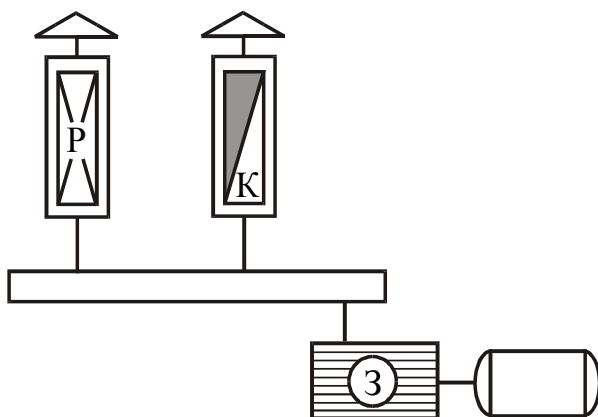


Министерство образования Российской Федерации

Томский государственный  
архитектурно-строительный университет

## ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МЕХАНИКА МАШИН

Методические указания к курсовому проекту



Томск – 2001

УДК 621.01.001 (075)

Ф-333

Филиппов В.Ф. Теория механизмов и механика машин: Методические указания к курсовому проекту. Томск: Изд-во Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2001.-17с.

Рецензент к.т.н. А.А. Никифоров

Редактор Т.С. Володина

Методические указания составлены для студентов специальностей 170900 – «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование», 150200 – «Автомобили и автомобильное хозяйство», 291300 - «Механизация и автоматизация строительства», 170400 - «Машины и оборудование лесного комплекса», выполняющих курсовой проект по теории механизмов и механике машин.

В указаниях рассматриваются цель, содержание и порядок выполнения курсового проекта, даются необходимые рекомендации по вопросам проектирования.

Печатается по решению методического семинара кафедры прикладной механики и материаловедения № 73 от 23.11.2000

Утверждены и введены в действие проректором по учебной работе О.Г. Кумпяком

с 01.01.2001  
до 01.01.2004

Изд. лиц. № 021253 от 31.10.97. Подписано в печать \_\_\_\_\_.

Формат 6090/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс, печать офсет.

Уч.-изд. л. \_\_\_\_

Тираж \_\_\_\_\_ экз.

Заказ № \_\_\_\_\_

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.

Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.

634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.

## **1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Курсовое проектирование по теории механизмов и механике машин имеет своей целью привить студенту практические навыки проектирования и расчета новых механизмов, удовлетворяющих заданным требованиям.

## **2. СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

В курсовом проекте предусмотрено проектирование трех механизмов, объединенных циклограммой определенной машины: рычажного, зубчатого и кулачкового.

Проект содержит как графическую часть, так и расчетную. Расчеты выполняются аналитическим методом с использованием ЭВМ. При подготовке исходных данных для расчета на ЭВМ, а также для решения некоторых самостоятельных задач применяются графические методы.

Объем графической части проекта составляет четыре листа чертежей формата А1 по ГОСТ 2.301—68, расчетная часть – 20...25 страниц рукописного текста на стандартных листах писчей бумаги формата А4.

## **3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА, СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАЧ И НЕКОТОРЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ИХ РЕШЕНИЯ**

### **3.1. Синтез, структурный и кинематический анализ рычажного механизма. Определение инерционных параметров его динамической модели**

Задано. Схема механизма, размеры некоторых звеньев (или их соотношения), закон движения ведущего звена и другие параметры.

Требуется:

3.1.1. Определить недостающие размеры звеньев механизма аналитическим методом с использованием ЭВМ или графическим способом.

3.1.2. Начертить кинематическую схему механизма в двенадцати равноотстоящих положениях. За начальное положение принять то, в котором рабочее звено (звено, к которому приложена сила производственного сопротивления) находится в начале рабочего хода, то есть крайнее положение. Если среди построенных положений механизма не окажется второго крайнего положения рабочего звена, то его необходимо достроить.

3.1.3. Начертить траектории геометрических центров кинематических пар и центров тяжести звеньев механизма.

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Начальное положение механизма должно быть начерчено линиями толщиной  $2S$ , а остальные положения линиями толщиной примерно  $0,5S$ .

2. Масштабный коэффициент длин определяется по формуле:

$$K_l = \frac{l_{AB}}{AB},$$

где  $l_{AB}$  - длина звена, м;

$\overline{AB}$  - длина отрезка, изображающего данное звено на чертеже, мм.

Например:  $l_{AB}=0,5$  м;  $\overline{AB}=50$  мм,

$$\text{тогда } K_l = \frac{0,5}{50} = 0,01 \frac{\text{м}}{\text{мм}}$$

3.1.4. Произвести структурный анализ механизма.

