

**ОПД.Ф.02.03 ТЕОРИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ  
РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ КУЛАЧКОВЫХ  
МЕХАНИЗМОВ**

Методические указания и задания для  
расчетно-графической работы

## ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с программой курса «Теория механизмов и машин» для машиностроительных специальностей предусмотрено выполнение расчетно-графической работы (РГР), содержащей задачи по исследованию и проектированию кулачковых механизмов. РГР способствует закреплению, углублению и обобщению теоретических знаний, а также применению их к решению комплексных инженерных задач по расчету механизмов и машин; приучает студентов пользоваться технической литературой, способствует подготовке к выполнению ими курсовых проектов по специальным дисциплинам, а также дипломного проекта.

В методических указаниях (МУ) даны общие рекомендации к выполнению РГР, указаны сроки выполнения, содержание и порядок выполнения. Здесь же представлены задания на РГР, включая схемы и исходные данные для проектирования кулачкового механизма

РГР выполняется на основе задания, выдаваемого преподавателем, и состоит из расчетно-пояснительной записки, включающей схемы, рисунки и чертежи. РГР охватывает основные вопросы, рассматриваемые в лекционном курсе и на практических занятиях.

Текстовая часть (расчетно-пояснительная записка), выполняется в тетради или на листах формата А4, которые нумеруются и сшиваются вместе с титульным листом. Слева от края листов до текста необходимо оставить поле шириной 30 мм для подшивки.

Текстовая часть должна ограничиваться лишь краткими указаниями к расчету и ссылками на графические построения и использованную литературу, список которой приводится в конце записки. Ссылка на литературу осуществляется при заимствовании из соответствующего источника выражений, формул или числовых значений тех или иных параметров. В ссылке указывается номер источника по списку и страница, где помещены приведенные данные в источнике, например, [1, с. 24]. В списке литературы указываются: фамилия и инициалы авторов; название книги; место издания; название издательства и год издания; число страниц. Например:

1. Коренько, А. С. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин. / А. С. Коренько и др. – М. – Л.: Машиностроение, 1964. – 324 с.

Список литературы формируется по мере выполнения РГР.

При выполнении расчета формулы сначала записываются в общем виде (в буквенных обозначениях), затем, если формула записана впервые, дается расшифровка ее символов, например:

$$F_{и} = m \cdot a_{s},$$

где  $F_{и}$  – сила инерции;  $m$  – масса звена;  $a_{s}$  – линейное ускорение центра масс.

Далее вместо символов в формулу подставляются их численные значения в соответствующей последовательности, например:  $F_{и} = 3 \cdot 150 = 450 \text{ Н}$ .

Результаты нескольких вычислений по одним и тем же формулам целесообразно сводить в таблицу.

В конце записки помещается содержание.

В РГР необходимо применять обозначения и термины, общепринятые в научно-технической литературе. Все расчеты должны быть выполнены в единой международной системе (СИ) по ГОСТ 8.417-2002.

В СИ за основные приняты следующие единицы измерения: длина-метр (м); масса-килограмм (кг); время-секунда (с).

В качестве единицы силы принят ньютон (Н), представляющий собой силу, которая массе в один килограмм сообщает ускорение в  $1 \text{ м/с}^2$ . Сила в один ньютон в 9.81 раза меньше 1 кг силы.

Момент пары сил имеет размерность Н·м, а момент инерции массы –  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ .

## **1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РГР**

### **1.1. Сроки выполнения, консультации по проекту и его защита**

Сроки выполнения РГР и ее успешная защита могут быть обеспечены благодаря систематической самостоятельной работе студента в течение года при соответствующем контроле со стороны преподавателя-консультанта. Поэтому каждый студент обязан не реже одного раза в неделю в специально установленное время обращаться к преподавателю для консультации по конкретным вопросам, а также приносить все расчеты, чертежи и используемую литературу для проверки законченных этапов расчета.

Консультант своей подписью утверждает законченные и подписанные автором листы графической и текстовой части после их проверки и исправления замеченных в работе студента ошибок.

