

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени АКАДЕМИКА С.П.КОРОЛЕВА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ИЗБАТКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Методические указания
к курсовой работе

С а м а р а 1 9 9 4

Составители: Н.П.К о р о б о в а,
В.И.Ж у р а в л е в

УДК 621.835.001.2(075.8)

Проектирование кулачковых механизмов: Метод.
указания /Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост.
Н.П.К о р о б о в а, В.И.Ж у р а в л е в.
Самара, 1994. 28 с.

Представлены основные этапы проектирования наиболее распространенных схем плоских кулачковых механизмов с соответствующими примерами расчета. Приведенная методика позволяет выполнять расчеты на ЭЭМ.

Методические указания предназначены для студентов, выполняющих курсовой проект по основам конструирования машин при проектировании кулачковых механизмов.

Подготовлены на кафедре "Основы конструирования машин".

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П.Королева

Рецензенты: А.Б.К у б ы ш к и н, А.Н.Т и х о н о в

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Кулачковые механизмы применяются в тех случаях, когда перемещения, скорость и ускорение звена должны изменяться по заранее заданному закону, и, в частности, в тех случаях, когда ведомое звено должно временно останавливаться при непрерывном движении ведущего звена. Профиль кулачка является своеобразной программой работы приводимых им в движение механизмов, что и определило чрезвычайно широкое применение кулачковых механизмов в самых разнообразных машинах.

При выполнении синтеза кулачкового механизма в курсовом проекте исходными данными являются:

- а) схема механизма;
- б) закон изменения аналога ускорения ведомого звена

$$\frac{d^2 s}{d\varphi^2} = f(\varphi);$$

- в) максимально допустимый угол давления α_{max} или минимальный угол передачи δ_{min} ;
- г) максимальный ход толкателя h или максимальный угол отклонения коромысла ψ и длина коромысла l ;
- д) фазовые углы поворота кулачка.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ СИНТЕЗА КУЛАЧКОВОГО МЕХАНИЗМА

1. По заданному закону изменения аналога ускорения ведомого звена $\frac{d^2 s}{d\varphi^2} = f(\varphi)$ последовательным интегрированием определяют закон изменения аналога скорости $\frac{ds}{d\varphi} = f(\varphi)$ и функцию перемещения ведомого звена $s = f(\varphi)$.

2. По данным расчета строят графики аналога ускорения, аналога скорости и перемещения ведомого звена в зависимости от угла поворота кулачка.

3. Для нахождения основных размеров кулачкового механизма строят:

а) для механизма с роликовым толкателем диаграмму

$$S = f\left(\frac{dS}{d\varphi}\right);$$

при этом

$$\mu_S = \mu \frac{dS}{d\varphi}$$

б) для механизма с плоским (тарельчатым) толкателем диаграмму

$$S = f\left(\frac{d^2S}{d\varphi^2}\right);$$

при этом $\mu_S = \mu \frac{d^2S}{d\varphi^2}$.

4. Методом обращения движения строят теоретический (центровой) и практический* (конструктивный) профили кулачка.

При выполнении пп. 3 и 4 необходимо обратить внимание на то, чтобы вращение кулачка осуществлялось в заданном направлении.

5. По диаграмме $S = f\left(\frac{dS}{d\varphi}\right)$ для кулачковых механизмов с роликовым ведомым звеном определяют углы давления (или углы передачи) для каждого положения ведомого звена и строят график изменения угла давления (или угла передачи) в зависимости от изменения угла поворота кулачка $\alpha = f(\varphi)$ или $\gamma = f(\varphi)$.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КУЛАЧКОВОГО МЕХАНИЗМА

С ПОСТУПАТЕЛЬНО ДВИЖУЩИМСЯ РОЛИКОВЫМ ТОЛКАТЕЛЕМ

Пример. I. Заданы: закон движения ведомого звена на фазах удаления и возвращения

$$\frac{d^2S}{d\varphi^2} = \pm a;$$

ход толкателя $h = 0,06$ м;

допустимый угол давления $\alpha_{max} = 30^\circ$;

фазовые углы: $\varphi_y = 90^\circ$; $\varphi_z = 30^\circ$; $\varphi_b = 60^\circ$.

Кулачок вращается по часовой стрелке.

I. Проектирование начинаем с аналитического интегрирования заданного закона движения

$$\frac{d^2 S}{d\varphi^2} = \pm a = const. \quad (1)$$

При $0 \leq \varphi \leq \frac{\varphi_y}{2}$ имеем

$$\frac{dS}{d\varphi} = a\varphi + C_1 \quad (2) \quad \text{и} \quad S = \frac{a\varphi^2}{2} + C_1\varphi + C_2. \quad (3)$$

При $\frac{\varphi_y}{2} \leq \varphi \leq \varphi_y$ имеем

$$\frac{dS}{d\varphi} = -a\varphi + C_3 \quad (4) \quad \text{и} \quad S = -\frac{a\varphi^2}{2} + C_3\varphi + C_4. \quad (5)$$

Приведем начальные условия.

При $0 < \varphi < \frac{\varphi_y}{2}$ $\varphi = 0, \quad \frac{dS}{d\varphi} = 0, \quad S = 0.$

При $\frac{\varphi_y}{2} < \varphi < \varphi_y$ $\varphi = \frac{\varphi_y}{2}; \quad \left(\frac{dS}{d\varphi}\right)_1 = \left(\frac{dS}{d\varphi}\right)_2; \quad S_1 = S_2.$

При данных начальных условиях получаем

$$C_1 = 0, \quad C_2 = 0, \quad C_3 = a\varphi_y, \quad (6) \quad C_4 = -\frac{a\varphi_y^2}{4}. \quad (7)$$

Постоянную a определяем по формуле (5) для конечных значений $\varphi = \varphi_y, \quad S = h$ с учетом формул (6) и (7).

При $0 < \varphi < \frac{\varphi_y}{2}$ $a = \frac{4h}{\varphi_y^2};$

При $\frac{\varphi_y}{2} < \varphi < \varphi_y$ $a = -\frac{4h}{\varphi_y^2}.$

Окончательно получаем

при $0 < \varphi < \frac{\varphi_y}{2}$

$$\frac{d^2 S}{d\varphi^2} = a = \frac{4h}{\varphi_y^2}; \quad (8)$$

$$\frac{dS}{d\varphi} = \frac{4h}{\varphi_y^2}\varphi; \quad (9)$$

$$S = \frac{4h}{\varphi_y^2} \frac{\varphi^2}{2}. \quad (10)$$

При $\frac{\varphi}{2} < \varphi < \varphi_y$

$$\frac{d^2 S}{d\varphi^2} = -a = -\frac{4h}{\varphi_y^2}; \quad (11)$$

$$\frac{dS}{d\varphi} = -\frac{4h}{\varphi_y^2} \varphi + \frac{4h}{\varphi_y}; \quad (12)$$

$$S = -\frac{4h}{\varphi_y^2} \frac{\varphi^2}{2} + \frac{4h\varphi}{\varphi_y} - h. \quad (13)$$

2. Построение диаграмм $\frac{d^2 S}{d\varphi^2} = f(\varphi)$, $\frac{dS}{d\varphi} = f(\varphi)$ и $S = f(\varphi)$

