

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Уфимский государственный авиационный технический университет**

**ПОДБОР ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ЗВЕНЬЕВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ  
РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

**Методические указания  
по выполнению курсовой работы  
по дисциплине «Теория механизмов и машин»**

**Уфа 2011**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Уфимский государственный авиационный технический университет

Кафедра основ конструирования механизмов и машин

ПОДБОР ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ЗВЕНЬЕВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ  
РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Методические указания  
по выполнению курсовой работы  
по дисциплине «Теория механизмов и машин»

Уфа 2011

Составители: Б.И. Гурьев, Л.С. Кутушева, Л.Л. Русак

УДК 621.833 (07)

ББК 34.444 (я7)

Подбор геометрических параметров звеньев при проектировании рычажных механизмов: Методические указания по выполнению курсовой работы по дисциплине «Теория механизмов и машин» для студентов механических специальностей / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т: Сост.: Б.И. Гурьев, Л.С. Кутушева, Л.Л. Русак, 2011 - 109 с.

Содержат описание процесса геометрического синтеза рычажных механизмов.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки дипломированного специалиста 150200 – «Машиностроительные технологии и оборудование» всех специальностей.

Ил. 80. Библ.: 3 назв.

Рецензенты: док. техн. наук, проф. Мигранов М.Ш.

канд. техн. наук, доц. Рокитянская И.В.

© Уфимский государственный авиационный  
технический университет, 2011

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебно-методическое пособие содержит описание процедуры синтеза рычажных механизмов, т.к. эта часть работы нередко вызывает у студентов значительные затруднения.

Рассматриваемые в пособии схемы механизмов систематизированы и пронумерованы так же, как и в сборнике заданий на курсовую работу.

Кафедра ОКМиМ намерена использовать настоящее пособие не только в типографском виде, но и в виде набора электронных файлов. Поскольку каждому студенту к его заданию может потребоваться не более двух - трех страниц текста, то авторы применили такой способ макетирования пособия, когда описание синтеза каждого механизма начинается с новой страницы.

Расчетные уравнения и формулы ориентированы на получение механизмов с заранее заданными кинематическими свойствами и предполагают использование компьютерной среды САМАС.

## Кинематическая схема 01

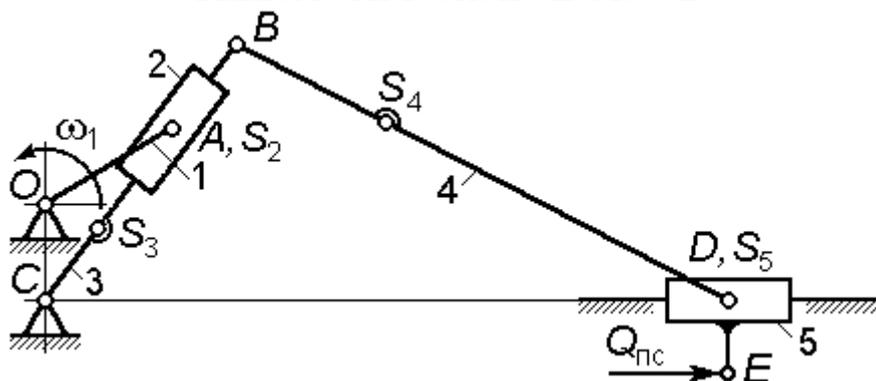


Рисунок 1.1

### Заданы:

$H$  – ход рабочего звена (ползуна 5);

коэффициент изменения средней скорости хода ползуна

$$K_v = \varphi_p / \varphi_x, \quad (1.1)$$

где  $\varphi_p$  и  $\varphi_x$  – углы поворота кривошипа  $OA$  за время рабочего и холостого ходов ползуна 5 соответственно;

соотношения длин звеньев:

$$BD = \alpha \cdot BC; \quad OC + OA = \beta \cdot H; \quad (1.2)$$

(коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  задаются в виде диапазонов).

Требуется рассчитать и выбрать размеры  $OA$ ,  $OC$ ,  $CB$  и  $BD$ .

### Решение

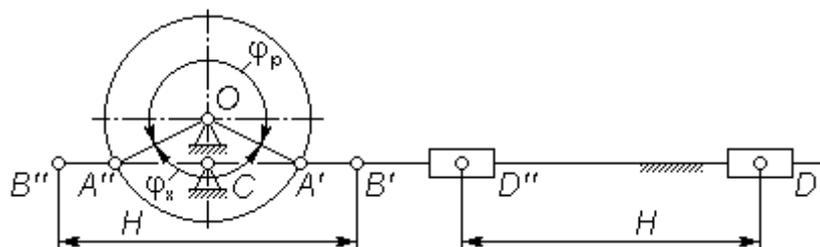


Рисунок 1.2

Если за время рабочего хода ползуна 5 (рис. 1.2) кривошип  $OA$  поворачивается на угол  $\varphi_p$ , а за время холостого хода – на угол  $\varphi_x$ , то справедливы соотношения

$$K_v = \frac{\varphi_p}{\varphi_x}; \quad \varphi_p + \varphi_x = 360^\circ; \quad (1.3)$$

отсюда находим

$$\varphi_x = \frac{360^\circ}{1 + K_v}; \quad \varphi_p = K_v \cdot \varphi_x. \quad (1.4)$$

На расчетной схеме (рис. 1.2) показаны два крайних положения механизма; очевидно, что длина кулисы должна быть равна

$$CB = 0.5 H; \quad (1.5)$$

поскольку из  $\triangle OCA'$  следует соотношение

$$\cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right) = \frac{OC}{OA}, \quad (1.6)$$

то, сопоставляя (1.2) и (1.6), найдем длины остальных звеньев:

$$OA = \frac{\beta \cdot H}{1 + \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right)}; \quad OC = OA \cdot \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right); \quad BD = \alpha \cdot BC. \quad (1.7)$$

Поскольку величины  $\beta$  и  $\alpha$  заданы в виде диапазонов, то значения размеров  $OA$  и  $BD$  при расчете по (1.7) допускают округление, которое не влияет на величину хода ползуна  $H=2 CB$ ; однако, из-за округления этих размеров возможно искажение коэффициента изменения средней скорости хода ползуна, т.к.

$$\varphi_x = 2 \arccos\left(\frac{OC}{OA}\right); \quad (1.8)$$

$$K_v = \frac{360^\circ - \varphi_x}{\varphi_x}. \quad (1.9)$$

Новое значение коэффициента  $K_v$  не должно отличаться от заданного более, чем на 2%.

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в моменты начала  $\varphi_{нрх}$  и окончания  $\varphi_{крх}$  рабочего хода ползуна 5:

$$\varphi_{нрх} = \frac{\varphi_x}{2} - 90^\circ; \quad \varphi_{крх} = 270^\circ - \frac{\varphi_x}{2}; \quad (1.10)$$

в (1.10) следует подставлять  $\varphi_x$ , найденное из (1.8).

## Кинематическая схема 02

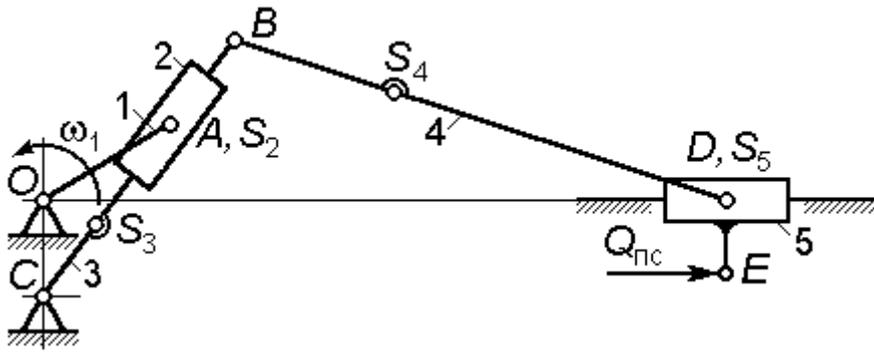


Рисунок 2.1

Заданы:

$H$  – ход рабочего звена (ползуна 5);

$K_\theta = \frac{\theta_p}{\theta_x}$  – отношение углов поворота кулисы 3 за время рабо-

чего  $\theta_p$  и холостого  $\theta_x$  ходов ползуна 5 (рис. 2.2);

соотношения геометрических параметров:

$$OC = H / \alpha; \quad OA + OC = \beta \cdot BC \quad (2.1)$$

(коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  задаются в виде диапазонов).

Требуется рассчитать и выбрать размеры  $OA$ ,  $OC$ ,  $BC$  и  $BD$ .

### Решение

На рис. 2.2 показана расчетная схема для определения длин звеньев  $OC$ ,  $BC$  и  $BD$ .

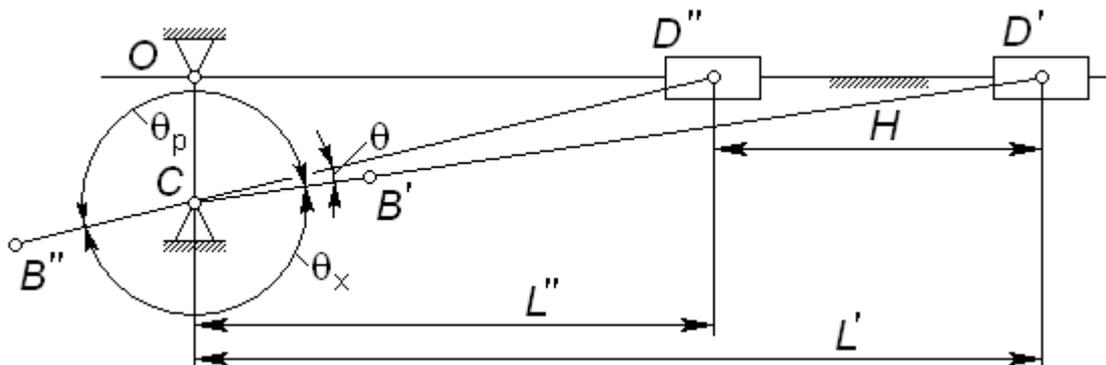


Рисунок 2.2

Первое из соотношений (2.1) позволяет выбрать значение межосевого расстояния  $OC$ .

Для определения остальных заданных размеров звеньев выполним следующие действия: из соотношения

$$K_{\theta} = \frac{\theta_p}{\theta_x} = \frac{180^{\circ} + \theta}{180^{\circ} - \theta} \quad (2.2)$$

найдем вспомогательный угол  $\theta$  (рис. 2.2)

$$\theta = \frac{K_{\theta} - 1}{K_{\theta} + 1} 180^{\circ}; \quad (2.3)$$

радиус окружности, описанной около  $\Delta CD''D'$

$$R = \frac{H}{2 \sin \theta}; \quad (2.4)$$

абсциссы  $L'$  и  $L''$  центра шарнира  $D$  в начале и конце рабочего хода ползуна 5:

$$\left. \begin{aligned} L' &= \sqrt{R^2 - (R \cos \theta - OC)^2} + 0.5H; \\ L'' &= \sqrt{R^2 - (R \cos \theta - OC)^2} - 0.5H. \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

Длина шатуна 4

$$BD = 0.5 \left( \sqrt{OC^2 + (L')^2} + \sqrt{OC^2 + (L'')^2} \right); \quad (2.6)$$

длина кулисы 3

$$BC = 0.5 \left( \sqrt{OC^2 + (L')^2} - \sqrt{OC^2 + (L'')^2} \right); \quad (2.7)$$

длина кривошипа 1

$$OA = \beta \cdot BC - OC. \quad (2.8)$$

Результаты вычисления размеров  $OC$ ,  $BC$  и  $BD$  (особенно, если производилось их округление) желательно проверить:

фактическая величина хода ползуна 5

$$H = \sqrt{(BD + BC)^2 - OC^2} - \sqrt{(BD - BC)^2 - OC^2}; \quad (2.9)$$

фактическая величина угла  $\theta$ , соответствующая найденной здесь величине хода  $H$

$$\theta = \arcsin \frac{H \cdot OC}{BD^2 - BC^2}. \quad (2.10)$$

Коэффициент  $K_\theta$  (формула (2.2)) и величина хода  $H$  не должны отличаться от заданных более чем на 2%.

Найдем угловые координаты кривошипа  $OA$  в моменты начала ( $\varphi_{\text{нрх}}$ ) и окончания ( $\varphi_{\text{крх}}$ ) рабочего хода ползуна:

$$\psi_{\text{н}} = \arcsin \frac{OC}{BD + BC}; \quad (2.11)$$

$$\varphi_{\text{нрх}} = \psi_{\text{н}} + \arccos \left( \frac{OC}{OA} \cos \psi_{\text{н}} \right) - 90^\circ. \quad (2.12)$$

$$\psi_{\text{к}} = \arcsin \frac{OC}{BD - BC}; \quad (2.13)$$

$$\varphi_{\text{крх}} = 270^\circ + \psi_{\text{к}} - \arccos \left( \frac{OC}{OA} \cos \psi_{\text{к}} \right). \quad (2.14)$$

напоминаем, что в (2.9) – (2.14) следует подставлять значения  $OC$ ,  $OA$ ,  $BC$  и  $BD$ , полученные в результате подбора и последующего округления длин звеньев.

### Кинематическая схема 03

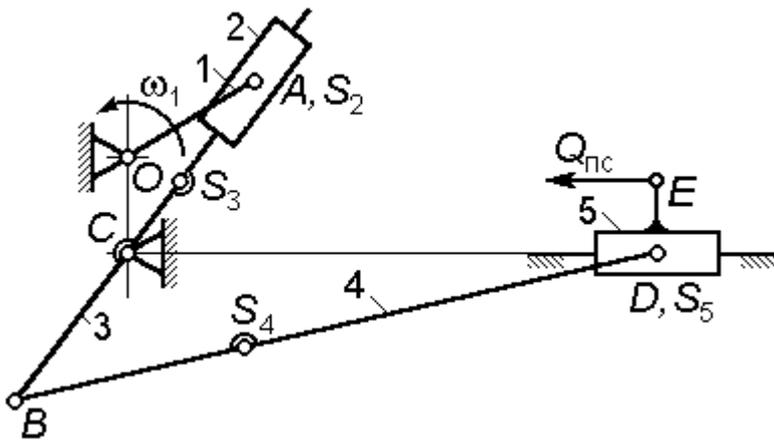


Рисунок 3.1

Заданы:

$H$  – ход рабочего звена (ползуна 5);

коэффициент изменения средней скорости хода ползуна

$$K_v = \varphi_p / \varphi_x, \quad (3.1)$$

где  $\varphi_p$  и  $\varphi_x$  – углы поворота кривошипа  $OA$

за время рабочего и холостого ходов ползуна 5 соответственно;

соотношения длин звеньев:

$$BD = \alpha \cdot BC; \quad OC + OA = \beta \cdot H \quad (3.2)$$

(коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  задаются в виде диапазонов).

Требуется рассчитать и выбрать размеры  $OA$ ,  $OC$ ,  $CB$  и  $BD$ .

### Решение

Расчетная схема для нахождения длин звеньев механизма приведена на рис. 3.2; показаны крайние положения рабочего звена (ползуна 5) и соответствующие им положения шарниров  $A$ ,  $B$  и  $D$ .

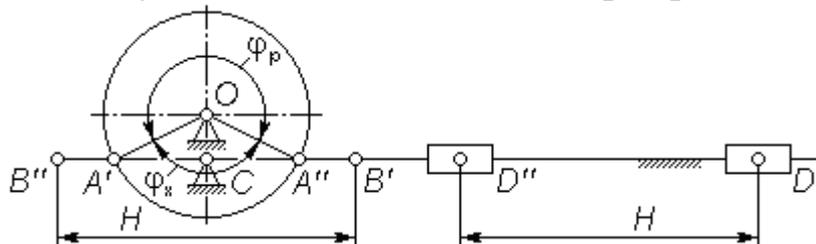


Рисунок 3.2

Если за время рабочего хода ползуна 5 кривошип  $OA$  поворачивается на угол  $\varphi_p$ , а за время холостого хода – на угол  $\varphi_x$  (рис. 3.2), то справедливы соотношения

$$\begin{cases} K_v = \frac{\varphi_p}{\varphi_x}, \\ \varphi_p + \varphi_x = 360^\circ; \end{cases} \quad (3.3)$$

отсюда

$$\varphi_x = \frac{360^\circ}{1 + K_v}; \quad \varphi_p = K_v \cdot \varphi_x. \quad (3.4)$$

Из рассмотрения крайних положений механизма следует, что  $B'B'' = D'D'' = H$  и длина кулисы

$$CB = 0.5 H; \quad (3.5)$$

поскольку из  $\Delta OCA'$  следует соотношение

$$\cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right) = \frac{OC}{OA}, \quad (3.6)$$

то, сопоставляя (3.6) и (3.1), найдем длины остальных звеньев:

$$OA = \frac{\beta \cdot H}{1 + \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right)}; \quad OC = OA \cdot \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right); \quad BD = \alpha \cdot BC. \quad (3.7)$$

Поскольку величины  $\beta$  и  $\alpha$  заданы в виде диапазонов, то значения размеров  $OA$  и  $BD$  при расчете по (3.7) допускают округление, которое не влияет на величину хода ползуна  $H=2 CB$ ; однако, из-за округления этих размеров возможно искажение коэффициента изменения средней скорости хода ползуна, т.к.

$$\varphi_x = 2 \arccos\left(\frac{OC}{OA}\right); \quad (3.8)$$

$$K_v = \frac{360^\circ - \varphi_x}{\varphi_x}. \quad (3.9)$$

Новое значение коэффициента  $K_v$  не должно отличаться от заданного более, чем на 2%.

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в момент начала – и окончания рабочего хода ползуна

$$\varphi_{\text{нрх}} = \frac{\varphi_x}{2} - 90^\circ; \quad \varphi_{\text{крх}} = 270^\circ - \frac{\varphi_x}{2}; \quad (3.10)$$

в (3.10) следует подставлять значение, найденное из (3.8).

### Кинематическая схема 04

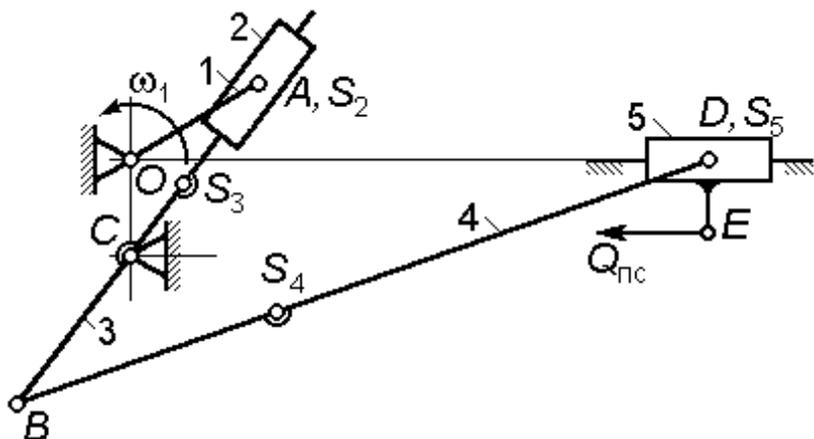


Рисунок 4.1

Заданы:

$H$  – ход рабочего звена (ползуна 5);

$K_\theta$  – отношение углов поворота кулисы 3 за время рабочего  $\theta_p$  и холостого  $\theta_x$  ходов ползуна 5 (рис. 2.2);

соотношения геометрических параметров:

$$OC = H / \alpha; \quad OA = \beta \cdot OC. \quad (4.1)$$

(коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  задаются в виде диапазонов).

Требуется рассчитать и выбрать размеры  $OA$ ,  $OC$ ,  $BC$  и  $BD$ .

### Решение

На рис. 4.2 показана расчетная схема для определения длин звеньев  $OC$ ,  $BC$  и  $BD$ .

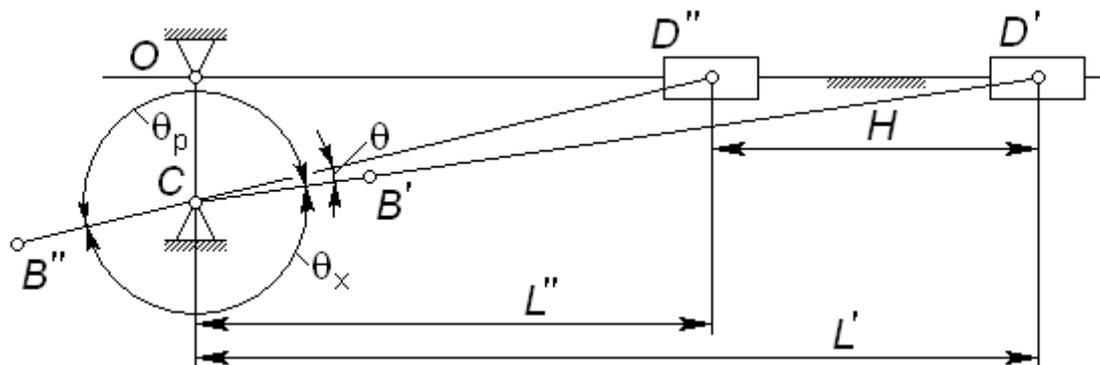


Рисунок 4.2

Первое из соотношений (4.1) позволяет выбрать значение межосевого расстояния  $OC$ .