Чтобы уложиться в срок, студент должен планировать учебную работу из такого расчета затрат времени, чтобы период выполнения каждого листа и записки не превышал 3–3.5 недели.

Защита РГР осуществляется по специальному расписанию перед комиссией, состоящей из двух преподавателей. При этом студент предьявляет листы графической части и расчетно-пояснительную записку, подписанные консультантом. Защита РГР включает ответы на вопросы членов комиссии, касающиеся особенностей конструкций и их расчета, рассмотренных в РГР.

При неудовлетворительной оценке студенту назначают повторную защиту не ранее чем через неделю. При повторной неудовлетворительной оценке студенту выдается новое задание на РГР.

Расчетные схемы и исходные данные для РГР представлены во втором разделе методических указаний на рис. 2.1–2.6 и в таблице 2.1.

### **1.2. Содержание и порядок выполнения РГР**

В начале записки приводится расчетная схема кулачкового механизма, график изменения аналога ускорений толкателя и числовые исходные данные, взятые из таблицы.

На основании исходных данных вычерчиваются диаграммы аналогов ускорений, которые приводятся в исходных данных. Ниже строится диаграмма аналогов скоростей и диаграмма перемещений толкателя путем двукратного интегрирования функции второй производной от перемещения выходного звена по углу поворота кулачка. Графики следует строить по 6–8 точкам в фазах удаления и возврата толкателя. Рекомендуется использовать известные методы построения кривых (синусоиды, параболы и др.). Здесь же, справа, строится совмещенная диаграмма  $s - ds/d\varphi$  для определения минимального радиуса кулачка. При этом следует иметь в виду, что для кулачковых механизмов с коромысловым толкателем величина аналога скорости  $l \cdot d\Psi/d\varphi$  ( $l$  – длина коромысла;  $\Psi$  и  $\varphi$  – углы поворота коромысла и кулачка) откладывается на фазе удаления к центру вращения коромысла, если коромысло и кулачок вращаются в одну сторону, и от центра вращения коромысла, если коромысло и кулачок вращаются в разные стороны. Для кулачковых механизмов с поступательно движущимся толкателем при вращении кулачка по направлению часовой стрелки величина  $ds/d\varphi$  на фазе удаления откладывается вправо. При неравенстве фазовых углов удаления и возврата следует определить величину эксцентриситета из условия равенства максимальных углов давления при удалении и возврате толкателя и спроектировать дезаксиальный кулачковый механизм.

Для механизмов с тарельчатым толкателем минимальный радиус кулачка выбирается из условия выпуклости его профиля

$$r_{\min} > -\frac{d^2s}{d\varphi^2} - s.$$

На чертеже следует указать соответствующие масштабные коэффициенты и их размерность по осям координат на диаграммах и при построении профиля, причем масштабные коэффициенты перемещений, а также аналогов скоростей и ускорений принимаются одинаковыми для удобства и правильности построения. При этом полюсное расстояние, выбираемое для графического интегрирования, должно быть равно  $H_1 = H_2 = 1/\mu_\varphi$ . Здесь  $\mu_\varphi$  – масштабный коэффициент по оси абсцисс, равный  $\mu_\varphi = \varphi_p/l$ , рад/мм, где  $\varphi_p = \varphi_{\text{п}} + \varphi_{\text{вв}} + \varphi_{\text{о}}$ ; ( $\varphi_{\text{п}}$  – угол подъема;  $\varphi_{\text{вв}}$  – угол верхнего выстоя;  $\varphi_{\text{о}}$  – угол опускания);  $l$  – отрезок в миллиметрах по оси абсцисс, изображающий угол  $\varphi_p$ .

Для кулачковых механизмов с роликовым выходным звеном в нижней части листа слева (рис. 1.1.) строится диаграмма изменения угла давления  $\gamma - \varphi$  при использовании совмещенной диаграммы  $s - ds/d\varphi$ . Способом обращения движения строится центровой профиль кулачка (эквидистанта); а затем определяется допустимая величина радиуса ролика  $r_{\text{рол}}$  из условий:

$$r_{\text{рол}} \leq \begin{cases} 0,8 \rho_{\min} \\ 0,4 r_{\min} \end{cases};$$

где  $\rho_{\min}$  – минимальный радиус кривизны для выпуклых участков эквидистанты;  $r_{\min}$  – минимальный радиус центрального профиля кулачка. Минимальный радиус кривизны определяется приближенно как радиус окружности, проходящей через три точки, которые выбираются на участке центрального профиля, где можно ожидать получения минимального значения радиуса кривизны.