(рис. 1) проводят, используя результаты расчета на ЭВМ либо используя методы графического интегрирования. В этом случае для построения диаграммы $\frac{d^2 S}{d\varphi^2} = f(\varphi)$ определяют значения постоянных a_y и a_δ по формуле (8):

$$a_y = \frac{4h}{\varphi_y^2} = \frac{4 \cdot 0,05}{1,57^2} = 0,097 \text{ м} \quad \text{для } \varphi_y = 90^\circ = 1,57 \text{ рад};$$

$$a_\delta = \frac{4h}{\varphi_\delta^2} = \frac{4 \cdot 0,05}{1,04^2} = 0,222 \text{ м} \quad \text{для } \varphi_\delta = 60^\circ = 1,04 \text{ рад}.$$

Определяем масштабы по оси абсцисс (оси φ)

$$\varphi_{\text{рад}} = \varphi_y + \varphi_\delta + \varphi_0 = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{3} = \pi;$$

$$\mu_\varphi = \frac{\varphi_{\text{рад}}}{\bar{X}} = \frac{\pi}{90_{\text{мм}}} = 0,017 \text{ 1/мм},$$

где \bar{X} — отрезок, пропорциональный углу $\varphi_{\text{рад}}$, мм.

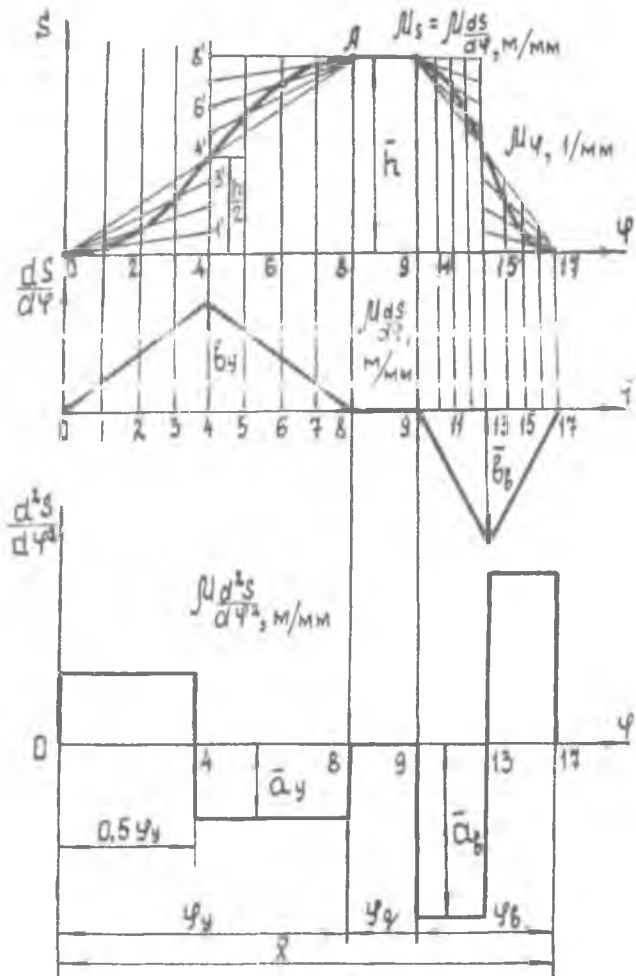
Отрезок \bar{X} делят на части, пропорциональные углам. Затем определяем масштабы по оси ординат (оси $\frac{d^2 S}{d\varphi^2}$) $\varphi_y, \varphi_\delta, \varphi_0$.

Принимаем произвольно $\bar{a}_y = 97$ мм, тогда

$$\mu \frac{d^2 S}{d\varphi^2} = \frac{a_y}{\bar{a}_y} = \frac{0,097}{97} = 0,001 \text{ м/мм},$$

$$\bar{a}_\delta = \mu \frac{a_\delta}{\frac{d^2 S}{d\varphi^2}} = \frac{0,222}{0,001} = 222 \text{ мм}.$$

Построение диаграммы $\frac{d^2 S}{d\varphi^2} = f(\varphi)$ ясно из рис. 1.



Р и с. I.

Для построения диаграммы $\frac{dS}{d\varphi} = f(\varphi)$ определяем значения b_y по формуле (9):

$$b_y = \frac{2h}{\varphi_y} = \frac{2 \cdot 0,06}{1,57} = 0,076 \text{ м},$$

$$b_B = \frac{2h}{\varphi_B} = \frac{2 \cdot 0,06}{1,04} = 0,115 \text{ м}.$$

Выбираем масштаб по оси $\frac{dS}{d\varphi}$, задав $\bar{b}_y = 76 \text{ мм}$:

$$\mu \frac{dS}{d\varphi} = \frac{b_y}{\bar{b}_y} = \frac{0,076}{76} = 0,001 \text{ м/мм}.$$

Тогда

$$\bar{b}_B = \frac{b_B}{\mu \frac{dS}{d\varphi}} = \frac{0,115}{0,001} = 115 \text{ мм}.$$

Построение диаграммы $\frac{dS}{d\varphi} = f(\varphi)$ ясно из чертежа (рис. I).

восстанавливают ординаты и откладывают $\frac{h}{2}$ и h в масштабе диаграммы. При этом принимают $\mu_S = \mu \frac{dS}{d\varphi} = 0,001 \text{ м/мм}$, тогда

$$\bar{h} = \frac{h}{\mu_S} = \frac{0,06}{0,001} = 60 \text{ мм}.$$

Кривая перемещений на участке φ_y представляет собой две сопряженные параболы, которые строятся графическим способом (рис. I). Для этого надо сделать следующее. По оси абсцисс откладывают отрезки, пропорциональные углам $\varphi_y, \varphi_B, \varphi_B$. Участок, соответствующий углу φ_y , делят пополам (точка 4), в этой точке восстанавливают ординату, пропорциональную величине $\frac{h}{2}$. Разделив полученную ординату в данном примере на четыре равные части, соединяют точки деления (1', 2', 3', 4') с началом координат. Точки пересечения этих прямых (01', 02', 03', 04') с соответствующими ординатами определяют точки параболы. Построение параболы для второй половины угла φ_y производят аналогично, только соединяя точки деления ординаты (4', 5', 6', 7') с точкой А. Для угла вращения φ_B парабола строится подобным образом.

Примечание. Если графики строятся по результатам расчетов, проведенных на ЭВМ, то масштабы определяются по тем же формулам, т.е.

$$\mu \frac{d^2 S}{d\varphi^2} = \frac{\left(\frac{d^2 S}{d\varphi^2}\right)_{\max}}{\bar{a}_y},$$

где $\left(\frac{d^2 S}{d\varphi^2}\right)_{\max}$ - результат расчета;

\bar{a}_y - отрезок по оси ординат, пропорциональный $\left(\frac{d^2 S}{d\varphi^2}\right)_{\max}$.

