

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Агафонов Александр Витальевич  
Должность: директор филиала  
Дата подписания: 24.06.2025 14:32:15  
Уникальный программный ключ:  
2539477a8ecf706d4c7b0c519c63111

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ЧЕБОКСАРСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ) МОСКОВСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

## Кафедра транспортно-технологических машин



# Теория механизмов и машин

(наименование дисциплины)

## Методические указания по выполнению курсовой работы

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Специальность           | <b>23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства</b><br>(код и наименование специальности) |
| Специализация           | <b>«Автомобили и тракторы»</b><br>(наименование профиля подготовки)                                 |
| Квалификация выпускника | <b>инженер</b>  |
| Форма обучения          | <b>очная, заочная</b>   |

Чебоксары, 2020

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями  
ФГОС ВО по специальности  
23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

---

Авторы:  
Никулин Игорь Васильевич,  
доцент, к.т.н. кафедры транспортно-технологических машин  
*ФИО, ученая степень, ученое звание или должность, наименование кафедры*

---

Методические указания одобрены на заседании кафедры  
«Транспортно-технологических машин»  
*наименование кафедры*  
протокол № 10 от 16.05.2020 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| Введение.....   | 4  |
| Содержание работы.....  | 4  |
| 1. Структурный анализ.....  | 5  |
| 2. Кинематический анализ.....                                     | 7  |
| 2.1. Построение кинематической схемы.....                         | 7  |
| 2.2. Определение скоростей.....                                   | 8  |
| 2.3. Определение ускорений.....                                   | 11 |
| 3. Силовой расчет (динамический анализ) механизма.....            | 15 |
| 3.1. Расчет структурной группы 2 класса 2 вида (звенья 4, 5)..... | 16 |
| 3.2. Расчет структурной группы 2 класса 1 вида (звенья 2, 3)..... | 18 |
| 3.3. Расчет ведущего звена.....                                   | 19 |
| 3.4. Определение уравновешивающей силы методом Жуковского.....    | 19 |
| Оформление курсовой работы.....                                   | 21 |
| 1.1. Основные требования.....                                     | 21 |
| 1.2. Построение таблиц.....                                       | 22 |
| 1.3. Формулы и расчеты.....                                       | 22 |
| 1.4. Библиографическое описание литературы.....                   | 23 |
| Вопросы для подготовки к защите курсовой работы.....              | 25 |
| Приложение-содержание графической части.....                      | 26 |

## **Введение**

В соответствии с требованиями образовательных стандартов студенты ряда специальностей и направлений по дисциплине «Теория механизмов и машин» должны выполнить курсовую работу.

Курсовая работа предусматривает выполнение 1 листа графических построений на формате А-1 или А-2 и расчетно-пояснительной записки на формате А-4 объемом до 15 страниц.

Работа включает 3 раздела:

1. Структурный анализ механизма.
2. Кинематический анализ.
3. Силовой расчет (кинематическое исследование).

## **Содержание работы**

1. Структурный анализ – определение степени подвижности и класса механизма (в записке).

2. Кинематический анализ графоаналитическим методом – построение кинематической схемы механизма и плана скоростей и ускорений.

3. Силовой расчет – определение реакций в кинематических парах и уравновешивающей силы графоаналитическим методом и методом Жуковского.

Номер задания курсовой работы выбирается по предпоследней цифре шифра студента, а номер варианта – по последней.

## 1. Структурный анализ.

При структурном анализе определяют степень подвижности и класс механизма.

Степень подвижности плоских механизмов определяют по формуле П.Л. Чебышева

$$W = 3n - 2p_5 - 1p_4$$

где,  $n$  – число подвижных звеньев;

$p_5$  – количество кинематических пар 5-го класса (низших);

$p_4$  – количество пар 4-го класса (высших).

Класс механизма определяется наивысшим классом структурной группы, входящей в состав механизма.

Для выполнения структурного анализа в пояснительной записке строится структурная схема механизма, которая после выделения основной цепи – ведущее звено со стойкой (цепь I класса) разделяется на структурные группы. После этого записывается формула строения механизма и определяется класс.

**Пример:** Провести структурный анализ плоского механизма, изображенного на рис. 1.

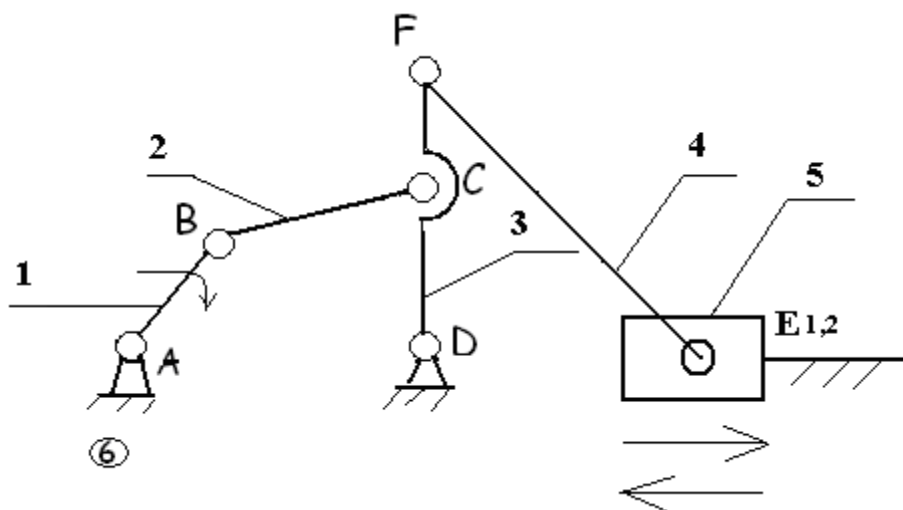


Рис. 1

Определяем степень подвижности:

$$W = 3n - 2p_5 - 1p_4$$

$n = 5$  – число подвижных звеньев;

$p_5 = 7$  – число пар 5-го класса (A,B,C,D,F,E ,E);

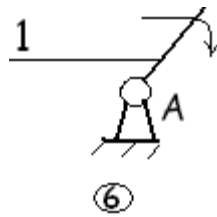
$p_4 = 0$  – число пар 4-го класса.

$$W = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 - 1 \cdot 0 = 15 - 14 = 1$$

Следовательно, для работы механизма необходимо иметь одно ведущее звено (один привод).

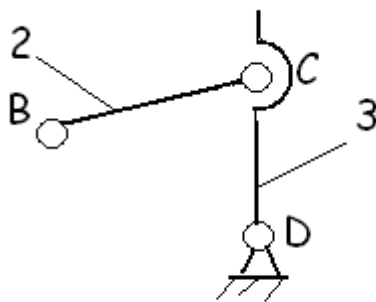
Определяем класс механизма.

Отбрасываем основную цепь – звенья 1 и 6 (I кл.)

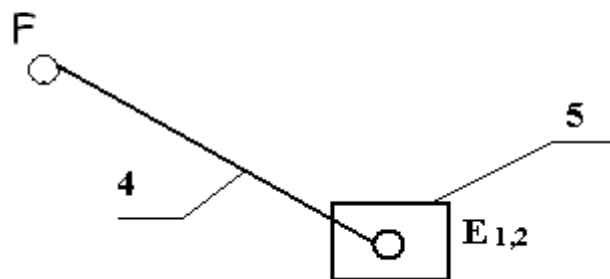


1 класс

Оставшуюся группу звеньев разделяем на 2 структурные группы 2 класса 1 и 2 видов.



2 класс 1 вид.



2 класс 2 вид.

Записываем формулу строения механизма

I (1,6) → II 1 вид (2,3) → II 2 вид (4,5).

В целом данный механизм 2 класса, т.к. наивысший класс структурной группы – второй.

## 2. Кинематический анализ.

При кинематическом анализе находят положение всех звеньев при заданном положении ведущего звена (построение кинематической схемы механизма), определяют скорости и ускорения отдельных точек и угловые скорости и ускорения звеньев.

Кинематическая схема строится методом засечек. Кинематические параметры чаще всего определяют графоаналитическим методом (метод планов скоростей и ускорений).

Рассмотрим порядок кинематического анализа на примере механизма изображенного на рис. 1 Используем исходные данные:

$x_1$  – координата шарнира D, м.

$l_{AB}$  – длина кривошипа м.

$l_{BC}$  – длина шатуна BC, м.

$l_{CD}$  – длина коромысла CD, м.

$l_{CF}$  – длина рычага коромысла м.

$l_{FE}$  – длина шатуна FE, м.

$\omega_1$  – угловая скорость кривошипа,  $c^{-1}$ .

$\varphi_1$  – обобщенная координата, определяющая положение ведущего звена, град.

Центры масс звеньев 2,3 и 4 лежат на их серединах, центра масс кривошипа совпадает с центром шарнира A, центр масс ползуна 5 совпадает с центром шарнира E.

### 2.1. Построение кинематической схемы (рис. 1а приложения)

В левом верхнем углу формата строится кинематическая схема механизма в масштабе  $\mu_l = l_{AB} / \overline{AB}$  (м/мм)

где:  $l_{AB}$  – длина кривошипа, (м),

$\overline{AB}$  – отрезок на чертеже, (мм).

Вычисляются отрезки, изображающие размеры остальных звеньев, координаты отдельных точек и методом засечек находят положение их:

$$\overline{BC} = l_{BC} / \mu_l (\text{мм}). \quad \overline{CD} = l_{CD} / \mu_l (\text{мм}).$$

$$\overline{CF} = l_{CF} / \mu_l (\text{мм}). \quad \overline{FE} = l_{FE} / \mu_l (\text{мм}).$$

$$\overline{X} = X / \mu_l (\text{мм}).$$

Вначале радиусом, равным длине отрезка  $\overline{AB}$  из центра шарнира «А» проводится окружность. От заданного направления оси отсчета обобщенной координаты откладывается угол  $\varphi_1$  и проводится отрезок АВ. От точки А по горизонтали откладывается отрезок  $\overline{X}$  и находится т. D. Из точки «В» радиусом, равным длине отрезка  $\overline{BC}$  проводится часть дуги окружности, а из точки «D» - часть дуги радиусом, равным длине отрезка  $\overline{CD}$ . Точки их пересечения и будет точкой «С». Далее откладывается отрезок  $\overline{CF}$ ; из точки «F» радиусом, равным отрезку  $\overline{FE}$ , делается засечка на горизонтальной направляющей. Тем самым найдено положение центра шарнира Е. В результате решена первая задача анализа – найдены положения всех звеньев механизма при заданном положении ведущего (входного) звена. В соответствии с координатами, показываются положения центров масс звеньев и проставляются номера звеньев.

В рассматриваемом примере центр масс кривошипа 1 совпадает с центром шарнира А, центр масс ползуна 5 совмещается с центром шарнира Е, а центры масс звеньев 2, 3 и 4 лежат на их серединах.

## 2.2. Определение скоростей.

Скорость т. В кривошипа  $\underline{v}_B = \omega_1 \underline{l}_{AB} (\text{м/с})$ .

Для точки С, являющейся общей для звеньев 2 и 3, составляется и решается система векторных уравнений:

$$\begin{cases} \underline{v}_C = \underline{v}_B + \underline{\omega}_2 \underline{l}_{BC} \\ \underline{v}_C = \underline{v}_D + \underline{\omega}_3 \underline{l}_{DC} \end{cases}$$



где:  $\vec{v}_B$  – вектор скорости точки В, известный по величине и направлению – перпендикулярно оси кривошипа АВ в сторону его вращения (подчеркнут двумя чертами);

$\vec{v}_{CB}$  – вектор относительной скорости точки С шатуна по отношению к точке В, известный по направлению – перпендикулярно оси шатуна ВС (подчеркнут одной чертой);

$\vec{v}_D$  – вектор скорости точки D. Так как точка D неподвижна, то  $v_D=0$ ;

$\vec{v}_{CD}$  – вектор относительной скорости точки С коромысла по отношению к точке D, известный по направлению – перпендикулярно оси коромысла CD.

Графическое решение (рис. 1б приложения) приведенной выше системы векторных уравнений называют планом скоростей. Предварительно выбирают масштаб плана скоростей.

$$\vec{v}_C = \vec{v}_B + \vec{v}_{CB} = \vec{v}_D + \vec{v}_{CD}$$

где,  $v_B$  – скорость точки В, ( $\text{мс}^{-1}$ ),

$\overline{pb}$  – отрезок (вектор) произвольной длины, (мм).

Отрезок  $\overline{pb}$  можно взять в пределах 50-80 мм.

Пусть к примеру  $v_B = 1,42 \text{ мс}^{-1}$ .