Для нахождения остальных незаданных размеров звеньев выполним следующие действия: из соотношения

$$K_{\theta} = \frac{\theta_p}{\theta_x} = \frac{180^{\circ} + \theta}{180^{\circ} - \theta} \quad (4.2)$$

найдем вспомогательный угол  $\theta$  (рис. 4.2)

$$\theta = \frac{K_{\theta} - 1}{K_{\theta} + 1} 180; \quad (4.3)$$

радиус окружности, описанной около  $\Delta CD''D'$

$$R = \frac{H}{2 \sin \theta}; \quad (4.4)$$

абсциссы  $L'$  и  $L''$  центра шарнира  $D$  в конце и начале рабочего хода ползуна 5:

$$\left. \begin{aligned} L' &= \sqrt{R^2 - (R \cos \theta - OC)^2} + 0.5H; \\ L'' &= \sqrt{R^2 - (R \cos \theta - OC)^2} - 0.5H. \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

Длина шатуна 4

$$BD = 0.5 \left( \sqrt{OC^2 + (L')^2} + \sqrt{OC^2 + (L'')^2} \right); \quad (4.6)$$

длина кулисы 3

$$BC = 0.5 \left( \sqrt{OC^2 + (L')^2} - \sqrt{OC^2 + (L'')^2} \right); \quad (4.7)$$

длина кривошипа 1

$$OA = \beta \cdot OC. \quad (4.8)$$

Результаты вычисления размеров  $OC$ ,  $BC$  и  $BD$  (особенно, если производилось их округление) желательно проверить:

фактическая величина хода ползуна 5

$$H = \sqrt{(BD + BC)^2 - OC^2} - \sqrt{(BD - BC)^2 - OC^2}; \quad (4.9)$$

фактическая величина угла  $\theta$ , соответствующая найденной здесь величине хода  $H$

$$\theta = \arcsin \frac{H \cdot OC}{BD^2 - BC^2}. \quad (4.10)$$

Коэффициент  $K_\theta$  (формула (4.2)) и величина хода  $H$  не должны отличаться от заданных более чем на 2%.

Найдем угловые координаты кривошипа  $OA$  в моменты начала ( $\varphi_{\text{нрх}}$ ) и окончания ( $\varphi_{\text{крх}}$ ) рабочего хода ползуна:

$$\psi_{\text{н}} = \arcsin \frac{OC}{BD - BC}; \quad (4.11)$$

$$\varphi_{\text{нрх}} = \psi_{\text{н}} + \arccos \left( \frac{OC}{OA} \cos \psi_{\text{н}} \right) - 90^\circ. \quad (4.12)$$

$$\psi_{\text{к}} = \arcsin \frac{OC}{BD + BC}; \quad (4.13)$$

$$\varphi_{\text{крх}} = 270^\circ + \psi_{\text{к}} - \arccos \left( \frac{OC}{OA} \cos \psi_{\text{к}} \right). \quad (4.14)$$

Напоминаем, что в (4.9) – (4.14) следует подставлять значения  $OC$ ,  $OA$ ,  $BC$  и  $BD$ , полученные в результате подбора и последующего округления длин звеньев.

## Кинематическая схема 05

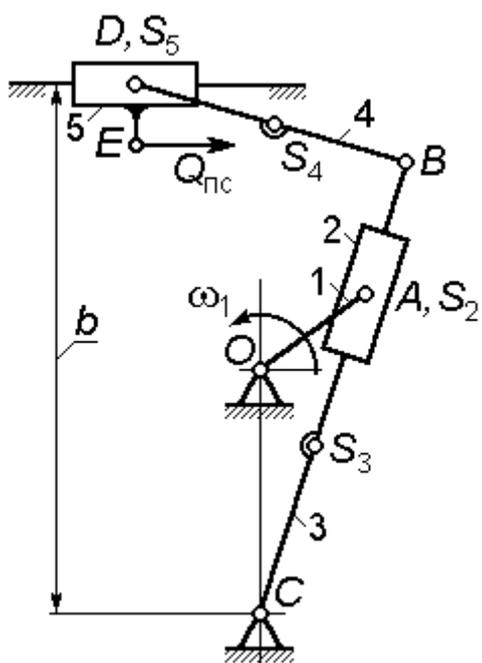


Рисунок 5.1

Заданы:

$H$  – ход рабочего звена (ползуна 5);

коэффициент изменения средней скорости хода ползуна

$$K_v = \varphi_p / \varphi_x, \quad (5.1)$$

где  $\varphi_p$  и  $\varphi_x$  – углы поворота кривошипа  $OA$  за время рабочего и холостого ходов ползуна 5 соответственно;

соотношения длин звеньев:

$$b = \alpha \cdot BC; \quad OC + OA = \beta \cdot BC; \quad (5.2)$$

(коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  заданы в виде диапазонов).

Максимальный допустимый угол давления шатуна  $BD$  на ползун 5 –  $\alpha_{\max}$ .

Требуется рассчитать и выбрать

размеры  $OA$ ,  $OC$ ,  $BC$ ,  $BD$  и  $b$ .

## Решение

На рис. 5.2 показана расчетная схема для определения искомых размеров.

Если за время рабочего хода ползуна 5 кривошип  $OA$  поворачивается на угол  $\varphi_p$ , а за время холостого хода – на угол  $\varphi_x$  (рис. 5.2), то из соотношений

$$K_v = \frac{\varphi_p}{\varphi_x}; \quad \varphi_p + \varphi_x = 360^\circ \quad (5.3)$$

найдем эти углы:

$$\varphi_x = \frac{360^\circ}{1 + K_v}; \quad \varphi_p = K_v \cdot \varphi_x. \quad (5.4)$$

поскольку  $B'B'' = D'D'' = H$ , то из  $\Delta CB'B''$  найдем

$$BC = \frac{H}{2 \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right)}; \quad (5.5)$$

сопоставляя (5.2) и очевидное соотношение

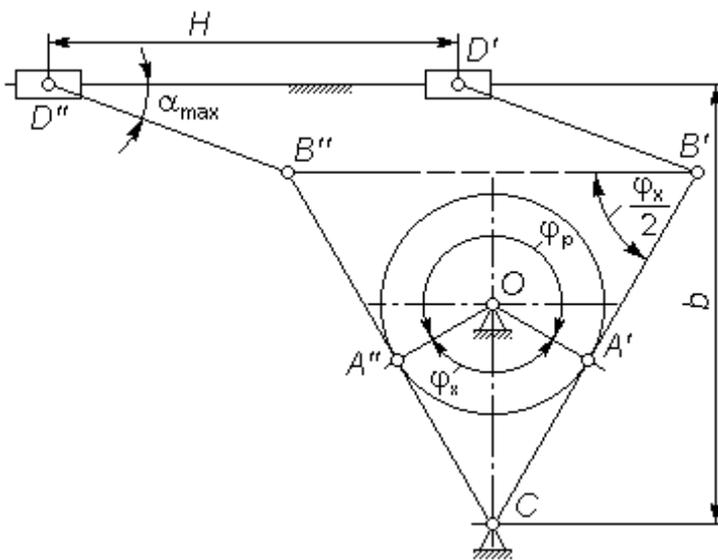


Рисунок 5.2

$$\frac{OA}{OC} = \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right), \quad (5.6)$$

найдем:

$$OC = \frac{\beta \cdot BC}{1 + \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right)}; \quad (5.7)$$

$$OA = OC \cdot \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right). \quad (5.8)$$

Значение  $OC$  перед подстановкой в (5.8) можно округлить, учитывая диапазон  $\beta$ .

Расстояние  $b$  (рис. 5.1 и 5.2) найдем из соотношения (5.2).

Длину шатуна  $BD$  найдем из рис. 5.2 и ограничения по углу давления:

$$BD \geq \frac{b - BC \cdot \sin\left(\frac{\varphi_x}{2}\right)}{\sin \alpha_{\max}}; \quad (5.9)$$

в качестве окончательного значения размера  $BD$  пригоден результат округления правой части неравенства (5.9) в сторону увеличения до ближайшего предпочтительного числа.

Принятые значения размеров желательно проверить на соответствие заданным условиям синтеза: коэффициент изменения средней скорости хода ползуна и фактическая величина хода ползуна

$$\varphi_x = \arccos \frac{OA}{OC}; \quad K_v = \frac{360^\circ - \varphi_x}{\varphi_x}; \quad H = 2 BC \cdot \frac{OA}{OC}. \quad (5.11)$$

Найденные здесь значения  $K_v$  и  $H$  не должны отличаться от заданных более, чем на 2%.

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в момент начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода ползуна

$$\varphi_{\text{нрх}} = 270^\circ + \frac{\varphi_x}{2}; \quad \varphi_{\text{крх}} = 270^\circ - \frac{\varphi_x}{2}. \quad (5.12)$$

В формулы (5.12) следует подставлять  $\varphi_x$  из (5.11).

## Кинематическая схема 06

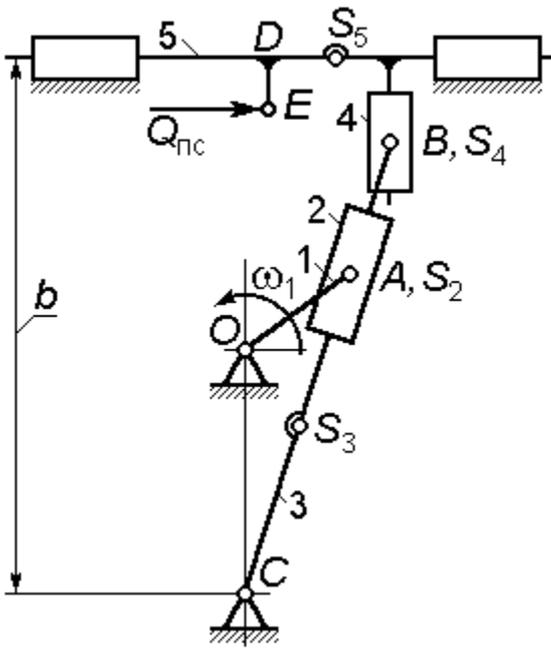


Рисунок 6.1

Заданы:

$H$  – ход рабочего звена (ползуна 5);

коэффициент изменения средней скорости хода ползуна

$$K_v = \varphi_p / \varphi_x, \quad (6.1)$$

где  $\varphi_p$  и  $\varphi_x$  – углы поворота кривошипа  $OA$  за время рабочего и холостого ходов ползуна 5 соответственно;

соотношения длин звеньев

$$b = \alpha \cdot BC; \quad OC + OA = \beta \cdot BC \quad (6.2)$$

(коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  заданы в виде диапазонов).

Требуется подобрать размеры  $OA$ ,  $OC$ ,  $BC$  и  $b$ .

## Решение

На рис. 6.2 показана расчетная схема для определения требуемых размеров. Кривошип  $OA$  за время рабочего хода ползуна 5 поворачивается на угол  $\varphi_p$ , а за время холостого хода – на угол  $\varphi_x$ ; тогда из соотношений

$$K_v = \frac{\varphi_p}{\varphi_x}, \quad \varphi_p + \varphi_x = 360^\circ \quad (6.3)$$

найдем эти углы:

$$\varphi_x = \frac{360^\circ}{1 + K_v}; \quad \varphi_p = K_v \varphi_x \quad (6.4)$$

поскольку  $B'B'' = H$ , то из  $\Delta CB'B''$  найдем размер кулисы

$$BC = \frac{H}{2 \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right)}; \quad (6.5)$$

сопоставляя (6.2) и очевидное соотношение для  $\Delta OA'C$

$$\frac{OA}{OC} = \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right), \quad (6.6)$$

найдем межосевое расстояние  $OC$  и длину кривошипа  $OA$ :

$$\begin{cases} OC = \frac{\beta \cdot BC}{1 + \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right)}; \\ OA = OC \cdot \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right); \end{cases} \quad (6.7)$$

размер  $b$ , определяющий положение направляющей для ползуна 5, определим из заданных условиями синтеза соотношения –  $b = \alpha \cdot BC$ .

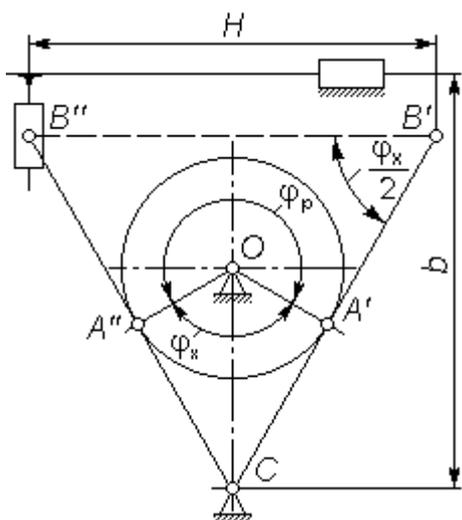


Рисунок 6.2

Размеры  $OC$  и  $b$  допускают округление в пределах, определяемых диапазонами  $\alpha$  и  $\beta$ .

Принятые значения размеров желательно проверить на соответствие заданным условиям синтеза: коэффициент изменения средней скорости хода ползуна  $K_v$  и фактическая величина хода  $H$ , опре-

деляемые из формул

$$\varphi_x = 2 \arccos\left(\frac{OA}{OC}\right); \quad K_v = \frac{360^\circ - \varphi_x}{\varphi_x}; \quad H = 2 BC \cdot \frac{OA}{OC}, \quad (6.8)$$

не должны отличаться от заданных более, чем на 2%.

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в момент начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода ползуна

$$\varphi_{\text{нрх}} = 270^\circ + \frac{\varphi_x}{2}; \quad \varphi_{\text{крх}} = 270^\circ - \frac{\varphi_x}{2}. \quad (6.9)$$

В формулы (6.9) следует подставлять  $\varphi_x$  из (6.8).

### Кинематическая схема 07

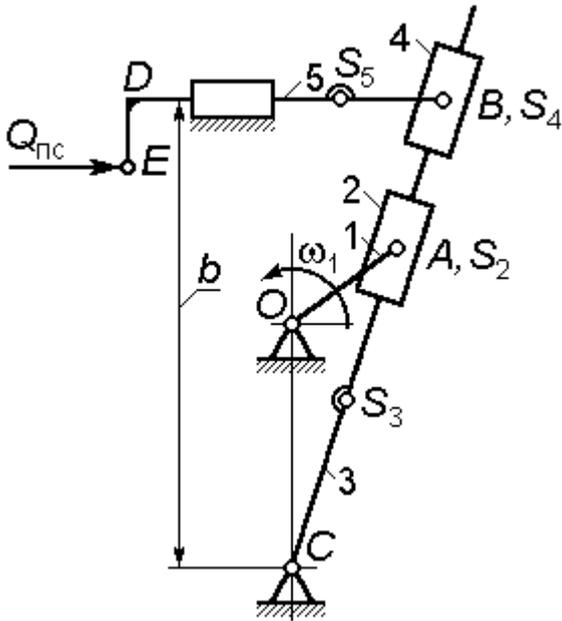


Рисунок 7.1

Требуется подобрать размеры  $OA$ ,  $OC$  и  $b$ .

Заданы (рис. 7.1 и 7.2):

$H$  – величина хода штока 5;

$K_v$  – коэффициент изменения средней скорости хода штока:

$$K_v = \varphi_p / \varphi_x, \quad (7.1)$$

где  $\varphi_p$  и  $\varphi_x$  – углы поворота кривошипа 1 за время рабочего и холостого ходов ползуна 5 соответственно;

соотношение размеров звеньев

$$OC + OA = \beta \cdot b \quad (7.2)$$

(коэффициент  $\beta$  задан в виде диапазона).

### Решение

На рис. 7.2 показана расчетная схема для определения требуемых размеров.

Кривошип  $OA$  за время рабочего хода ползуна 5 поворачивается на угол  $\varphi_p$ , а за время холостого хода – на угол  $\varphi_x$ ; тогда из соотношений

$$K_v = \frac{\varphi_p}{\varphi_x}, \quad \varphi_p + \varphi_x = 360^\circ \quad (7.3)$$

найдем эти углы:

$$\varphi_x = \frac{360^\circ}{1 + K_v}; \quad \varphi_p = K_v \varphi_x. \quad (7.4)$$

Т.к.  $B'B'' = H$ , то из  $\Delta CB'B''$  найдем ординату направляющей штока 5

$$b = 0.5 H \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_x}{2}\right). \quad (7.5)$$

Поскольку из  $\Delta OA'C$  следует соотношение

$$\frac{OA}{OC} = \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right), \quad (7.6)$$

то из (7.2) и (7.6) найдем межосевое расстояние  $OC$  и длину кривошипа  $OA$

$$\begin{cases} OC = \frac{\beta \cdot b}{1 + \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right)}; \\ OA = OC \cdot \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right). \end{cases} \quad (7.7)$$

Размер  $OC$  допускает округление в пределах, определяемых диапазоном  $\beta$ .

Принятые значения размеров желательно проверить на соответствие заданным условиям синтеза: коэффициент изменения средней скорости хода  $K_v$  и фактическая величина  $H$  хода штока 5, определяемые из формул

$$\varphi_x = 2 \arccos\left(\frac{OA}{OC}\right); \quad K_v = \frac{360^\circ - \varphi_x}{\varphi_x}; \quad H = \frac{2b}{\operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_x}{2}\right)}. \quad (7.8)$$

не должны отличаться от заданных более, чем на 2%.

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в момент начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода ползуна

$$\varphi_{\text{нрх}} = 270^\circ + \frac{\varphi_x}{2}; \quad \varphi_{\text{крх}} = 270^\circ - \frac{\varphi_x}{2}. \quad (7.9)$$

В формулы (7.9) следует подставлять  $\varphi_x$  из (7.8).

### Кинематическая схема 08

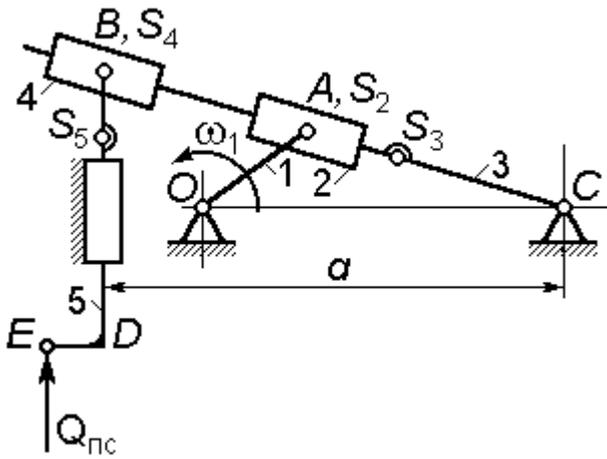


Рисунок 8.1

соотношение размеров звеньев

$$OC + OA = \beta \cdot a \quad (8.2)$$

(коэффициент  $\beta$  задан в виде диапазона).

Требуется подобрать размеры  $OA$ ,  $OC$  и  $a$ , обеспечивая получение заданных значений  $K_v$  и  $H$ .

Заданы:

$H$  – величина хода штока 5;

$K_v$  – коэффициент изменения средней скорости хода штока:

$$K_v = \varphi_p / \varphi_x, \quad (8.1)$$

где  $\varphi_p$  и  $\varphi_x$  – углы поворота кривошипа 1 за время рабочего и холостого ходов штока 5 соответственно;

### Решение

Кривошип  $OA$  за время рабочего хода штока 5 поворачивается на угол  $\varphi_p$ , а за время холостого хода – на угол  $\varphi_x$  (рис. 8.2); тогда из соотношений

$$K_v = \frac{\varphi_p}{\varphi_x}; \quad \varphi_p + \varphi_x = 360^\circ \quad (8.3)$$

найдем эти углы:

$$\varphi_x = \frac{360^\circ}{1 + K_v}; \quad \varphi_p = K_v \cdot \varphi_x. \quad (8.4)$$

Из того же рисунка, учитывая равен-

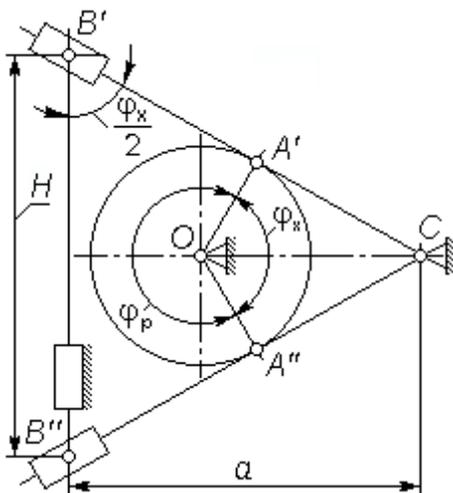


Рисунок 8.2

ство  $B'B'' = H$ , устанавливаем, что

$$a = 0.5 H \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_x}{2}\right). \quad (8.5)$$

Сопоставляя (8.2) и очевидное соотношение

$$\frac{OA}{OC} = \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right), \quad (8.6)$$

найдем размеры  $OC$  и  $OA$ :

$$\begin{cases} OC = \frac{\beta \cdot a}{1 + \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right)}; \\ OA = OC \cdot \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right). \end{cases} \quad (8.7)$$

Размер  $OC$  в соответствии с диапазоном  $\beta$  допускает округление.

Полученные в результате подбора размеры  $OA$ ,  $OC$  и  $a$  следует проверить на соответствие заданным условиям синтеза механизма.

Фактические значения угла поворота кривошипа  $OA$  за время холостого хода  $\varphi_x$ , коэффициента изменения средней скорости хода  $K_v$  и величины хода  $H$  штока 5:

$$\varphi_x = 2 \arccos\left(\frac{OA}{OC}\right); \quad K_v = \frac{360^\circ - \varphi_x}{\varphi_x}; \quad H = \frac{2a}{\operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_x}{2}\right)}. \quad (8.8)$$

Отличие фактических значений  $K_v$  и  $H$  от заданных не должно превышать 2%.

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в момент начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода штока

$$\varphi_{\text{нрх}} = \frac{\varphi_x}{2}; \quad \varphi_{\text{крх}} = 360^\circ - \frac{\varphi_x}{2}. \quad (8.9)$$

В формулы (8.9) следует подставлять  $\varphi_x$  из (8.8).