Тогда

$$\mu \frac{dS}{d\varphi} = \frac{\left(\frac{dS}{d\varphi}\right)_{\max}}{b_y},$$

где $\left(\frac{dS}{d\varphi}\right)_{\max}$ - результат расчета;

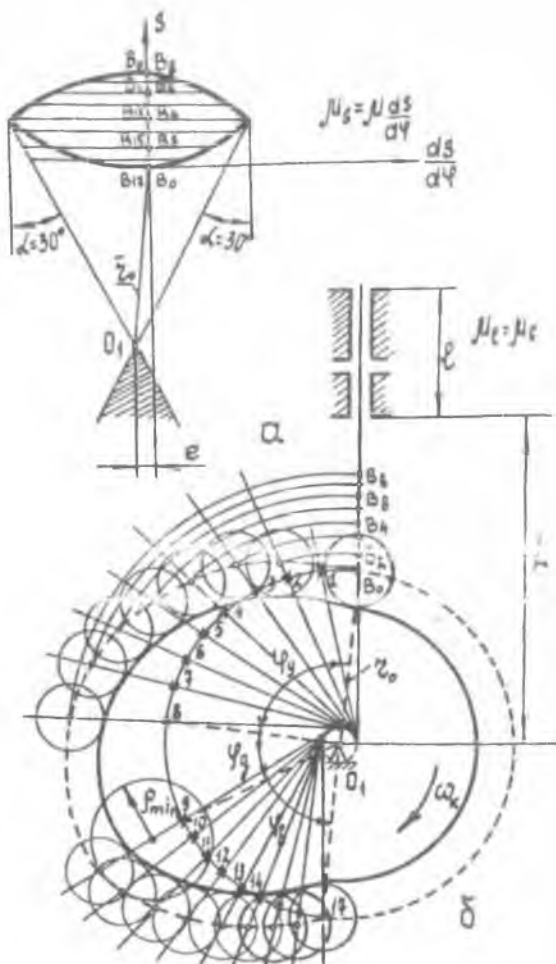
b_y - отрезок, пропорциональный $\left(\frac{dS}{d\varphi}\right)_{\max}$, мм;

$$\mu_S = \mu dS.$$

2. Для определения z_0 и эксцентриситета e строят диаграмму S , $\frac{dS}{d\varphi}$ (рис. 2, а). По оси S откладывают перемещения центра ролика согласно диаграмме перемещений. По оси $\frac{dS}{d\varphi}$ откладывают векторы аналогов скоростей, повернутые на 90° в сторону вращения кулачка. Если кулачок вращается по часовой стрелке, то по оси $\frac{dS}{d\varphi}$ вправо откладывают величины $\frac{dS}{d\varphi}$, соответствующие фазе удаления, а влево от оси ординат - соответствующие значения для фазы возвращения.

Примечание. Если кулачок вращается против часовой стрелки, то по оси абсцисс $\frac{dS}{d\varphi}$ значения, соответствующие фазе удаления, откладывают влево, а значения $\frac{dS}{d\varphi}$, соответствующие фазе возвращения - вправо.

К диаграмме проводят две касательные справа и слева под заданным допустимым углом давления $\alpha_{\text{дон}} = 30^\circ$. Приняв точку их пересечения O_1 за центр вращения кулачка, получают наименьший радиус z_0 , при котором угол давления не выходит за допустимые пределы. Расстояние от точки O_1 до оси S движения толкателя равно смещению e , называемому эксцентриситетом.



Р и с. 2.

Примечание. Диаграмма обязательно строится при $M_s = M \frac{ds}{d\varphi}$.

4. Для построения профиля кулачка по заданному закону (рис.2,б) проводят окружность радиуса $O_1B_0 = \varepsilon_0$, окружность радиуса e (эксцентриситета), проводят линию толкателя в начальном положении в соответствии с диаграммой $S - \frac{ds}{d\varphi}$ (рис. 2,а). Линия толкателя является касательной к окружности эксцентриситета.

Примечание. Обратите внимание на то, что положение линии толкателя в начальный момент определяется только по диаграмме $S - \frac{dS}{d\psi}$.

На окружности радиуса $O_1B_0 = z_0$ от линии O_1B_0 откладывают углы ψ_y, ψ_g, ψ_b в направлении, обратном вращению кулачка.

Дуги, соответствующие ψ_y и ψ_g , делят на несколько равных частей (в примере 8 частей), как в предыдущих графиках, и через каждую точку деления проводят касательные к окружности радиуса e . Для построения точек теоретического профиля из центра O_1 через точки B_1, B_2, B_3 и т.д. проводят дуги до пересечения с соответствующими касательными; соединив предварительно найденные точки пересечения, получим теоретический профиль. Для углов ψ_g и ψ_b профиль очерчивается дугами окружностей с центром в точке O_1 .

Для определения радиуса ролика $z_{рол}$ методом проб находят участок с наибольшей кривизной и описывают круг кривизны с радиусом ρ_{min} . Радиус ролика $z_{рол} \leq 0,7 \rho_{min}$ или $z_{рол} \leq 0,4 z_0$. Из этих двух величин берут наименьшую: $z_{рол} = 0,04$ м.

Для построения теоретического профиля ведомого описывают окружности радиусом $z_{рол}$ и строят огибающую.

Расстояние от оси кулачка до направляющей ведомого звена определяют по формулам

$$L = z_0 + x_{max}, \quad x_{max} \geq h + z_{рол},$$

$$z_0 = 0,132 \text{ м}, \quad x_{max} \geq 0,06 + 0,04 \geq 0,1 \text{ м}.$$

Принимают $x_{max} = 0,11$ м.

Тогда $L = 0,132 + 0,11 = 0,242$ м.

Длина направляющих $l \geq (1,5 - 2) x_{max}$, принимаем $l = 0,15$ м.

Пример 2. Заданы: закон движения ведомого звена на фазах удаления и возвращения $\frac{d^2S}{d\psi^2} = a \cos \frac{\pi}{\psi_y} \psi$;

ход толкателя $h = 0,06$ м;

фазовые углы $\psi_y = 60^\circ, \psi_g = 30^\circ, \psi_b = 90^\circ$;

допустимый угол давления $\alpha_{max} = 30^\circ$.

Кулачок вращается по часовой стрелке.

5. Приводят последовательное аналитическое интегрирование заданного закона:

$$\frac{d^2S}{d\psi^2} = a \cos \frac{\pi}{\psi_y} \psi; \quad (14)$$

$$\frac{dS}{d\varphi} = \frac{a\varphi_y}{\pi} \sin \frac{\pi}{\varphi_y} \varphi + c_1; \quad (15)$$

$$S = -\frac{a\varphi_y^2}{\pi^2} \cos \frac{\pi}{\varphi_y} \varphi + C_1\varphi + C_2. \quad (16)$$

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 определяют из начальных условий $\varphi = 0$, $\frac{dS}{d\varphi} = v$, $S = 0$:

$$C_1 = 0; \quad C_2 = \frac{a\varphi_y^2}{\pi^2}. \quad (17)$$

По конечным условиям $\varphi = \varphi_y$, $S = h$ определяют

$$a = \frac{\pi^2 h}{2\varphi_y^2}. \quad (18)$$

Подставляя найденные значения C_1 , C_2 и a , получаем:

$$\frac{d^2S}{d\varphi^2} = \frac{\pi}{2} \frac{h}{\varphi_y^2} \cos \frac{\pi}{\varphi_y} \varphi, \quad (19)$$

$$\frac{dS}{d\varphi} = \frac{\pi}{2} \frac{h}{\varphi_y} \sin \frac{\pi}{\varphi_y} \varphi; \quad (20)$$

$$S = -\frac{h}{2} \cos \frac{\pi}{\varphi_y} \varphi + \frac{h}{2}. \quad (21)$$