Примем  $\overline{pb} = 71 \text{ мм}$ . Тогда  $\mu_v = 1,42 / 71 = 0,02 \text{ (мс}^{-1} / \text{мм)}$ .

Итак, проводим вектор  $\overline{pb}$  перпендикулярно оси кривошипа АВ по направлению его вращения. Через точку «b» проводим линию, перпендикулярную оси шатуна ВС. Так как  $v_D=0$ , то точка «d» совмещается с полюсом «р» и через точку «d» или через полюс «р» проводим линию перпендикулярную оси коромысла CD. Точки пересечения последних двух линий дает точку «С».

С плана скоростей: 

Скорость точки F коромысла определяется по правилу подобия.

$$\frac{CD}{DF} = \frac{\overline{cd}}{\overline{df}} \Rightarrow \overline{df} = \frac{DF \times \overline{cd}}{CD} \text{ (мм)}.$$

Проводим отрезок  $\overline{df}$ , сходственный с отрезком DF на схеме механизма.

Тогда  $v_F = \overline{pf} \times \mu_v$ .

Для нахождения скорости точки E решается система векторных уравнений

$$\begin{cases} \overline{v}_E = \overline{v}_F + \overline{v}_{EF} \perp FE \\ \overline{v}_E = \overline{v}_{E_6} + \overline{v}_{EE_6} \text{ горизонталь} \end{cases}$$

Здесь:

$\overline{v}_F$  – вектор скорости точки F известной по величине и направлению (см. точку «f» на плане скоростей);

$\overline{v}_{EF}$  – вектор относительной скорости точки «E» шатуна 4 по отношению к точке «F», известный по направлению – перпендикулярно оси шатуна FE;

$\overline{v}_{E_6}$  – скорость точки E, принадлежащей стойке (звено б) и совпадающей в данный момент с точкой «E» ползуна 5. Так стойка б звено неподвижное, то  $\overline{v}_{E_6} = 0$  и на плане скоростей точки «e<sub>6</sub>» совмещается с полюсом «P»;

$\overline{v}_{EE_6}$  – вектор относительной скорости точки «E» ползуна по отношению к стойке, известный по направлению – вдоль направляющей. В нашем примере – по горизонтали.

Достраиваем план скоростей. Для этого через точку «f» проводим перпендикуляр к оси шатуна FE до пересечения с горизонталью. Получаем точку «e». Тогда  $v_E = \overline{pe} \times \mu_v$ .

Скорость точек центров масс звеньев 2, 3 и 4 находим по правилу подобия. Так как центры масс этих звеньев лежат на их серединах, то и на плане скоростей точки S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> и S<sub>4</sub> лежат на серединах соответствующих отрезков.

Тогда

$$v_{S_2} = \overline{p s_2} \times \mu_v, v_{S_3} = \overline{p s_3} \times \mu_v, v_{S_4} = \overline{p s_4} \times \mu_v.$$

Угловые скорости звеньев

$$\omega_3 = \frac{v_{CB}}{l_{BC}} = \frac{\overline{bc} \times \mu_v}{l_{BC}} \text{ (с}^{-1}\text{)}$$

$$\omega_3 = \frac{v_{CD}}{l_{CD}} = \frac{\overline{dc} \times \mu_v}{l_{CD}} \text{ (с}^{-1}\text{)}$$

$$\omega_4 = \frac{v_{EF}}{l_{FE}} = \frac{\overline{ef} \times \mu_v}{l_{FE}} \text{ (с}^{-1}\text{)}$$

Здесь:  $\overline{bc}$ ,  $\overline{dc}$ ,  $\overline{ef}$  - отрезки на плане скоростей, мм.

$\overline{BC}$ ,  $\overline{CD}$ ,  $\overline{FE}$  - длины звеньев, м.

### 2.3. Определение ускорений.

Так как кривошип вращается равномерно, то полное ускорение точки В равно нормальному (центростремительному) ускорению

$$\overline{a_B} = \overline{v_B}^2 / \overline{BA} \text{ (мс}^{-2}\text{)}$$

Для определения ускорения точки «С» решается графически система векторных уравнений

$$\begin{cases} \overline{a_C} = \overline{a_B} + \overline{a_{CB}^n} + \overline{a_{CB}^\tau} \perp BC \\ \overline{a_C} = \overline{a_D} + \overline{a_{CD}^n} + \overline{a_{CD}^\tau} \perp CD \end{cases}$$

где,  $\overline{a_B}$  – вектор ускорения точки В кривошипа, известный по величине и направлению – вдоль кривошипа от «В» к «А»;

$\overline{a_{CB}^n}$  – вектор нормальной составляющей (центростремительное ускорение) относительного ускорения точки «С» шатуна по отношению к точке «В», известный по величине и направлению – вдоль оси шатуна от «С» к «В»;  $a_{CB}^n = \omega_2^2 \cdot l_{BC}$ .

$\overline{a_{CB}^\tau}$  – вектор тангенциальной составляющей относительного ускорения точки «С» по отношению к точке «В», известный по направлению – перпендикулярно ВС;

$\overline{a}_D$  – вектор ускорения точки D. Так точка D механизма неподвижна, то  $d_D = 0$ ;

$\overline{a}_{CD}^n$  – вектор нормальной составляющей (центростремительное ускорение) относительного ускорения точки «С» коромысла по отношению к точке «D», известный по величине и направлению - вдоль оси коромысла от «С» к «D»;  $a_{CD}^n = \omega_3^2 \cdot l_{CD}$ .

$\overline{a}_{CD}^\tau$  – вектор тангенциальной составляющей относительного ускорения точки «С» по отношению к точке «D», известный по направлению – перпендикулярно CD;

Строим план ускорений в масштабе  $\mu_a = a_B / \overline{\pi b}$  ( $\text{мс}^{-2} / \text{мм}$ ), (рис. 1в приложения). К примеру:  $a_B = 12,8 \text{ мс}^{-2}$ . Изобразим это ускорение отрезком  $\overline{\pi b} = 64 \text{ мм}$ .

Тогда  $\mu_a = 12,8 / 64 = 0,2 (\text{мс}^{-2} / \text{мм})$ .

Откладываем от полюса «π» отрезок  $\overline{\pi b}$  длиной 64 мм в направлении вдоль кривошипа АВ от «В» к «А». Длина вектора нормального ускорения  $\overline{a}_{CB}^n$  будет  $\overline{b n_1} = a_{CB}^n / \mu_a$  (мм). Откладываем этот отрезок параллельно шатуну ВС в направлении от С к В, а через точку  $n_1$  проведем перпендикуляр к этому отрезку (направление  $\overline{a}_{CB}^\tau$ ). Точку «d» совмещаем с полюсом «π», так как  $\overline{a}_D = 0$ . Длина вектора нормальной составляющей  $\overline{a}_{CD}^n$  будет  $\overline{\pi n_2} = a_{CD}^n / \mu_a$  (мм). Проводим отрезок  $\overline{\pi n_2}$  параллельно коромыслу CD в направлении от «С» к «D» и через точку « $n_2$ » - перпендикуляр к этому отрезку (направление  $\overline{a}_{CD}^\tau$ ).

Точка пересечения направлений тангенциальных составляющих даёт точку «С».

Тогда  $a_C = \overline{\pi c} \times \mu_a$  ( $\text{мс}^{-2}$ ). Здесь  $\overline{\pi c}$  – длина отрезка на плане ускорений.

Тангенциальные составляющие относительных ускорений

$$\overline{a}_{CB}^\tau = \overline{n_1 c} \times \mu_a; \overline{a}_{CD}^\tau = \overline{n_2 c} \times \mu_a.$$

Ускорение точки F определим по графику подобия:

$$\frac{CD}{DF} = \frac{\overline{cd}}{\overline{df}} \Rightarrow \overline{df} = \frac{DF \times \overline{cd}}{CD} \text{ (мм)}$$

CD и DF – отрезки на кинематической схеме механизма,

$\overline{cd}$  и  $\overline{df}$  – отрезки на плане ускорений .

$$a_F = \overline{\omega} \times \mu_a \text{ (мс}^{-2}\text{)}$$

Для определения ускорения точки E решается система векторных ускорений

$$\begin{cases} \overline{a_E} = \overline{a_F} + \overline{a_{EF}^n} + \overline{a_{EF}^r} \perp FE \\ \overline{a_E} = \overline{a_{E6}} + \overline{a_{EE_6}^{kop}} + \overline{a_{EE_6}^r} \text{ горизонталь} \end{cases}$$

Здесь:

$\overline{a_F}$  – вектор ускорения точки F, известный по величине и направлению;

$\overline{a_{EF}^n}$  – вектор нормальной составляющей относительного ускорения точки E по отношению к точке F, известный по направлению – вдоль шатуна от E к F и по величине  $\overline{a_{EF}^n} = \overline{\omega}^2 \mu_a$ ;

$\overline{a_{EF}^r}$  – вектор тангенциальной составляющей, известный по направлению – перпендикулярно FE;

$\overline{a_{E6}}$  – ускорение точки E, принадлежащей стойке (звену) б и совпадающей в данный момент с точкой E ползуна. Так стойка – звено неподвижное, то  $\overline{a_{E6}} = 0$ ;

$\overline{a_{EE_6}^{kop}}$  – вектор кориолисова ускорения. Так как ползун совершает только поступательное движение, то  $\overline{a_{EE_6}^{kop}} = 0$ ;

$\overline{a_{EE_6}^r}$  – вектор относительного (релятивного) ускорения, известный по направлению – вдоль оси направляющей. В нашем случае – по горизонтали.

Достраиваем план ускорений. Длина вектора нормального ускорения

$\overline{a_{EF}^n}$  будет  $\overline{fn_3} = \frac{\overline{a_{EF}^n}}{\mu_a}$ ; (мм). Откладываем этот отрезок параллельно шатуну FE

в направлении от E к F, а через точку n<sub>3</sub> проводим перпендикуляр к этому

отрезку (направление  $\overline{a_{EF}}$ ). Точку  $e_6$  совмещаем с полюсом  $\pi$  и через неё проведём горизонталь – направление  $\overline{a_{EE_6}}$ . Тогда ускорение точки E:

$$\overline{a_E} = \overline{\tau_E} \times \mu_1 (\text{мс}^{-2}); \quad \overline{a_{EE_6}} = \overline{\tau_{E_6}} \times \mu_1 (\text{мс}^{-2}).$$

Ускорение центров масс звеньев 2, 3 и 4 находим по правилу подобия. Так как точки  $S_2, S_3, S_4$  лежат на серединах звеньев BC, DF и FE, то и на плане ускорений эти точки должны лежать на серединах соответствующих отрезков. Тогда:

$$\overline{a_{S_2}} = \overline{\tau_{S_2}} \times \mu_1; \quad \overline{a_{S_3}} = \overline{\tau_{S_3}} \times \mu_1; \quad \overline{a_{S_4}} = \overline{\tau_{S_4}} \times \mu_1.$$

Определяем угловые ускорения звеньев:

$$\overline{\alpha_2} = \frac{\overline{a_{S_2}}}{l_{BC}} (\text{с}^{-2});$$

$$\overline{\alpha_3} = \frac{\overline{a_{S_3}}}{l_{CD}} (\text{с}^{-2});$$

$$\overline{\alpha_4} = \frac{\overline{a_{S_4}}}{l_{FE}} (\text{с}^{-2}).$$

Для определения направления угловых ускорений звеньев векторы тангенциальных составляющих относительных ускорений переносим мысленно с плана ускорений на схему механизма в искомые точки и возможный поворот звеньев под действием этих векторов указывает направление их угловых ускорений. Вектор  $\overline{n_1c}$ , приложенный в т.С шатуна BC, стремится повернуть его против часовой стрелки (см. кинематическую схему механизма). Вектор  $\overline{n_2c}$ , приложенный в т.С коромысла CD поворачивает его против часовой стрелки. Вектор  $\overline{n_3c}$ , приложенный в т.Е, тоже поворачивает шатун FE против часовой стрелки.

### 3. Силовой расчёт (динамический анализ) механизма.

Нагружаем звенья механизма заданными внешними силами: векторы сил тяжести  $\overline{G_i}$  прикладываем в точках центров масс, силу полезного

сопротивления  $\bar{P}_{n.c.}$  – к ползуну. Определяем инерционную нагрузку звеньев. У кривошипа центр масс совпадает с осью вращения, поэтому  $P_{u1} = 0$ . Вращается он равномерно и в связи с этим  $M_{u1} = 0$ .