## Кинематическая схема 09

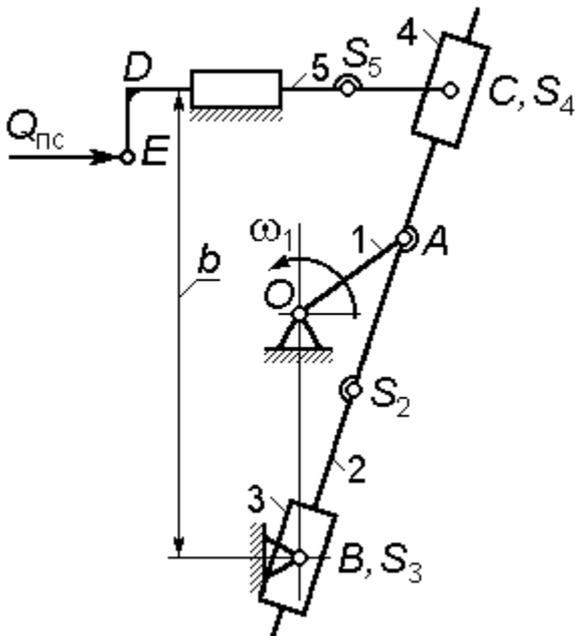


Рисунок 9.1

Требуется подобрать размеры  $OA$ ,  $OB$  и  $b$ .

Заданы (рис. 9.1 и 9.2):

$H$  – ход рабочего звена (штока 5);

$K_v$  – коэффициент изменения средней скорости хода штока

$$K_v = \varphi_p / \varphi_x, \quad (9.1)$$

где  $\varphi_p$  и  $\varphi_x$  – углы поворота кривошипа  $OA$  за время рабочего и холостого ходов штока 5 соответственно;

соотношение размеров звеньев

$$OB + OA = \beta \cdot b \quad (9.2)$$

(коэффициент  $\beta$  задан в виде диапазона).

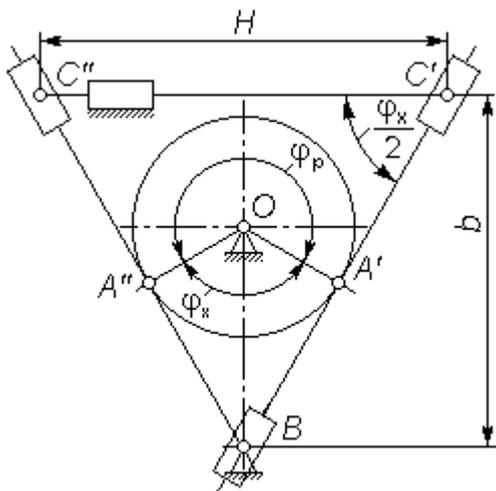


Рисунок 9.2

### Решение

На рис. 9.2 показана расчетная схема для определения требуемых размеров.

Кривошип  $OA$  за время рабочего хода штока 5 поворачивается на угол  $\varphi_p$ , а за время холостого хода – на угол  $\varphi_x$ ; тогда из соотношений

$$K_v = \frac{\varphi_p}{\varphi_x}, \quad \varphi_p + \varphi_x = 360^\circ \quad (9.3)$$

найдем эти углы:

$$\varphi_x = \frac{360^\circ}{1 + K_v}; \quad \varphi_p = K_v \varphi_x. \quad (9.4)$$

Поскольку  $C'C'' = H$ , то из  $\triangle BC'C''$  найдем ординату направляющей штока 5

$$b = 0.5 H \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_x}{2}\right). \quad (9.5)$$

Из рассмотрения  $\Delta OA'B$  следует соотношение

$$\frac{OA}{OB} = \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right); \quad (9.6)$$

тогда из (9.2) и (9.6) найдем размеры  $OB$  и  $OA$ :

$$\begin{cases} OB = \frac{\beta \cdot b}{1 + \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right)}; \\ OA = OB \cdot \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right). \end{cases} \quad (9.7)$$

В соответствии с диапазоном  $\beta$  размер  $OB$  допускает округление (до подстановки во вторую из формул (9.7)).

Полученные в результате подбора и округления размеры  $OA$ ,  $OB$  и  $b$  необходимо проверить на соответствие условиям синтеза механизма.

Фактические значения угла поворота кривошипа  $OA$  за время холостого хода  $\varphi_x$ , коэффициента изменения средней скорости хода  $K_v$  и величины хода  $H$  штока 5:

$$\varphi_x = 2 \arccos\left(\frac{OA}{OB}\right); \quad K_v = \frac{360^\circ - \varphi_x}{\varphi_x}; \quad H = \frac{2b}{\operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_x}{2}\right)}. \quad (9.8)$$

Отличие фактических значений  $K_v$  и  $H$  от заданных не должно превышать 2%.

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в момент начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода штока

$$\varphi_{\text{нрх}} = 270^\circ + \frac{\varphi_x}{2}; \quad \varphi_{\text{крх}} = 270^\circ - \frac{\varphi_x}{2}. \quad (9.9)$$

В формулы (9.9) следует подставлять  $\varphi_x$  из (9.8).

## Кинематическая схема 10

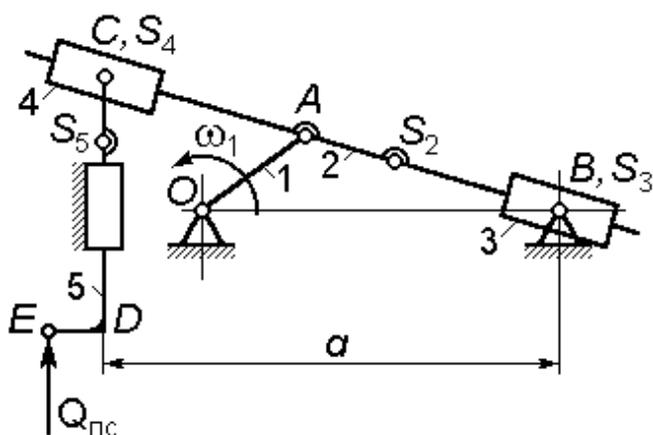


Рисунок 10.1

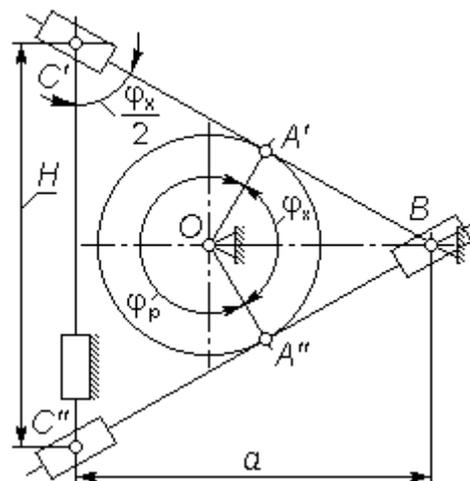


Рисунок 10.2

Заданы:

$H$  – ход рабочего звена (штока 5);

коэффициент изменения средней скорости хода штока

$$K_v = \varphi_p / \varphi_x, \quad (10.1)$$

где  $\varphi_p$  и  $\varphi_x$  – углы поворота кривошипа  $OA$  за время рабочего и холостого ходов штока 5 соответственно;

соотношение размеров звеньев  $OB$  и  $OA$ :

$$OB + OA = \beta \cdot a \quad (10.2)$$

(коэффициент  $\beta$  задан в виде диапазона).

Требуется подобрать размеры  $OA$ ,  $OB$  и  $a$ .

### Решение

Кривошип  $OA$  за время рабочего хода штока 5 поворачивается на угол  $\varphi_p$ , а за время холостого хода – на угол  $\varphi_x$  (рис. 10.2); тогда из соотношений

$$K_v = \frac{\varphi_p}{\varphi_x}, \quad \varphi_p + \varphi_x = 360^\circ \quad (10.3)$$

найдем углы  $\varphi_x$  и  $\varphi_p$ :

$$\varphi_x = \frac{360^\circ}{1 + K_v}; \quad \varphi_p = K_v \cdot \varphi_x \quad (10.4)$$

Учитывая равенство  $C'C'' = H$ , получаем

$$a = 0.5 H \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_x}{2}\right). \quad (10.5)$$

Сопоставляя (10.2) и очевидное соотношение

$$\frac{OA}{OB} = \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right), \quad (10.6)$$

найдем размеры  $OB$  и  $OA$ :

$$\begin{cases} OB = \frac{\beta \cdot a}{1 + \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right)}; \\ OA = OB \cdot \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right). \end{cases} \quad (10.7)$$

Перед подстановкой размера  $OB$  во вторую из формул (10.7) его можно округлить в пределах, определяемых диапазоном  $\beta$ .

Найденные размеры  $OA$ ,  $OB$  и  $a$  должны быть проверены на соответствие условиям синтеза механизма.

Фактические значения угла поворота кривошипа  $OA$  за время холостого хода  $\varphi_x$ , коэффициента изменения средней скорости хода  $K_v$  и величины хода  $H$  штока 5:

$$\varphi_x = 2 \arccos\left(\frac{OA}{OB}\right); \quad K_v = \frac{360^\circ - \varphi_x}{\varphi_x}; \quad H = \frac{2a}{\operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_x}{2}\right)}. \quad (10.8)$$

Отличие фактических значений  $K_v$  и  $H$  от заданных не должно превышать 2%.

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в момент начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода ползуна

$$\varphi_{\text{нрх}} = \frac{\varphi_x}{2}; \quad \varphi_{\text{крх}} = 360^\circ - \frac{\varphi_x}{2}. \quad (10.9)$$

В формулы (10.9) следует подставлять  $\varphi_x$  из (10.8).

## Кинематическая схема 11

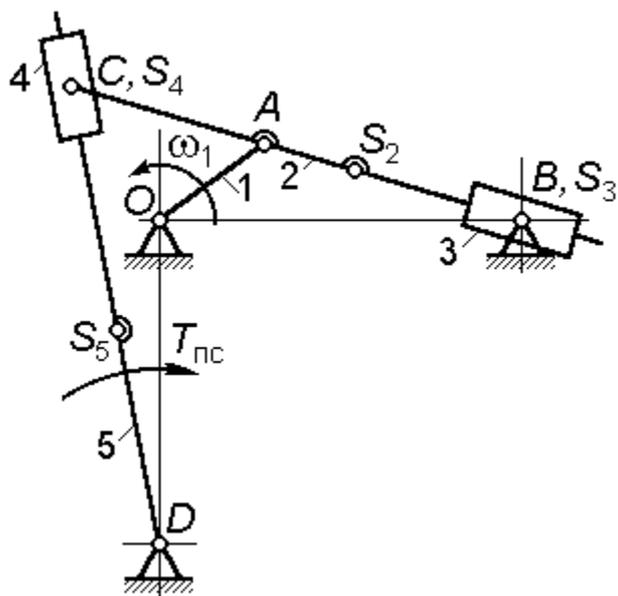


Рисунок 11.1

Заданы:  
 длина кривошипа  $OA$ ;  
 вылет центра шарнира  $C$  –  
 размер  $AC$ ;  
 соотношение длин звеньев  
 $OB$  и  $OA$

$$OB = \alpha \cdot OA \quad (11.1)$$

(параметр  $\alpha$  задан как диапазон);  
 требуемый угол качания кулисы  $5 - \psi$  (с допуском  $\pm 2^\circ$ ).

Необходимо подобрать размеры межосевых расстояний  $OB$  и  $OD$ .

## Решение

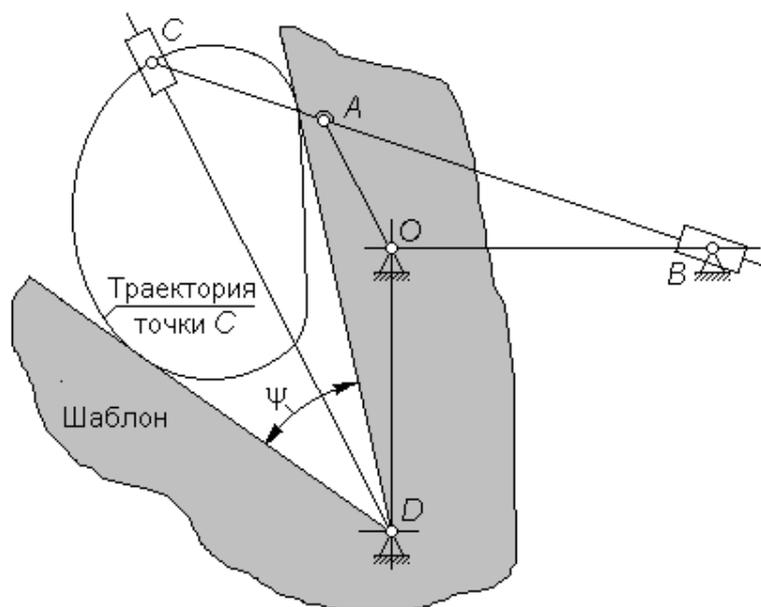


Рисунок 11.2

Размер  $OB$  находим из соотношения (11.1).

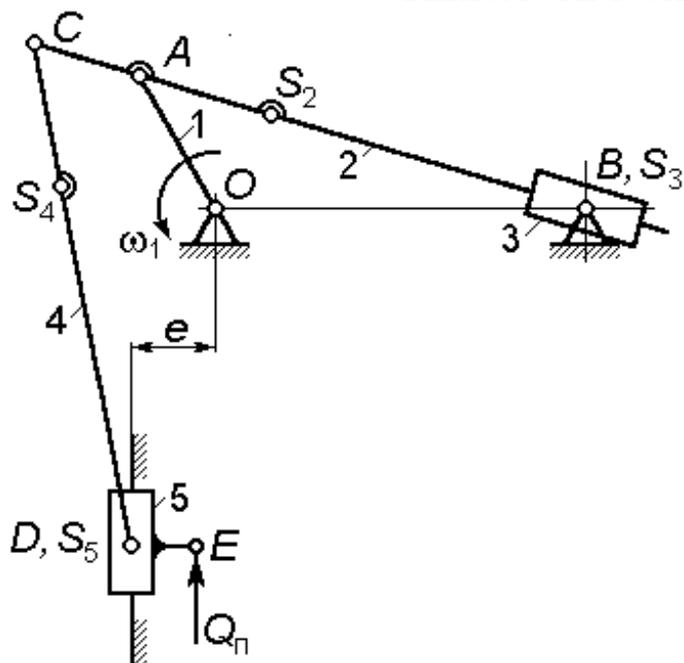
Для подбора подходящего значения размера  $OD$  можно использовать компьютерную среду САМАС; в этом случае параметру  $OD$  задают ряд значений, для каждого из которых определяют величину угла качания кулисы  $\psi$  и тем самым подбирают подходящую величину  $OD$ .

Можно также воспользоваться графическим методом: для этого из бумаги вырезают два угловых шаблона с внутренними углами

$(\psi+2^\circ)$  и  $(\psi-2^\circ)$  и каждый из этих шаблонов поочередно пытаются поместить вершиной угла в такую точку  $D$  (рис. 11.2), чтобы траектория точки  $C$  (предварительно построенная) поместилась внутри указанного угла и касалась его сторон. Таким образом, будут найдены два предельных положения точки  $D$  и соответственно два предельных значения искомого расстояния –  $OD_{\max}$  и  $OD_{\min}$ ; в качестве окончательного значения размера  $OD$  можно принять любое, удовлетворяющее неравенству  $OD_{\max} \geq OD \geq OD_{\min}$ .

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в моменты начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода кулисы, а также фактическое значение  $\psi$  этого хода наиболее просто и в то же время достаточно точно можно определить в среде САМАС.

## Кинематическая схема 12



Заданы:  
 длина кривошипа  $OA$ ;  
 вылет центра шарнира  $C$  –  
 размер  $AC$ ;  
 соотношение размеров  $OB$   
 и  $OA$

$$OB = \beta \cdot OA \quad (12.1)$$

(параметр  $\beta$  задан как диапа-  
 зон);

эксцентриситет направ-  
 ляющей ползуна 5 –  $e$ ;

наибольший допустимый  
 угол давления шатуна 4 на  
 ползун 5 –  $\alpha_{\max}$ .

Необходимо подобрать размеры – межосевое расстояние  $OB$  и длину шатуна  $CD$ .

### Решение

Размер  $OB$  выбираем из соотношения (12.1).

Угол давления шатуна  $CD$  на ползун 5 (угол  $\alpha$ ) достигает наи-  
 большего значения, когда точка  $C$  занимает положение максима-  
 льного удаления от направляющей ползуна 5, равного  $(OA + AC - e)$ . То-  
 гда очевидно, что условие по ограничению угла давления будет вы-  
 полнено при соблюдении неравенства

$$\frac{OA + AC - e}{CD} \leq \sin \alpha_{\max}, \quad (12.2)$$

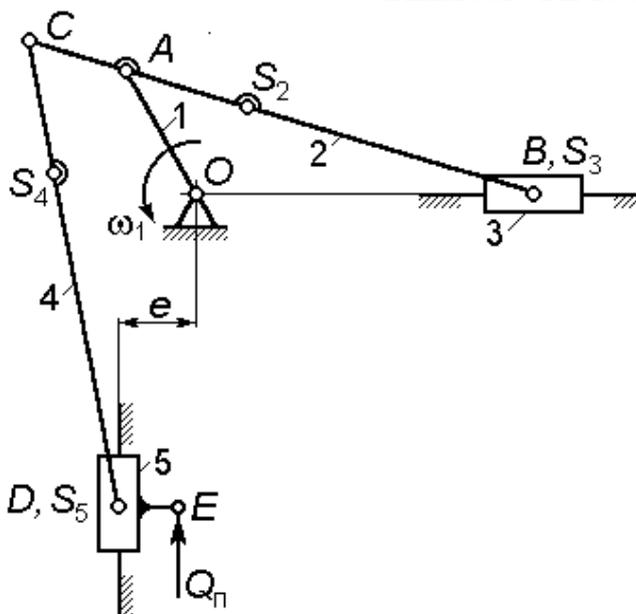
откуда

$$CD \geq \frac{OA + AC - e}{\sin \alpha_{\max}}. \quad (12.3)$$

В качестве окончательного значения размера  $CD$  следует при-  
 нять результат округления в большую сторону значения правой части  
 выражения (12.3) до ближайшего предпочтительного числа.

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в моменты начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и  
 окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода ползуна 5 и фактическую величину  $H$   
 этого хода наиболее просто и в то же время достаточно точно можно  
 определить в компьютерной среде САМАС.

### Кинематическая схема 13



Заданы:

длина кривошипа  $OA$ ;

вылет центра шарнира  $C$  –

размер  $AC$ ;

соотношение размеров  $AB$

и  $OA$

$$AB = \beta \cdot OA, \quad (13.1)$$

(параметр  $\beta$  задан как диапазон);

эксцентриситет направляю-

щей ползуна 5 –  $e$ ;

наибольший допустимый угол давления  $\alpha_{\max}$  шатуна 4 на ползун 5.

Необходимо подобрать размеры звеньев - длины шатунов  $AB$  и  $CD$ .

### Решение

Длину шатуна  $AB$  находим из соотношения (13.1).

Угол давления шатуна  $CD$  на ползун 5 достигает наибольшего значения, когда точка  $C$  занимает положение наибольшего удаления от направляющей ползуна 5, равного  $(OA + AC - e)$ . Очевидно, что условие по ограничению угла давления будет выполнено при соблюдении неравенства

$$\frac{OA + AC - e}{CD} \leq \sin \alpha_{\max}; \quad (13.2)$$

отсюда

$$CD \geq \frac{OA + AC - e}{\sin \alpha_{\max}}. \quad (13.3)$$

В качестве окончательного значения размера  $CD$  следует принять результат округления в большую сторону значения правой части выражения (13.3) до ближайшего предпочтительного числа.

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в моменты начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода ползуна 5, а также фактическую величину  $H$  этого хода наиболее просто и в то же время достаточно точно можно определить в компьютерной среде САМАС.

### Кинематическая схема 14

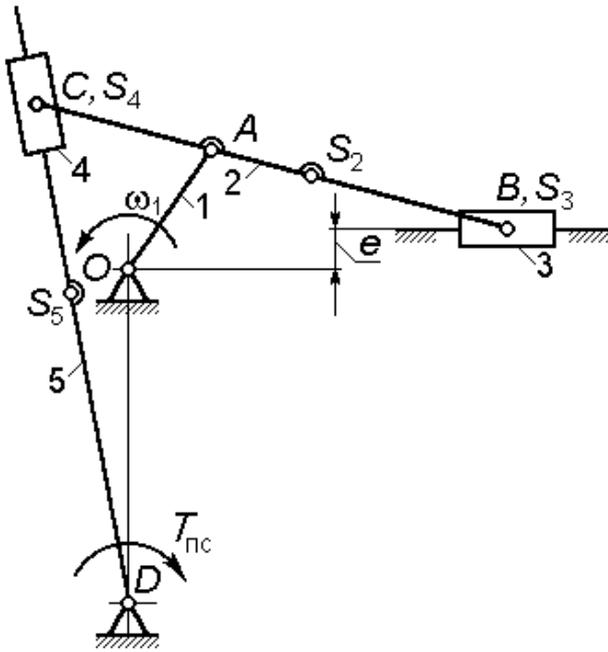


Рисунок 14.1

расстояния  $OD$ .