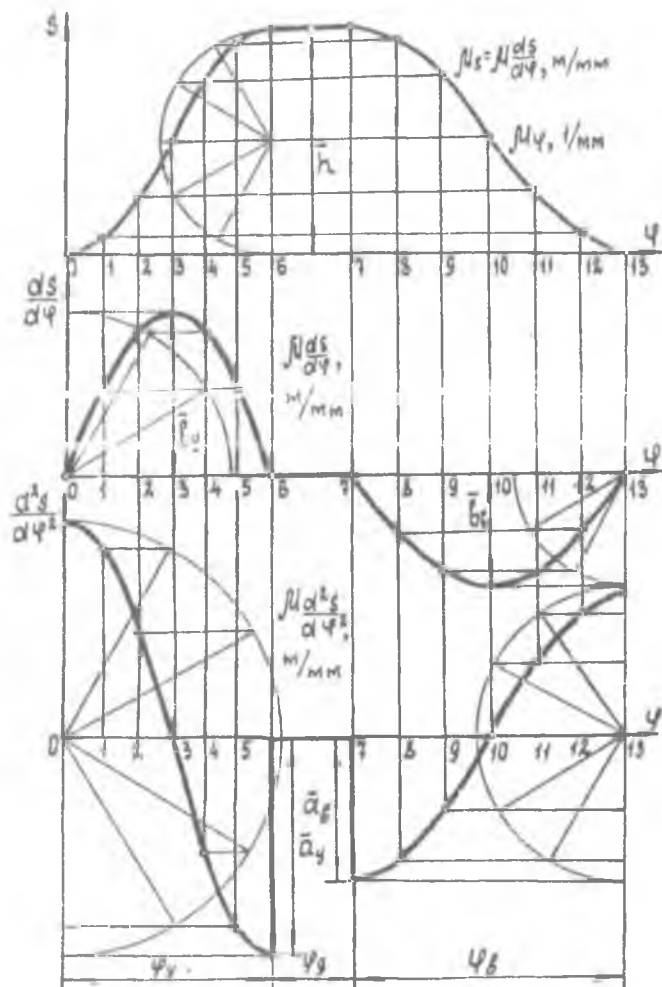
Максимальный аналог ускорения при $\varphi = 0$ и $\varphi = \varphi_y$ представлен как

$$a_y = \frac{W_{max}}{\omega^2} = \left(\frac{d^2S}{d\varphi^2} \right)_{max} = \frac{\pi^2}{2} \frac{h}{\varphi_y^2}. \quad (22)$$

Максимальный аналог скорости при $\varphi = \frac{\varphi_y}{2}$ определяется по формуле

$$v_y = \frac{V_{max}}{\omega} = \left(\frac{dS}{d\varphi} \right)_{max} = \frac{\pi}{2} \frac{h}{\varphi_y}. \quad (23)$$

6. Графики $\frac{d^2S}{d\varphi^2} = f(\varphi)$, $\frac{dS}{d\varphi} = f(\varphi)$, $S = f(\varphi)$ (рис. 3) можно построить, используя результат расчета на ЭВМ либо используя метод графического дифференцирования. В этом случае для построения графика $\frac{d^2S}{d\varphi^2} = f(\varphi)$ определяем



Р и с. 3.

$$a_y = \frac{\pi^2 h}{2 \varphi_y^2} = \frac{\pi^2 \cdot 0,06}{2 \cdot 1,04^2} = 0,28 \text{ м} \quad \text{при} \quad \varphi_y = 60^\circ = 1,04;$$

$$a_B = \frac{\pi^2 h}{2 \varphi_B^2} = \frac{\pi^2 \cdot 0,06}{2 \cdot 1,57^2} = 0,12 \text{ м} \quad \text{при} \quad \varphi_B = 90^\circ = 1,57.$$

Определяем масштаб

$$\mu_{d^2s} = \frac{a_y}{\bar{a}_y} = \frac{0,28}{56} = 0,005 \text{ м/мм},$$

где \bar{a}_y - отрезок,

тогда

$$\bar{a}_B = \frac{a_B}{\mu_{d^2s}} = \frac{0,12}{0,005} = 24 \text{ мм},$$

а также масштаб

$$\mu_{\varphi} = \frac{\varphi_{\text{рад}}}{\bar{\varphi}} = 0,017 \text{ 1/мм},$$

$$\bar{\varphi}_{\text{рад}} = \varphi_y + \varphi_B + \varphi_B = \frac{\pi}{3} + \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{2} = \pi,$$

$$\bar{\varphi} = 90 \text{ мм}.$$

Для построения графика $\frac{dS}{d\varphi} = f(\varphi)$ определяем

$$b_y = \frac{\pi \cdot h}{2 \varphi_y} = \frac{\pi \cdot 0,06}{2 \cdot 1,04} = 0,09 \text{ м},$$

$$b_B = \frac{\pi \cdot h}{2 \varphi_B} = \frac{\pi \cdot 0,06}{2 \cdot 1,57} = 0,06 \text{ м}.$$

$$\text{Масштаб} \quad \mu_{\frac{dS}{d\varphi}} = \frac{b_y}{\bar{b}_y} = \frac{0,09}{90} = 0,001 \text{ м/мм},$$

где \bar{b}_y - отрезок,

$$\text{тогда} \quad \bar{b}_B = \frac{b_B}{\mu_{\frac{dS}{d\varphi}}} = \frac{0,06}{0,001} = 60 \text{ мм}.$$

График $S = f(\varphi)$ строится в масштабе $\mu_S = \mu_{\frac{dS}{d\varphi}}$.

Дальнейшие построения, которые проводят в соответствии с пп.

3, 4 данного раздела, показаны на рис. 3.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КУЛАЧКОВОГО МЕХАНИЗМА С ПОСТУПАТЕЛЬНО ДВИЖУЩИМСЯ ПЛОСКИМ ТОЛКАТЕЛЕМ

Заданы: Закон движения ведомого звена на фазах удаления и
возвращения $\frac{d^2 S}{d\varphi^2} = a \sin \frac{2\pi}{\varphi_y} \varphi$;

ход толкателя $h = 0,06$ м;

фазовые углы: $\varphi_1 = 90^\circ$, $\varphi_2 = 30^\circ$, $\varphi_3 = 60^\circ$.

Кулачок вращается против часовой стрелки.