~~$$P_{u2} = \bar{P}_{n.c.} \times \mu_2 (H); M_{u2} = J_{S_2} \times \varepsilon_2 = J_{S_2} \times \frac{n_3 e \times \mu_a}{l_{FE}} (H \cdot M);$$~~

~~$$P_{u3} = \bar{P}_{n.c.} \times \mu_3 (H); M_{u3} = J_{S_3} \times \varepsilon_3 = J_{S_3} \times \frac{n_3 e \times \mu_a}{l_{FE}} (H \cdot M);$$~~

);

~~$$P_{u4} = \bar{P}_{n.c.} \times \mu_4 (H); M_{u4} = J_{S_4} \times \varepsilon_4 = J_{S_4} \times \frac{n_3 e \times \mu_a}{l_{FE}} (H \cdot M);$$~~

);

~~$$P_{u5} = \bar{P}_{n.c.} \times \mu_5 (H).$$~~

Векторы сил инерции прикладываем в центрах масс звеньев противоположно векторам ускорений, а векторы моментов инерции – противоположно угловым ускорениям.

Для звеньев 2, 3 и 4 определяем плечи переноса векторов сил инерции и находим точки качания их.

$$l_2 = \frac{M_{u2}}{P_{u2} \times \mu} (мм); l_3 = \frac{M_{u3}}{P_{u3} \times \mu} (мм); l_4 = \frac{M_{u4}}{P_{u4} \times \mu} (мм).$$

Плечи откладываем в ту сторону, чтобы направление момента от силы инерции, приложенной в точке качания, относительно центра масс, совпадало бы с направлением момента инерции звена.

Силовой расчёт проводят по структурным группам, начиная с наиболее удалённой от ведущего звена, т.к. статически определёнными являются только такие группы звеньев.

### 3.1. Расчёт структурной группы 2 класса 2 вида (звенья 4, 5)

Строим кинематическую схему группы (рис. 2а приложения). Со схемы механизма переносим все силы, действующие на звенья этой группы. Силу инерции шатуна 4 прикладываем в точке  $K_4$  (точке качания). Реакцию со

стороны отброшенного коромысла 3 на шатун 4 в шарнире F разложим на две составляющие: тангенциальную  $-R_{34}^t$ , направленную перпендикулярно оси шатуна, и нормальную  $-R_{34}^n$ , направленную вдоль оси звена. Направление векторов этих сил на данном этапе выбирается произвольно. Вектор силы реакции со стороны направляющей (стойки) на ползун 5  $R_{65}$  без учёта трения направляем перпендикулярно ей, т.е. по вертикали.

Определяем  $R_{34}^t$ . Составляем уравнение равновесия шатуна под действием моментов приложенных к нему сил относительно внутренней пары группы, т.е. точки E:

$$\sum m(\bar{M}) = 0; \quad \overline{R_{34}^n} \cdot \overline{BE} - \overline{R_{34}^t} \cdot \overline{FE} = 0 \quad (H).$$

Если значение  $R_{34}^t$  получается со знаком (-), то направление вектора  $R_{34}^t$  на схеме группы меняют на противоположное. Пусть в нашем случае получим  $R_{34}^t$  со знаком (-). Поэтому на схеме группы зачеркиваем вектор  $\overline{R_{34}^t}$  и направляем его в противоположную сторону.

Определяем  $R_{34}^n$  и  $R_{65}$ . Уравнение равновесия структурной группы под действием приложенных к ней сил:

$$\sum R(\bar{A}) = 0$$

При расшифровке этой краткой записи неизвестные силы  $R_{34}^n$  и  $R_{65}$  ставим в начале и в конце уравнения и силы группируем по звеньям:

$$\overline{R_{65}} - \overline{R_{34}^n} + \overline{R_{34}^t} - \overline{R_{34}^n} + \overline{R_{34}^t} = 0$$

В этом уравнении крайние составляющие известны только по направлению, а остальные – по величине и направлению (подчёркнуты двумя чертами).

Выбираем масштаб  $\mu_p$  (Н/мм) и строим план сил (рис. 2б приложения).

В выбранном масштабе силы изобразятся отрезками:



$$\overline{pa} = \frac{\overline{R}_{34}^n(m)}{\mu_p}; \quad \overline{ab} = \frac{P_{u4}(m)}{\mu_p}; \quad \overline{be} = \frac{G_4(m)}{\mu_p}$$

$$\overline{cd} = \frac{P_{u5}(m)}{\mu_p}; \quad \overline{de} = \frac{G_5(m)}{\mu_p}; \quad \overline{ef} = \frac{P_{u6}(m)}{\mu_p}$$

После того как отложены эти отрезки, из начала первого вектора (точки p) проводится направление  $R_{34}^n$ , т.е. вдоль оси шатуна FE, а из конца последнего вектора (точка f) – направление  $R_{65}$ , т.е. вертикаль. Точка их пересечения  $m$  является замыкающей. Тогда:

$$\overline{R}_{34}^n = \overline{mp}; \quad \overline{R}_{65} = \overline{fm}.$$

Сравнивая направления векторов на схеме группы и на плане сил, видим, что вектор  $\overline{R}_{34}^n$  на схеме группы надо направить в противоположную сторону.

Полная реакция в шарнире F –  $\overline{R}_{F4}$ .

Для определения реакции во внутренней паре группы (шарнир E) решим векторное уравнение равновесия шатуна FE, отбросив ползун 5.

$$\Sigma P_i(4) = 0; \quad \overline{R}_{34} + \overline{P}_{u4} + \overline{R}_{F4}$$

Здесь  $\overline{R}_{54}$  - реакция со сторон отброшенного ползуна 5 на шатун 4.

Воспользуемся планом сил для группы, тогда:

$$\overline{R}_{34} + \overline{P}_{u4} + \overline{R}_{F4}$$

### 3.2. Расчёт структурной группы 2 класса 1 вида (звенья 2, 3).

Строим кинематическую схему данной структурной группы (рис. За приложения). Переносим со схемы механизма все силы. Силы инерции  $P_{u2}$  и  $P_{u3}$  прикладываем в точках качания звеньев  $K_2$  и  $K_3$ . В точке F прикладываем вектор силы реакции от шатуна 4 -  $R_{43}$ . Направление его противоположно вектору  $\overline{R}_{34}$  на плане сил для группы 4, 5. Реакции во внешних парах B и D

раскладываем на две составляющие:  $R_{12}^r$  и  $R_{12}^n$ ;  $R_{63}^r$  и  $R_{63}^n$ . Определяем  $R_{12}^r$  и  $R_{63}^r$ .

$$\Sigma M(O) = C; \quad \overline{R_{12}^r} \cdot \overline{BC} = \overline{P_{12}^r} \cdot \overline{BC} \Rightarrow \overline{R_{12}^r} = \overline{P_{12}^r}$$

$$\Sigma M(O) = C; \quad \overline{R_{63}^r} \cdot \overline{CD} = \overline{G_3} \cdot \overline{CD} \Rightarrow \overline{R_{63}^r} = \overline{G_3}$$

Определяем  $R_{12}^n$  и  $R_{63}^n$ :

$$\Sigma F_x = 0; \quad \overline{R_{12}^n} = \overline{R_{63}^n}$$

Строим план сил для данной группы в масштабе  $\mu_p = (H/мм)$ , (рис. 36 приложения). Для этого вычисляем отрезки:

$$\overline{pa} = \frac{\overline{R_{12}^r}}{\mu_p}; \quad \overline{ab} = \frac{\overline{P_{12}^r}}{\mu_p}; \quad \overline{bc} = \frac{\overline{G_3}}{\mu_p}$$

$$\overline{cd} = \frac{\overline{P_{12}^r}}{\mu_p}; \quad \overline{de} = \frac{\overline{G_3}}{\mu_p}; \quad \overline{ef} = \frac{\overline{R_{43}}}{\mu_p}; \quad \overline{fk} = \frac{\overline{R_{63}^r}}{\mu_p}$$

Отложив эти отрезки, далее из начала первого отрезка (точка p) проводим линию, параллельную оси шатуна BC, а из конца последнего (точка k) – линию, параллельную оси коромысла CD.

$$\text{Тогда } \overline{R_{12}^n} = \overline{mk} \cdot \mu_p (H); \quad \overline{R_{63}^n} = \overline{kp} \cdot \mu_p (H).$$

Полные реакции во внешних парах В и D

$$\overline{R_{12}} = \overline{mk} \cdot \mu_p (H); \quad \overline{R_{63}} = \overline{kp} \cdot \mu_p (H).$$

Определяем реакцию во внутренней паре группы – шарнире С.

Рассмотрим условие равновесия шатуна BC:

$$\Sigma M_i(O) = 0; \quad \overline{R_{12}^n} \cdot \overline{BC} = \overline{R_{63}^n} \cdot \overline{BC}$$

Из построенного для группы плана сил:

$$\overline{R_{12}} = \overline{R_{21}} (H).$$

### 3.3. Расчёт ведущего звена.

Строим кинематическую схему ведущего звена (рис. 4а приложения).

Определяем уравнивающую силу, направив вектор её перпендикулярно кривошипу в сторону его вращения. В шарнире В прикладываем так же вектор  $\overline{R_{21}}$ , направление которого взято противоположно вектору  $\overline{R_{12}}$  на плане сил для группы 2, 3.

$$\Sigma M_A = 0; \overline{R_{21}} \cdot \overline{AB} = \overline{P_{up}} \cdot \overline{AB} (H).$$

Определяем реакцию в кинематической паре А:

$$\Sigma R_i = 0; \overline{R_{12}} = \overline{R_{21}}.$$

Строим план сил ведущего звена в масштабе  $\mu_p$ , (рис. 4б приложения):


$$\overline{pa} = \frac{P_{up}}{\mu_p} (M); \overline{ab} = \frac{R_{21}}{\mu_p} (M); \overline{bc} = \frac{G}{\mu_p} (M)$$

$$\text{С плана сил: } \overline{R_{12}} = \overline{R_{21}} (H).$$

### 3.4. Определение уравнивающей силы методом Жуковского

Строим повернутый на  $90^\circ$  в сторону, противоположную вращению кривошипа план возможных скоростей. По правилу подобия определяем положения точек центров масс звеньев и точек качания их. Со схемы механизма в одноимённые точки этого плана скоростей переносим все силы, в том числе и уравнивающую (рис. 5). Составляем уравнение равновесия плана скоростей как жёсткого рычага под действием моментов всех сил относительно полюса. Решая его, получаем значение уравнивающей силы по Жуковскому  $-P_{up}^{Жук}$ :

$$\begin{aligned} \Sigma M(a) = 0; \\ -P_{up}^{Жук} \times \overline{pb} - P_{u_2} \times h_{u_2} - G_2 \times h_{G_2} + G_3 \times h_{G_3} - \\ - P_{u_3} \times h_{u_3} + G_4 \times h_{G_4} - P_{u_4} \times h_{u_4} - P_{u_5} \times \overline{pe} + P_{n.c.} \times \overline{pe} = 0; \end{aligned}$$



Полученное значение уравнивающей силы сравнивается со значением, найденным при расчёте ведущего звена, расхождение не должно превышать  $\pm 5\%$ .

$$\frac{F_{\text{урав}}}{F_{\text{вед}}} \cdot 100\% \leq \pm 5\%$$

## Оформление курсовой работы

### 1. Основные требования

Пояснительная записка (ПЗ) оформляется по ГОСТ 2.105-91 «Общие требования к текстовым документам» и выполняется рукописным или компьютерным способом на одной стороне листа формата А-4. Все листы, кроме титульного и задания, должны иметь обведённую рамку с отступлениями на 20 мм от левого края и на 5 мм от трёх других краёв и контур основной надписи по форме 2а, в которой в отведённой графе проставляется номер страницы.

Титульный лист записки является первой её страницей. На первом листе текста заполняется основная надпись по форме 2 (40×185).

Текст располагается следующим образом: расстояние от рамки слева до границ текста в начале строк не менее 5 мм, в конце строк – не менее 3 мм, от верхней и нижней строк – не менее 10 мм. Высота цифр и букв не менее 2,5 мм. Число строк – не более 30.

Текст пояснительной записки разделяют на разделы и подразделы.

Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всей записки, обозначенные арабскими цифрами с точкой. Номера подразделов состоят из номера раздела и подраздела, разделённые точкой (например, 1.2. – второй подраздел первого раздела).

Наименования разделов и подразделов должны быть краткими. Наименования разделов записывают в виде заголовков (симметрично тексту)

прописными буквами. Наименования подразделов записывают в виде заголовков (с абзаца) строчными буквами (кроме первой – прописной). Переносы слов в заголовках не допускаются. Точку в конце заголовка не ставят.