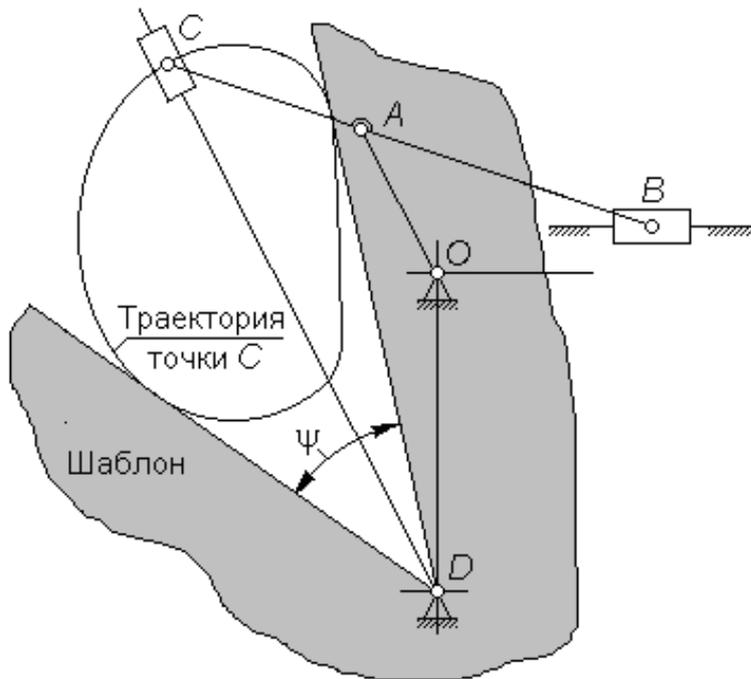
Заданы:  
 длина кривошипа  $OA$ ;  
 вылет центра шарнира  $C$  -  
 размер  $AC$ ;  
 эксцентриситет направляющей ползуна 3 –  $e$ ;  
 соотношение длин звеньев  $AB$  и  $OA$

$$AB = \beta \cdot OA \quad (14.1)$$

(параметр  $\beta$  задан как диапазон);  
 требуемый угол качания кулисы 5 –  $\psi$  (с допуском  $\pm 2^\circ$ ).

Необходимо подобрать размеры шатуна  $AB$  и межосевого

### Решение



Размер  $AB$  находим из соотношения (14.1).

Для подбора подходящего значения размера  $OD$  можно использовать компьютерную среду САМАС; в этом случае параметру  $OD$  задают ряд значений, для каждого из них определяют величину угла качания  $\psi$  и таким образом подбирают подходящую величину  $OD$ .

Рисунок

14.2

Можно также воспользоваться графическим методом: для этого из бумаги вырезают два угловых шаблона с внутренними углами ( $\psi + 2^\circ$ ) и ( $\psi - 2^\circ$ ) и каждый из этих шаблонов поочередно пытаются поместить вершиной угла в такую точку  $D$  (рис. 14.2), чтобы траектория точки  $C$  (предварительно построенная) поместилась внутри указанного угла и касалась его сторон. Таким образом, будут найдены два предельных положения точки  $D$  и соответственно два предельных значения искомого расстояния –  $OD_{\max}$  и  $OD_{\min}$ ; в качестве окончательного значения размера  $OD$  можно принять любое, удовлетворяющее неравенству  $OD_{\max} \geq OD \geq OD_{\min}$ .

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в моменты начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода кулисы, а также фактическое значение  $\psi$  этого хода наиболее просто и в то же время достаточно точно можно определить в среде САМАС.

## Кинематическая схема 15

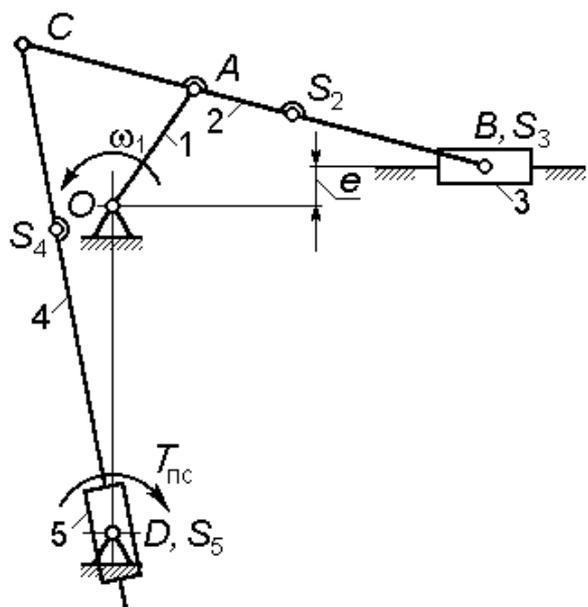


Рисунок 15.1

Заданы:  
 длина кривошипа  $OA$ ;  
 эксцентриситет направляющей  
 ползуна 3 –  $e$ ;  
 соотношение размеров звеньев  
 $AB$ ,  $AC$  и  $OA$

$$AB = \alpha \cdot OA; \quad AC = \beta \cdot OA \quad (15.1)$$

(параметры  $\alpha$  и  $\beta$  заданы в виде диапазонов);

требуемый угол качания звена 5 –  $\psi$  (с допуском  $\pm 2^\circ$ ).

Необходимо подобрать размеры шатуна  $AB$  и межосевого расстояния  $OD$ .

## Решение

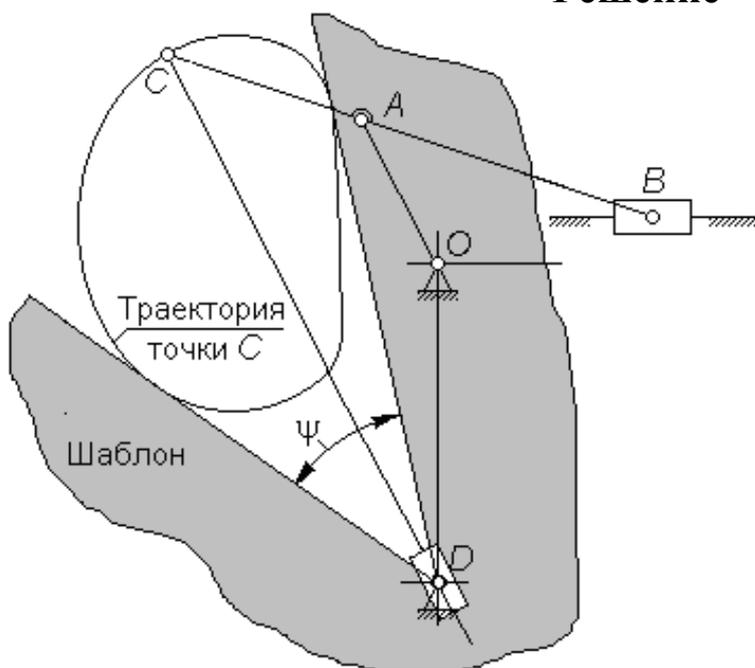


Рисунок 15.2

Размер  $AB$  находим из соотношения (15.1).

Для подбора подходящего значения размера  $OD$  можно использовать компьютерную среду САМАС; в этом случае параметру  $OD$  задают ряд значений, для каждого из них определяют величину угла качания  $\psi$  и таким образом подбирают подходящую величину  $OD$ .

Можно также воспользоваться графическим методом: для этого из бумаги вырезают два угловых шаблона с внутренними углами  $(\psi + 2^\circ)$  и  $(\psi - 2^\circ)$  и каждый из этих шаблонов поочередно пытаются поместить вершиной угла в

такую точку  $D$  (рис. 15.2), чтобы траектория точки  $C$  (предварительно построенная) поместилась внутри указанного угла и касалась его сторон. Таким образом, будут найдены два предельных положения точки  $D$  и соответственно два предельных значения искомого расстояния –  $OD_{\max}$  и  $OD_{\min}$ ; в качестве окончательного значения размера  $OD$  можно принять любое, удовлетворяющее неравенству  $OD_{\max} \geq OD \geq OD_{\min}$ .

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в моменты начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода звена 5, а также фактическое значение  $\psi$  этого хода наиболее просто и в то же время достаточно точно можно определить в среде САМАС.

## Кинематическая схема 16

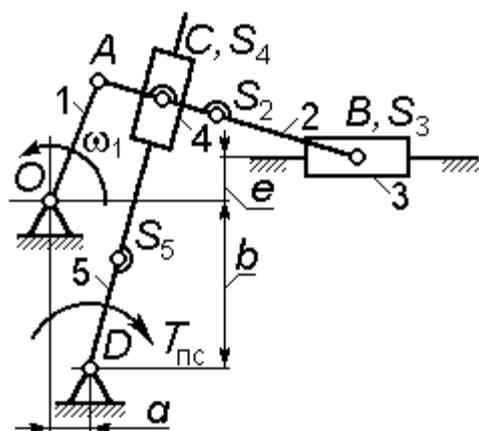


Рисунок 16.1

Заданы:  
 длина кривошипа  $OA$ ;  
 эксцентриситет направляющей ползуна 3 –  $e$ ;  
 соотношение размеров звеньев  $AB$ ,  $AC$  и  $OA$   
 $AB = \alpha \cdot OA$ ;  $AC = \beta \cdot OA$  (16.1)  
 (параметры  $\alpha$  и  $\beta$  заданы в виде диапазонов);  
 абсцисса центра  $D$  качания кулисы 5 –  $a$ ;

угол качания кулисы 5 –  $\psi$  (с допуском  $\pm 2^\circ$ ).

Необходимо подобрать размер шатуна  $AB$  и ординату центра  $D$  качания кулисы –  $b$ .

### Решение

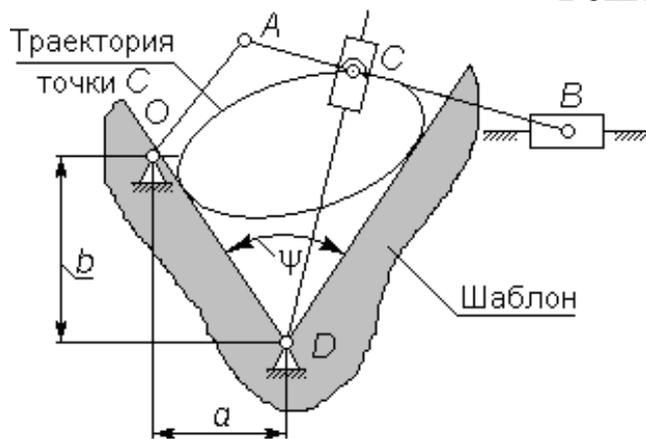


Рисунок 16.2

Размеры  $AB$  и  $AC$  находим из соотношений (16.1).

Для подбора подходящего значения размера  $b$  можно использовать компьютерную среду САМАС; в этом случае параметру  $b$  задают ряд значений, для каждого из них определяют величину угла качания  $\psi$  и таким образом подбирают подходящую

величину  $b$ .

Можно также воспользоваться графическим методом: для этого из бумаги вырезают два угловых шаблона с внутренними углами  $(\psi+2^\circ)$  и  $(\psi-2^\circ)$  и каждый из этих шаблонов поочередно пытаются поместить вершиной угла в такую точку  $D$  с абсциссой  $a$  (рис. 16.2), чтобы траектория точки  $C$  (предварительно построенная) поместилась внутри указанного угла и касалась его сторон. Таким образом,

будут найдены два предельных положения точки  $D$  и соответственно два предельных значения искомого расстояния –  $b_{\max}$  и  $b_{\min}$ ; в качестве окончательного значения ординаты  $b$  можно принять любое, удовлетворяющее неравенству и  $b_{\max} \geq b \geq b_{\min}$ .

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в моменты начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода кулисы, а также фактическое значение  $\psi$  этого хода наиболее просто и в то же время достаточно точно можно определить в среде САМАС.

## Кинематическая схема 17

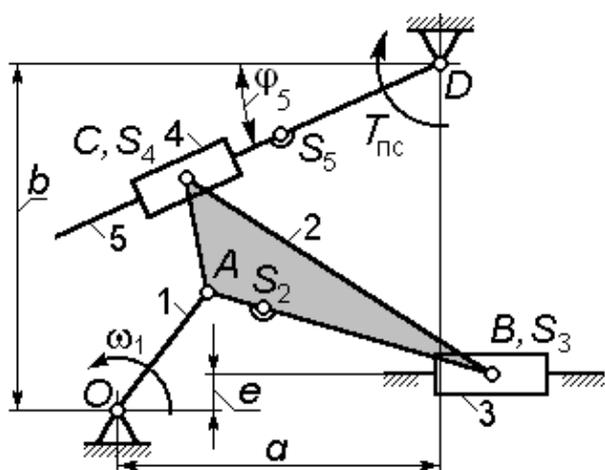


Рисунок 17.1

Заданы:  
 длина кривошипа  $OA$ ;  
 угол  $\angle BAC$ , определяющий  
 положение центра шарнира  $C$  на  
 шатуне  $AB$ ;  
 эксцентриситет направляющей  
 ползуна  $3 - e$ ;  
 соотношение размеров звеньев  
 $AB, AC$  и  $OA$   
 $AB = \alpha \cdot OA$ ;  $AC = \beta \cdot OA$  (17.1)  
 (параметры  $\alpha$  и  $\beta$  заданы как диа-

пазоны);

$\varphi_5^p$  – угол, определяющий положение кулисы 5 (значение угла  $\varphi_5$ ) в начале ее рабочего хода.

требуемый угол качания кулисы –  $\psi$  (с допуском  $\pm 2^\circ$ ).

Необходимо подобрать размеры шатуна  $AB, AC$  и координаты  $a$  и  $b$  центра шарнира  $D$ .

## Решение

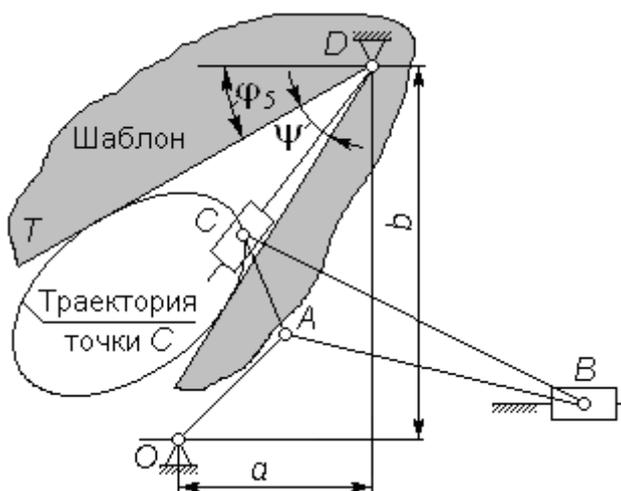


Рисунок 17.2

Размеры шатуна  $AB$  и  $AC$  находим из соотношений (17.1).

Для подбора подходящих значений размеров  $a$  и  $b$  можно использовать:

– компьютерную среду САМАС; для этого координатам  $a$  и  $b$  задают ряд пар значений, для каждой из них определяют фактические значения угла  $\varphi_5^p$  и угла качания кулисы  $\psi$  и таким

образом в результате некоторого количества попыток подбирают подходящую пару  $(a, b)$ ;

– графический метод; в этом случае строят траекторию точки  $C$  и касательную к ней  $DT$ , расположенную под углом  $\varphi_5 = \varphi_5^p + 2^\circ$  к оси абсцисс; из бумаги вырезают два угловых шаблона с внутренними углами  $(\psi + 2^\circ)$  и  $(\psi - 2^\circ)$  (рис. 17.2) и вершину угла каждого шаблона помещают в такую точку  $D$  прямой  $DT$ , чтобы траектория точки  $C$  помещалась между сторонами этого угла, касаясь их; тем самым получают на прямой  $DT$  два предельно допустимых положения центра шарнира  $D$ ; описанные построения повторяют при угле  $\varphi_5 = \varphi_5^p - 2^\circ$  для прямой  $DT$  и получают еще два предельно допустимых положения точки  $D$ , которые в совокупности с ранее построенными аналогичными точками ограничат четырехугольную область, внутри которой можно выбрать любую точку, координаты которой  $a$  и  $b$  следует принять за окончательные.

Отметим, что существует множество приемлемых решений.

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в моменты начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода кулисы, а также фактическое значение  $\psi$  этого хода наиболее просто и в то же время достаточно точно можно определить в среде САМАС.

## Кинематическая схема 18

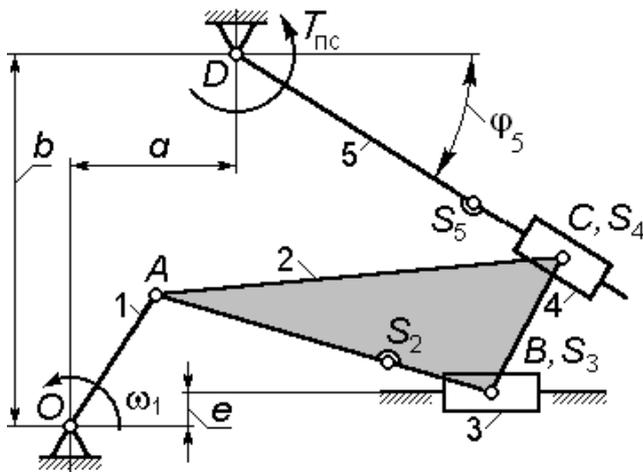


Рисунок 18.1

Заданы:  
 длина кривошипа  $OA$ ;  
 эксцентриситет направляющей ползуна 3 –  $e$ ;  
 угол  $\angle ABC$ , определяющий положение шарнира  $C$  на шатуне  $AB$ ;  
 соотношение размеров звеньев  $AB$ ,  $BC$  и  $OA$   
 $AB = \alpha \cdot OA$ ;  $BC = \beta \cdot OA$  (18.1)  
 (параметры  $\alpha$  и  $\beta$  заданы как

диапазоны);

требуемый угол качания кулисы 5 –  $\psi$  и угол  $\varphi_5^p$ , определяющий ее положение (значение угла  $\varphi_5$ ) в начале рабочего хода.

Необходимо подобрать размеры шатуна  $AB$ ,  $BC$  и координаты  $a$  и  $b$  центра шарнира  $D$ .

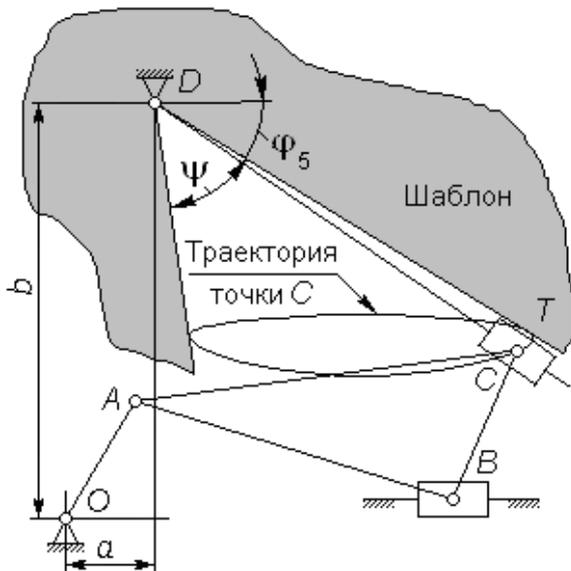


Рисунок 18.2

## Решение

Размеры  $AB$  и  $BC$  находим из соотношения (18.1).

Для подбора подходящих значений размеров  $a$  и  $b$  можно использовать:

- компьютерную среду САМАС; в этом случае координатам  $a$  и  $b$  задают ряд пар значений, для каждой из них определяют величину угла качания  $\psi$ , угла  $\varphi_5^p$  и

таким образом подбирают подходящую пару значений  $(a, b)$ ;

- графический метод; в этом случае строят траекторию точки  $C$  и касательную к ней  $DT$ , расположенную под углом  $\varphi_5 = \varphi_5^p + 2^\circ$  к оси абсцисс; из бумаги вырезают два угловых шаблона с внутренними

углами  $(\psi + 2^\circ)$  и  $(\psi - 2^\circ)$  (рис. 18.2) и вершину угла каждого шаблона помещают в такую точку  $D$  прямой  $DT$ , чтобы траектория точки  $C$  находилась между сторонами этого угла, касаясь их; тем самым получают на прямой  $DT$  два предельно допустимых положения центра шарнира  $D$ ; описанные построения повторяют при угле  $\varphi_5 = \varphi_5^p - 2^\circ$  для прямой  $DT$  и получают еще два предельно допустимых положения точки  $D$ , которые в совокупности с ранее построенными аналогичными точками ограничат четырехугольную область, внутри которой можно выбрать любую точку, координаты которой  $a$  и  $b$  следует принять за окончательные.

Отметим, что существует множество приемлемых решений.

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в моменты начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода кулисы, а также фактическое значение  $\psi$  этого хода наиболее просто и в то же время достаточно точно можно определить в среде САМАС.

## Кинематическая схема 19

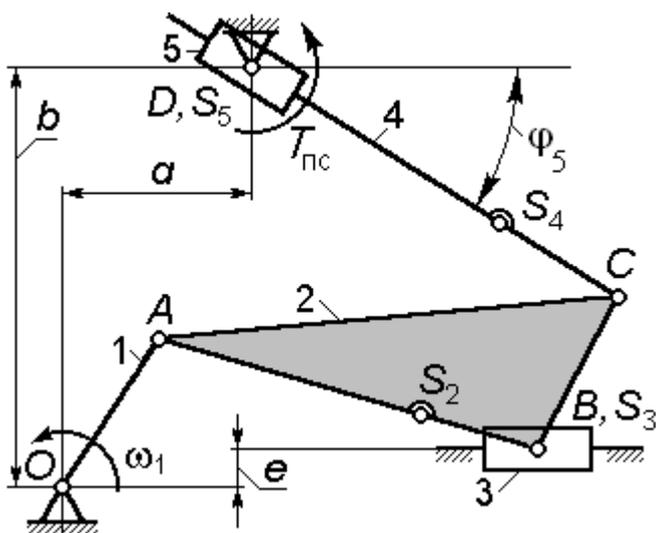


Рисунок 19.1

Заданы:  
 длина кривошипа  $OA$ ;  
 эксцентриситет направляющей ползуна 3 –  $e$ ;  
 угол  $\angle ABC$ , определяющий положение шарнира  $C$  на шатуне  $AB$ ;  
 соотношение размеров звеньев  $AB$ ,  $BC$  и  $OA$   
 $AB = \alpha \cdot OA$ ;  $BC = \beta \cdot OA$  (19.1)  
 (параметры  $\alpha$  и  $\beta$  заданы как диапазоны);

требуемый угол качания звена 5 –  $\psi$  (с допуском  $\pm 2^\circ$ );

значение угла  $\varphi_5 = \varphi_5^p$  в начале рабочего хода звена 5.