После определения радиуса ролика строится рабочий профиль кулачка как огибающая семейства окружностей радиуса  $r_{\text{рол}}$ , центры которых расположены на центральном профиле.

Для кулачковых механизмов с тарельчатым толкателем профиль кулачка строится как огибающая последовательных положений тарелки толкателя относительно кулачка. Точки касания профиля кулачка с тарелкой толкателя должны находиться на расстоянии  $ds/d\varphi$  от прямой, проходящей через центр кулачка параллельно направлению движения толкателя.

На диаграммах и на профиле кулачка, изображенных на чертеже, необходимо показать фазовые углы:  $\varphi_{\text{п}}$ ,  $\varphi_{\text{вв}}$ ,  $\varphi_{\text{о}}$ .

В записке устанавливаются масштабные коэффициенты графических построений, дается краткое описание последовательности определения  $r_{\min}$  кулачка и его обоснование. Выбирается радиус ролика и приводится краткое описание последовательности построения профиля кулачка методом обращения движения.

Размещение основных элементов графического материала показано на рис. 1.1.

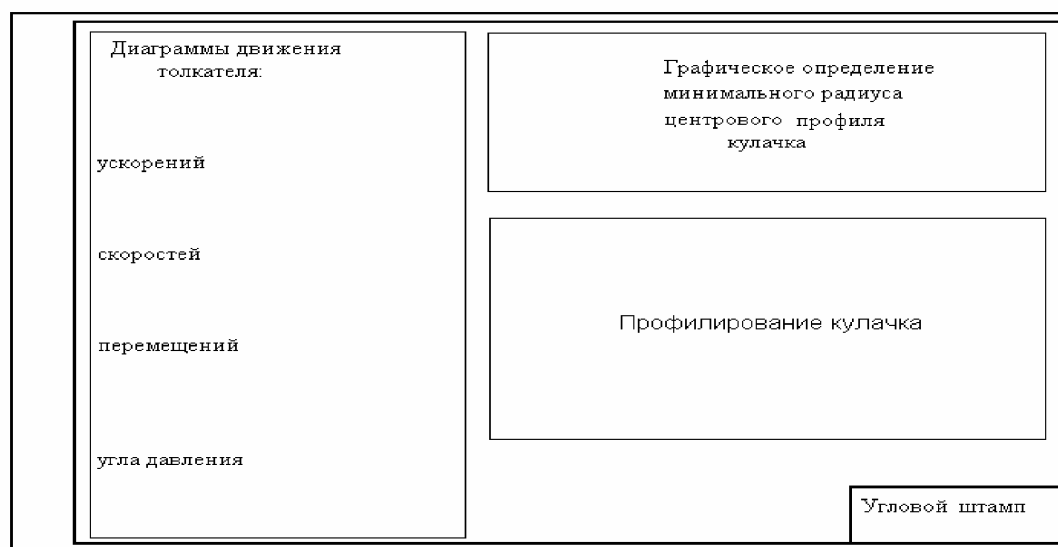


Рис. 1.1. Элементы графического материала РГР

Графический материал можно располагать и на отдельных листах формата А4.