Расстояние между заголовком и текстом 15 мм. Расстояние между заголовками раздела и подраздела 7 мм.

Каждый раздел рекомендуется начинать с новой страницы.

В конце записки приводится список литературы.

### **1.2. Построение таблиц**

Таблица позволяет представить цифровой материал ПЗ в компактной форме. Для таблицы рекомендуется заголовок, раскрывающий в полной мере её содержание. Заголовок должен быть выразительным и кратким.

Таблицы нумеруют. Номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера, разделённых точкой. Слово «Таблица» и номер записывают над заголовком таблицы справа у линии рамки (см. пример 1).

### **1.3. Формулы и расчёты**

Расчёты излагаются в той последовательности, которая определяется характером решаемой задачи.

Наиболее важные из формул, на которые ссылаются в тексте, нумеруют арабскими цифрами.

Номер формулы состоит из номера раздела и её порядкового номера разделённой точкой. Номер формулы заключают в круглые скобки. Например (3.1.), что означает первую формулу третьего раздела.

Использованные в формуле символы последовательно расшифровываются. Расшифровку начинают со слова «где», непосредственно после которого приводят первый поясняемый символ. Все последующие символы отделяют от предыдущей расшифровки точкой с запятой. Перед словом «где» после формулы ставят запятую.

Пример. Мощность привода [2]

$$N=T \cdot \alpha, \quad (3.1)$$

где,  $\omega$  - угловая скорость, ( $\omega = \frac{\pi n}{30}$ );

$T$  - крутящий момент, ( $T = 100$  Нм);

$n$  - частота вращения, ( $n = 148$  мин<sup>-1</sup>);

$$N = 100 \cdot 155 = 15 \cdot 10^3 \text{ Вт} = 15 \text{ кВт}$$

После основной части проекта располагают «Заключение», которое является структурной неотъемлемой частью любого проекта. В нём подводится итог проектирования.

Заключение должно содержать оценку результатов проекта, выводы по проделанной работе, предложения по использованию полученных результатов.

#### 1.4. Библиографическое описание литературы

Список использованной литературы должен включать все обязательные элементы библиографического описания в установленной последовательности в соответствии с ГОСТом 7.0.100-2018.

Библиографическое описание составляется по схемам:

а) для книг, брошюр и других изданий:

Фамилии и инициалы авторов (.) Основное заглавие (:) )

Сведения, относящиеся к заглавию (/) Сведения об авторах (.-)

Сведения о повторности издания (.-) Место издания (:) Издательство (,)

Год издания (.) Количество страниц (.)

б) для составных частей издания (статьи):

Фамилии и инициалы авторов статьи (.) Основное заглавие (") )

Сведения об издании, в котором помещена составная часть (.)

В библиографическом описании издания двух авторов приводят фамилии обоих, разделяя их запятой. Если авторов три, то в описании приводят фамилии лишь первого с добавлением слова «[и др.]». Если авторов более четырёх, фамилии их помещают после заголовка.

Место издания приводят полностью. Сокращают только названия двух городов: М (Москва) и Л (Ленинград).

Примеры библиографических описаний:

1. *Основная литература*

1. Тимофеев, Г. А. Теория механизмов и машин : учебник и практикум для вузов / Г. А. Тимофеев. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 432 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-12245-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/488589>
2. Капустин, А. В. Теория механизмов и машин. Практикум : учебное пособие для вузов / А. В. Капустин, Ю. Д. Нагибин. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 65 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-9972-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/492261>
3. Мкртычев, О. В. Теория механизмов и машин : практикум / О.В. Мкртычев. — Москва : ИНФРА-М, 2021. — 327 с. — ISBN 978-5-9558-0541-2. — Текст : электронный. — URL: <https://znanium.com/catalog/product/1426330>. — Текст : электронный.

*Дополнительная литература*

4. Теория механизмов и машин. Сборник задач : учебное пособие / под редакцией И. Н. Чернышевой. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — 63 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/58502>
5. Чусовитин, Н. А. Теория механизмов и машин : учебное пособие для вузов / Н. А. Чусовитин, В. П. Гилета, Ю. В. Ванаг. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 177 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-11972-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/472066>

В ПЗ обязательны ссылки на использованные литературные источники.

Ссылки на литературные источники приводят в квадратных скобках в соответствии с номером по списку, например: «По табл. 1.1 [4] принимаем значение  $x=0,395$ ».

### **Вопросы для подготовки к защите курсовой работы**

1. Объяснить назначение и устройство данного механизма. Дать технические названия всех звеньев, подсчитать количество кинематических пар и определить их класс.
2. Определить степень подвижности и класс механизма.
3. Дать определение структурной группы и привести характеристику структурных групп, входящих в состав данного механизма.
4. Объяснить, как строится кинематическая схема механизма.
5. Объяснить порядок кинематического анализа рычажных механизмов графоаналитическим методом.



6. Объяснить сущность метода подобия при определении скоростей и ускорений отдельных точек звеньев.

7. Рассказать правила определения направлений угловых скоростей и ускорений звеньев.

8. Для чего и как проводится силовой расчет рычажных механизмов?

9. Как сводится задача динамики к задаче статики?

10. Как определялись главные векторы и главные моменты сил инерции для каждого звена механизма?

11. Как определяются направления векторов сил инерции и моментов инерции звеньев?

12. Как находится точка качания звена, совершающего плоскопараллельное движение?

13. В какой последовательности определяются реакции в кинематических парах групп Ассур 2 класса?

14. В чем суть уравновешивающей силы и как она определяется?

15. Объяснить особенность расчета структурной группы 2 класса 3 вида?

16. Как определяется уравновешивающая сила методом Жуковского?

# ПРИЛОЖЕНИЕ

## Содержание графической части

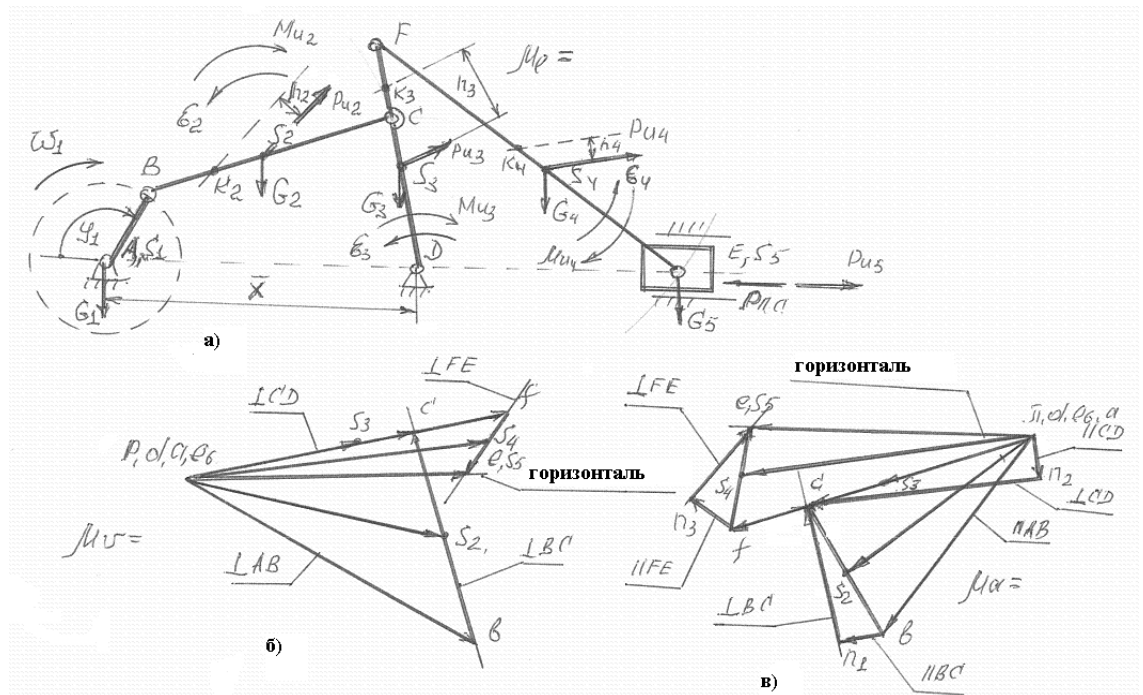


Рис. 1 Кинематическая схема механизма – а,  
план скоростей – б и план ускорений – в

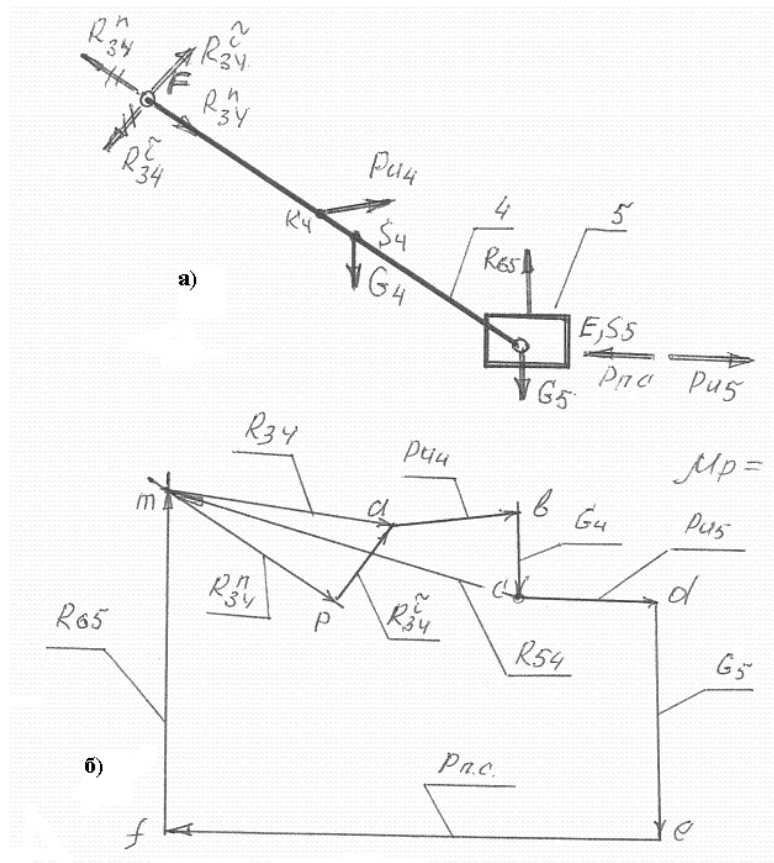


Рис. 2 Кинематическая схема структурной группы II класса 2 вида (звенья 4-5) – а и план сил для нее – б

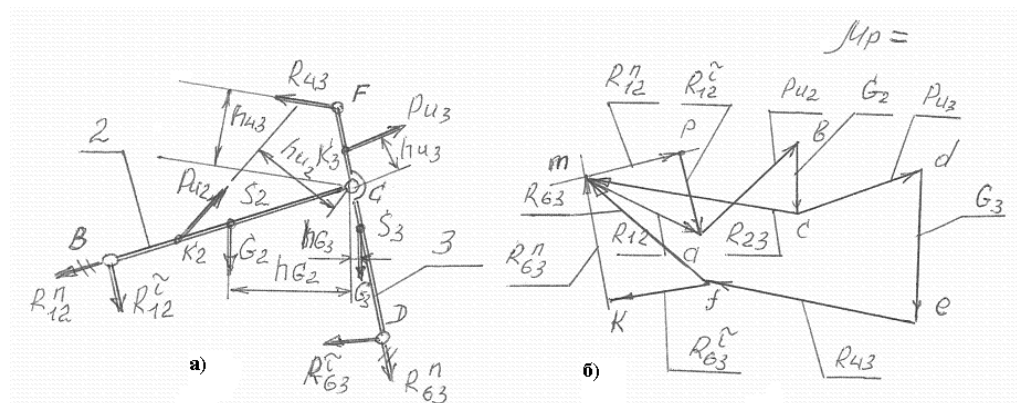


Рис. 3 Кинематическая схема структурной группы II класса 1 вида (звенья 2-3) – а и план сил для нее – б