Необходимо подобрать размеры шатуна  $AB$ ,  $BC$  и координаты  $a$  и  $b$  центра шарнира  $D$ , обеспечив значения углов  $\psi$  и  $\varphi_5^p$  с точностью  $\pm 2^\circ$  для каждого.

## Решение

Размеры  $AB$  и  $BC$  находим из соотношения (19.1).

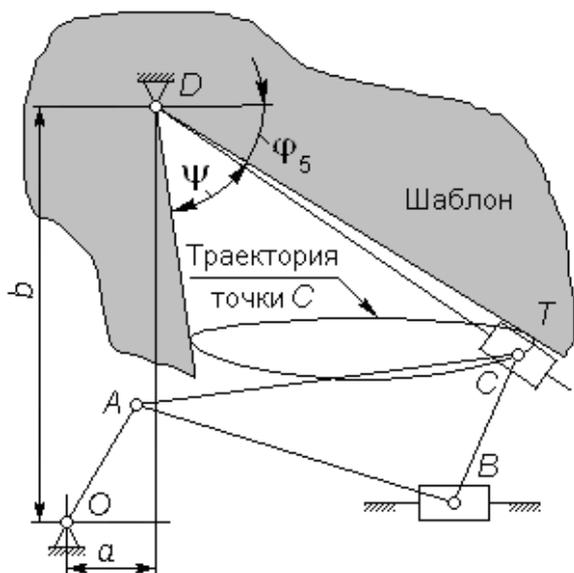


Рисунок 19.2

Для подбора подходящих значений размеров  $a$  и  $b$  можно использовать:

- компьютерную среду САМАС; в этом случае координатам  $a$  и  $b$  задают ряд пар значений, для каждой из них определяют величину угла качания  $\psi$ , угла  $\varphi_5^p$  и таким образом подбирают подходящую пару значений  $(a, b)$ ;

- графический метод; в этом случае строят траекторию точки  $C$  и касательную к ней  $DT$ , располо-

женную под углом  $\varphi_5 = \varphi_5^p + 2^\circ$  к оси абсцисс; из бумаги вырезают два угловых шаблона с внутренними углами  $(\psi + 2^\circ)$  и  $(\psi - 2^\circ)$  (рис. 19.2) и вершину угла каждого шаблона помещают в такую точку  $D$  прямой  $DT$ , чтобы траектория точки  $C$  находилась между сторонами этого угла, касаясь их; тем самым получают на прямой  $DT$  два предельно допустимых положения центра шарнира  $D$ ; описанные построения повторяют при угле  $\varphi_5 = \varphi_5^p - 2^\circ$  для прямой  $DT$  и получают еще два предельно допустимых положения точки  $D$ , которые в совокупности с ранее построенными аналогичными точками ограничат четырехугольную область, внутри которой можно выбрать любую точку, координаты которой  $a$  и  $b$  следует принять за окончательные.

Отметим, что существует множество приемлемых решений.

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в моменты начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода кулисы, а также фактическое значение  $\psi$  этого хода наиболее просто и в то же время достаточно точно можно определить в среде САМАС.

## Кинематическая схема 20

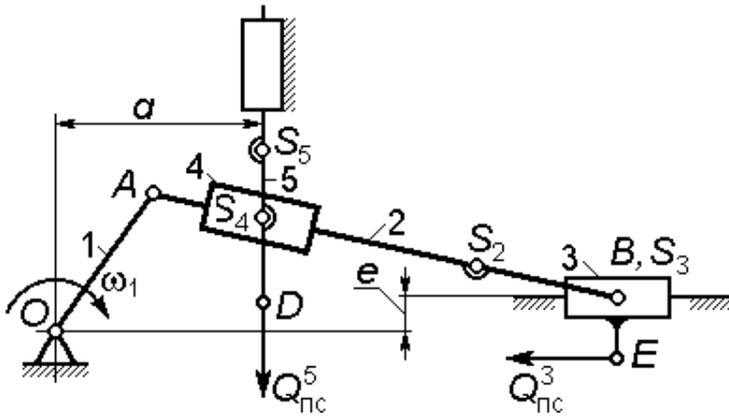


Рисунок 20.1

Заданы:  
 длина кривошипа  $OA$ ;  
 эксцентриситет направляющей ползуна 3 –  $e$ ;  
 длина шатуна  $AB$ ;  
 величина хода штока 5 –  $H_5$ ;

Необходимо подобрать размер  $a$ , обеспечивая заданную величину хода штока  $H_5 \pm 0.010$  м.

## Решение

Синтез этого механизма сводится к нахождению единственного параметра – размера  $a$ , выбираемого исходя из заданной величины хода  $H_5$ .

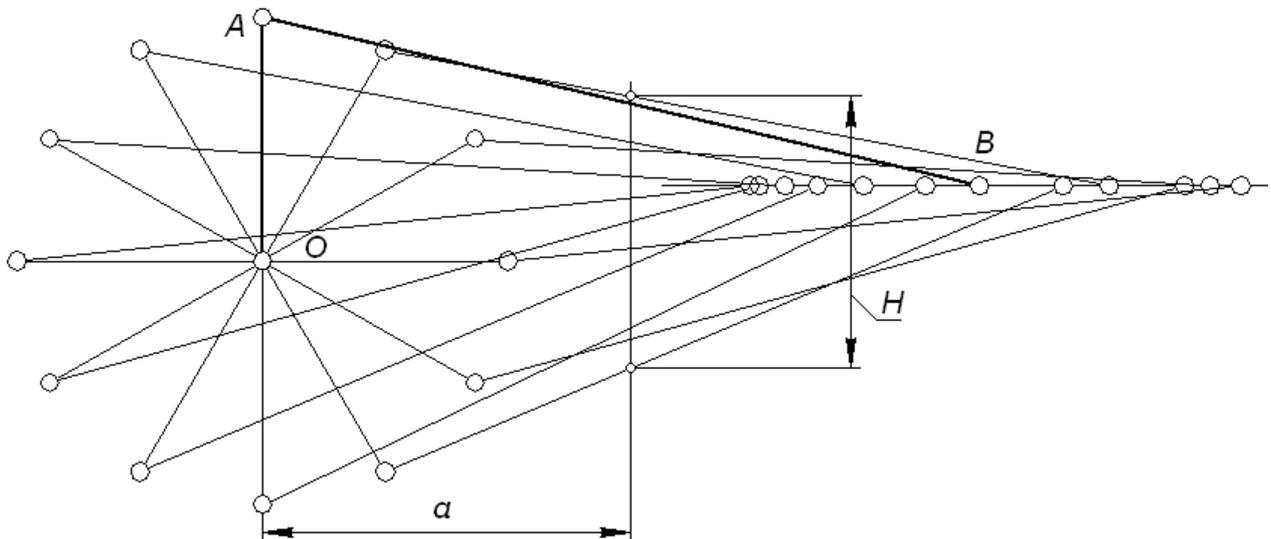


Рисунок 20.2

Для решения указанной задачи синтеза возможно применение компьютерной среды САМАС: в этом случае параметру  $a$  (рис. 20.2) задают ряд значений, пока не получат величину хода звена 5 в диапазоне  $H = H_5 \pm 0.01$  м.

Возможно также применение графического метода, для реализации которого необходимо построить не менее 12 положений звеньев 1, 2 и 3, равноотстоящих по углу поворота кривошипа  $OA$  (рис. 20.2). Используя построенный план положений можно найти диапазон допустимых величин параметра  $a$ . Границы этого диапазона:  $a_{\max}$ , при котором  $H = H_5 - 0.01$  м и  $a_{\min}$ , при котором  $H = H_5 + 0.01$  м. Из найденного диапазона можно принять любое значение параметра  $a$  в качестве окончательного.

У рассматриваемого механизма два рабочих звена – ползун 3 и шток 5, нагруженные силами полезного сопротивления  $Q_{\text{пс}}^3$  и  $Q_{\text{пс}}^5$  соответственно; каждое из этих звеньев может находиться в состоянии как рабочего, так и холостого ходов. Согласно этому для каждого из рабочих звеньев существуют два положения кривошипа  $OA$ , соответствующих началу и окончанию рабочего хода.

Для звена 3: угловые координаты кривошипа в момент начала и конца рабочего хода

$$\varphi_{\text{нрх}}^3 = 180^\circ + \arcsin \frac{e}{AB - OA}; \quad \varphi_{\text{крх}}^3 = \arcsin \frac{e}{AB + OA};$$

величина рабочего хода звена 3

$$H_3 = \sqrt{(AB + OA)^2 - e^2} - \sqrt{(AB - OA)^2 - e^2}.$$

Для штока 5 аналогичные величины –  $\varphi_{\text{нрх}}^5$ ,  $\varphi_{\text{крх}}^5$  и  $H_5$  можно найти только приблизительно, но при использовании возможностей компьютерной среды САМАС – с любой желаемой точностью.

## Кинематическая схема 21

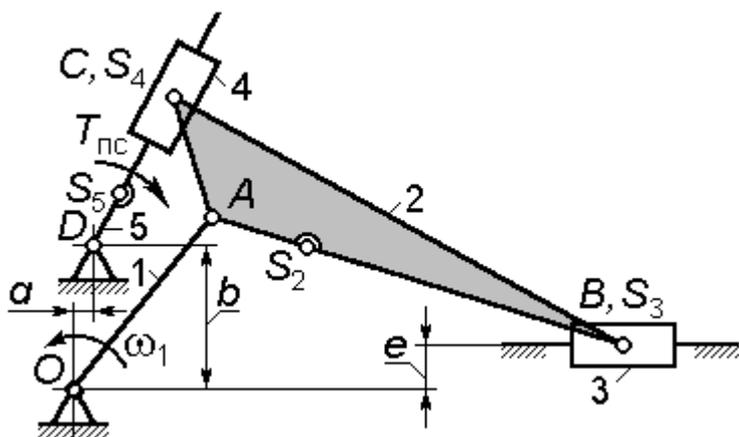


Рисунок 21.1

Заданы:

длина кривошипа  $OA$ ;  
параметры, определяющие положение добавочной точки  $C$  на шатуне – размер  $AC$  и угол  $\angle BAC$ ;

размер  $e$  – вертикальное смещение горизонтальной направляющей ползуна 3;

соотношение размеров звеньев  $AB$  и  $OA$

$$AB = \beta \cdot OA \quad (21.1)$$

(параметр  $\beta$  задан как диапазон).

Подбором координат  $a$  и  $b$  необходимо совместить центр  $D$  вращения кулисы 5 с центром траектории точки  $C$ , обеспечивая тем самым минимальное колебание размера  $CD$  за цикл работы механизма.

### Решение

Расчетная схема подбора длин звеньев механизма представлена на рис. 21.2.

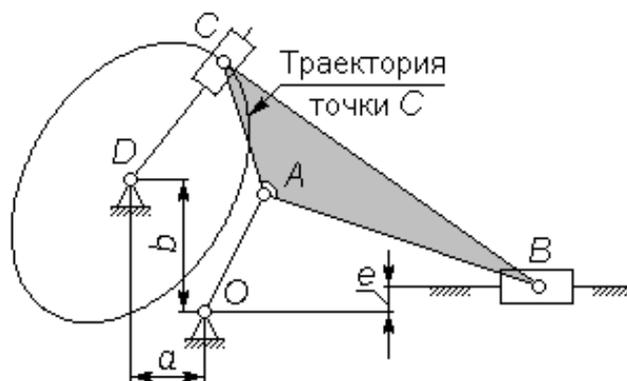


Рисунок 21.2

Размер  $AB$  находим из соотношения (21.1).

Для подбора приемлемых значений  $a$  и  $b$  можно воспользоваться графическим методом. Для этого в подходящем масштабе вычерчи-

вают траекторию точки  $C$  (это замкнутая центральная кривая четвертого порядка) и находят ее центр – точку  $D$ ; координаты  $a$  и  $b$  определяют простым замером.

Можно также воспользоваться компьютерной средой САМАС; для этого устанавливают за цикл движения механизма пределы изменения координат точки  $C$  –  $x_{C_{\min}}$ ,  $x_{C_{\max}}$ ,  $y_{C_{\min}}$ ,  $y_{C_{\max}}$ ; тогда координаты точки  $D$

$$\begin{cases} x_D = \frac{x_{C_{\min}} + x_{C_{\max}}}{2}; \\ y_D = \frac{y_{C_{\min}} + y_{C_{\max}}}{2}. \end{cases} \quad (21.2)$$

Значения  $a$  и  $b$  найдутся как разности координат точек  $O$  и  $D$ :

$$\begin{cases} a = x_D - x_O; \\ b = y_D - y_O. \end{cases} \quad (21.3)$$

Размер  $a$  обычно получается отрицательным.

Отметим, что цикл работы этого механизма не содержит периода холостого хода, т. к. вращение рабочего звена совершается непрерывно в одном и том же направлении и момент производственного сопротивления  $T_{\text{пс}}$  действует на выходное звено механизма (кулису 5) в течение всего цикла.

## Кинематическая схема 22

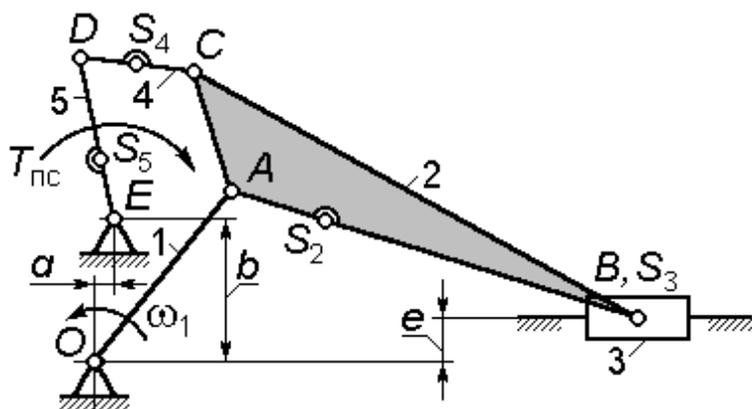


Рисунок 22.1

Заданы:  
 длина кривошипа  $OA$ ;  
 параметры, определяющие положение добавочной точки  $C$  на шатуне – размер  $AC$  и угол  $\angle BAC$ ;  
 размер  $e$  – вертикальное смещение горизонтальной направляющей ползуна 3;

соотношение размеров звеньев  $AB$  и  $OA$

$$AB = \beta \cdot OA \quad (22.1)$$

(параметр  $\beta$  задан как диапазон).

Необходимо подобрать координаты центра  $E$  вращения звена 5 (размеры  $a$  и  $b$ ) так, чтобы оно за цикл работы механизма совершало полный оборот; размеры  $CD$  и  $DE$  выбрать такими, чтобы угол передачи  $\gamma = \angle CDE$  имел наименьшие возможные отклонения от  $90^\circ$ .

### Решение

Размер  $AB$  находим из соотношения (22.1).

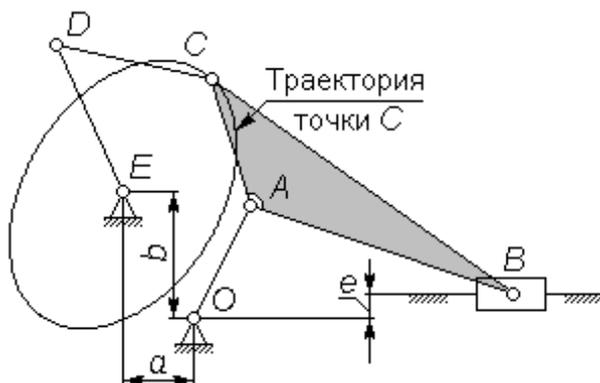


Рисунок 22.2

Для подбора приемлемых значений  $a$  и  $b$  можно воспользоваться графическим методом: в подходящем масштабе вычерчивают траекторию точки  $C$  (замкнутую центральную кривую четвертого порядка). Колебание размера  $CE$  (и угла  $\angle CDE$ ) будут минимальными, если центр шарнира  $E$  поместить в центр указанной траектории; координаты  $a$  и  $b$  этого центра определяют простым замером.

Можно также воспользоваться компьютерной средой САМАС; для этого устанавливают за цикл движения механизма пределы изменения координат точки  $C$  –  $x_{C_{\min}}$ ,  $x_{C_{\max}}$ ,  $y_{C_{\min}}$ ,  $y_{C_{\max}}$ ; тогда координаты точки  $E$

$$\begin{cases} x_E = \frac{x_{C_{\min}} + x_{C_{\max}}}{2}; \\ y_E = \frac{y_{C_{\min}} + y_{C_{\max}}}{2}. \end{cases} \quad (22.2)$$

Значения  $a$  и  $b$  найдутся как разности координат точек  $O$  и  $E$ :

$$\begin{cases} a = x_E - x_O; \\ b = y_E - y_O. \end{cases} \quad (22.3)$$

Значение  $a$  обычно получается отрицательным.

Для выбора длин звеньев  $CD$  и  $DE$  нужно найти предельные значения расстояния  $CE$ , т.е.  $CE_{\min}$  и  $CE_{\max}$  (это можно сделать с помощью измерений на плане положений механизма).

Текущие значения расстояния  $CE$  и угла  $\gamma$  для произвольного положения механизма связаны с длинами звеньев  $CD$  и  $DE$  формулой

$$CD^2 + DE^2 - 2 \cdot CD \cdot DE \cdot \cos \gamma = CE^2; \quad (22.4)$$

если обозначить буквой  $\delta$  значение наибольшего отличия угла  $\gamma$  от  $90^\circ$ , то будут верны равенства

$$\gamma_{\max} = 90^\circ + \delta; \quad \gamma_{\min} = 90^\circ - \delta \quad (22.5)$$

и тогда для определения длин  $CD$  и  $DE$  можно использовать уравнения

$$\left. \begin{aligned} CD^2 + DE^2 + 2 \cdot CD \cdot DE \cdot \sin \delta &= CE_{\max}^2; \\ CD^2 + DE^2 - 2 \cdot CD \cdot DE \cdot \sin \delta &= CE_{\min}^2. \end{aligned} \right\} \quad (22.6)$$

Можно показать, что система (22.6) разрешима только при

$$\delta \geq \delta_{\min} = \arcsin \frac{CE_{\max}^2 - CE_{\min}^2}{CE_{\max}^2 + CE_{\min}^2}. \quad (22.7)$$

Если принять  $\delta = \delta_{\min}$ , то искомые длины звеньев будут равны

$$CD = DE = \frac{\sqrt{CE_{\max}^2 + CE_{\min}^2}}{2}; \quad (22.8)$$

при любом другом значении угла  $\delta$ , удовлетворяющем неравенству (22.7), получим два решения, симметричных друг другу: обозначим

$$P = \frac{CE_{\max}^2 + CE_{\min}^2}{2}, \quad (22.9)$$

$$Q = \frac{CE_{\max}^2 - CE_{\min}^2}{2 \sin \delta}; \quad (22.10)$$

если принять, что  $CD > DE$ , то решение системы (22.6)

$$\left. \begin{aligned} CD &= \frac{\sqrt{P+Q} + \sqrt{P-Q}}{2}; \\ DE &= \frac{\sqrt{P+Q} - \sqrt{P-Q}}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (22.11)$$

При  $CD < DE$  правые части формул (22.11) для расчета  $CD$  и  $DE$  меняются местами, т. е.

$$\left. \begin{aligned} CD &= \frac{\sqrt{P+Q} - \sqrt{P-Q}}{2}; \\ DE &= \frac{\sqrt{P+Q} + \sqrt{P-Q}}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (22.12)$$

Отметим, что цикл работы этого механизма не содержит периода холостого хода, т. к. вращение рабочего звена совершается непрерывно в одном и том же направлении.

### Кинематическая схема 23

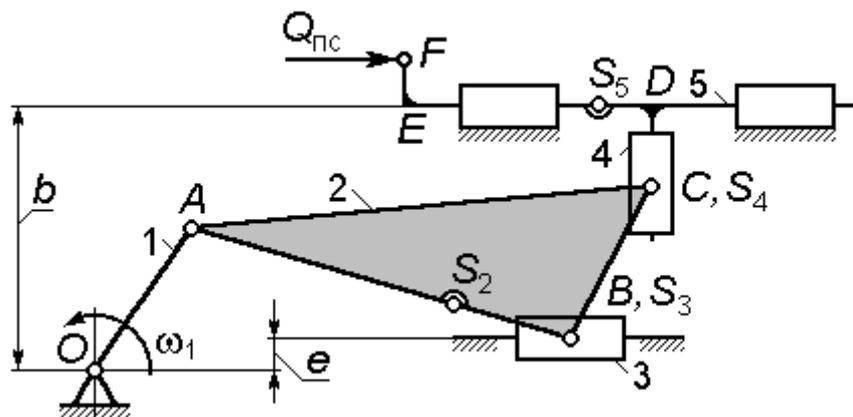


Рисунок 23.1

Заданы:

длина кривошипа  $OA$ ;

параметры, определяющие положение добавочной точки  $C$  на шатуне – размер  $BC$  и угол  $\angle ABC$ ;

размер  $e$  – вертикальное смещение горизонтальной направляющей ползуна 3;

соотношение размеров звеньев  $AB$  и  $OA$

$$AB = \alpha \cdot OA; \quad (23.1)$$

соотношение, определяющее координату  $b$  направляющей для звена 5

$$b = \beta \cdot BC \quad (23.2)$$

(параметры  $\alpha$  и  $\beta$  заданы как диапазоны).

Необходимо подобрать значения параметров  $AB$  и  $b$ .

### Решение

Синтез данного механизма сводится к выбору подходящих значений  $AB$  и  $b$  из диапазонов, определяемых соотношениями (23.1) и (23.2).