I. Проводим последовательное аналитическое интегрирование заданного закона

$$\frac{d^2 S}{d\varphi^2} = a \sin \frac{2\pi}{\varphi_y} \varphi, \quad (24)$$

$$\frac{dS}{d\varphi} = -\frac{a\varphi_y}{2\pi} \cos \frac{2\pi}{\varphi_y} \varphi + C_1, \quad (25)$$

$$S = -\frac{a\varphi_y^2}{4\pi^2} \sin \frac{2\pi}{\varphi_y} \varphi + C_1 \varphi + C_2. \quad (26)$$

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 определяют из начальных условий $\varphi = 0$, $\frac{dS}{d\varphi} = 0$, $S = 0$:

$$C_1 = \frac{a\varphi_y}{2\pi}; \quad C_2 = 0. \quad (27)$$

Так как ускорение, скорость и перемещение толкателя в пределах угла φ_y являются непрерывными функциями, максимальный аналог ускорения определяют из следующих конечных условий: $\varphi = \varphi_y$; $S = h$, т.е.

$$a = \frac{2\pi^2 h}{\varphi_y^2}. \quad (28)$$

Подставляя найденные значения C_1 , C_2 и a , получаем

$$\frac{dS}{d\varphi} = -\frac{h}{\varphi_y} \cos \frac{2\pi}{\varphi_y} \varphi + \frac{h}{\varphi_y}, \quad (29)$$

$$S = -\frac{h}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{\varphi_y} \varphi + \frac{h}{\varphi_y} \varphi. \quad (30)$$

Из формулы (29) при $\varphi = \frac{\varphi_y}{2}$ максимальный аналог скорости

$$v_y = \frac{V_{max}}{\omega} = \left(\frac{dS}{d\varphi} \right)_{max} = \frac{2h}{\varphi_y} \quad (31)$$

Из формулы (24) при $\varphi = \frac{\varphi_y}{4}$ максимальный аналог ускорения

$$a_y = \frac{W_{max}}{\omega^2} = \left(\frac{d^2S}{d\varphi^2} \right)_{max} = 2\pi \frac{h}{\varphi_y^2} \quad (32)$$

2. Графики $\frac{d^2S}{d\varphi^2} = f(\varphi)$, $\frac{dS}{d\varphi} = f(\varphi)$, $S = f(\varphi)$ можно построить (рис. 4), используя результат расчета на ЭВМ либо используя методы графического интегрирования. В этом случае диаграмма $\frac{d^2S}{d\varphi^2} = f(\varphi)$ изображается двумя синусоидами (рис. 4), для построения которых a определяют по формуле (32).

Находим

$$a_y = \frac{2\pi h}{\varphi_y^2} = \frac{2\pi \cdot 0,06}{1,57^2} = 0,153 \text{ м} \quad \text{при } \varphi_y = 90^\circ = 1,57,$$

$$a_\delta = \frac{2\pi h}{\varphi^2} = \frac{2\pi \cdot 0,06}{1,04^2} = 0,348 \text{ м} \quad \text{при } \varphi = 60^\circ = 1,04.$$

Масштаб по оси ординат $\frac{d^2S}{d\varphi^2}$ определяют, задавшись произвольным отрезком \bar{a}_y , например $\bar{a}_y = 30,6 \text{ мм}$:

$$\mu \frac{d^2S}{d\varphi^2} = \frac{a_y}{\bar{a}_y} = \frac{0,153}{30,6} = 0,005 \text{ м/мм},$$

$$\text{тогда } \bar{a}_\delta = \mu \frac{d^2S}{d\varphi^2} = \frac{0,348}{0,005} = 69,6 \text{ мм}.$$

Масштаб по оси абсцисс определяют таким образом:

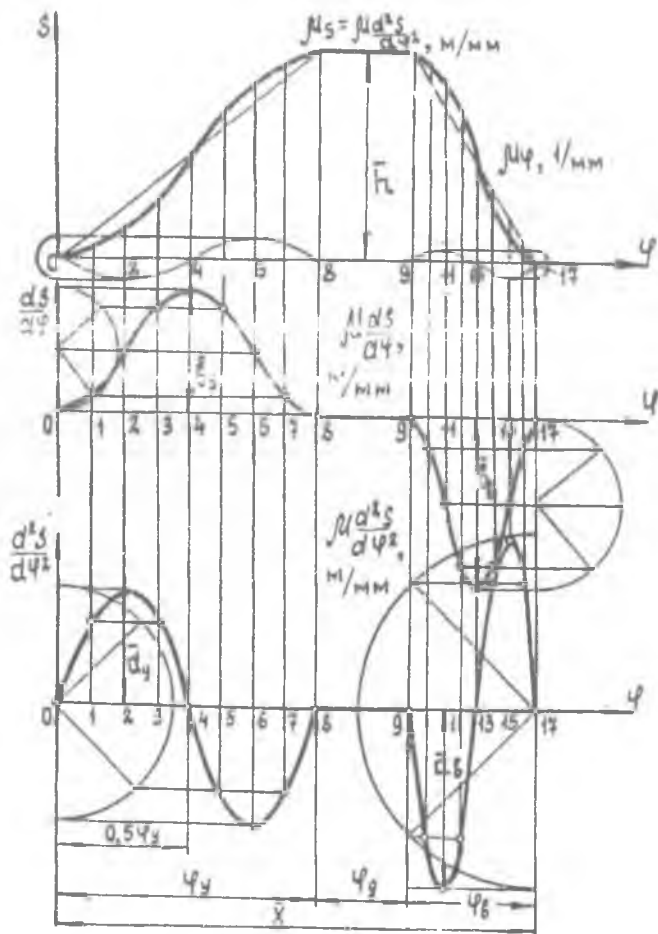
$$\mu_\varphi = \frac{\varphi_{рад}}{\bar{\lambda}} = 0,017 \text{ 1/мм},$$

$$\text{где } \varphi_{рад} = \varphi_y + \varphi_\delta + \varphi_\delta = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{3} = \pi,$$

$\bar{\lambda} = 90 \text{ мм}$ - отрезок, пропорциональный углу $\varphi_{рад}$.

Чтобы построить диаграмму $\frac{dS}{d\varphi} = f(\varphi)$, определяют максимальные значения $\left(\frac{dS}{d\varphi} \right)_{max}$ для фазы удаления и возвращения

$$v_y = \left(\frac{dS}{d\varphi} \right)_{max_y} = \frac{2h}{\varphi_y} = \frac{2 \cdot 0,06}{1,57} = 0,076 \text{ м},$$



Р и с. 4.

$$\bar{v}_s = \left(\frac{dS}{d\varphi} \right)_{\max} \frac{1}{\varphi_s} = \frac{2h}{\varphi_s} = \frac{2 \cdot 0,05}{1,04} = 0,115 \text{ м.}$$

Масштаб диаграммы $\frac{dS}{d\varphi} = f(\varphi)$ определяют как

$$\mu_{\frac{dS}{d\varphi}} = \frac{\bar{v}_s}{\bar{v}_y} = \frac{0,076}{76} = 0,001 \frac{\text{м}}{\text{мм}},$$

предварительно приняв $\bar{v}_y = 76 \text{ мм}$. Тогда $\bar{v}_s = \mu_{\frac{dS}{d\varphi}} \bar{v}_y = \frac{0,115}{0,001} = 115 \text{ мм}$.

Диаграмма $\frac{dS}{d\varphi} = f(\varphi)$ изображается двумя сдвинутыми на величину амплитуд h/φ_y и h/φ_s косинусоидами, которые строятся обычным графическим способом (рис. 4).