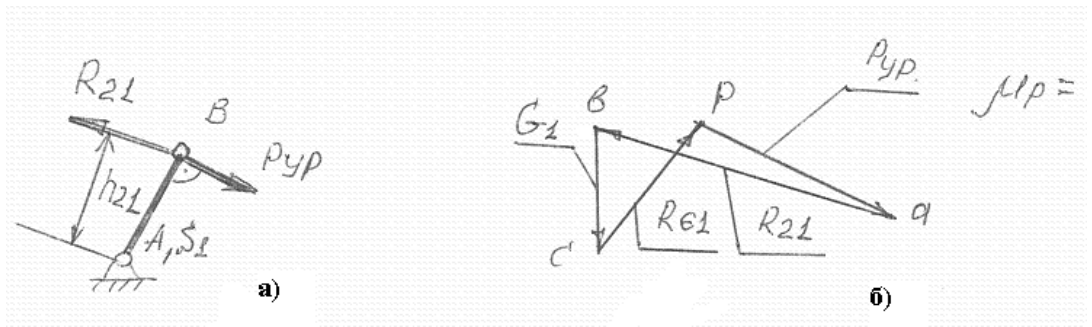


Рис. 4 Кинематическая схема ведущего звена – а  
и план сил для него – б

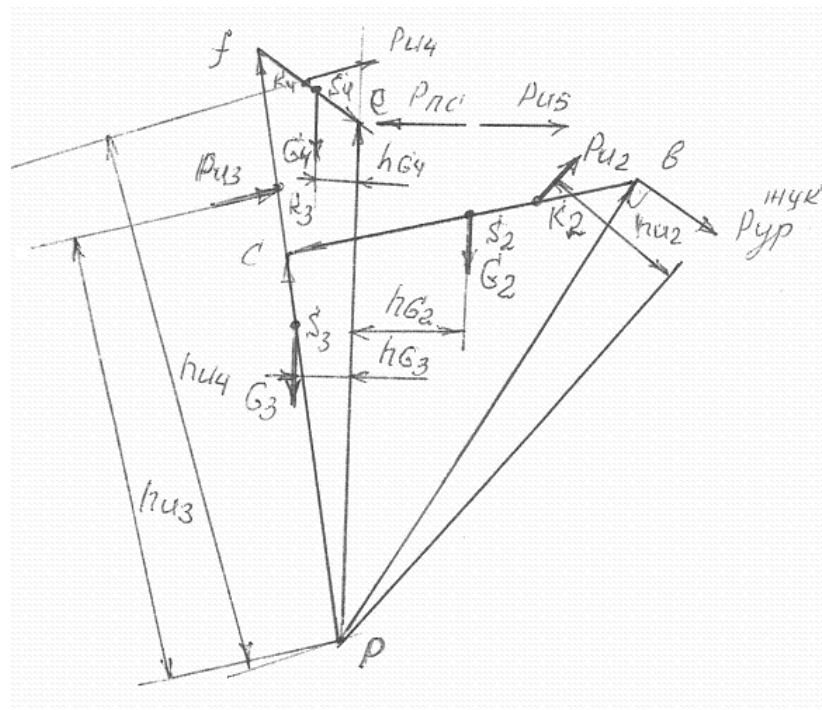
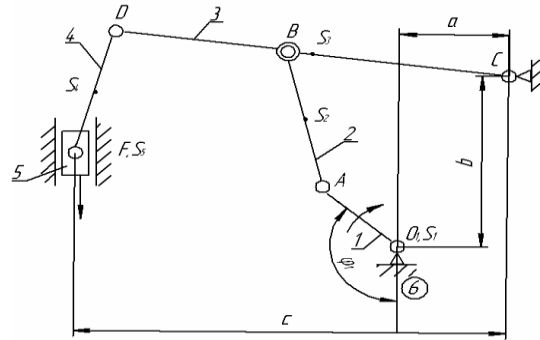


Рис. 5 Рычаг Жуковского

## Задание № 1

Анализ плоского шестизвенного механизма вытяжного прессы.



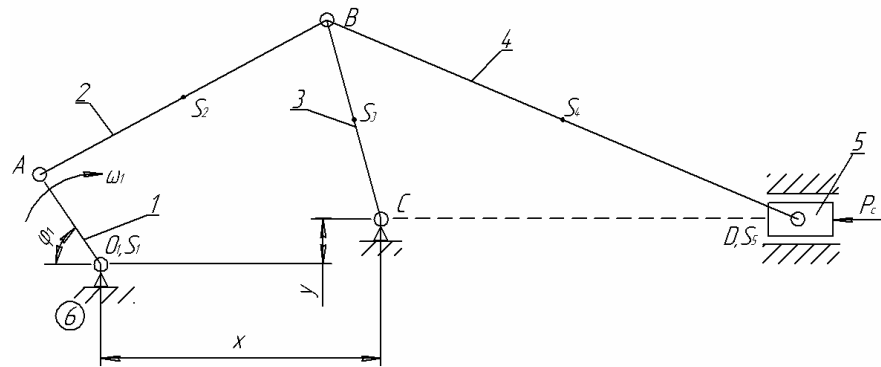
| Параметры                    | Обозначение | Размерность       | Номера вариантов и числовые значения параметров |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------|-------------|-------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                              |             |                   | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| Размеры звеньев механизма    | $l_{OA}$    | м                 | 0,1   | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,1  | 0,11 | 0,12 | 0,1  | 0,09 | 0,1  | 0,12 | 0,1  | 0,09 | 0,1  | 0,12 |
|                              | $l_{AB}$    | м                 | 0,32  | 0,38 | 0,29 | 0,4  | 0,46 | 0,45 | 0,43 | 0,43 | 0,36 | 0,4  | 0,45 | 0,4  | 0,35 | 0,4  | 0,45 |
|                              | $l_{BC}$    | м                 | 0,3   | 0,35 | 0,25 | 0,35 | 0,4  | 0,4  | 0,35 | 0,4  | 0,3  | 0,3  | 0,4  | 0,3  | 0,3  | 0,35 | 0,4  |
|                              | $l_{CD}$    | м                 | 0,42  | 0,45 | 0,37 | 0,45 | 0,5  | 0,5  | 0,45 | 0,45 | 0,42 | 0,45 | 0,5  | 0,45 | 0,4  | 0,45 | 0,5  |
|                              | $l_{DE}$    | м                 | 0,2   | 0,22 | 0,2  | 0,22 | 0,24 | 0,25 | 0,2  | 0,22 | 0,2  | 0,25 | 0,25 | 0,22 | 0,2  | 0,25 | 0,25 |
| Координаты                   | a           |                   | 0,16  | 0,13 | 0,14 | 0,14 | 0,15 | 0,14 | 0,13 | 0,16 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,15 | 0,14 | 0,14 | 0,12 |
|                              | b           |                   | 0,29  | 0,28 | 0,3  | 0,32 | 0,3  | 0,3  | 0,35 | 0,3  | 0,28 | 0,3  | 0,35 | 0,3  | 0,25 | 0,3  | 0,35 |
|                              | c           |                   | 0,45  | 0,5  | 0,4  | 0,5  | 0,55 | 0,6  | 0,5  | 0,5  | 0,45 | 0,5  | 0,6  | 0,5  | 0,45 | 0,5  | 0,6  |
| Частота вращения кривошипа   | $N_1$       | мин <sup>-1</sup> | 50  | 45   | 40   | 42   | 60   | 64   | 6-5  | 70   | 72   | 68   | 48   | 50   | 42   | 46   | 42   |
| Массы звеньев                | $m_1$       | кг                | 5   | 5,5  | 6,0  | 5,0  | 4,5  | 60   | 6,5  | 5,5  | 4,5  | 5,0  | 60   | 5,0  | 5,0  | 5,0  | 6,0  |
|                              | $m_2$       | кг                | 9   | 11   | 10   | 12   | 12   | 13   | 14   | 12   | 10   | 11   | 13   | 12   | 12   | 11   | 12   |
|                              | $m_3$       | кг                | 10  | 14   | 12   | 15   | 18   | 20   | 15   | 16   | 11   | 15   | 18   | 16   | 14   | 14   | 18   |
|                              | $m_4$       | кг                | 6   | 8    | 3    | 9    | 8    | 9    | 7    | 8    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 8    | 8    |
|                              | $m_5$       | кг                | 30  | 32   | 35   | 32   | 40   | 42   | 35   | 40   | 42   | 46   | 46   | 38   | 40   | 42   | 36   |
| Среднее усиление выпрессовки | $P_c$       | кн.               | 0,72  | 0,8  | 0,76 | 0,54 | 0,8  | 0,74 | 0,64 | 0,78 | 0,9  | 0,7  | 0,72 | 0,76 | 0,81 | 84   | 0,8  |
| Обобщенная координата        | $\Phi_1$    | град.             | 0   | 30   | 45   | 60   | 90   | 120  | 150  | 180  | 150  | 135  | 120  | 90   | 60   | 45   | 30   |

Примечание: 1. центры масс звеньев 2, 3 и 4 лежат на их серединах;

2. центральные моменты инерции звеньев 2, 3 и 4 определить по формуле:  $J_{Si} = 0,1 \cdot m_i \cdot l_i^2$  (кг · м<sup>2</sup>).

## Задание № 2

### Анализ плоского шестизвенного механизма конвейера.



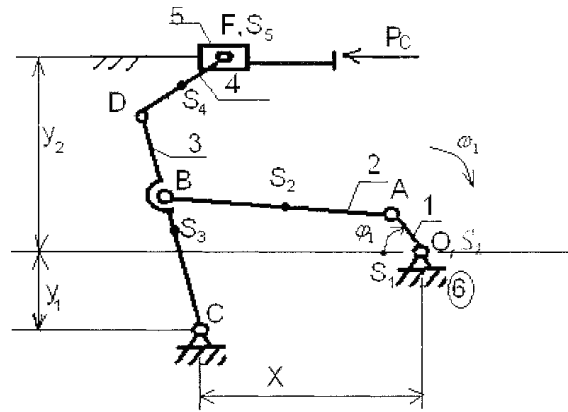
| Параметры                             | Обозначение | Размерность | Номера вариантов и числовые значения параметров |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------|-------------|-------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                       |             |             | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   |
| Размеры звеньев                       | $l_{OA}$    | м           | 0,09  | 0,1  | 0,11 | 0,12 | 0,14 | 0,1  | 0,12 | 0,14 | 0,15 | 0,1  | 0,12 | 0,14 | 0,15 | 0,1  |
|                                       | $l_{AB}$    | м           | 0,38  | 0,42 | 0,44 | 0,46 | 0,46 | 0,4  | 0,42 | 0,44 | 0,45 | 0,4  | 0,44 | 0,5  | 0,5  | 0,4  |
|                                       | $l_{BC}$    | м           | 0,3   | 0,35 | 0,36 | 0,38 | 0,4  | 0,3  | 0,32 | 0,34 | 0,4  | 0,3  | 0,4  | 0,45 | 0,4  | 0,35 |
|                                       | $l_{BD}$    | м           | 0,76  | 0,84 | 0,88 | 0,92 | 0,94 | 0,82 | 0,8  | 0,85 | 0,9  | 0,8  | 0,9  | 0,9  | 0,85 | 0,8  |
| Координаты                            | $X_1$       | м           | 0,3   | 0,32 | 0,34 | 0,35 | 0,32 | 0,34 | 0,4  | 0,41 | 0,42 | 0,35 | 0,4  | 0,45 | 0,42 | 0,4  |
|                                       | $y$         | см          | 5   | 6    | 6    | 6    | 8    | 5    | 6    | 7    | 8    | 5    | 6    | 7    | 6    | 5    |
| Угловая скорость кривошипа            | $\omega_1$  | $c^{-1}$    | 6,0   | 6,2  | 6,5  | 7,0  | 6,8  | 7,2  | 6,6  | 6,2  | 6,4  | 6,5  | 6,8  | 7,0  | 8,0  | 7,0  |
| Массы звеньев                         | $m_1$       | кг          | 4,5   | 4,8  | 4,9  | 4,8  | 5    | 4,6  | 5,0  | 4,8  | 5,5  | 4,5  | 4,5  | 4,8  | 5,0  | 4,0  |
|                                       | $m_2$       | кг          | 16  | 17   | 18   | 20   | 18   | 15   | 16   | 19   | 20   | 16   | 18   | 20   | 18   | 16   |
|                                       | $m_3$       | кг          | 20  | 15   | 16   | 18   | 14   | 12   | 13   | 16   | 18   | 14   | 15   | 16   | 15   | 12   |
|                                       | $m_4$       | кг          | 60  | 45   | 48   | 54   | 42   | 36   | 39   | 48   | 54   | 42   | 45   | 48   | 45   | 40   |
|                                       | $m_5$       | кг          | 100   | 250  | 240  | 250  | 200  | 240  | 220  | 240  | 250  | 220  | 200  | 240  | 250  | 200  |
| Сила сопротивления движению ползуна 5 | $P_c$       | кН          | 1,5   | 1,4  | 1,2  | 1,5  | 1,4  | 1,2  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,2  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,2  |
| Обобщенная координата                 | $\varphi_1$ | град.       | 0   | 15   | 30   | 45   | 60   | 90   | 120  | 150  | 30   | 45   | 60   | 90   | 120  | 150  |