Величину рабочего хода  $H$  ползуна 5 и углы  $\varphi_{\text{нрх}}$  и  $\varphi_{\text{крх}}$ , определяющий положение кривошипа  $OA$  в момент начала и окончания рабочего хода, наиболее точно можно найти, используя компьютерную среду САМАС. Допускается также применение графического метода с использованием плана положений механизма.

## Кинематическая схема 24

Заданы:

длина кривошипа  $OA$ ;

соотношение размеров  $OC$  и  $OA$

$$OC = OA/\alpha;$$

(24.1)

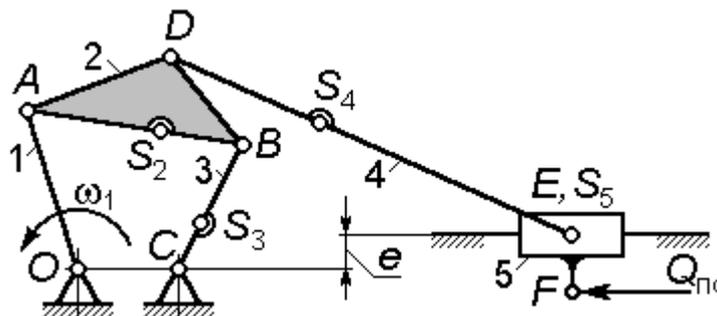


Рисунок 24.1

параметры, определяющие положение добавочной точки  $D$  на шатуне – угол  $\angle ABD$  и соотношение

$$\frac{BD}{AB} = \beta; \tag{24.2}$$

(параметры  $\alpha$  и  $\beta$  заданы в виде диапазонов);

условие подбора длин звеньев  $AB$  и  $BC$  – угол  $\gamma = \angle ABC$  при работе механизма должен изменяться в заданных пределах  $[\gamma_{\min} \dots \gamma_{\max}]$ , при этом должно соблюдаться соотношение  $AB \leq BC$ ;

длина шатуна  $DE$  должна быть подобрана так, чтобы угол его давления на ползун 5 (угол наклона шатуна к направляющей) не превышал заданной величины  $\alpha_{\max}$ .

### Решение

Величину межосевого расстояния  $OC$  принимаем из диапазона, определяемого равенством (24.1).

Для составления уравнений, решением которых будут требуемые значения  $AB$  и  $BC$ , воспользуемся равенством

$$AB^2 + BC^2 - 2 \cdot AB \cdot BC \cdot \cos \gamma = AC^2; \tag{24.3}$$

очевидно, что при  $\gamma = \gamma_{\min}^{\max}$  имеем

$$AC = AC_{\min}^{\max} = OA \pm OC; \tag{24.4}$$

тогда для определения длин  $AB$  и  $BC$  получим уравнения

$$\left. \begin{aligned} AB^2 + BC^2 - 2 \cdot AB \cdot BC \cdot \cos \gamma_{\max} &= AC_{\max}^2; \\ AB^2 + BC^2 - 2 \cdot AB \cdot BC \cdot \cos \gamma_{\min} &= AC_{\min}^2. \end{aligned} \right\} \quad (24.5)$$

Для удобства решения обозначим  $\frac{AC_{\max}}{AC_{\min}} = \lambda$ .

Можно показать, что система (24.5) имеет решение только при

$$\lambda \leq \frac{\sin(0.5\gamma_{\max})}{\sin(0.5\gamma_{\min})}. \quad (24.6)$$

В этом случае решение находим так: вычисляем вспомогательные величины

$$P = \frac{AC_{\max}^2 \cos \gamma_{\min} - AC_{\min}^2 \cos \gamma_{\max}}{\cos \gamma_{\min} - \cos \gamma_{\max}}; \quad (24.7)$$

$$Q = \frac{AC_{\max}^2 - AC_{\min}^2}{\cos \gamma_{\min} - \cos \gamma_{\max}}; \quad (24.8)$$

тогда

$$\left. \begin{aligned} AB &= 0.5(\sqrt{P+Q} - \sqrt{P-Q}); \\ BC &= 0.5(\sqrt{P+Q} + \sqrt{P-Q}). \end{aligned} \right\} \quad (24.9)$$

При нарушении условия (24.6) (неудачно заданы исходные данные) пределы  $[\gamma_{\min} \dots \gamma_{\max}]$  необходимо несколько расширить: если, например, сохранить величину  $\gamma_{\max}$  прежней, то значение  $\gamma_{\min}$  необходимо уменьшить согласно неравенству

$$\gamma_{\min} \leq 2 \arcsin\left(\frac{\sin(0.5\gamma_{\max})}{\lambda}\right); \quad (24.10)$$

если же сохранить величину  $\gamma_{\min}$  прежней, то значение  $\gamma_{\max}$  потребуется увеличить так, чтобы стало справедливо соотношение

$$\gamma_{\max} \geq 2 \arcsin(\lambda \sin(0.5\gamma_{\min})); \quad (24.11)$$

можно сохранить прежним среднее значение угла  $\gamma$  -

$$\gamma_m = \frac{\gamma_{\max} + \gamma_{\min}}{2}; \quad (24.12)$$

тогда новые предельные значения этого угла

$$\gamma_{\min}^{\max} = \gamma_m \pm \Delta, \quad (24.13)$$

где вспомогательный угол  $\Delta$  теоретически может быть любым, удовлетворяющим неравенству

$$\Delta \geq \Delta_{\min} = 2 \operatorname{arctg} \left( \frac{\lambda - 1}{\lambda + 1} \operatorname{tg} \frac{\gamma_m}{2} \right). \quad (24.14)$$

Последний способ вынужденного расширения диапазона углов  $[\gamma_{\min} \dots \gamma_{\max}]$  предпочтительнее.

Для подбора размера  $DE$  необходимо определить величину наибольшего по абсолютной величине удаления  $|h_{D_{\max}}|$  центра шарнира  $D$  от горизонтальной направляющей ползуна 5 (это можно сделать, используя компьютерную среду САМАС, или графически – вычертив в подходящем масштабе траекторию точки  $D$  и замерив расстояние ее наиболее удаленной точки от направляющей). Тогда в качестве окончательного значения длины шатуна  $DE$  можно взять любое, удовлетворяющее неравенству

$$DE \geq \frac{|h_{D_{\max}}|}{\sin \alpha_{\max}}. \quad (24.15)$$

Рабочий ход механизма начинается при положении кривошипа  $OA$ , определяемом углом  $\varphi_{\text{нрх}}$  (ползун 5 при этом занимает крайнее левое положение) и заканчивается при  $\varphi_{\text{крх}}$  – (ползун находится в крайнем правом положении); значения этих углов и величину хода  $H_5$  рабочего звена можно найти только приближенно, но при использовании компьютерной среды САМАС – с любой желаемой точностью.

## Кинематическая схема 25

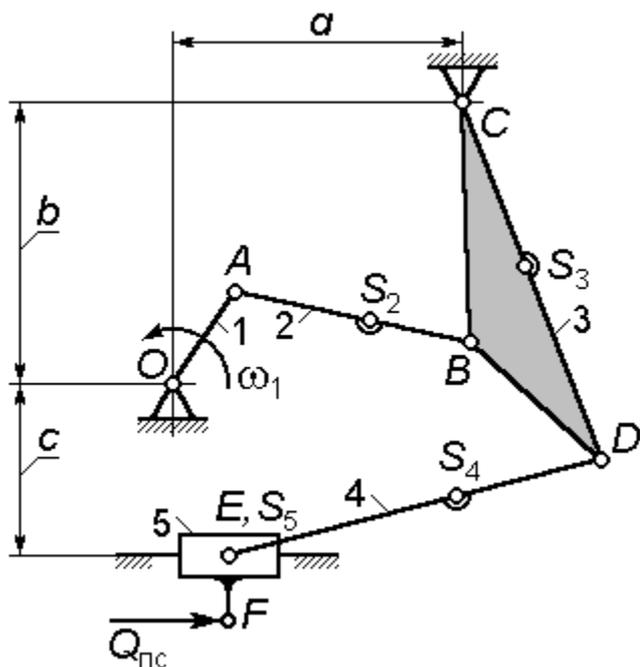


Рисунок 25.1

Заданы:

координаты центра шарнира  $C$  – размеры  $a$  и  $b$ ;

координата направляющей для ползуна 5 – размер  $c$ ;

соотношение размеров  $OC$  и  $OA$

$$OA = OC / \alpha \quad (25.1)$$

(параметр  $\alpha$  задан как диапазон);

параметры, определяющие положение добавочной точки  $D$  на коромысле – угол  $\angle CBD$  и соотношение между размерами  $BD$  и  $BC$

$$BD = \beta \cdot BC \quad (25.2)$$

(параметр  $\beta$  задан как диапазон);

условие подбора длин звеньев  $AB$  и  $BC$  – угол  $\gamma = \angle ABC$  при работе механизма должен изменяться в заданных пределах  $[\gamma_{\min} \dots \gamma_{\max}]$ , при этом должно соблюдаться соотношение  $AB \geq BC$ ;

длина шатуна  $DE$  должна быть подобрана так, чтобы угол его давления на ползун 5 (угол наклона шатуна к направляющей) не превышал величины  $\alpha_{\max}$ .

## Решение

Вначале находим размер

$$OC = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (25.3)$$

и затем выбираем подходящую длину  $OA$  из диапазона, определяемого соотношением (25.1).

Рассматривая на схеме механизма изменяемый  $\triangle ABC$ , заметим, что угол  $\gamma$  принимает предельные значения в случаях:  $\gamma = \gamma_{\max}$  при

$AC = AC_{\max} = OC + OA$ ;  $\gamma = \gamma_{\min}$  при  $AC = AC_{\min} = OC - OA$ . Очевидно, что для подбора длин  $AB$  и  $BC$ , удовлетворяющих условиям синтеза, можно использовать уравнения:

$$\left. \begin{aligned} AB^2 + BC^2 - 2 \cdot AB \cdot BC \cdot \cos \gamma_{\max} &= AC_{\max}^2; \\ AB^2 + BC^2 - 2 \cdot AB \cdot BC \cdot \cos \gamma_{\min} &= AC_{\min}^2; \end{aligned} \right\} \quad (25.4)$$

для их решения найдем вспомогательные величины

$$P = \frac{AC_{\max}^2 \cos \gamma_{\min} - AC_{\min}^2 \cos \gamma_{\max}}{\cos \gamma_{\min} - \cos \gamma_{\max}}; \quad (25.5)$$

$$Q = \frac{AC_{\max}^2 - AC_{\min}^2}{\cos \gamma_{\min} - \cos \gamma_{\max}}; \quad (25.6)$$

тогда, при  $AB \geq BC$

$$\left. \begin{aligned} BC &= 0.5(\sqrt{P+Q} - \sqrt{P-Q}); \\ AB &= 0.5(\sqrt{P+Q} + \sqrt{P-Q}). \end{aligned} \right\} \quad (25.7)$$

Очевидно, что решение (25.7) существует только при  $P \geq Q$ , или, что то же самое, при

$$\lambda = \frac{AC_{\max}}{AC_{\min}} \leq \frac{\sin(0.5\gamma_{\max})}{\sin(0.5\gamma_{\min})}. \quad (25.8)$$

Несоблюдение неравенства (25.8) означает, что исходные данные выбраны неудачно и требуют корректировки, которая может быть произведена разными способами:

можно расширить пределы допустимых углов  $[\gamma_{\min} \dots \gamma_{\max}]$  за счет только нижней границы, выбрав ее из неравенства

$$\gamma_{\min} \leq 2 \arcsin\left(\frac{\sin(0.5\gamma_{\max})}{\lambda}\right), \quad (25.9)$$

или за счет только верхней границы -

$$\gamma_{\max} \geq 2 \arcsin(\lambda \sin(0.5\gamma_{\min})); \quad (25.10)$$

можно также сохранить неизменным среднее значение

$$\gamma_m = (\gamma_{\min} + \gamma_{\max})/2, \quad (25.11)$$

и назначить новые верхнюю и нижнюю границы:

$$\gamma_{\max} = \gamma_m \pm \Delta, \quad (25.12)$$

где вспомогательный угол  $\Delta$  теоретически может быть любым, удовлетворяющим неравенству

$$\Delta \geq \Delta_{\min} = 2 \operatorname{arctg} \left( \frac{\lambda - 1}{\lambda + 1} \operatorname{tg} \frac{\gamma_m}{2} \right). \quad (25.13)$$

Последний способ вынужденного расширения диапазона углов  $[\gamma_{\min} \dots \gamma_{\max}]$  предпочтительнее.

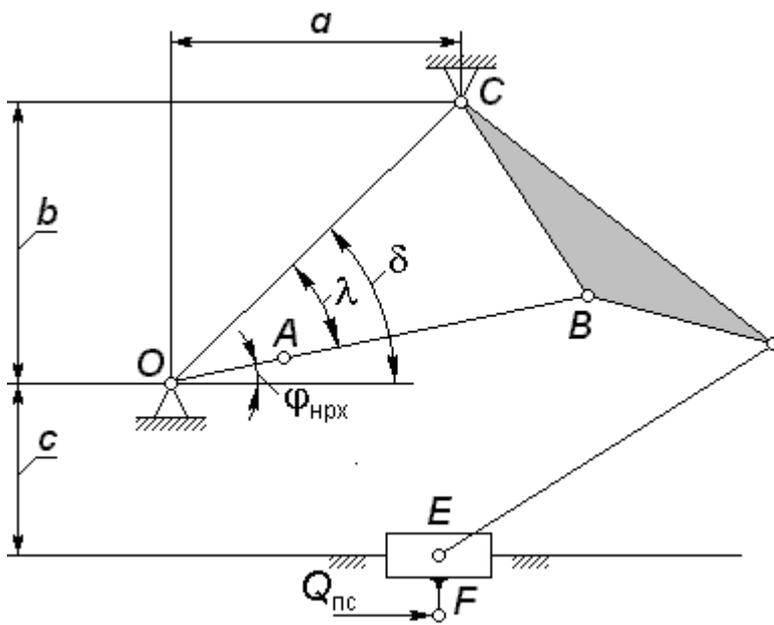


Рисунок 25.2

Для подбора размера  $DE$  необходимо определить величину наибольшего по абсолютной величине удаления  $y_{D_{\max}}$  центра шарнира  $D$  от горизонтальной направляющей ползуна 5; это можно сделать либо графически, либо используя компьютерную среду САМАС. В качестве

окончательного значения длины шатуна  $DE$  можно взять любое, удовлетворяющее неравенству  $DE \geq |y_{D_{\max}}| / \sin \alpha_{\max}$ .

Угол  $\varphi_{\text{нрх}}$ , определяющий положение кривошипа  $OA$  в момент начала рабочего хода ползуна 5, можно найти аналитически, используя формулы, которые следуют из рис. 25.2:

$$\delta = \operatorname{arctg} \left( \frac{b}{a} \right); \quad (25.14)$$

$$\lambda = \arccos \frac{OC^2 + (OA + AB)^2 - BC^2}{2 \cdot OC(OA + AB)}; \quad (25.15)$$

$$\varphi_{\text{нрх}} = \delta - \lambda. \quad (25.16)$$

Угол  $\varphi_{\text{крх}}$ , определяющий положение кривошипа  $OA$  в момент окончания рабочего хода, найдем из аналогичной расчетной схемы, соответствующей крайнему левому положению ползуна 5; при этом для расчета угла  $\delta$  используем ту же формулу (25.14), а для расчета  $\lambda$  и  $\varphi_{\text{крх}}$  – формулы

$$\lambda = \arccos \frac{OC^2 + (AB - OA)^2 - BC^2}{2 \cdot OC(AB - OA)}; \quad (25.17)$$

$$\varphi_{\text{крх}} = 180^\circ + \delta - \lambda. \quad (25.18)$$

Для определения величины рабочего хода ползуна  $H_5$  существуют аналитические формулы, но ввиду их громоздкости более оправданным считаем обращение для этой цели к компьютерной среде САМАС. В этом случае определяют значение абсциссы центра шарнира  $E$  для двух положений механизма, определяемых углами  $\varphi_{\text{нрх}}$  и  $\varphi_{\text{крх}}$  – разность этих абсцисс и представляет собой искомую величину  $H_5$ .

## Кинематическая схема 26

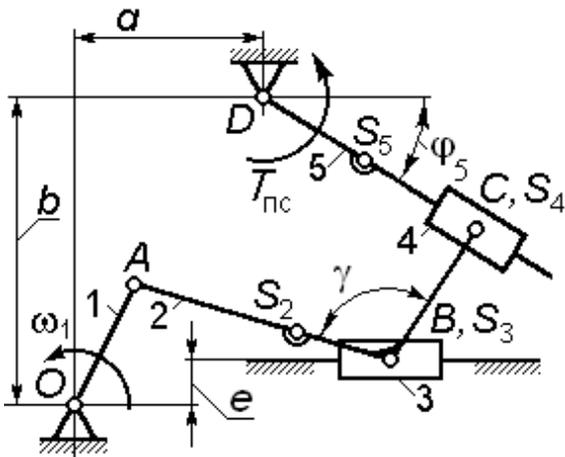


Рисунок 26.1

Заданы (рисунок 26.1):  
 эксцентриситет направляющей ползуна 3 –  $e$ ;  
 длина кривошипа  $OA = 5e$ ;  
 параметры, определяющие положение центра шарнира  $C$  на шатуне  $AB$  – угол  $\angle ABC = \gamma$  и размер  $BC$ ;  
 соотношение размеров звеньев  $AB$  и  $OA$

$$AB = \beta \cdot OA \quad (26.1)$$

(параметр  $\beta$  задан как диапазон);

требуемый угол качания кулисы 5 –  $\psi$ ;

значение угла  $\varphi_5 = \varphi_5^p$  в начале рабочего хода кулисы.

Необходимо подобрать размеры шатуна  $AB$  и координаты  $a$  и  $b$  центра шарнира  $D$  так, чтобы обеспечить получение заданных углов  $\psi$  и  $\varphi_5^p$  с точностью  $\pm 2^\circ$  для каждого.

## Решение

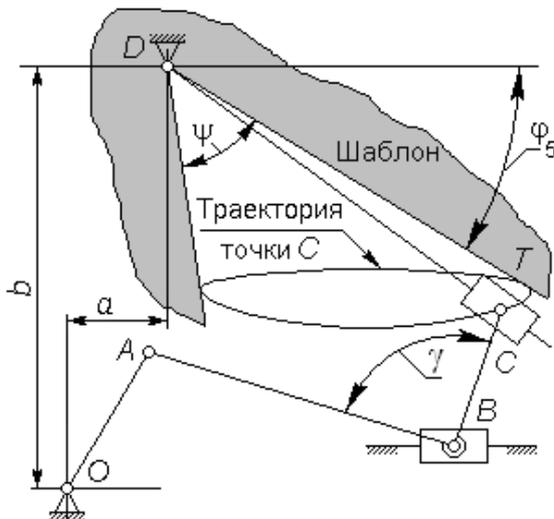


Рисунок 26.2

подбирают подходящую пару  $(a, b)$ ;

Размер  $AB$  находим из соотношения (26.1).

Для подбора любого подходящего (из многих возможных) варианта значений размеров  $a$  и  $b$  можно использовать:

- компьютерную среду САМАС; в этом случае координатам  $a$  и  $b$  задают ряд пар значений, для каждой из них определяют величины угла качания  $\psi$  и угла  $\varphi_5$  в начале рабочего хода кулисы 5; таким образом,

- графический метод; в этом случае строят траекторию точки  $C$  и касательную к ней  $DT$ , расположенную под углом  $\varphi_5 = \varphi_5^p + 2^\circ$  к оси абсцисс; из бумаги вырезают два угловых шаблона с внутренними углами  $(\psi + 2^\circ)$  и  $(\psi - 2^\circ)$  (рис. 26.2) и вершину угла каждого шаблона помещают в такую точку  $D$  прямой  $DT$ , чтобы траектория точки  $C$  находилась между сторонами этого угла, касаясь их; тем самым получают на прямой  $DT$  два предельно допустимых положения центра шарнира  $D$ ; описанные построения повторяют при угле  $\varphi_5 = \varphi_5^p - 2^\circ$  для прямой  $DT$  и получают еще два предельно допустимых положения точки  $D$ , которые в совокупности с ранее построенными аналогичными точками ограничат четырехугольную область, внутри которой можно выбрать любую точку, координаты которой  $a$  и  $b$  следует принять за окончательные.

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в моменты начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода кулисы, а также фактическое значение  $\psi$  этого хода наиболее просто и в то же время достаточно точно можно определить в среде САМАС.

## Кинематическая схема 27

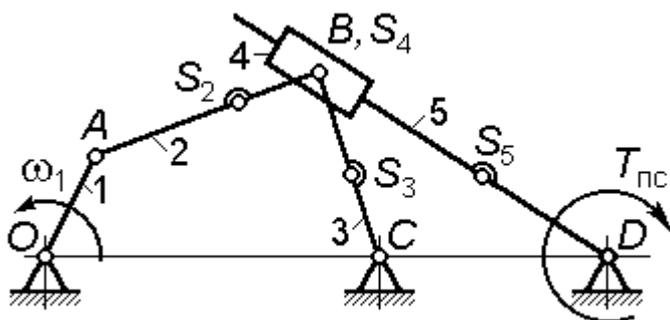


Рис. 27.1

Заданы:

длина кривошипа  $OA$ ;

соотношение размеров  $OC$  и  $OA$

$$OC = \alpha OA \quad (27.1)$$

(параметр  $\alpha$  задан как диапазон);

соотношение размеров  $CD$  и  $OC$

$$CD = \beta \cdot OC; \quad (27.2)$$

(параметр  $\beta$  задан как диапазон);

условие подбора длин звеньев  $AB$  и  $BC$  – угол  $\angle ABC = \gamma$  при работе механизма должен изменяться в заданных пределах  $[\gamma_{\min} \dots \gamma_{\max}]$ , при этом должно соблюдаться соотношение  $AB \geq BC$ .

