности теплоотдачи, зависящего от подвижности воздушных потоков и способа вентиляции.

*Виброустойчивость* — способность машины (конструкции) при работе в определенном режиме находиться на безопасном удалении от зоны резонанса. Условие виброустойчивости имеет вид  $f_{\text{вын}} < 0,7f_{\text{соб}}$  (работа в дорезонансной зоне) и  $f_{\text{вын}} > 1,3f_{\text{соб}}$  (работа в зарезонансной зоне). Здесь  $f_{\text{вын}}$  — вынуждающая частота колебаний (применительно к валу — частота вращения),  $f_{\text{соб}}$  — собственная частота колебаний детали, напрямую зависящая от жесткости.

*Коррозионная устойчивость* — способность машины и ее деталей противостоять окислительным процессам, коррозионному разрушению. Инженерных расчетов по данному критерию работоспособности не существует, есть лишь обоснованные рекомендации (по поводу пар материалов, покрытий и др).

*Надежность* — свойство изделия сохранять во времени значения выходных параметров в установленных пределах. Основным показателем надежности является вероятность безотказной работы, то есть вероятность того, что в пределах запланированного ресурса не возникает отказ изделия.

*Технологичность* — свойство конструкции, позволяющее изготавливать ее с минимальным расходом средств и времени. Понятие это не является абсолютным, а непосредственно связано с масштабами производства. Изделие, вполне технологичное для серийного или массового производства, может быть совершенно нетехнологичным для условий индивидуального производства (и наоборот).

В процессе разработки конструкции изделия следует руководствоваться следующими **основными принципами проектирования**.

*Стандартизация* — установление единообразия и обязательного применения стандартов в производстве серийных и массовых изделий. Различают следующие категории стандартов: ГОСТ — государственные стандарты, ОСТ — отраслевые стандарты, СТП — стандарты предприятия. Стандартизация имеет важное общегосударственное значение для обеспечения выпуска продукции требуемого качества, причем при меньшей трудоемкости проектирования, изготовления, с обеспечением взаимозаменяемости.

*Взаимозаменяемость* — свойство деталей и узлов, позволяющее заменять их другими деталями и узлами без дополнительной доработки с обеспечением всех требований к работе машины. Взаимозаменяемость имеет огромное народно-хозяйственное значение, дает возможность значительно повысить производительность изготовления, понизить стоимость изделий. Взаимозаменяемость ведет также к повышению культуры ремонтных работ, позволяет заблаговременно обеспечить ремонтные предприятия запасными деталями и узлами.

*Унификация* — рациональное сокращение многообразия видов, типов и типоразмеров изделий одинакового функционального назначения. Это позволяет на базе исходной (наиболее эффективной) модели создавать ряд производных одинакового назначения, но с различными параметрами по мощности, производительности и т. д. Касается это не только функциональных единиц, но и технологических параметров. Например, основные посадочные диаметры, диаметры режущих и контрольных инструментов выбираются из стандартных рядов. Эти ряды (названы в честь их создателя рядами Ренуара) представляют собой геометрические прогрессии со знаменателями 1,6, т. е.  $\varphi = \sqrt[3]{10}$  (ряд R5, самый предпочтительный); 1,25 (ряд R10,  $\varphi = \sqrt[10]{10}$ ); 1,12 (ряд R20,  $\varphi = \sqrt[20]{10}$ ) и т. д.

## 1.6. ТЕХНИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ

Инженерные расчеты являются важной составной частью проектов, требующей от исполнителя живого творчества и высокой ответственности. В общем случае инженерный расчет включает следующие этапы:

- 1) уяснение исходных данных и критериев расчета;
- 2) разработка расчетной схемы;
- 3) проектировочные расчеты;
- 4) проверочные расчеты;
- 5) принятие решений.

Все расчеты в курсовых проектах необходимо проводить в системе СИ, придерживаясь рекомендуемой символики

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)