При структурном анализе нужно решить следующие вопросы: подсчитать число степеней свободы механизма и определить количество начальных звеньев; разложить механизм

на структурные группы с нулевой степенью свободы (группы Ассура) и механизм (механизмы) первого класса; определить класс, порядок и вид каждой группы; определить класс механизма; написать формулу строения механизма.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Число степеней свободы плоских механизмов определяется по формуле П. П. Чебышева [1]:

$$W=3n-2p_5-p_4+q,$$

где  $n$  – число подвижных звеньев;

$p_5$  – число кинематических пар пятого класса;

$p_4$  – число кинематических пар четвертого класса;

$q$  – число избыточных (повторяющихся) связей.

3.1.5. Произвести кинематическое исследование механизма аналитическим методом с использованием ЭВМ.

Кинематический анализ механизма заключается в исследовании движения его звеньев независимо от сил, вызывающих это движение. При этом решаются следующие задачи: определяются положения звеньев и траектории движения определенных точек, линейные скорости и ускорения этих точек, угловые скорости и ускорения звеньев.

Существует несколько различных аналитических методов кинематического анализа, позволяющих установить функциональную зависимость между кинематическими и метрическими параметрами механизма.

В курсовом проекте предлагается использовать метод замкнутого векторного контура (метод В. А. Зинovieва) [3].

Кинематический анализ произвести в следующем порядке:

- определить кинематические передаточные функции скоростей и ускорений (аналоги скоростей и ускорений) точки рабочего звена и центров тяжести звеньев;
- определить передаточные отношения угловых скоростей звеньев;
- определить передаточные функции угловых ускорений звеньев;
- вычислить значения линейных скоростей и ускорений точки рабочего звена и центров тяжести звеньев через соответствующие аналоги скоростей и ускорений;
- вычислить угловые скорости и ускорения звеньев через передаточные отношения и передаточные функции;
- построить графики изменения аналогов скоростей и ускорений точки рабочего звена в функции обобщенной координаты (например, угла поворота входного звена).

3.1.6. Произвести частичное (с целью сравнения результатов) кинематическое исследование механизма методом планов.

Нужно построить планы скоростей и ускорений для двух положений механизма (при рабочем и холостом ходе).

По планам скоростей и ускорений определить линейные скорости и ускорения всех характерных точек механизма, включая центры тяжести звеньев.

Определить значения угловых скоростей и ускорений, а также их направления, используя планы скоростей и ускорений.

3.1.7. Сравнить значения скоростей и ускорений, а также угловых скоростей и ускорений звеньев, полученных аналитическим способом и методом планов.

3.1.8. Определить инерционные параметры динамической модели механизма (приведенный момент инерции  $J_M^{np}$  и

приведенный вращающий момент  $M_M^{np}$ ), используя при этом значения аналогов скоростей точек и передаточных отношений звеньев, полученных аналитическим способом на ЭВМ [2]:

$$J_M^{np} = \sum_{i=1}^n \left[ m_i \left( \frac{V_{si}}{\omega_1} \right)^2 + J_{si} \left( \frac{\omega_i}{\omega_1} \right)^2 \right],$$

$$M_M^{np} = \sum_{i=1}^n \left[ F_i \left( \frac{V_i}{\omega_1} \right) + M_i \left( \frac{\omega_i}{\omega_1} \right) \right],$$

где  $m_i$  – массы звеньев, кг;

$J_{si}$  – моменты инерции относительно осей, проходящих через центры тяжести  $S_i$ , кг·м<sup>2</sup>;

$\left( \frac{V_{si}}{\omega_1} \right), \left( \frac{V_i}{\omega_1} \right)$  – передаточные функции скоростей точек

приложения сил;

$\left( \frac{\omega_i}{\omega_1} \right)$  – передаточные отношения угловых скоростей

звеньев;

$n$  – число исследуемых положений механизма.

### 3.2. Кинестатическое (силовое) исследование рычажного механизма

Силовое исследование произвести для двух положений механизма, для которых построены планы скоростей и ускорений.

При выполнении этой части проекта необходимо.

3.2.1. Определить нагрузки, приложенные к звеньям механизма. Кроме заданных движущих сил или сил производственных сопротивлений учитывать силы тяжести и силы инерции звеньев. Силы трения в кинематических парах не учитывать.

3.2.2. Определить реакции во всех кинематических парах механизма методом планов сил. Численные значения реакций во всех кинематических парах свести в таблицу расчетно-пояснительной записки.