Диаграмма $S = f(\varphi)$ представляет собой алгебраическую сумму ординат прямой $h(\varphi/\varphi_y)$, проходящей через начало координат и конец ординаты $S = h$, и ординат синусоиды с амплитудой $h/2\pi$ (см. формулу (30)). Построение кривой $S = f(\varphi)$ выполняется следующим образом: для $\varphi = \varphi_y$ откладывается ордината, равная ходу h , и ее конец

откладывается на окружность радиуса $h/2\pi$ и строится синусоида обычным графическим способом. Складывая алгебраически соответствующие ординаты, получают кривую перемещений $S = f(\varphi)$, аналитически выраженную формулой (30).

Масштаб для диаграммы $S = f(\varphi)$ принимаем равным масштабу

$$\mu_{\frac{d^2S}{d\varphi^2}}, \text{ т.е.}$$

$$\mu_S = \mu_{\frac{d^2S}{d\varphi^2}} = 0,005 \text{ м/мм.}$$

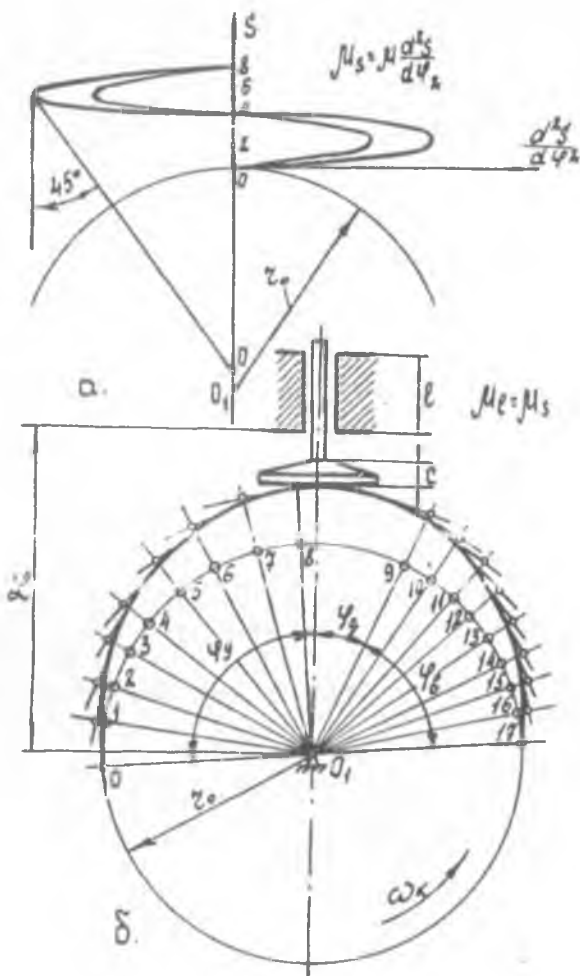
Для фазы возвращения кривая перемещения строится аналогично.

3. Чтобы определить минимальный радиус профиля ρ_0 , строят диаграмму зависимости $S - \frac{d^2S}{d\varphi^2}$ (рис. 5, а). Масштабы $\mu_S = \mu_{\frac{d^2S}{d\varphi^2}}$.

Положительные аналоги ускорения откладывают в положительном направлении оси $\frac{d^2S}{d\varphi^2}$, отрицательные — в отрицательную сторону.

Проводят касательные к максимальной отрицательной ветви кривой под углом 45° к оси S перемещений. На оси S получают точку O_1 ; центр вращения кулачка выбирают в точке O_2 , расположенной ниже точки O_1 на 10 мм в масштабе чертежа (это делается во избежание больших местных напряжений). После выбора точки O_2 минимальный радиус профиля ρ_0 пропорционален расстоянию OO_1 .

4. Для построения профиля кулачка из точки O_2 (рис. 5, б) проводят окружность радиуса ρ_0 и делят ее на части, пропорциональ-



Р и с. 5.

ные углам φ_y , φ_θ и φ_δ . Фазовые углы откладывают в направлении, противоположном вращению кулачка. Углы φ_y и φ_θ делят на 8 равных частей. От точек деления на окружности радиуса z_0 вдоль радиальных лучей откладывают соответственно перемещения S из диаграммы $S = f(\varphi)$ и через полученные точки проводят перпендикуляры к радиусам. Огибающая всех построенных перпендикуляров будет профи-

лем кулачка. Профиль кулачка для углов φ_7 и φ_8 очерчивается дугами окружностей с центром в точке O_1 . Расстояние \mathcal{L} от оси кулачка до направляющей ведомого звена определяется по формулам:

$$\mathcal{L} = z_0 + X_{\max},$$

$$X_{\max} \geq h + c \geq 0,06 + 0,0176 \geq 0,077,$$

$$z_0 = 0,3 \text{ м (по чертежу рис. 5,6).}$$

Принимаем $X_{\max} = 0,11$, тогда $\mathcal{L} = 0,3 + 0,11 = 0,41 \text{ м.}$

Длина направляющих

$$l > (0,8 - 1,0) \left(\frac{dS}{d\varphi} \right)_{\max},$$

принимаем $l = 0,115 \text{ м.}$

Радиус тарелки

$$r_{\text{тар}} \geq \left(\frac{dS}{d\varphi} \right)_{\max},$$

принимаем $r_{\text{тар}} = 0,115 \text{ м.}$

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КУЛАЧКОВОГО МЕХАНИЗМА С ВРАЩАЮЩИМСЯ РОЛИКОВЫМ ТОЛКАТЕЛЕМ

Заданы: закон движения ведомого звена на фазах удаления и возвращения:

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } 0 \leq \varphi \leq u\varphi_y \quad \frac{d^2S}{d\varphi^2} = a; \\ \text{при } u\varphi_y \leq \varphi \leq \varphi_y (1-u) \quad \frac{d^2S}{d\varphi^2} = 0; \\ \text{при } \varphi_y (1-u) \leq \varphi \leq \varphi_y \quad \frac{d^2S}{d\varphi^2} = -a, \end{array} \right\} u = 0,1$$

длина коромысла $l_{0,2A} = 0,2 \text{ м;}$

угол размаха коромысла $\varphi_{\max} = 30^\circ,$

фазовые углы $\varphi_y = 90^\circ, \varphi_8 = 30^\circ, \varphi_8 = 60^\circ,$

$u = 0,1,$

допустимый угол давления $\alpha_{\max} = 45^\circ.$

Кулачок и коромысло при удалении вращаются по часовой стрелке.