Примечание: 1. центры масс звеньев 2, 3 и 4 лежат на их серединах;

2. центральные моменты инерции звеньев 2, 3 и 4 определить по формуле:

$$J_{Si} = 0,1 \cdot m_i \cdot l_i^2 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

**Задание № 3**  
**Анализ плоского шестизвенного механизма подачи.**



1.  $\lambda_{DC} = 1,5 \lambda_{BC}$

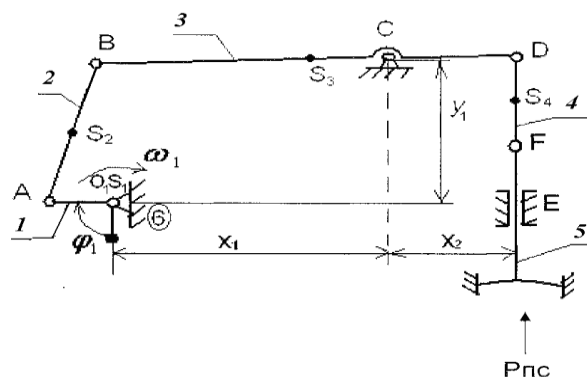
| Параметры             | Обозначение    | Раз-мер-ность       | Номера вариантов и числовые значения параметров |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |     |      |
|-----------------------|----------------|---------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|------|
|                       |                |                     | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9   | 10   | 11   | 12   | 13   | 14  | 15   |
| Длина кривошипа       | $\lambda_{OA}$ | м                   | 0,2   | 0,22 | 0,20 | 0,18 | 0,16 | 0,15 | 0,16 | 0,18 | 0,2 | 0,22 | 0,18 | 0,16 | 0,15 | 0,2 | 0,2  |
| Длина шатуна          | $\lambda_{AB}$ | м                   | 0,5   | 0,52 | 0,54 | 0,45 | 0,4  | 0,4  | 0,45 | 0,45 | 0,5 | 0,5  | 0,45 | 0,5  | 0,4  | 0,5 | 0,45 |
| Длина коромысла       | $\lambda_{BC}$ | м                   | 0,4   | 0,42 | 0,45 | 0,45 | 0,4  | 0,45 | 0,4  | 0,45 | 0,4 | 0,4  | 0,4  | 0,45 | 0,35 | 0,4 | 0,35 |
| Координаты            | X              | м                   |   |      |      |      |      | 0,5  |      |      |     |      |      |      |      |     |      |
|                       | Y <sub>1</sub> | м                   |   |      |      |      |      | 0,25 |      |      |     |      |      |      |      |     |      |
|                       | Y <sub>2</sub> | м                   |   |      |      |      |      | 0,5  |      |      |     |      |      |      |      |     |      |
| Обобщенная координата | $\varphi_1$    | град                | 0   | 30   | 45   | 60   | 90   | 120  | 150  | 0    | 30  | 45   | 60   | 90   | 12   | 150 | 180  |
| Угловая скорость      | $\omega_1$     | c <sup>-1</sup>     | 10  | 12   | 14   | 15   | 12   | 14   | 10   | 12   | 14  | 15   | 10   | 12   | 14   | 15  | 10   |
| Масса кривошипа       | m <sub>1</sub> | кг                  | 1,5   | 2,0  | 1,5  | 1,5  | 1,5  | 1,5  | 1,6  | 1,8  | 1,5 | 2,0  | 1,8  | 1,5  | 1,5  | 1,6 | 1,8  |
| Масса шатуна          | m <sub>2</sub> | кг                  | 3,5   | 3,8  | 4,0  | 3,0  | 3,0  | 3,2  | 3,2  | 3,3  | 3,6 | 3,8  | 3,2  | 3,6  | 3,2  | 3,4 | 3,5  |
| Масса коромысла       | m <sub>3</sub> | кг                  | 3,2   | 3,6  | 3,8  | 3,0  | 2,8  | 3,0  | 3,0  | 3,2  | 3,5 | 3,6  | 3,0  | 3,5  | 3,0  | 3,2 | 3,2  |
| Масса шатуна          | m <sub>4</sub> | кг                  | 3,0   | 3,4  | 3,5  | 2,8  | 2,5  | 2,5  | 2,6  | 3,0  | 3,2 | 3,4  | 2,5  | 3,0  | 2,8  | 3,0 | 3,0  |
| Масса ползуна         | m <sub>5</sub> | кг                  | 10  | 12   | 14   | 10   | 12   | 14   | 15   | 14   | 12  | 10   | 10   | 14   | 12   | 14  | 15   |
| Сила сопротивления    | P <sub>c</sub> | H · 10 <sup>2</sup> | 2   | 1,8  | 2,2  | 2,4  | 2,5  | 2,4  | 2,2  | 2,0  | 2,2 | 2,0  | 1,8  | 2,2  | 2,4  | 2,5 | 2,4  |

Примечание: 1. центры масс звеньев 2, 3 и 4 лежат на серединах;

2. центральные моменты инерции звеньев 2, 3 и 4 определить по формуле:  $I_{Si} = 0,1 \cdot m_i \cdot \lambda_i^2$  (кг · м<sup>2</sup>).

## Задание № 4

### Анализ плоского шестизвенного механизма мембранного насоса.



| Параметры                    | Обозначение                   | Размерность | Номера вариантов и числовые значения параметров |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|------------------------------|-------------------------------|-------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
|                              |                               |             | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   |     |
| Длина кривошипа              | $\lambda_{O_1A}$              | м           | 0,15  | 0,12 | 0,14 | 0,1  | 0,1  | 0,12 | 0,15 | 0,14 | 0,12 | 0,1  | 0,14 | 0,15 | 0,14 | 0,13 |     |
| Длина шатунов 3 и 4          | $\lambda_{AB} = \lambda_{DF}$ | м           | 0,35  | 0,3  | 0,34 | 0,3  | 0,32 | 0,32 | 0,36 | 0,32 | 0,34 | 0,31 | 0,33 | 0,36 | 0,15 | 0,34 |     |
| Длина коромысла              | $\lambda_{BC}$                | м           | 0,5   | 0,45 | 0,46 | 0,4  | 0,42 | 0,44 | 0,48 | 0,44 | 0,46 | 0,41 | 0,45 | 0,5  | 0,45 | 0,44 |     |
| Длина рычага                 | $\lambda_{CD}$                | м           | 0,25  | 0,25 | 0,24 | 0,2  | 0,22 | 0,24 | 0,25 | 0,28 | 0,26 | 0,21 | 0,26 | 0,26 | 0,25 | 0,25 |     |
| Координаты                   | $X_1$                         | м           | 0,45  | 0,4  | 0,42 | 0,38 | 0,4  | 0,40 | 0,44 | 0,42 | 0,4  | 0,39 | 0,4  | 0,46 | 0,4  | 0,38 |     |
|                              | $X_2$                         | м           | 0,3   | 0,25 | 0,28 | 0,2  | 0,25 | 0,24 | 0,24 | 0,3  | 0,28 | 0,23 | 0,32 | 0,26 | 0,3  | 0,28 |     |
|                              | $Y_1$                         | м           | 0,32  | 0,3  | 0,3  | 0,25 | 0,28 | 0,3  | 0,3  | 0,28 | 0,32 | 0,26 | 0,29 | 0,32 | 0,3  | 0,3  |     |
| Угловая скорость кривошипа   | $\omega_1$                    | с           | 6,0   | 6,2  | 6,5  | 7,0  | 7,2  | 7,5  | 8,0  | 8,2  | 6,4  | 7,0  | 7,5  | 8,0  | 6,5  | 7,0  |     |
| Массы звеньев:               | кривошипа                     | $m_1$       | кг  | 2,0  | 2,1  | 2,0  | 1,8  | 2,0  | 1,9  | 2,2  | 2,1  | 2,0  | 1,9  | 2,0  | 2,2  | 2,1  | 2,0 |
|                              | шатунов                       | $m_2 = m_4$ | кг  | 10   | 11   | 8    | 8    | 12   | 9    | 10   | 9    | 10   | 10   | 9    | 12   | 10   | 8   |
|                              | коромысла                     | $m_3$       | кг  | 15   | 15   | 14   | 12   | 16   | 13   | 14   | 13   | 15   | 14   | 12   | 14   | 14   | 12  |
| Штока с мембраной            | $m_5$                         | кг          | 3,0   | 3,2  | 2,8  | 2,5  | 2,2  | 3,0  | 3,1  | 3,0  | 3,2  | 2,4  | 3,1  | 3,2  | 3,0  | 3,0  |     |
| Сила полезного сопротивления | $P_{nc}$                      | н           | 400   | 450  | 420  | 400  | 500  | 520  | 480  | 500  | 460  | 500  | 475  | 560  | 500  | 480  |     |
| Обобщенная координата        | $\varphi_1$                   | град.       | 0   | 30   | 45   | 60   | 90   | 120  | 135  | 150  | 180  | 210  | 225  | 240  | 270  | 300  |     |

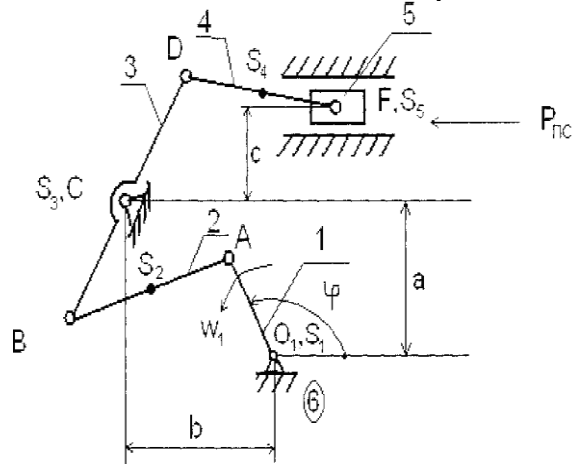
Примечание: 1. центры масс звеньев 2, 3 и 4 лежат на серединах;

2. центральные моменты инерции звеньев 2, 3 и 4 определить по формуле:  $I_{Si} = 0,1 \cdot m_i \cdot \lambda_i^2$  (кг · м<sup>2</sup>).



### Задание № 5

Анализ плоского шестизвенного механизма горизонтального транспортера.



| Параметры                  | Обозначение                   | Раз-мер-ность | Номера вариантов и числовые значения параметров |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------|-------------------------------|---------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                            |                               |               | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| Длина кривошипа            | $\lambda_{O_1A}$              | м             | 0,12  | 0,15 | 0,2  | 0,06 | 0,08 | 0,25 | 0,1  | 0,12 | 0,16 | 0,2  |
| Длина шатуна               | $\lambda_{AB}$                | м             | 0,45  | 0,55 | 0,75 | 0,22 | 0,3  | 0,94 | 0,37 | 0,48 | 0,6  | 0,75 |
| Длина рычагов коромысла    | $\lambda_{BC} = \lambda_{CD}$ | м             | 0,18  | 0,22 | 0,3  | 0,08 | 0,12 | 0,38 | 0,15 | 0,18 | 0,24 | 0,3  |
| Длина шатуна               | $\lambda_{DF}$                | м             | 0,3   | 0,4  | 0,5  | 0,16 | 0,24 | 0,7  | 0,32 | 0,36 | 0,4  | 0,5  |
| Обобщенная координата      | $\varphi$                     | град.         | 0   | 30   | 45   | 60   | 90   | 120  | 135  | 0    | 30   | 45   |
| Координаты:                | a                             | м             | 0,15  | 0,18 | 0,25 | 0,08 | 0,1  | 0,31 | 0,12 | 0,15 | 0,2  | 0,24 |
|                            | b                             | м             | 0,45  | 0,53 | 0,75 | 0,22 | 0,28 | 0,93 | 0,36 | 0,45 | 0,6  | 0,72 |
|                            | c                             | м             | 0,14  | 0,18 | 0,25 | 0,08 | 0,1  | 0,3  | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,18 |
| Массы звеньев:             | m1                            | кг            | 1,5   | 1,8  | 2,0  | 0,5  | 1,0  | 3,0  | 1,5  | 1,8  | 2,0  | 2,0  |
|                            | m2                            | кг            | 4,5   | 5,0  | 5,5  | 2,5  | 3,0  | 6,0  | 4,5  | 4,8  | 5,0  | 6,0  |
|                            | m3                            | кг            | 3,0   | 4,0  | 5,0  | 1,5  | 2,0  | 8,0  | 3,0  | 3,2  | 3,5  | 4,0  |
|                            | m4                            | кг            | 2,5   | 3,0  | 3,5  | 2,0  | 3,0  | 5,0  | 2,5  | 2,8  | 3,0  | 3,5  |
|                            | m5                            | кг            | 20  | 25   | 30   | 10   | 15   | 40   | 25   | 25   | 30   | 40   |
| Угловая скорость кривошипа | $w_1$                         | $c^{-1}$      | 50  | 55   | 60   | 65   | 70   | 55   | 60   | 60   | 50   | 55   |
| Сила полезного действия    | $P_{nc}$                      | Н             | 800   | 900  | 1200 | 600  | 700  | 1400 | 600  | 700  | 800  | 1000 |