## Решение

Вначале выбираем размер  $OC$  из диапазона, определяемого соотношением (27.1) и затем –  $CD$  из (27.2).

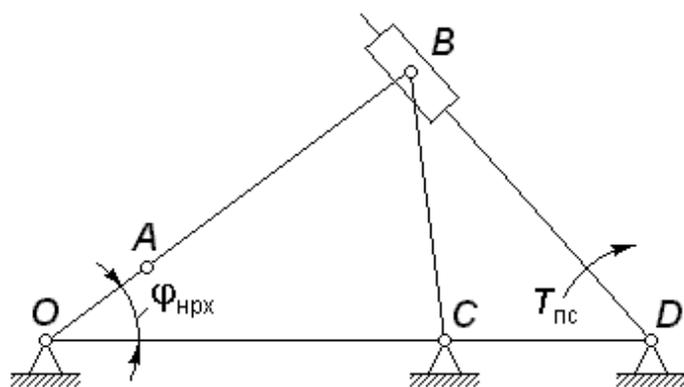


Рис. 27.2

Для выбора подходящих значений  $AB$  и  $BC$  воспользуемся следующим способом: из  $\triangle ABC$  на схеме механизма видим, что угол  $\angle ABC = \gamma$  принимает предельное значение  $\gamma_{\max}$ , когда  $AC = AC_{\max} = OC + OA$  соответственно  $\gamma_{\min}$ , когда

$AC = AC_{\min} = OC - OA$ ; тогда очевидно, что для подбора длин  $AB$  и  $BC$ , удовлетворяющих условиям синтеза, можно использовать уравнения:

$$\left. \begin{aligned} AB^2 + BC^2 - 2 \cdot AB \cdot BC \cdot \cos \gamma_{\max} &= AC_{\max}^2; \\ AB^2 + BC^2 - 2 \cdot AB \cdot BC \cdot \cos \gamma_{\min} &= AC_{\min}^2; \end{aligned} \right\} \quad (27.3)$$

их решение найдем в виде: введем обозначения

$$P = \frac{AC_{\max}^2 \cos \gamma_{\min} - AC_{\min}^2 \cos \gamma_{\max}}{\cos \gamma_{\min} - \cos \gamma_{\max}}; \quad (27.4)$$

$$Q = \frac{AC_{\max}^2 - AC_{\min}^2}{\cos \gamma_{\min} - \cos \gamma_{\max}}; \quad (27.5)$$

тогда длины звеньев

$$\left. \begin{aligned} BC &= 0.5(\sqrt{P+Q} - \sqrt{P-Q}); \\ AB &= 0.5(\sqrt{P+Q} + \sqrt{P-Q}). \end{aligned} \right\} \quad (27.6)$$

Очевидно, что искомое решение существует только при  $P \geq Q$ , или, как это можно показать, при

$$\lambda = \frac{AC_{\max}}{AC_{\min}} \leq \frac{\sin(0.5\gamma_{\max})}{\sin(0.5\gamma_{\min})}. \quad (27.7)$$

Несоблюдение неравенства (27.7) означает, что исходные данные выбраны не совсем удачно и требуют корректировки, которая может быть произведена разными способами:

можно расширить пределы допустимых углов  $[\gamma_{\min} \dots \gamma_{\max}]$  за счет только нижней границы, выбрав ее из неравенства

$$\gamma_{\min} \leq 2 \arcsin((\sin(0.5\gamma_{\max}))/\lambda), \quad (27.8)$$

или за счет только верхней границы -

$$\gamma_{\max} \geq 2 \arcsin(\lambda \sin(0.5\gamma_{\min})); \quad (27.9)$$

можно также сохранить неизменным среднее значение

$$\gamma_m = (\gamma_{\min} + \gamma_{\max})/2, \quad (27.10)$$

и назначить новые верхнюю и нижнюю границы:

$$\gamma_{\max} = \gamma_m + \Delta$$

$$\gamma_{\min} = \gamma_m - \Delta \quad (27.11)$$

где вспомогательный угол  $\Delta$  может быть любым, удовлетворяющим неравенству

$$\Delta \geq \Delta_{\min} = 2 \operatorname{arctg} \left( \frac{\lambda - 1}{\lambda + 1} \operatorname{tg} \frac{\gamma_m}{2} \right). \quad (27.12)$$

Рис. 27.2

После назначения новых пределов  $\gamma_{\max}$  и  $\gamma_{\min}$  можно воспользоваться формулами (27.4) – (27.6).

Найдем угол  $\varphi_{\text{нрх}}$ , определяющий положение кривошипа  $OA$  в момент начала рабочего хода механизма и кулисы 5

$$\varphi_{\text{нрх}} = \arccos \frac{(AB + OA)^2 + OC^2 - BC^2}{2(AB + OA)OC}. \quad (27.13)$$

Угол  $\varphi_{\text{крх}}$ , определяющий положение кривошипа в момент окончания рабочего хода кулисы 5 найдем из аналогичной расчетной схемы по формуле

$$\varphi_{\text{крх}} = 180^\circ + \arccos \frac{(AB - OA)^2 + OC^2 - BC^2}{2(AB - OA)OC}. \quad (27.13)$$

Для определения величины рабочего хода кулисы  $\psi$  существуют аналитические формулы, но ввиду их громоздкости оправданным считаем обращение для этой цели к компьютерной среде САМАС.

## Кинематическая схема 28

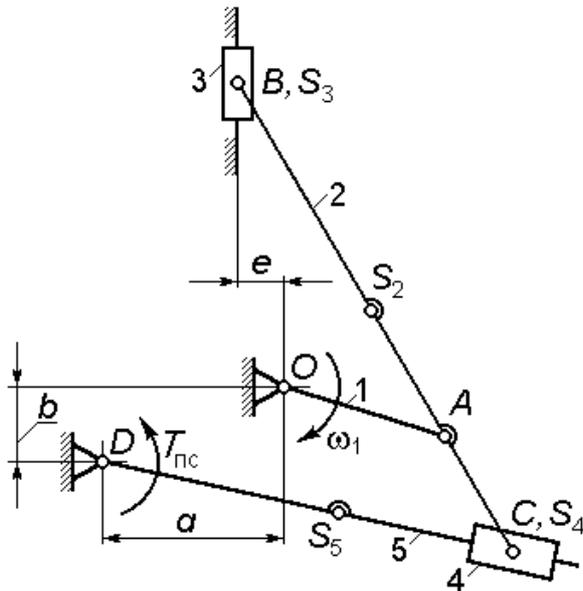


Рисунок 28.1

Необходимо подобрать размер шатуна  $AB$  и ординату  $a$  центра шарнира  $D$ , обеспечивая получение угла  $\psi$  с точностью  $\pm 2^\circ$ .

Заданы:

длина кривошипа  $OA$ ;

координата добавочной точки на шатуне – размер  $AC$ ;

эксцентриситет направляющей ползуна 3 –  $e$ ;

соотношение размеров  $AB$  и  $OA$

$$AB = \alpha \cdot OA \quad (28.1)$$

(параметр  $\alpha$  задан как диапазон);

соотношение размеров  $b$  и  $AC$

$$b = AC + 0.1 \text{ м}; \quad (28.2)$$

требуемый угол качания кулисы 5 –  $\psi$ .

Необходимо подобрать размер

шатуна  $AB$  и ординату  $a$  центра шар-

### Решение

Размер  $AB$  находим из соотношения (28.1), а ординату  $b$  центра шарнира  $D$  – по формуле (28.2).

Для подбора подходящего значения размера  $a$  можно использовать компьютерную среду САМАС; при таком способе решения абсциссе  $a$  задают ряд значений, для каждого из них определяют величину угла качания  $\psi$  и таким образом подбирают подходящую величину  $a$ ;

Можно также воспользоваться графическим методом: для этого из бумаги вырезают два угловых шаблона с внутренними углами  $(\psi + 2^\circ)$  и  $(\psi - 2^\circ)$  и каждый

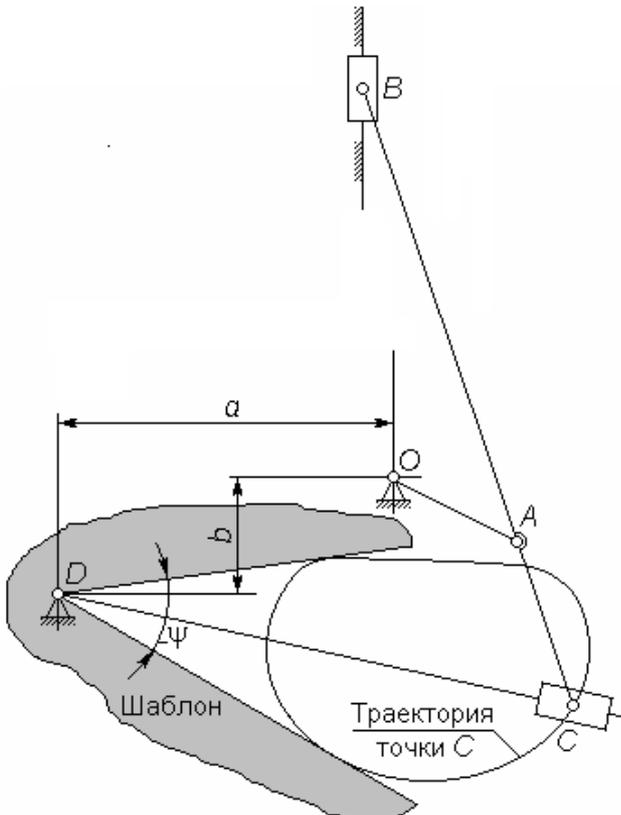
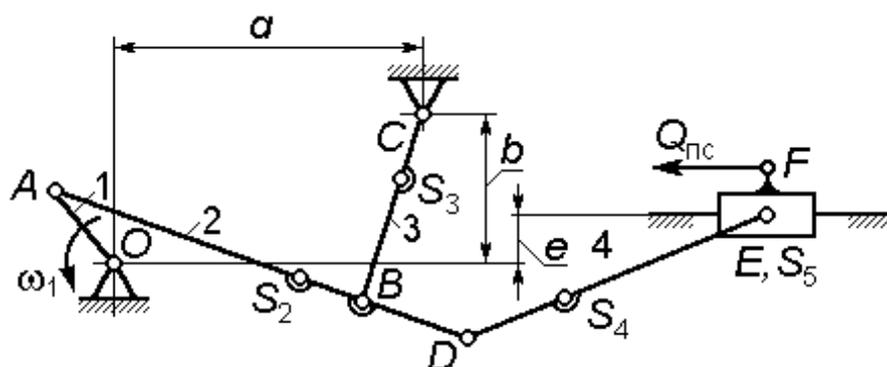


Рисунок 28.2

из этих шаблонов поочередно пытаются поместить вершиной угла в такую точку  $D$  с ординатой  $b$  (рис. 28.2), чтобы траектория точки  $C$  (предварительно построенная) поместилась внутри указанного угла и касалась его сторон. Таким образом, будут найдены два предельных положения точки  $D$  и соответственно два предельных значения искомого расстояния –  $a_{\max}$  и  $a_{\min}$ ; в качестве окончательного значения абсциссы  $a$  можно принять любое, удовлетворяющее неравенству и  $a_{\max} \geq a \geq a_{\min}$ .

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в моменты начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода кулисы, а также фактическое значение  $\psi$  этого хода достаточно просто и точно можно определить в среде САМАС.

## Кинематическая схема 29



Заданы:

координаты  $a$  и  $b$  центра неподвижного шарнира  $C$ ;

соотношение размеров  $OC$  и  $OA$

$$OA = OC/\alpha; \quad (29.1)$$

соотношение размеров  $BD$  и  $AB$

$$BD = \beta \cdot AB \quad (29.2)$$

(коэффициент  $\alpha$  и  $\beta$  заданы как диапазоны);

эксцентриситет направляющей ползуна 5 –  $e$ ;

условие подбора длин звеньев  $AB$  и  $BC$  – угол  $\gamma = \angle ABC$  при работе механизма должен изменяться в заданных пределах  $[\gamma_{\min} \dots \gamma_{\max}]$ , при этом должно соблюдаться соотношение  $AB \leq BC$ ;

длина шатуна  $DE$  должна быть подобрана так, чтобы угол его давления на ползун 5 (угол наклона шатуна к направляющей) не превышал заданной величины  $\alpha_{\max}$ .

### Решение

Определим размер  $OC$

$$OC = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (29.3)$$

и по формуле (29.1) – длину кривошипа  $OA$ .

Предельные значения расстояния  $AC$

$$AC_{\substack{\max \\ \min}} = OC \pm OA. \quad (29.4)$$

Очевидно, что предельные значения размера  $AC$  и угла  $\gamma = \angle ABC$  связаны уравнениями

$$\left. \begin{aligned} AC_{\max}^2 &= AB^2 + BC^2 - 2 AB \cdot BC \cos \gamma_{\max}; \\ AC_{\min}^2 &= AB^2 + BC^2 - 2 AB \cdot BC \cos \gamma_{\min}. \end{aligned} \right\} \quad (29.5)$$

Для их решения введем обозначения:

$$P = \frac{AC_{\max}^2 \cos \gamma_{\min} - AC_{\min}^2 \cos \gamma_{\max}}{\cos \gamma_{\min} - \cos \gamma_{\max}}; \quad (29.6)$$

$$Q = \frac{AC_{\max}^2 - AC_{\min}^2}{\cos \gamma_{\min} - \cos \gamma_{\max}}; \quad (29.7)$$

тогда длины звеньев

$$\left. \begin{aligned} BC &= 0.5(\sqrt{P+Q} + \sqrt{P-Q}); \\ AB &= 0.5(\sqrt{P+Q} - \sqrt{P-Q}). \end{aligned} \right\} \quad (29.8)$$

Очевидно, что искомое решение существует только при  $P \geq Q$ , или, как это можно показать, при

$$\lambda = \frac{AC_{\max}}{AC_{\min}} \leq \frac{\sin(0.5\gamma_{\max})}{\sin(0.5\gamma_{\min})}. \quad (29.9)$$

Несоблюдение неравенства (29.9) означает, что исходные данные выбраны неудачно и требуют корректировки, которая может быть произведена тремя способами:

можно расширить пределы допустимых углов  $[\gamma_{\min} \dots \gamma_{\max}]$  за счет только нижней границы, выбрав ее из неравенства

$$\gamma_{\min} \leq 2 \arcsin\left(\frac{\sin(0.5\gamma_{\max})}{\lambda}\right), \quad (29.9)$$

или за счет только верхней границы -

$$\gamma_{\max} \geq 2 \arcsin(\lambda \sin(0.5\gamma_{\min})); \quad (29.10)$$

можно также сохранить неизменным среднее значение

$$\gamma_m = (\gamma_{\min} + \gamma_{\max})/2, \quad (29.11)$$

и назначить новые верхнюю и нижнюю границы:

$$\gamma_{\min}^{\max} = \gamma_m \pm \Delta, \quad (29.12)$$

где вспомогательный угол  $\Delta$  может иметь любое значение, удовлетворяющее неравенству

$$\Delta \geq \Delta_{\min} = 2 \operatorname{arctg} \left( \frac{\lambda - 1}{\lambda + 1} \operatorname{tg} \frac{\gamma_m}{2} \right). \quad (29.13)$$

Последний способ вынужденного расширения диапазона углов  $[\gamma_{\min} \dots \gamma_{\max}]$  более предпочтителен.

Для подбора размера  $DE$  необходимо определить величину наибольшего по абсолютной величине удаления  $y_{D_{\max}}$  центра шарнира  $D$  от горизонтальной направляющей ползуна 5 (это можно сделать, используя компьютерную среду САМАС, или графически - вычертив в подходящем масштабе траекторию точки  $D$  и замерив расстояние ее наиболее удаленной точки от направляющей). Тогда в качестве окончательного значения длины шатуна  $DE$  можно взять любое, удовлетворяющее неравенству

$$DE \geq \frac{|y_{D_{\max}}|}{\sin \alpha_{\max}}. \quad (29.18)$$

Рабочий ход механизма начинается при положении кривошипа  $OA$ , определяемом углом  $\varphi_{\text{нрх}}$  (ползун 5 при этом занимает крайнее левое положение) и заканчивается при  $\varphi_{\text{крх}}$  - (ползун находится в крайнем правом положении); значения этих углов и величину хода  $H_5$  рабочего звена можно найти только приближенно, но при использовании компьютерной среды САМАС - с любой желаемой точностью.

### Кинематическая схема 30

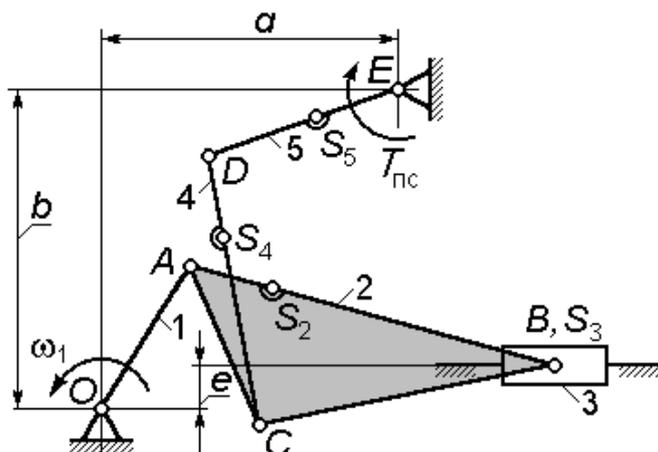


Рисунок 30.1

Заданы:  
 длина кривошипа  $OA$ ;  
 соотношение длин звеньев  $AB$  и  $OA$   
 $AB = \alpha \cdot OA$  (30.1)  
 (параметр  $\alpha$  задан как диапазон);  
 параметры, определяющие положение добавочной точки  $C$  на шатуне - угол  $\angle BAC$  и соотношение раз-

меров  $AC$  и  $OA$

$$AC = \beta \cdot OA \quad (30.2)$$

(параметр  $\beta$  задан как диапазон);

координаты  $a$  и  $b$  центра шарнира  $E$ ;

условие подбора длин звеньев  $CD$  и  $DE$  - угол  $\gamma = \angle CDE$  при работе механизма должен изменяться в заданных пределах  $[\gamma_{\min} \dots \gamma_{\max}]$ .

### Решение

Размеры  $AB$  и  $AC$  находим из соотношений (30.1) и (30.2).

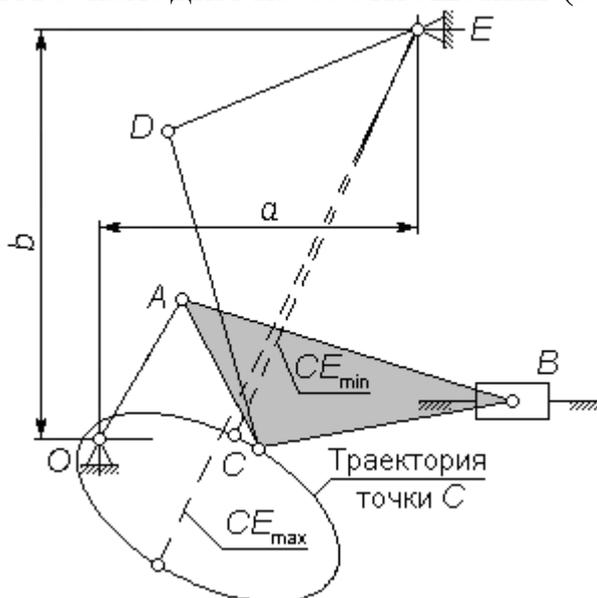


Рисунок 30.2

Для подбора приемлемых значений длин звеньев  $CD$  и  $DE$  необходимо вначале найти наибольшее  $CE_{\max}$  и наименьшее  $CE_{\min}$  значе-

ния расстояния  $CE$  (рис. 30.2). Это можно сделать либо графически, измерив соответствующие отрезки на вычерченном в масштабе плане положений механизма, либо проведя необходимый анализ кинематической схемы в компьютерной среде САМАС.

Очевидно, что для подбора длин  $CD$  и  $DE$ , удовлетворяющих условиям синтеза, можно использовать уравнения, которые следуют из рассмотрения  $\triangle CDE$  (рис. 30.2)

$$\left. \begin{aligned} CD^2 + DE^2 - 2 \cdot CD \cdot DE \cdot \cos \gamma_{\max} &= CE_{\max}^2; \\ CD^2 + DE^2 - 2 \cdot CD \cdot DE \cdot \cos \gamma_{\min} &= CE_{\min}^2; \end{aligned} \right\} \quad (30.3)$$

для их решения найдем вспомогательные величины

$$P = \frac{CE_{\max}^2 \cos \gamma_{\min} - CE_{\min}^2 \cos \gamma_{\max}}{\cos \gamma_{\min} - \cos \gamma_{\max}}; \quad (30.4)$$

$$Q = \frac{CE_{\max}^2 - CE_{\min}^2}{\cos \gamma_{\min} - \cos \gamma_{\max}}; \quad (30.5)$$

тогда

$$\left. \begin{aligned} CD &= 0.5(\sqrt{P+Q} + \sqrt{P-Q}); \\ DE &= 0.5(\sqrt{P+Q} - \sqrt{P-Q}), \end{aligned} \right\} \quad (30.6)$$

или

$$\left. \begin{aligned} CD &= 0.5(\sqrt{P+Q} - \sqrt{P-Q}); \\ DE &= 0.5(\sqrt{P+Q} + \sqrt{P-Q}). \end{aligned} \right\} \quad (30.7)$$

Очевидно, что решения (30.6) и (30.7) существует только при  $P \geq Q$ , или, что то же самое, при

$$\lambda = \frac{CE_{\max}}{CE_{\min}} \leq \frac{\sin(0.5\gamma_{\max})}{\sin(0.5\gamma_{\min})}. \quad (30.8)$$

Несоблюдение условия (30.8) означает, что исходные данные выбраны неудачно и требуют корректировки, которая может быть произведена тремя различными способами:

можно расширить пределы допустимых углов  $[\gamma_{\min} \dots \gamma_{\max}]$  за счет только нижней границы, выбрав ее из неравенства

$$\gamma_{\min} \leq 2 \arcsin \left( \frac{1}{\lambda} \sin \left( \frac{\gamma_{\max}}{2} \right) \right), \quad (30.9)$$

или за счет только верхней границы -

$$\gamma_{\max} \geq 2 \arcsin \left( \lambda \sin \left( \frac{\gamma_{\min}}{2} \right) \right); \quad (30.10)$$

можно также сохранить неизменным среднее значение угла  $\gamma$  –

$$\gamma_m = \frac{\gamma_{\min} + \gamma_{\max}}{2}, \quad (30.11)$$

и назначить новые верхнюю и нижнюю границы:

$$\gamma_{\max} = \gamma_m + \Delta, \quad \gamma_{\min} = \gamma_m - \Delta, \quad (30.12)$$

где вспомогательный угол  $\Delta$  теоретически может быть любым, удовлетворяющим неравенству

$$\Delta \geq 2 \operatorname{arctg} \left( \frac{\lambda - 1}{\lambda + 1} \operatorname{tg} \frac{\gamma_m}{2} \right). \quad (30.13)$$

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в моменты начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода коромысла 5, а также фактическое значение  $\psi$  этого хода достаточно просто и точно можно определить в среде САМАС.