1. Проектирование начинают с аналитического интегрирования заданного закона движения:

при $0 \leq \varphi \leq u\varphi_y$ (I участок)

$$\frac{dS}{d\varphi} = a\varphi + C_1, \quad (33)$$

$$S = \frac{a\varphi^2}{2} + C_1\varphi + C_2; \quad (34)$$

при $u\varphi_y \leq \varphi \leq \varphi_y(1-u)$ (2 участок)

$$\frac{dS}{d\varphi} = C_3, \quad (35)$$

$$S = C_3\varphi + C_4, \quad (36)$$

при $\varphi_y(1-u) \leq \varphi \leq \varphi_y$ (3 участок)

$$\frac{dS}{d\varphi} = -a\varphi + C_5, \quad (37)$$

$$S = -\frac{a\varphi^2}{2} + C_5\varphi + C_6. \quad (38)$$

Определим начальные условия для постоянных интегрирования на 1-м участке:

$$\varphi = 0, \quad \frac{dS}{d\varphi} = 0, \quad S = 0.$$

При этих условиях

$$C_1 = 0 \quad \text{и} \quad C_2 = 0. \quad (39)$$

Начальные условия на 2-м участке:

$$\varphi = u\varphi_y; \quad \left(\frac{dS}{d\varphi}\right)_1 = \left(\frac{dS}{d\varphi}\right)_2; \quad S_1 = S_2.$$

При этих условиях

$$C_3 = au\varphi_y \quad \text{и} \quad C_4 = -\frac{au^2\varphi_y^2}{2}. \quad (40)$$

Начальные условия на 3-м участке:

$$\varphi = \varphi_y(1-u); \quad \left(\frac{dS}{d\varphi}\right)_2 = \left(\frac{dS}{d\varphi}\right)_3; \quad S_2 = S_3.$$

При этих условиях

$$C_5 = a\varphi_y, \quad C_6 = -\left(\frac{a\varphi_y^2}{2}\right) + au\varphi_y^2(1-u). \quad (41)$$

Постоянная a определяется как

$$a = \frac{h}{u\varphi_y^2(1-u)}. \quad (42)$$

В результате вычислений формулы (33)-(38) примут окончательный вид:
на 1-м участке:

$$\frac{d^2S}{d\varphi^2} = \frac{h}{u\varphi_y^2(1-u)}, \quad (43)$$

$$\frac{dS}{d\varphi} = \frac{h}{u\varphi_y^2(1-u)} \varphi, \quad (44)$$

$$S = \frac{h}{u\varphi_y^2(1-u)} \frac{\varphi^2}{2}; \quad (45)$$

на 2-м участке

$$\frac{d^2S}{d\varphi^2} = 0, \quad (46)$$

$$\frac{dS}{d\varphi} = \frac{h}{\varphi_y(1-u)}, \quad (47)$$

$$S = \frac{h}{\varphi_y(1-u)} \varphi - \frac{uh}{2(1-u)}; \quad (48)$$

на 3-м участке

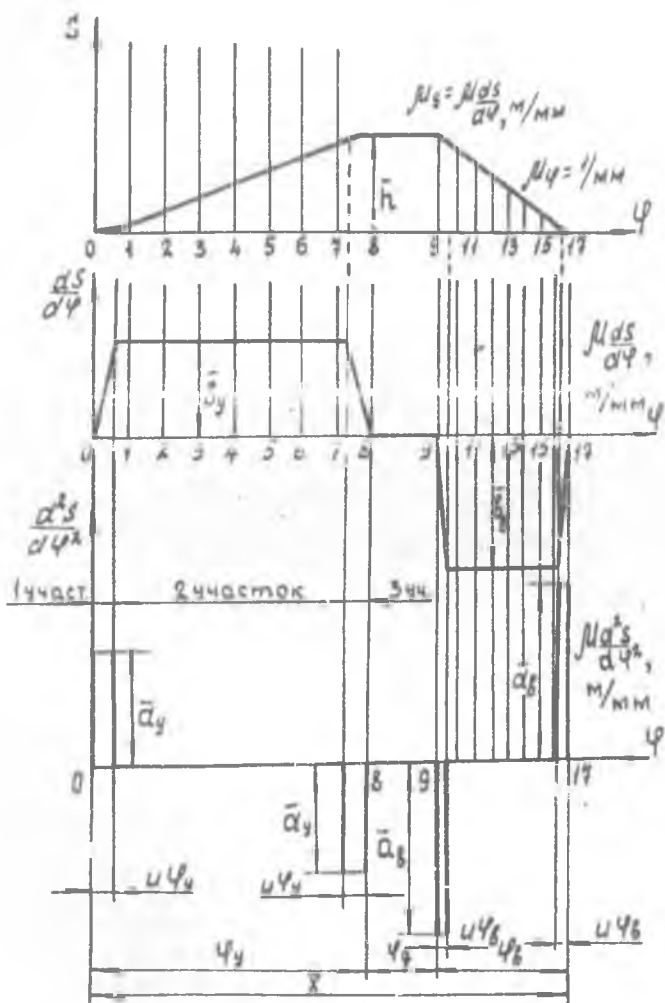
$$\frac{d^2S}{d\varphi^2} = -\frac{h}{u\varphi_y^2(1-u)}, \quad (49)$$

$$\frac{dS}{d\varphi} = -\frac{h}{u\varphi_y^2(1-u)} \varphi + \frac{h}{u\varphi_y(1-u)}, \quad (50)$$

$$S = -\frac{h}{u\varphi_y^2(1-u)} \frac{\varphi^2}{2} = \frac{h}{u\varphi_y(1-u)} \varphi + h - \frac{h}{2u(1-u)}. \quad (51)$$

2. Построение диаграммы (рис. 6) $\frac{d^2S}{d\varphi^2} = f(\varphi)$, $\frac{dS}{d\varphi} = f(\varphi)$
и $S = f(\varphi)$ начинают с графика $\frac{d^2S}{d\varphi^2} = f(\varphi)$. Для этого определяем

$$a_y = \frac{h}{u\varphi_y^2(1-u)} = \frac{\varphi \rho_{0,2A}}{u\varphi_y^2(1-u)} = \frac{\pi/6 \cdot 0,2}{0,1(\frac{\pi}{2})^2(1-0,1)} = 0,47 \text{ м},$$



Р и с. 6.

$$a_8 = \frac{\psi l_{02A}}{u \varphi_8^2 (1-u)} = \frac{\pi/6 \cdot 0,2}{0,1(\frac{\pi}{3})^2 (1-0,1)} = 1,06.$$

Определяют масштабы:

а) по оси ординат (оси $\frac{d^2S}{d\varphi^2}$), задав произвольно отрезок $\bar{a}_y = 47$ мм, получают

$$\mu_{\frac{d^2S}{d\varphi^2}} = \frac{a_y}{\bar{a}_y} = \frac{0,47}{47} = 0,01 \text{ м/мм},$$

тогда

$$\bar{a}_8 = \frac{a_8}{\mu_{d^2S/d\varphi^2}} = \frac{1,06}{0,01} = 106 \text{ мм};$$

б) по оси абсцисс (оси φ) масштаб определяется аналогично первому примеру (см. формулу (2)) $\mu_\varphi = 0,017$ г/мм.

Построение диаграммы $\frac{d^2S}{d\varphi^2} = f(\varphi)$ ясно из чертежа (рис. 6).

Для построения диаграммы $dS/d\varphi = f(\varphi)$ определяют максимальные

$$b_y = \frac{h}{\varphi_y(1-u)} = \frac{\psi l_{02A}}{\varphi_y(1-u)} = \frac{\pi/6 \cdot 0,2}{\pi/12(1-0,1)} = 0,024 \text{ м},$$

$$b_8 = \frac{\psi l_{02A}}{\varphi_8(1-u)} = \frac{\pi/6 \cdot 0,2}{\pi/3(1-0,1)} = 0,11 \text{ м}.$$

Задав $\bar{b}_y = 74$ мм, определяем

$$\mu_{\frac{dS}{d\varphi}} = \frac{b_y}{\bar{b}_y} = \frac{0,024}{74} = 0,001 \text{ м/мм},$$

тогда

$$\bar{b}_8 = \frac{b_8}{\mu_{dS/d\varphi}} = \frac{0,11}{0,001} = 110 \text{ мм}.$$

Построение диаграммы ясно из чертежа (рис. 6).