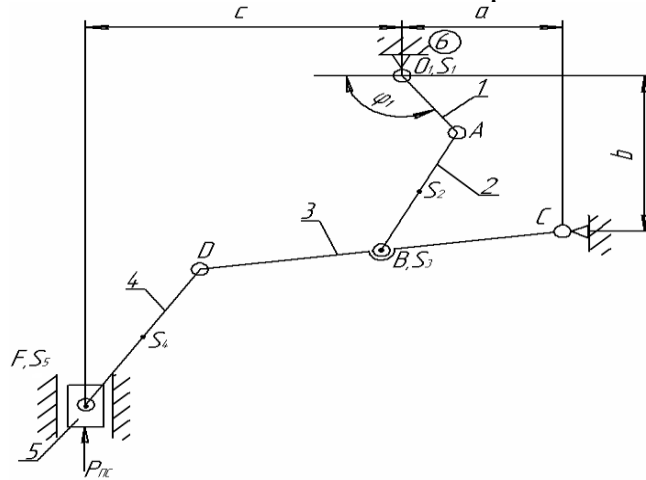
Примечание: 1. центры масс звеньев 2, 3 и 4 лежат на их серединах;

2. центральные моменты инерции звеньев 2, 3 и 4 определить по формуле:

$$J_{Si} = 0,1 \cdot m_i \cdot l_i^2 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

### Задание № 6

Анализ плоского шестизвенного механизма вертикального транспортера.



| Параметры                    | Обозначение     | Раз-мер-ность | Номера вариантов и числовые значения параметров |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------|-----------------|---------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                              |                 |               | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| Длина кривошипа              | $l_{O_1A}$      | м             | 0,15  | 0,1  | 0,08 | 0,12 | 0,2  | 0,14 | 0,24 | 0,1  | 0,18 | 0,25 |
| Длина шатуна                 | $l_{AB}$        | м             | 0,4   | 0,27 | 0,22 | 0,32 | 0,55 | 0,38 | 0,65 | 0,28 | 0,5  | 0,7  |
| Длина рычагов коромысла      | $l_{BC}$        | м             |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                              | $l_{BD}$        | м             | 0,37  | 0,25 | 0,2  | 0,3  | 0,5  | 0,36 | 0,6  | 0,24 | 0,45 | 0,62 |
| Длина шатуна                 | $l_{DF}$        | м             | 0,23  | 0,15 | 0,12 | 0,18 | 0,3  | 0,23 | 0,36 | 0,16 | 0,27 | 0,38 |
| Координаты:                  | a               | м             | 0,3   | 0,2  | 0,17 | 0,24 | 0,4  | 0,28 | 0,48 | 0,2  | 0,36 | 0,5  |
|                              | b               | м             | 0,45  | 0,3  | 0,25 | 0,36 | 0,6  | 0,44 | 0,72 | 0,3  | 0,55 | 0,75 |
|                              | c               | м             | 0,5   | 0,35 | 0,25 | 0,4  | 0,65 | 0,45 | 0,75 | 0,3  | 0,55 | 0,8  |
| Обобщенная координата        | $\gamma_1$      | град          | 0   | 30   | 45   | 60   | 90   | 120  | 150  | 60   | 90   | 45   |
| Угловая скорость кривошипа   | $\omega_1$      | $c^{-1}$      | 8   | 7,5  | 10   | 9    | 8,5  | 7,5  | 7    | 6,5  | 8    | 6    |
| Массы звеньев                | $m_2$           | кг            | 3,5   | 3    | 2,5  | 3,4  | 4    | 3,2  | 4,5  | 3    | 4    | 5    |
|                              | $m_3$           | кг            | 7   | 6    | 5    | 5,5  | 8    | 6,5  | 10   | 5,5  | 7,5  | 10   |
|                              | $m_4$           | кг            | 2,5   | 2    | 2    | 2,2  | 3    | 2,4  | 4    | 2    | 3    | 4,5  |
|                              | $m_5$           | кг            | 20  | 15   | 12   | 16   | 25   | 18   | 30   | 14   | 20   | 28   |
| Сила полезного сопротивления | $R_{\text{пс}}$ | кН            | 0,6   | 0,5  | 0,4  | 0,55 | 0,65 | 0,45 | 0,8  | 0,45 | 0,6  | 0,8  |

Примечание: 1. масса кривошипа  $m_1=0,3 m_2$ ;

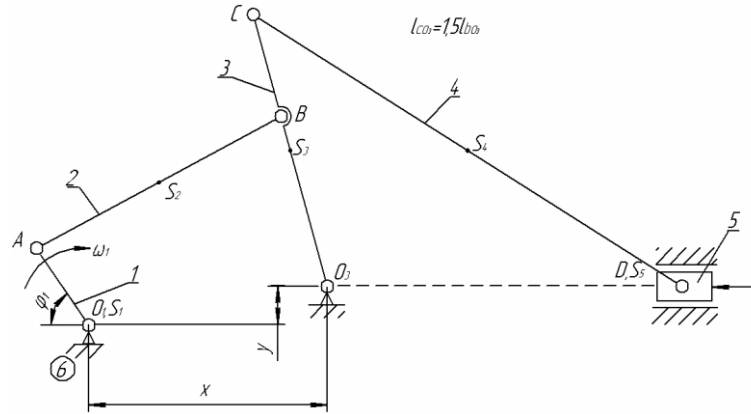
2. центры масс звеньев 2, 3 и 4 лежат на их серединах;

3. центральные моменты инерции звеньев 2, 3 и 4 определить по формуле:

$$J_{Si} = 0,1 \cdot m_i \cdot l_i^2 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

## Задание № 7

Анализ плоского шестизвенного механизма колеблющегося транспортера.



| Параметры                    | Обозначение | Размерность | Номера вариантов и числовые значения параметров |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------|-------------|-------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                              |             |             | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| Длина кривошипа              | $l_{OA}$    | м           | 0,1   | 0,12 | 0,12 | 0,11 | 0,15 | 0,15 | 0,12 | 0,14 | 0,15 | 0,14 | 0,12 | 0,1  |
| Длина шатуна                 | $l_{AB}$    | м           | 0,35  | 0,4  | 0,4  | 0,42 | 0,35 | 0,45 | 0,38 | 0,35 | 0,36 | 0,45 | 0,4  | 0,32 |
| Длина коромысла              | $l_{BO3}$   | м           | 0,29  | 0,3  | 0,31 | 0,32 | 0,33 | 0,34 | 0,28 | 0,27 | 0,26 | 0,35 | 0,28 | 0,29 |
| Длина шатуна                 | $l_{CD}$    | м           | 0,85  | 0,9  | 0,88 | 0,9  | 0,9  | 0,85 | 0,75 | 0,7  | 0,72 | 0,8  | 0,75 | 0,9  |
| Координаты:                  | x           | м           | 0,32  | 0,34 | 0,35 | 0,4  | 0,38 | 0,4  | 0,3  | 0,32 | 0,3  | 0,4  | 0,35 | 0,35 |
|                              | y           | см          | 5   | 6    | 8    | 8    | 6    | 8    | 5    | 6    | 6    | 8    | 6    | 6    |
| Угловая скорость кривошипа   | $\omega_1$  | $c^{-1}$    | 6   | 7    | 8    | 8    | 7    | 6    | 8    | 9    | 10   | 8    | 6    | 8    |
| Обобщенная координата        | $\varphi_1$ | град        | 0   | 30   | 45   | 60   | 90   | 120  | 135  | 150  | 180  | 30   | 45   | 90   |
| Масса звеньев:               |             |             |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Шатуна 2                     | $m_2$       | кг          | 5   | 6    | 5,5  | 6    | 5    | 4,5  | 4    | 4,5  | 4,8  | 5,2  | 5,5  | 6    |
| Коромысла 3                  | $m_3$       | кг          |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Шатуна 4                     | $m_4$       | кг          | 12  | 18   | 16   | 16   | 15   | 14   | 13   | 12   | 12   | 14   | 13   | 15   |
| Ползуна 5                    | $m_5$       | кг          | 25  | 28   | 30   | 32   | 30   | 28   | 26   | 25   | 28   | 30   | 25   | 30   |
| Сила полезного сопротивления | $P_{nc}$    | кН          | 0,75  | 0,8  | 0,9  | 0,7  | 0,6  | 0,6  | 0,65 | 0,7  | 0,75 | 0,8  | 0,8  | 0,9  |

Примечание: 1. масса кривошипа  $m_1=3$  кг;

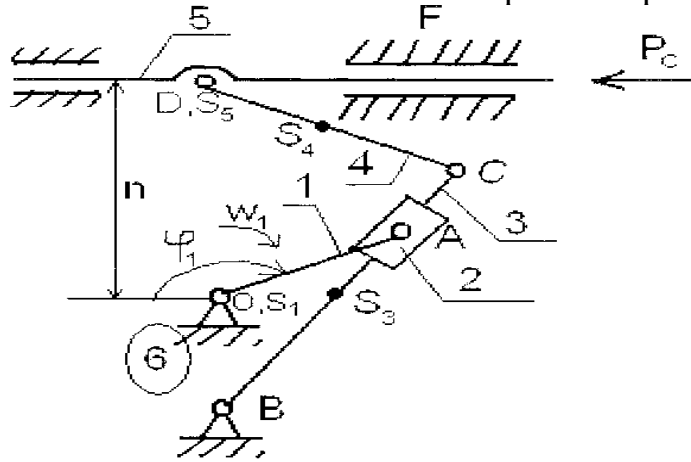
2. центры масс звеньев 2, 3 и 4 лежат на их серединах;

3. центральные моменты инерции звеньев 2, 3 и 4 определить по формуле:

$$J_{Si} = 0,1 \cdot m_i \cdot l_i^2 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

### Задание № 8

Анализ плоского шестизвенного механизма поперечно-строгального станка.



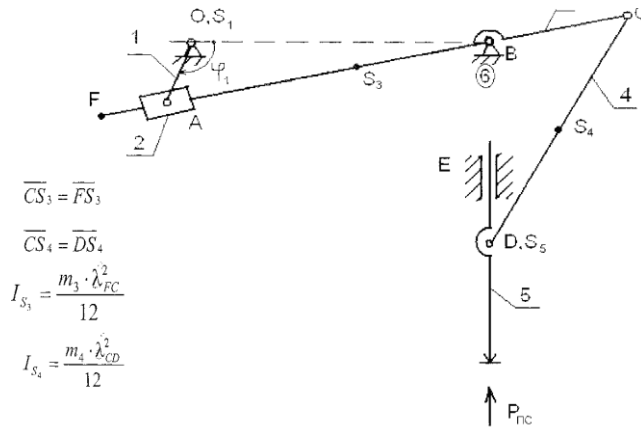
| Параметры                  | Обозначение    | Размерность       | Номера вариантов и числовые значения параметров |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |
|----------------------------|----------------|-------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|
|                            |                |                   | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14  | 15   | 16   | 17   |
| Длина кривошипа            | $\lambda_{OA}$ | м                 | 0,1   | 0,12 | 0,1  | 0,12 | 0,14 | 0,12 | 0,1  | 0,12 | 0,14 | 0,11 | 0,1  | 0,12 | 0,12 | 0,1 | 0,12 | 0,14 | 0,15 |
| Длина стойки               | $\lambda_{OB}$ | м                 | 0,3   | 0,36 | 0,28 | 0,35 | 0,4  | 0,3  | 0,25 | 0,3  | 0,35 | 0,3  | 0,25 | 0,3  | 0,35 | 0,3 | 0,4  | 0,4  | 0,5  |
| Длина кулисы               | $\lambda_{BC}$ | м                 | 0,5   | 0,6  | 0,5  | 0,6  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,6  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,6  | 0,5 | 0,6  | 0,6  | 0,7  |
| Длина шатуна               | $\lambda_{CD}$ | м                 | 0,25  | 0,3  | 0,25 | 0,25 | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,25 | 0,3  | 0,25 | 0,28 | 0,3  | 0,32 | 0,3 | 0,28 | 0,3  | 0,32 |
| Ордината                   | h              | м                 | 0,3   | 0,35 | 0,3  | 0,35 | 0,2  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,4  | 0,3  | 0,4  | 0,3  | 0,3  | 0,3 | 0,3  | 0,25 | 0,3  |
| Частота вращения кривошипа | $n^{-1}$       | мин <sup>-1</sup> | 71  | 72   | 68   | 74   | 72   | 72   | 70   | 75   | 65   | 80   | 82   | 84   | 74   | 80  | 78   | 80   | 80   |
| Массы звеньев:             | $m_3$          | кг                | 18  | 20   | 19   | 21   | 17   | 16   | 18   | 18   | 20   | 18   | 16   | 17   | 20   | 16  | 19   | 20   | 22   |
|                            | $m_5$          | кг                | 40  | 50   | 60   | 40   | 50   | 60   | 40   | 50   | 60   | 40   | 50   | 60   | 40   | 50  | 60   | 40   | 50   |
| Сила сопротивления         | $P_C$          | кН                | 0,8   | 1,0  | 0,9  | 1,1  | 1,2  | 1,0  | 0,8  | 0,9  | 1,2  | 1,1  | 1,0  | 0,8  | 1,0  | 1,2 | 1,1  | 1,2  | 1,0  |
| Обобщенная координата      | $\varphi_1$    | град.             | 0   | 30   | 45   | 60   | 120  | 135  | 150  | 180  | 0    | 30   | 120  | 60   | 135  | 150 | 180  | 30   | 45   |

Примечания:

1. центры масс звеньев 3 и 4 лежат на серединах;
2. масса кривошипа 1-5 кг, а шатуна – 4-10 кг;
3. центральные моменты инерции звеньев 3 и 4 определить по выражению:  $I_{Si} = 0,1m_i \cdot l_i^2$  (кг · м<sup>2</sup>).