## 2. РАСЧЕТНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

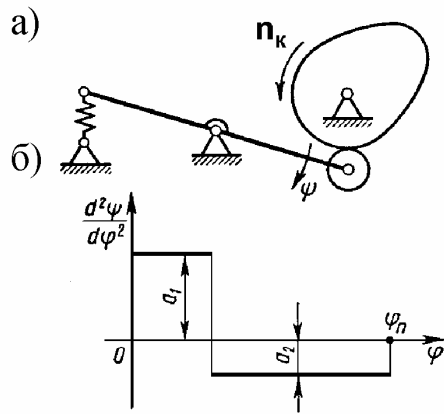


Рис. 2.1. Схема 1-кулачкового механизма с силовым замыканием коромыслового толкателя с роликом:  
а - схема механизма;  
б - график изменения аналога ускорения коромысла

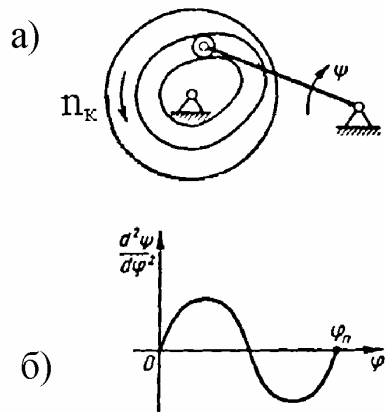


Рис. 2.2. Схема 2-кулачкового механизма с кинематическим замыканием коромыслового толкателя с роликом:  
а - схема механизма;  
б - график изменения аналога ускорения коромысла

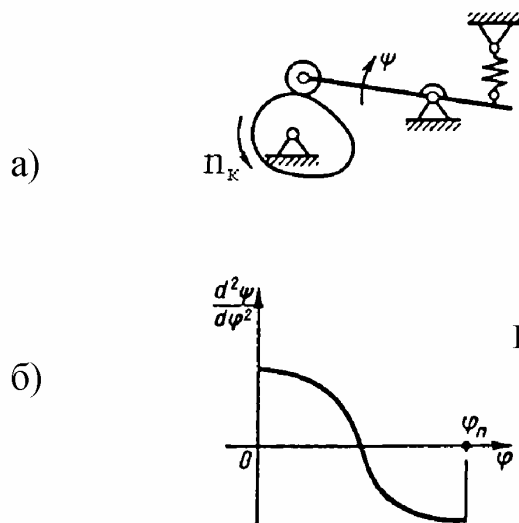


Рис. 2.3. Схема 3-кулачкового механизма с силовым замыканием коромыслового толкателя с роликом:  
а - схема механизма;  
б - график изменения аналога ускорения коромысла

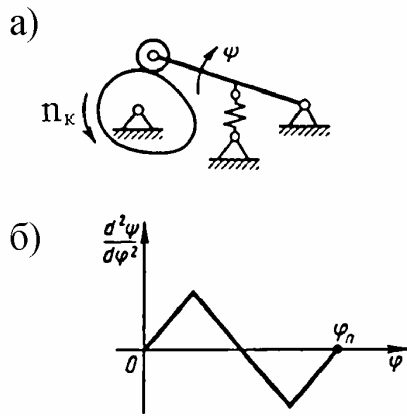


Рис. 2.4. Схема 4-кулачкового механизма с силовым замыканием коромыслового толкателя с роликом:  
 а - схема механизма;  
 б - график изменения аналога ускорений коромысла

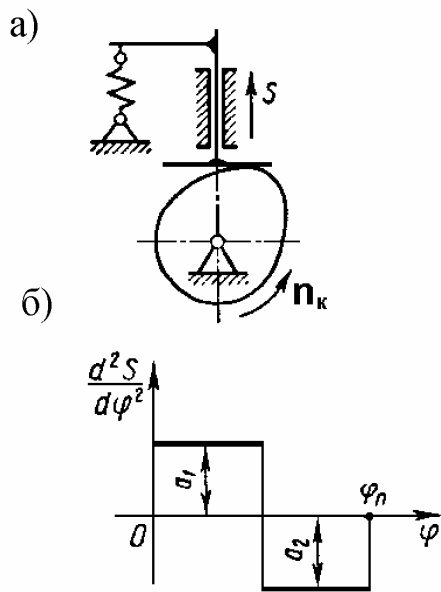


Рис. 2.5. Схема 5-кулачкового механизма с силовым зацеплением тарельчатого толкателя:  
 а - схема механизма;  
 б - график изменения аналога ускорений толкателя