Для построения диаграммы $S = f(\varphi)$ вычисляют величину хода

$$h = \psi l = \pi/6 \cdot 0,2 = 0,104 \text{ м}.$$

На участке $0 \leq \varphi \leq u\varphi_y$ кривая перемещений является параболой, конечная ордината которой при $\varphi = u\varphi_y$ равняется $h/18 = 0,006$ м. На участке $u\varphi_y \leq \varphi \leq \varphi_y(1-u)$ график перемещений представляет прямую линию. На участке $\varphi_y(1-u) \leq \varphi \leq \varphi_y$ - параболу, ордината которой при $\varphi = \varphi_y(1-u)$ равна $17/18 h = 0,098$ м, а при $\varphi = \varphi_y$ ордината равна

$h = 0,104$ м. В этой точке находится вершина параболы. Параболы на I-м и 3-м участках строят, используя графические методы.

На фазе возвращения кривая перемещений строится аналогично.

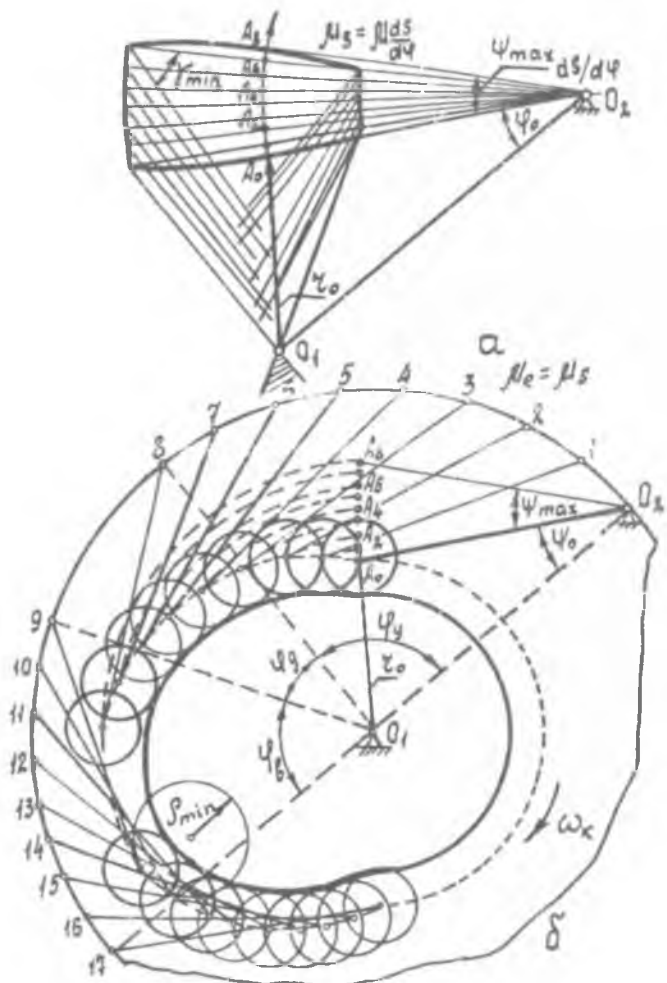
Построение диаграммы $S=f(\varphi)$ ведут в масштабе $\mu_s = \mu \frac{dS}{d\varphi}$ (это обязательно!).

Тогда

$$\bar{h} = \frac{h}{\mu_s} = \frac{0,104}{0,001} = 104 \text{ мм.}$$

3. После построения диаграмм переходят к определению минимального радиуса профиля кулачка ε_0 . Для этого при помощи диаграммы $S=f(\varphi)$ (рис. 6) производят разметку положений центра ролика на его траектории – дуге окружности радиуса O_2A , описанной из произвольно выбранного центра O_2 вращения коромысла. Отрезки по оси абсцисс, пропорциональные углам φ_2 и φ_8 диаграммы $S=f(\varphi)$, делят на восемь равных частей и находят соответствующие им ординаты. Найденные ординаты откладывают от центра O_2A , взятого произвольно, в результате чего определяются положения центра A ролика на траектории, соответствующие заданным углам поворота кулачка. Через центр вращения коромысла O_2 и различные положения центра ролика на его траектории проводят радиусы. На лучах откладывают соответствующие аналоги скоростей $\frac{dS}{d\varphi}$, взятые с диаграммы $\frac{dS}{d\varphi} = f(\varphi)$. Для фазы удаления аналоги скоростей откладывают вправо, а для фазы возвращения – в противоположную сторону, что соответствует направлению вращения кулачка по часовой стрелке. Через концы отрезков аналогов скоростей проводят прямые под углом $\gamma_{min} = 90^\circ - \alpha_{гон} = 45^\circ$ к направлению радиуса O_2A и эти самым определяют область, где возможно поместить ось кулачка (рис. 7, а заштрихованная часть). Минимальный радиус кулачка $\varepsilon_0 = O_1A$. Выбранное положение центра O_1 вращения кулачка определяет также расстояние $\rho_{0,0_2}$ между осями O_1 и O_2 кулачка и коромысла.

4. По найденным ε_0 , $\rho_{0,0_2}$ и заданной диаграмме перемещений в положении начала подъема толкателя строят профиль кулачка (рис. 7, б), используя для этой цели метод обращения движения. Из произвольно выбранной точки O_1 проводят окружность радиусом O_1O_2 , делят ее на части, пропорциональные углам φ_2 , φ_3 , φ_8 и φ_5 , и откладывают их в направлении, противоположном вращению кулачка. Каждую из дуг, стягивающую углы φ_2 и φ_8 , делят на $n/8$ (в данном слу-



Р и с . 7 .

чае 8) равных частей. Далее из точек деления 1, 2, 3 (и т.д.) окружности радиуса O_1O_2 радиусом O_2A проводят дуги окружности и находят точки их пересечения соответственно с дугами радиусов O_1A_1, O_1A_2, O_1A_3 , описанные из центра O_1 вращения кулачка. Полученные точки пересечения являются точками теоретического профиля, изображенного пунктирной кривой на рис. 7,б. Для углов φ_3 и φ_5 поворота кулачка теоретический профиль очерчен дугами окружностей с центром в т. O_1 . Радиус ролика определяется аналогично первому примеру (см. формулу (4)).

Для построения конструктивного (практического) профиля из произвольных точек теоретического профиля описывают окружности радиусом ролика и строят их огибающую, в результате чего получают профиль кулачка.

Рекомендуемый библиографический список

Артюболевский И.М. Теория механизмов и машин. М.: Наука, 1975, 636 с.

Кричевер Ж.Э., Кудянов А.К. Проектирование и расчет плоских кулачковых механизмов: Учеб. пособие /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1968.

Коробова Н.П., Журавлев В.И. Синтез плоских кулачковых механизмов: Учеб. пособие. М.: Изд-во МАИ, 1992. 40 с.