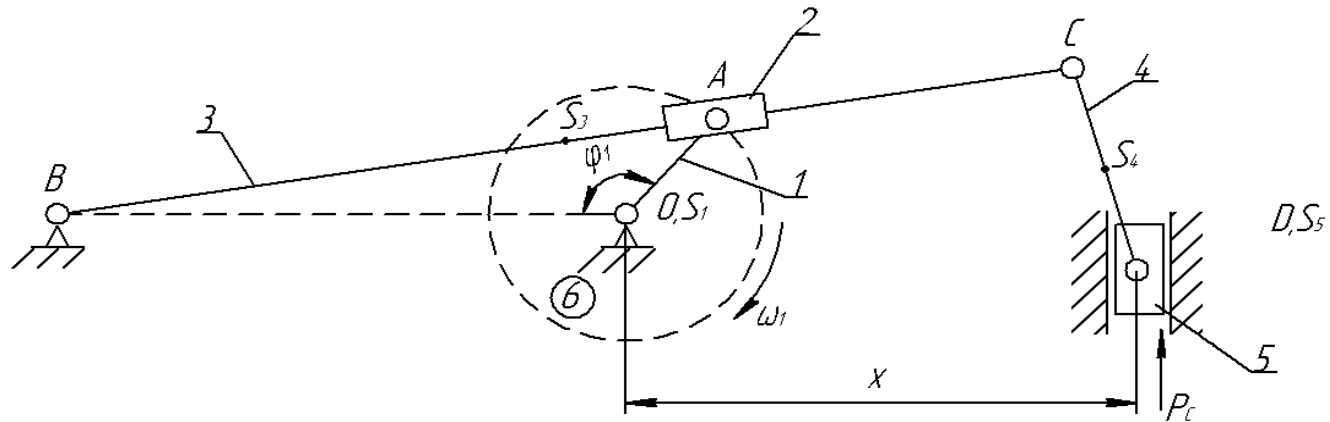
### Задание № 9

### Анализ плоского шестизвенного механизма долбежного станка.



| Параметры                    | Обозначение    | Размерность     | Номера вариантов и числовые значения параметров |      |      |      |      |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------|----------------|-----------------|---|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                              |                |                 | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6   | 7   | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| Длина кривошипа              | $\lambda_{OA}$ | м               | 0,2   | 0,22 | 0,24 | 0,26 | 0,28 | 0,3 | 0,2 | 0,21 | 0,23 | 0,25 | 0,27 | 0,29 | 0,22 | 0,24 | 0,25 |
| Длина стойки                 | $\lambda_{OB}$ | м               | 0,6   | 0,5  | 0,6  | 0,5  | 0,6  | 0,7 | 0,5 | 0,6  | 0,7  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,5  | 0,6  | 0,7  |
| Длина кулисы                 | $\lambda_{BF}$ | м               | 0,9   | 0,8  | 0,9  | 0,8  | 0,9  | 1,0 | 0,8 | 0,9  | 1,0  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 0,8  | 0,9  | 1,0  |
| Длина рычага кулисы          | $\lambda_{BC}$ | м               | 0,6   | 0,5  | 0,6  | 0,5  | 0,6  | 0,6 | 0,4 | 0,6  | 0,6  | 0,4  | 0,6  | 0,6  | 0,4  | 0,6  | 0,6  |
| Длина шатуна                 | $\lambda_{CD}$ | м               | 0,5   | 0,6  | 0,5  | 0,6  | 0,5  | 0,6 | 0,5 | 0,6  | 0,5  | 0,6  | 0,5  | 0,6  | 0,5  | 0,6  | 0,6  |
| Обобщенная координата        | $\varphi_1$    | град.           | 90  | 120  | 150  | 210  | 240  | 270 | 90  | 120  | 150  | 210  | 240  | 270  | 90   | 120  | 150  |
| Угловая скорость кривошипа   | $\omega_1$     | С <sup>-1</sup> | 10  | 12   | 14   | 16   | 18   | 20  | 10  | 12   | 14   | 15   | 18   | 20   | 10   | 12   | 15   |
| Масса кривошипа              | $m_1$          | кг              | 1,5   | 1,7  | 1,6  | 1,5  | 1,6  | 1,8 | 1,5 | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,5  | 1,6  | 1,8  | 1,4  | 1,5  |
| Масса кулисы                 | $m_3$          | кг              | 4,5   | 5,2  | 5,0  | 4,5  | 5,0  | 6,0 | 5,5 | 5,5  | 6,0  | 6,0  | 5,0  | 5,2  | 6,0  | 5,0  | 6,0  |
| Масса шатуна                 | $m_4$          | кн              | 2,0   | 2,5  | 3,0  | 2,0  | 2,5  | 3,0 | 2,0 | 2,5  | 3,0  | 3,0  | 2,5  | 3,0  | 3,0  | 2,5  | 3,0  |
| Масса ползуна                | $m_5$          | кг              | 3,0   | 3,5  | 4,0  | 3,0  | 3,5  | 4,0 | 3,0 | 3,5  | 4,0  | 3,0  | 3,5  | 4,0  | 3,0  | 3,5  | 4,0  |
| Сила полезного сопротивления | $P_{nc}$       | Н               | 220   | 240  | 250  | 260  | 280  | 200 | 220 | 240  | 250  | 260  | 280  | 200  | 250  | 260  | 280  |

### Анализ плоского шестизвенного механизма вертикального транспортера.



| Параметры                  | Обозначение | Размерность | Номера вариантов и числовые значения параметров |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------|-------------|-------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                            |             |             | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| Длина стойки               | $l_{OB}$    | м           | 0,5   | 0,55 | 0,6  | 0,65 | 0,6  | 0,7  | 0,75 | 0,5  | 0,55 | 0,6  | 0,65 | 0,6  |
| Длина кулисы               | $l_{BC}$    | м           | 0,9   | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,0  | 1,2  | 1,4  | 0,95 | 0,9  | 1,0  | 1,2  | 1,15 |
| Длина шатуна               | $l_{CD}$    | м           | 0,4   | 0,45 | 0,5  | 0,5  | 0,55 | 0,6  | 0,6  | 0,45 | 0,5  | 0,5  | 0,6  | 0,5  |
| Длина кривошипа            | $l_{OA}$    | м           | 0,1   | 0,12 | 0,14 | 0,15 | 0,12 | 0,15 | 0,15 | 0,12 | 0,12 | 0,14 | 0,15 | 0,12 |
| Расстояние до направляющей | $X$         | м           | 0,45  | 0,5  | 0,6  | 0,6  | 0,45 | 0,6  | 0,6  | 0,4  | 0,5  | 0,5  | 0,6  | 0,6  |
| Обобщенная координата      | $\varphi_1$ | град        | 90  | 135  | 150  | 210  | 240  | 90   | 135  | 150  | 210  | 240  | 135  | 150  |
| Угловая скорость кривошипа | $\omega_1$  | $c^{-1}$    | 8   | 6    | 5    | 8    | 10   | 8    | 6    | 5    | 8    | 6    | 5    | 10   |
| Массы звеньев:             |             |             |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Кулисы                     | $m_3$       | кг          | 12  | 13   | 14   | 12,5 | 11   | 14   | 15   | 12,5 | 14   | 14,5 | 12,5 | 14   |
| Шатуна                     | $m_4$       | кг          | 6   | 7    | 8    | 6    | 5    | 7    | 8    | 6,5  | 7,5  | 8    | 5,5  | 7    |
| Ползуна                    | $m_5$       | кг          | 4   | 5    | 6    | 4,5  | 3    | 4,5  | 6    | 4,5  | 5    | 5,5  | 4,5  | 4    |
| Сила сопротивления         | $P_c$       | кН          | 0,6   | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,5  | 0,4  | 0,6  | 0,7  | 0,6  | 0,4  | 0,5  | 0,6  |

Примечание: 1. масса кривошипа  $m_1=2$  кг;  
 2. центры масс звеньев 3 и 4 лежат на их серединах;  
 3. центральные моменты инерции кулисы 3 и шатуна 4 определить по формулам:  
 $J_{S3}=0,1 \cdot m_3 \cdot l_{BC}^2$  (кг · м<sup>2</sup>)       $J_{S4}=0,1 \cdot m_4 \cdot l_{CD}^2$  (кг · м<sup>2</sup>)

Заведующему кафедрой транспортно-  
энергетических систем Чебоксарского  
института (филиала) Московского  
политехнического университета

студента \_\_\_\_\_  
группа \_\_\_\_\_  
тел. \_\_\_\_\_

заявление.

Прошу закрепить за мной тему курсовой работы

« \_\_\_\_\_ »  
по \_\_\_\_\_ дисциплине  
« \_\_\_\_\_ ».  
и \_\_\_\_\_ назначить \_\_\_\_\_ руководителем

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Студент \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(подпись) (ФИО студента) (дата)

Руководитель \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(подпись) (ФИО руководителя) (дата)

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(подпись) (ФИО зав. кафедрой) (дата)

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГАОУ ВО «МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ЧЕБОКСАРСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)**

---

---

**Кафедра «Транспортно-технологические машины»**

**КУРСОВАЯ РАБОТА  
по дисциплине  
«Теория механизмов и машин»**

Выполнил: студент 1 курса \_\_\_\_\_  
(Ф. И. О.)

очной / заочной формы обучения

специальность \_\_\_\_\_

уч. шифр \_\_\_\_\_

конт. телефон \_\_\_\_\_

Проверил: \_\_\_\_\_

**Чебоксары 20\_\_\_\_\_**



**ОТЗЫВ РУКОВОДИТЕЛЯ  
на курсовую работу**

Студент \_\_\_\_\_

**Кафедра** транспортно-энергетические системы

**23.05.01. Наземные транспортно-технологические средства (профиль «Автомобили и тракторы»)**

**Наименование темы:** \_\_\_\_\_

**Руководитель:** \_\_\_\_\_

**1. Актуальность темы курсовой работы** \_\_\_\_\_

**2. Соответствие полученных результатов заявленным целям и задачам**

**3. Характеристика использования в работе исследовательского инструментария (анализа, синтеза, статистико-математической методологии, пакетов прикладных программ и т.п.)**

**4. Степень самостоятельности при работе над курсовой работой (самостоятельность изложения и обобщения материала, самостоятельная интерпретация полученных результатов, обоснованность выводов)**

**5. Оценка оформления работы в соответствии с требованиями, содержащимися в Методических указаниях по выполнению курсовой работы (проекта), разработанных и утвержденных кафедрой**

**6. Замечания по подготовке и выполнению курсовой работы**

**7. Курсовая работа соответствует (не соответствует) требованиям, предъявляемым к курсовым (работам проектам) и может быть (не может быть) рекомендована к защите**

**8. Оценка** \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

\_\_\_\_\_ (подпись руководителя)

\_\_\_\_\_ ФИО руководителя