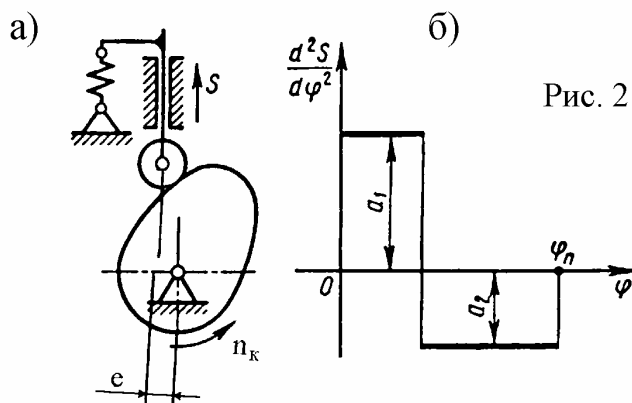


Рис. 2.6. Схема 6- кулачкового механизма с силовым замыканием поступательно движущегося роликового толкателя:  
 а - схема механизма;  
 б - график изменения аналога ускорений толкателя

## 2.2. Исходные данные для проектирования кулачковых механизмов

Таблица 2.1

Номер схемы	Параметры	Единица	Варианты числовых значений									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Схема 1	Длина коромысла кулачкового механизма	м	0,16	0,17	0,18	0,14	0,16	0,17	0,18	0,19	0,15	0,16
	Угловой ход коромысла $\psi_{\text{МАКС}}$	град	25	22	20	25	27	18	20	22	24	20
	Отношение ускорений коромысла $a_1/a_2$	–	1,7	1,6	1,8	1,6	1,5	1,6	1,7	1,8	1,6	1,5
	Фазовые углы поворота кулачка $\varphi_{\text{П}}=\varphi_{\text{Ф}}$ $\varphi_{\text{В.В}}$	град	60	65	65	55	60	65	55	65	60	65
		град	10	12	14	1,5	8	10	11	14	15	10
	Допускаемый угол давления $\theta_{\text{ДОП}}$	град	40	45	45	40	40	45	40	45	40	45
Момент инерции механизма $J_{\text{К}}$	кг·см <sup>2</sup>	40	50	55	35	40	50	55	60	37	40	
Схема 2	Длина коромысла кулачкового механизма	м	0,14	0,12	0,15	0,14	0,13	0,12	0,15	0,16	0,14	0,12
	Угловой ход коромысла $\psi_{\text{МАКС}}$	град	20	16	15	17	18	15	20	22	25	18
	Фазовые углы поворота кулачка $\varphi_{\text{П}}=\varphi_{\text{Ф}}$ $\varphi_{\text{В.В}}$	град	65	60	65	50	65	60	65	22	65	60
		град	15	10	15	10	15	10	10	50	10	15
	Допускаемый угол давления $\theta_{\text{ДОП}}$	град	35	30	32	35	30	32	35	32	30	35
Схема 3	Длина коромысла кулачкового механизма $l$	м	0,30	0,25	0,28	0,27	0,26	0,25	0,26	0,27	0,29	0,32
	Угловой ход коромысла $\psi_{\text{МАКС}}$	град	20	18	15	16	18	20	22	25	16	15
	Фазовые углы поворота кулачка $\varphi_{\text{П}}=\varphi_{\text{Ф}}$ $\varphi_{\text{В.В}}$	град	55	60	65	70	65	60	55	60	65	55
		град	25	10	10	0	15	20	10	0	20	15
	Допускаемый угол давления $\theta_{\text{ДОП}}$	град	35	36	38	35	36	38	40	35	30	40
Момент инерции коромысла $J_{\text{К}}$	кг·м <sup>2</sup>	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	
Схема 4	Длина коромысла кулачкового механизма	м	120	110	100	110	120	110	100	110	120	110
	Угловой ход коромысла $\psi_{\text{МАКС}}$	град	20	22	24	25	24	22	20	22	25	20
	Фазовые углы поворота кулачка $\varphi_{\text{П}}=\varphi_{\text{Ф}}$ $\varphi_{\text{В.В}}$	град	85	60	70	60	80	70	85	65	60	70
		град	0	40	30	30	10	40	10	50	40	35
	Допускаемый угол давления $\theta_{\text{ДОП}}$	град	40	35	45	35	40	30	35	30	40	35
	Момент инерции коромысла $J_{\text{К}}$	кг·м <sup>2</sup>	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03