3.2.3. Определить уравнивающую силу  $F_y$  или уравнивающий момент  $M_y$  для начального звена методом планов сил и методом «жесткого рычага» Н. Е. Жуковского. Полученные двумя методами значения  $F_y$  или  $M_y$  сопоставить. Расхождение не должно превышать 10 %.

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Центр тяжести звеньев принять в центре тяжести фигур, их изображающих (за исключением случаев, когда они указаны в заданиях).

2. Массу долбяков поперечно-строгальных и долбежных станков в кг, а также массу главных ползунов прессов определить по формуле

$$m=(30\dots60)\cdot S,$$

где  $S$  – ход долбяка в м.

3. Массу поршней в двигателях и компрессорах определить по формуле

$$m=(0,5\dots0,7)\cdot m_{ш},$$

где  $m_{ш}$  – масса соединенного с данным поршнем шатуна, кг.

4. Массу остальных звеньев определить по формуле

$$m=k\cdot l,$$

где  $k= 8\dots12$  кг/м для шатунов;

$k=10\dots20$  кг/м для коромысел;

$k=20\dots30$  кг/м для кулис и кривошипов;

$l$  - длина звена, м.



5. Массой кулисного камня и ползунов, не являющихся рабочими звеньями, можно пренебречь.

6. Моменты инерции звеньев относительно осей, проходящих через их центры тяжести, определить по формулам:

$$J_S = ml^2 / 3 - \text{ для кривошипа;}$$

$$J_S = ml^2 / 12 - \text{ для остальных звеньев рычажного типа,}$$

где  $m$  – масса звена, кг;

$l$  – длина звена, м.

7. Силу производственного сопротивления  $F_C$  приложить к рабочему звену и направить через его центр тяжести против движения (направление движения определить по плану скоростей).

### 3.3. Синтез и анализ зубчатого механизма

Задано. Схема зубчатого механизма, включающего в себя планетарную передачу и рядовой механизм; общее передаточное отношение зубчатого механизма; число зубьев зубчатых колес рядового механизма; модули зубчатых колес.

Требуется.

3.3.1. Определить передаточное отношение планетарной передачи.

3.3.2. Подобрать числа зубьев колес для планетарной передачи наименьших габаритов, которая должна обеспечить требуемое передаточное отношение.

3.3.3. Определить количество сателлитов  $K$ , которое должно быть соответствующим образом связано с числом зубьев центральных колес, входящих в зацепление с сателлитами (удовлетворять условию сборки). Необходимо также при этом проверить условие соседства, согласно которому окруж-

ности вершин зубьев двух соседних сателлитов, расположенных в одной плоскости, не должны соприкасаться.

3.3.4. Определить диаметры делительных или начальных окружностей всех колес планетарной передачи.

3.3.5. Определить все основные геометрические параметры эвольвентных зубчатых колес внешней пары, подлежащих профилированию.

3.3.6. Начертить кинематическую схему планетарной передачи в двух проекциях.

3.3.7. Построить картину линейных и угловых скоростей зубчатого механизма.

3.3.8. Начертить картину зацепления для внешней пары зубчатых колес, основные геометрические параметры которых определены. При этом рекомендуется построить, как минимум, три пары зубьев, находящихся в зоне зацепления, линию зацепления, дугу зацепления, рабочие участки профилей зубьев, картину коэффициентов удельных скольжений.

3.3.9. Определить коэффициент перекрытия аналитическим и графическим способами, результаты сравнить.

3.3.10. Начертить таблицу с параметрами механизма и зубчатых колес.

**ПРИМЕЧАНИЯ:** 1. Расчетную часть выполнить на ЭВМ с использованием прикладных программ **ZUB** и **KOLESO** [9].

2. Зацепление вычертить по возможности крупнее, чтобы высота зубьев была не менее 50 мм.

### **3.4. Синтез кулачкового механизма**

Задача синтеза заключается в определении основных размеров и профиля кулачка по заданным кинематическим и динамическим параметрам.

Задано. Схема кулачкового механизма; закон движения выходного звена в виде диаграммы аналогов ускорения; максимальное перемещение выходного звена (линейное  $h_{max}$  или

угловое  $\psi_{max}$ ); фазовые углы (подъема  $\varphi_n$ , верхнего выстоя  $\varphi_{в.в.}$ , опускания  $\varphi_o$  и нижнего выстоя  $\varphi_{н.в.}$ ); максимально допускаемый угол давления  $\vartheta_{max}$ .

Требуется.

3.4.1. Аналитическим способом с помощью ЭВМ определить: перемещения  $S_i$  (или  $\psi_i$ ) и аналоги скоростей и ускорений выходного звена в соответствии с заданным законом движения; профильные углы и полярные радиусы теоретического профиля кулачка; углы давления для всех рассматриваемых положений; радиус ролика для механизмов с роликовым выходным звеном (или диаметр тарелки для механизма с плоским толкателем).

3.4.2. На основании рассчитанных данных построить графики пути и аналогов скоростей и ускорений выходного звена в функции угла поворота кулачка, диаграмму изменения угла давления.

3.4.3. Графическим способом определить минимальный радиус кулачка  $R_{min}$  и эксцентриситет  $e$  (для внеосных кулачковых механизмов).

3.4.4. Построить теоретический (центральной) и практический (действительный) профили кулачка (для механизма с плоским толкателем строится практический профиль) с указанием на чертеже размеров фазовых углов и направления вращения кулачка.

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Теоретические вопросы, основные этапы и методы проектирования плоских кулачковых механизмов оптимальных размеров с использованием ЭВМ подробно рассмотрены в работах [3, 4].

2. Прикладная программа **KULAK** и методические указания по подготовке

исходных данных для программы приведены в работе [8].

#### **4. ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ**

4.1. Графическую часть проекта выполнить карандашом на листах формата А1 по ГОСТ 2.301-68.

4.2. Графики, схемы, таблицы на чертежах должны иметь подписи, выполненные стандартным машиностроительным шрифтом по ГОСТ 2.304-81.

4.3. Должны быть указаны масштабы или масштабные коэффициенты построений.

4.4. Основную подпись (угловой штамп) на всех чертежах проекта выполнить в соответствии с формой 1 ГОСТ 2.104-68\*, которая приведена в приложении 1.

#### **5. ОФОРМЛЕНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ**

5.1. Расчетно-пояснительную записку оформить на стандартных листах писчей бумаги формата А4 по ГОСТ 2.105-95. Текст писать чернилами или пастой на одной стороне листов, при этом оставлять поля: слева для подшивки 25 мм, с трех других сторон по 5 мм.

5.2. Записка должна включать: титульный лист, проектное задание, основной текст, список литературы, оглавление. Форма титульного листа приведена в приложении 2. План основного текста должен соответствовать последовательности выполнения разделов проекта. Разделы должны иметь заголовки, обозначенные арабскими цифрами.

5.3. Основной текст записки должен содержать все расчеты, необходимые для выполнения проекта, с соответствующими пояснениями и обоснованиями, иллюстрациями, таблицами. Текстовая часть должна ограничиваться лишь кратким объяснением расчетов со ссылками на графическое построение.

ние. Стил ь изложения материала должен быть предельно точным, язык – строгим и простым. Изложение должно вестись от первого лица множественного числа. Например, нужно писать: принимаем, вычисляем и т.д.

5.4. Все расчетные формулы и уравнения записывать вначале в общем виде с перечнем и расшифровкой буквенных обозначений величин, размерностью.

В случае повторения формулы в последующих разделах записки записывать ее в общем виде и давать повторно расшифровку не следует, достаточно сослаться на ту страницу, где ранее была приведена эта формула.

После записи и расшифровки формулы привести материал по выбору или определению всех величин, входящих в данную формулу, сделать числовую подстановку и дать сразу ответ с размерностью без промежуточных вычислений.

Если при выполнении проекта производится ряд аналогичных расчетов, то в этом случае нужно изложить подробно расчет только один раз, а все последующие опустить и привести лишь сводную таблицу полученных результатов.

5.5. Ссылки на литературные источники в тексте записки следует приводить в квадратных скобках в форме [1, с.25], где первое число обозначает порядковый номер источника в списке литературы, приводимом в конце записки, второе - страницу в этом источнике, на которой приведена формула или цитируемый материал. В список литературы занести только те источники, на которые в тексте записки имеются ссылки, причем в список нужно включать только печатные работы, рукописи и конспекты лекций в список не включать.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин: Учеб. для вузов. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука. Гл. ред. физ. - мат. лит., 1988. - 640 с.

2. Теория механизмов и машин: Учеб. для вузов /К. В. Фролов, С. А. Попов, А. К. Мусатов и др.; Под. ред. К. В. Фролова. - М.: Высш. шк., 1987. - 496 с.

3. Попов С. А. Курсовое проектирование по теории механизмов и механике машин: Учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов / Под ред. К. В. Фролова. - М.: Высш. шк., 1986. - 295 с.

4. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин: Учеб. пособие для инж. - техн. спец. вузов / В. К. Акулевич, П. П. Анципорович, Э. И. Астахов и др.; Под общ. ред. Г. Н. Девойно. - Минск: Высш. шк., 1986. - 285 с.

5. Волокитин Г.Г., Кузьменко Н.И., Филиппов В.Ф.. Теория механизмов и механика машин: Учебное пособие. Ч.1 / Под ред. В.Ф. Филиппова. – Томск: Изд-во Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2000. – 173 с.

6. Волокитин Г.Г., Кузьменко Н.И., Филиппов В.Ф.. Теория механизмов и механика машин: Учебное пособие. Ч.2 / Под ред. В.Ф. Филиппова. – Томск: Изд-во Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2000. – 189 с.

7. Филиппов В.Ф. Силовой анализ рычажных механизмов: Методические указания. Томск: Изд-во Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2001.-22 с.

8. Филиппов В.Ф. Синтез плоских кулачковых механизмов с использованием ЭВМ: Методические указания к курсовому проекту по теории механизмов и механике машин.

Томск: Изд-во Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2001.-20 с.

9. Филиппов В.Ф. Геометрический синтез планетарных зубчатых механизмов с помощью ЭВМ: Методические указания. Томск: Изд-во Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2001.-27 с.

Приложение 1

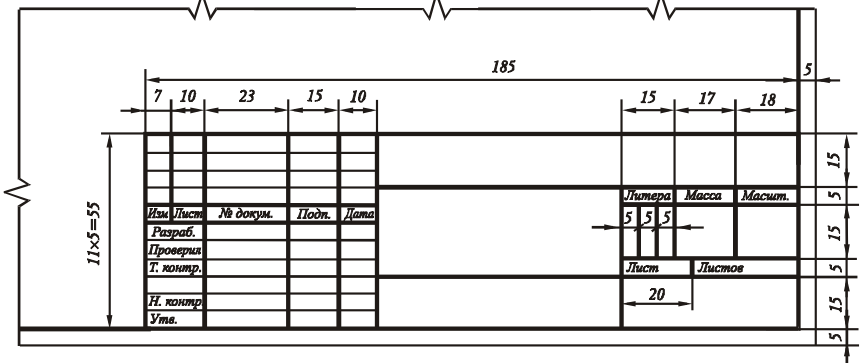


Рис. 1. Основная надпись для чертежей и схем. Форма 1.

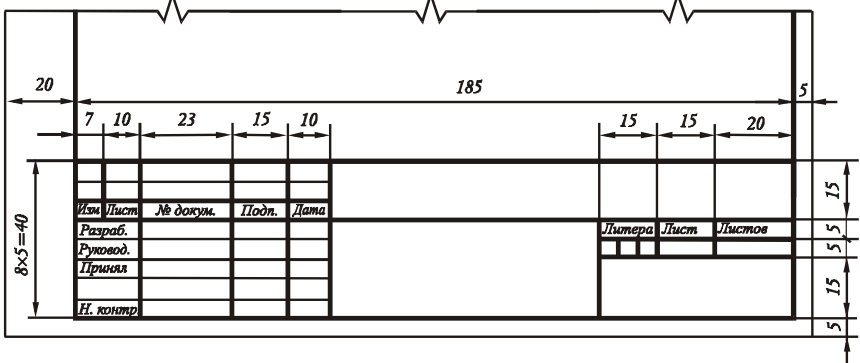


Рис. 2. Основная надпись для текстовых конструкторских документов (первый или заглавный лист) Форма 2.

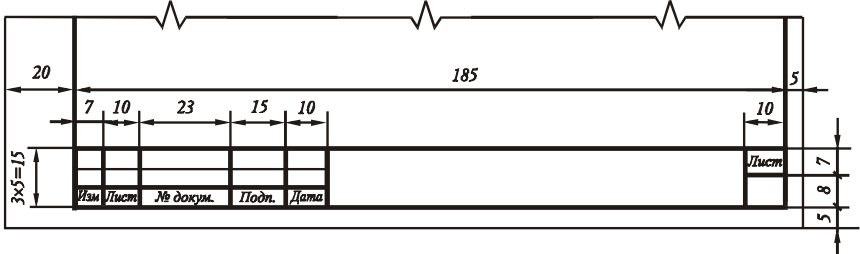


Рис. 3. Основная надпись для текстовых конструкторских документов (последующие листы) Форма 2а.



Приложение 2

Оформление титульного листа пояснительной записки