Схема 5	Ход толкателя кулачкового механизма $h$	м	8	10	7	8	9	7	8	9	10	7
	Фазовые углы поворота кулачка ( $\varphi_{в,в}=0$ ) $\varphi_{п}=\varphi_0$	град	60	65	57	64	58	55	63	60	61	60
	Масса толкателя $m_T$	кг	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,40
Схема 6	Ход толкателя кулачкового механизма $h$	м	20	25	18	20	22	25	18	22	20	25
	Внеосность толкателя $e$	град	8	0	10	0	10	8	6	5	0	10
	Отношение ускорений $a_1/a_2$	—	2,0	2,2	1,8	1,6	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	1,5
	Фазовые углы поворота кулачка ( $\varphi_{в,в}=0$ ) $\varphi_{п}=\varphi_0$	град	90	110	120	100	105	110	115	120	125	130
	Допускаемый угол давления $\theta_{доп}$	град	20	22	25	24	22	20	22	24	25	20
	Масса толкателя $m_T$	кг	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,60

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рабочий процесс многих машин вызывает необходимость включения в их состав механизмов, движение выходных звеньев которых производится по заданному закону и согласовано с движением других механизмов. Наиболее простыми, надежными и компактными механизмами, выполняющими такую задачу, являются кулачковые механизмы, с которых толкатель движется в соответствии с задаваемой передаточной функцией. Закон движения толкателя определяется профилем кулачка и является основной характеристикой кулачкового механизма, от которой зависят его функциональные свойства. Проектирование кулачкового механизма включает ряд этапов, которые и осваиваются студентами в процессе выполнения РГР.

В рецензируемой работе изложена последовательность и порядок выполнения расчетно-графической работы, предусмотренной программой курса «Теория механизмов и машин» для машиностроительных специальностей.

В первом разделе методических указаний дано описание общей последовательности выполнения расчетно-графической работы с указанием особенностей оформления, а во втором разделе представлены задания в виде исходных данных для проектирования машинного агрегата, состоящего из двигателя, зубчатого и стержневого механизма, причем различные комбинации исходных данных позволяют получать около 2000 различных вариантов заданий. Проект охватывает основные вопросы курса ТММ, а методические указания изложены технически грамотно, логически последовательно и могут быть использованы при самостоятельной работе студентов.

## Библиографический список

1. Кореняко, А. С. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин / А. С. Кореняко. – М.: Машиностроение, 1970. – 324 с.
2. Теория механизмов и машин. Сборник контрольных работ и курсовых проектов / Под ред. Н. В. Алехновича. – Минск: Вышэйшая школа, 1970. – 250 с.
3. Костюк, Д. И. Руководство к курсовому проектированию по теории механизмов и машин / Д. И. Костюк. Харьков: Изд-во Харьковского ун-та, 1959. – 252 с.
4. Безвесельный, Е. С. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин в примерах / Е. С. Безвесельный. – Харьков: Изд-во Харьковского ун-та, 1960. – 522 с.
5. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин / Под ред. Г. В. Девойно. – Минск : Вышэйшая школа, 1986. – 285 с.
6. Попов С. А. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин / С.А. Попов. – М.: Высшая школа , 1986. – 295 с.
7. Юдин, В. А. Сборник задач по теории механизмов и машин / В. А. Юдин. – М.: Высшая школа, 1982. – 214 с.
8. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – М.: Наука, 1975. – 640 с.
9. Юдин, В. А., Петрокас Л. В. Теория механизмов и машин / В. А. Юдин, Л. В. Петрокас. – М.: Высшая школа, 1977. – 527 с.
10. Баранов, Г. Г. Курс теории механизмов и машин / Г. Г. Баранов. – М.: Машиностроение, 1975. – 494 с.
11. Зиновьев, В. А. Курс теории механизмов и машин / В. А. Зиновьев. – М.: Наука, 1972. – 384 с.