## Кинематическая схема 31

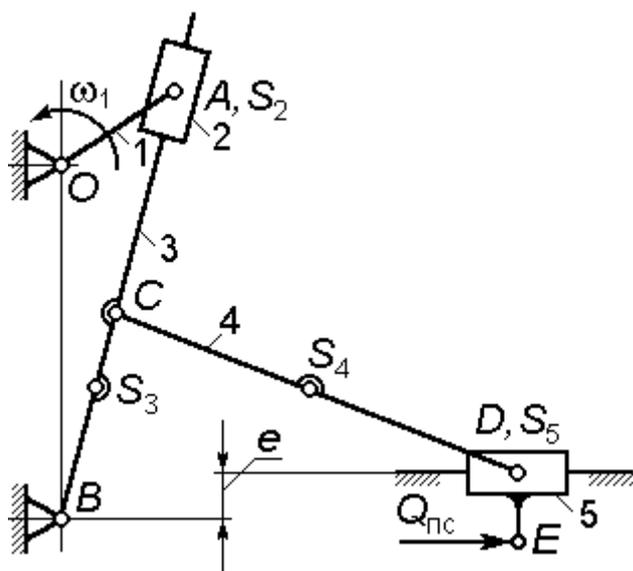


Рисунок 31.1

Заданы:

$H$  – величина хода ползуна 5;

$e$  – эксцентриситет направляющей ползуна 5;

$K_v$  – коэффициент изменения средней скорости хода ползуна 5

$$K_v = \varphi_p / \varphi_x, \quad (31.1)$$

где  $\varphi_p$  и  $\varphi_x$  – углы поворота кривошипа  $OA$  за время рабочего и холостого ходов ползуна 5 соответственно;

соотношение длин звеньев

$OB$ ,  $OA$  и  $BC$

$$OB - OA = \alpha BC \quad (31.2)$$

(параметр  $\alpha$  задан как диапазон).

Требуется рассчитать и выбрать размеры  $OA$ ,  $OB$ ,  $BC$  и  $CD$ ; длину шатуна  $CD$  подобрать так, чтобы угол его давления на ползун 5 не превышал заданной максимально допустимой величины  $\alpha_{\max}$ .

## Решение

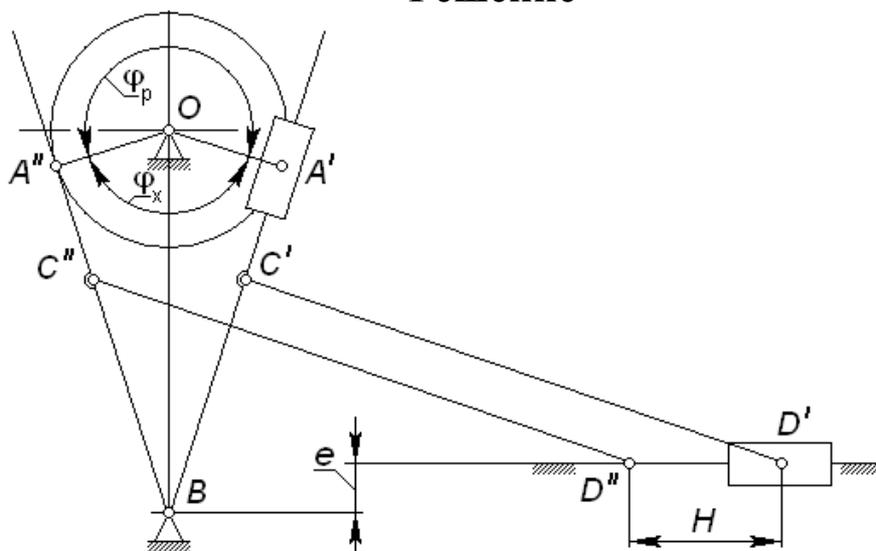


Рисунок 31.2

Расчетная схема для нахождения длин звеньев механизма приведена на рис. 31.2. показаны крайние положения рабочего звена (ползуна 5) и соответствующие им положения шарниров  $A$ ,  $C$  и  $D$ .

Поскольку  $\varphi_p + \varphi_x = 360^\circ$ , то согласно (31.1)

$$\varphi_x = \frac{360^\circ}{1 + K_v}; \quad \varphi_p = K_v \cdot \varphi_x. \quad (31.3)$$

Поскольку  $\cos(0.5\varphi_x) = OA/OB$ , то

$$BC = \frac{H}{2 \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right)}; \quad OB = \frac{\alpha \cdot BC}{1 - \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right)}; \quad OA = OB \cdot \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right). \quad (31.4)$$

Размер  $OB$  допускает округление в пределах, определяемых диапазоном  $\alpha$ .

Наибольшее удаление центра шарнира  $C$  от направляющей ползуна 5 составляет  $(BC - e)$ ; но тогда из ограничения угла давления шатуна 4 на ползун 5 следует, что длина шатуна  $CD$  должна удовлетворять неравенству

$$CD \geq \frac{BC - e}{\sin \alpha_{\max}}. \quad (31.5)$$

В качестве окончательного значения длины  $CD$  пригодно любое, получаемое округлением правой части неравенства (31.5) в большую сторону до ближайшего предпочтительного числа.

Фактические параметры механизма, обеспечиваемые подобранными длинами звеньев:

$$\varphi_x = 2 \arccos\left(\frac{OA}{OB}\right); \quad K_v = \frac{360^\circ - \varphi_x}{\varphi_x}; \quad H = 2 \frac{BC \cdot OA}{OB}. \quad (31.6)$$

Найденные по (31.8) значения  $K_v$  и  $H$  не должны отличаться от заданных более чем на 2%.

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в момент начала – и окончания рабочего хода ползуна 5

$$\varphi_{\text{нрх}} = \frac{\varphi_x}{2} - 90; \quad \varphi_{\text{крх}} = 270^\circ - \frac{\varphi_x}{2}. \quad (31.7)$$

### Кинематическая схема 32

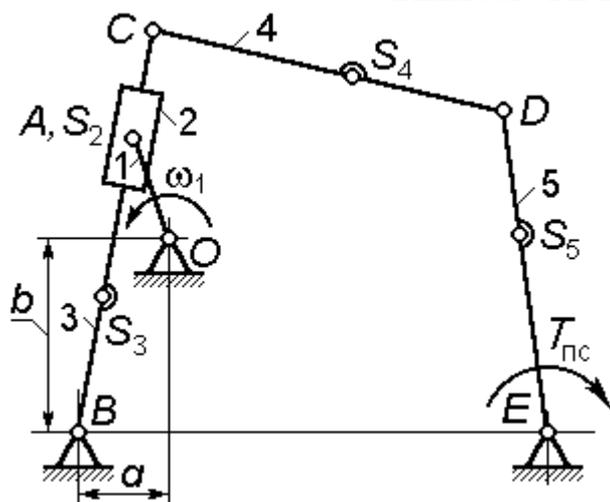


Рисунок 32.1

Заданы:  
 параметры  $a$  и  $b$ , определяющие взаимное расположение центров шарниров  $O$  и  $B$ ;  
 соотношения размеров  $OB$ ,  $OA$ ,  $BC$  и  $BE$

$$OA = \frac{OB}{\alpha}; \quad (32.1)$$

$$BC = \beta \cdot (AB)_{\max}; \quad (32.2)$$

$$BE = \delta \cdot BC \quad (32.3)$$

(параметры  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\delta$  заданы в виде диапазонов).

Необходимо подобрать размеры звеньев  $OA$ ,  $BC$ ,  $BE$ ,  $CD$  и  $DE$ ; при подборе длин  $CD = DE$  обеспечить, чтобы средняя за время цикла величина угла передачи  $\angle CDE$  была равна заданной  $\gamma_m \pm 1^\circ$ .

### Решение

Размер  $OB$  найдем из очевидного соотношения

$$OB = \sqrt{a^2 + b^2}, \quad (32.4)$$

тогда длину кривошипа  $OA$  определим из (32.1).

Поскольку  $AB_{\max} = OB + OA$ , то для нахождения размера  $BC$  воспользуемся (32.2), или

$$BC = (OB + OA)\beta, \quad (32.5)$$

а затем найдем  $BE$  из (32.3).

Для подбора длин  $CD$  и  $DE$ , удовлетворяющих условиям синтеза механизма, нужно в подходящем масштабе построить крайние положения  $BC'$  и  $BC''$  кулисы 3 (рис. 32.2) и измерить наибольшее  $CE_{\max}$  и наименьшее  $CE_{\min}$  расстояния между центрами шарниров  $C$  и  $E$ . Возможно и аналитическое определение этих размеров:

вспомогательные углы

$$\mu = \arctg\left(\frac{b}{a}\right); \quad \zeta = \arcsin\left(\frac{OA}{OB}\right); \quad (32.6)$$

предельные значения размера  $CE$

$$CE_{\max}^{\min} = \sqrt{BC^2 + BE^2 - 2 \cdot BC \cdot BE \cos(\mu \pm \zeta)}. \quad (32.7)$$

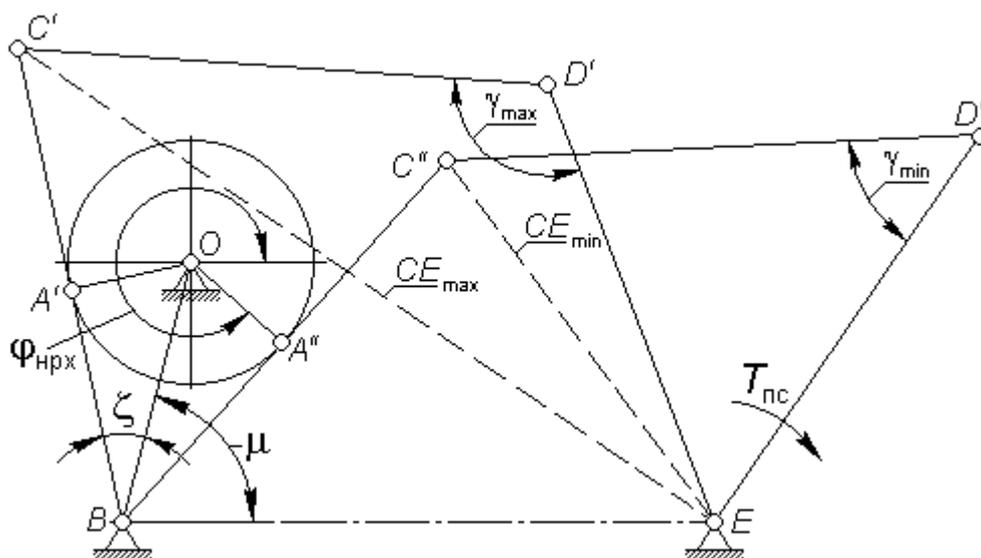


Рисунок 32.2

Тогда искомые размеры  $CD$  и  $DE$  можно найти решением системы

$$\begin{cases} CD^2 + DE^2 - 2 \cdot CD \cdot DE \cdot \cos \gamma_{\max} = CE_{\max}^2; \\ CD^2 + DE^2 - 2 \cdot CD \cdot DE \cdot \cos \gamma_{\min} = CE_{\min}^2. \end{cases} \quad (32.8)$$

Обозначим

$$\lambda = CE_{\max} / CE_{\min}. \quad (32.9)$$

Если считать, что предельные значения угла передачи  $\gamma_{\max}$  и  $\gamma_{\min}$  отличаются от среднего значения  $\gamma_m$  на одну и ту же величину  $\Delta$  т.е.  $\gamma_{\max} = \gamma_m + \Delta$ , и при этом  $CD = DE$ , то решение системы (32.8)

может быть найдено в виде

$$\Delta = 2 \operatorname{arctg} \left( \frac{\lambda - 1}{\lambda + 1} \operatorname{tg} \frac{\gamma_m}{2} \right); \quad (32.10)$$

$$CD = DE = 0.5 \sqrt{\frac{CE_{\max}^2 - CE_{\min}^2}{\sin \gamma_m \sin \Delta}}. \quad (32.11)$$

Округление рассчитанных значений  $CD$  и  $DE$  могут потребовать проверки фактической величины  $\gamma_m$ :

$$\gamma_{\max} = \arccos \frac{CD^2 + DE^2 - CE_{\max}^2}{2 \cdot CD \cdot DE}; \quad (32.12)$$

$$\gamma_{\min} = \arccos \frac{CD^2 + DE^2 - CE_{\min}^2}{2 \cdot CD \cdot DE}; \quad (32.13)$$

$$\gamma_m = \frac{\gamma_{\min} + \gamma_{\max}}{2}. \quad (32.14)$$

Отличие найденной величины  $\gamma_m$  от заданной не должно превышать одного градуса.

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в момент начала  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода коромысла 5 можно найти по формулам

$$\varphi_{\text{нрх}} = 270^\circ + \mu - \zeta; \quad (32.15)$$

$$\varphi_{\text{крх}} = 90^\circ + \mu + \zeta. \quad (32.16)$$

Величину рабочего хода  $\psi$  коромысла 5 можно найти по разности его угловых координат в среде САМАС.

### Кинематическая схема 33

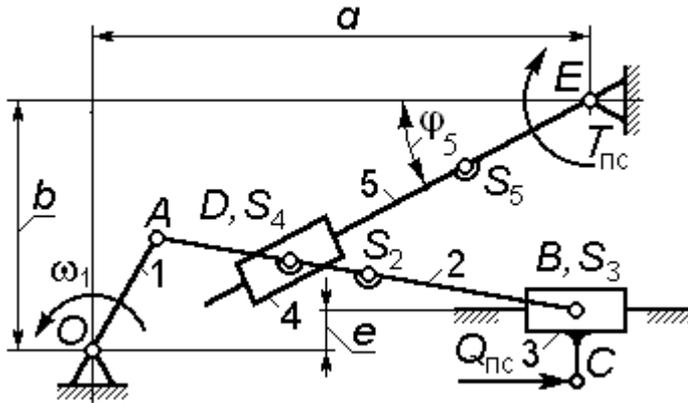


Рисунок 33.1

Заданы:  
 длина кривошипа  $OA$ ;  
 координата центра шарнира  $D$  - размер  $AD$ ;  
 параметр  $e$ , определяющий положение направляющей ползуна 3;  
 соотношение размеров звеньев  $AB$  и  $OA$   
 $AB = \alpha \cdot OA$ ; (33.1)

(параметр  $\alpha$  задан в виде диапазона);  
 требуемый угол качания кулисы -  $\psi$ ;  
 угол  $\varphi_5^p$ , определяющий положение кулисы (значение угла  $\varphi_5$ ) в начале ее рабочего хода.

Необходимо подобрать размер шатуна  $AB$  и координаты  $a$  и  $b$  центра  $E$  качания кулисы.

### Решение

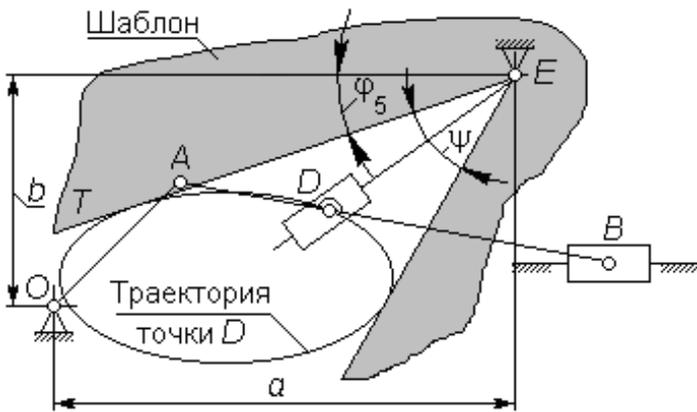


Рисунок 33.2

Размер  $AB$  находим из соотношения (33.1).

Для подбора подходящих значений размеров  $a$  и  $b$  можно использовать:

- компьютерную среду САМАС; в этом случае координатам  $a$  и  $b$  задают ряд пар значений, для каждой из них определяют величину угла

качания  $\psi$ , угла  $\varphi_5^p$  и таким образом подбирают подходящую пару значений  $(a, b)$ ;

- графический метод; в этом случае строят траекторию точки  $D$  и касательную к ней  $ET$ , расположенную под углом  $\varphi_5 = \varphi_5^p + 2^\circ$  к оси абсцисс; из бумаги вырезают два угловых шаблона с внутренними

углами  $(\psi + 2^\circ)$  и  $(\psi - 2^\circ)$  (рис. 33.2) и вершину угла каждого шаблона помещают в такую точку  $E$  прямой  $ET$ , чтобы траектория точки  $D$  находилась между сторонами этого угла, касаясь их; тем самым получают на прямой  $ET$  два предельно допустимых положения центра шарнира  $E$ ; описанные построения повторяют при угле  $\varphi_5 = \varphi_5^p - 2^\circ$  для прямой  $ET$  и получают еще два предельно допустимых положения точки  $D$ , которые в совокупности с ранее построенными аналогичными точками ограничат четырехугольную область, внутри которой можно выбрать любую точку, координаты которой  $a$  и  $b$  следует принять за окончательные.

Отметим, что существует множество приемлемых решений.

Углы  $\varphi_{\text{нрх}}$  и  $\varphi_{\text{крх}}$ , определяющие положения кривошипа  $OA$  в моменты начала и окончания рабочего хода кулисы, а также фактическое значение  $\psi$  этого хода наиболее просто и в то же время достаточно точно можно определить в среде САМАС.

### Кинематическая схема 34

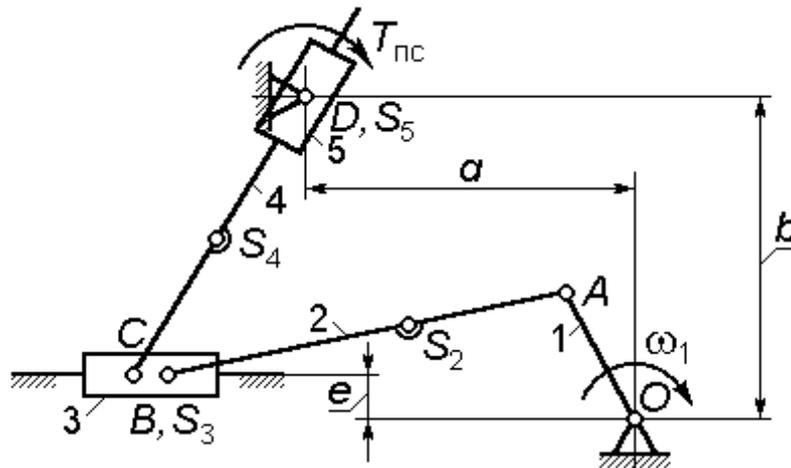


Рисунок 34.1

Заданы:

длина кривошипа  $OA$ ;

параметр  $e$ , определяющий положение направляющей ползуна 3;

размер  $BC$ , определяющий расстояние между центрами шарниров на ползуне 3;

соотношение длин звеньев  $AB$  и  $OA$

$$AB = \beta \cdot OA \quad (34.1)$$

соотношение, задающее абсциссу  $a$  центра  $D$  качания кулисного камня 5

$$a = \gamma \cdot AB \quad (34.2)$$

(параметры  $\beta$  и  $\gamma$  заданы в виде диапазонов);

требуемый угол качания кулисы -  $\psi$ .

Необходимо подобрать размеры шатуна  $AB$  и координаты  $a$  и  $b$  центра качания звена 5 (точки  $D$ ).

### Решение

Из соотношения (34.1) находим размер  $AB$ , из (34.2) – значение параметра  $a$ . Для подбора подходящего значения ординаты  $b$  можно использовать расчетную схему (рис. 34.2), на которой показаны два



Угловые координаты кривошипа в моменты начала  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода звена 5 можно найти аналитически с помощью формул

$$\varphi_{\text{нрх}} = 180^\circ - \arcsin\left(\frac{e}{AB + OA}\right); \quad \varphi_{\text{крх}} = -\arcsin\left(\frac{e}{AB - OA}\right). \quad (34.7)$$

Фактический угол  $\psi$  качания звена 5, который может отличаться от заданного из-за округления величины  $b$ , можно найти по формуле, вытекающей из уравнения (34.5)

$$\psi = \arctg \frac{(b - e)(f_{\text{max}} - f_{\text{min}})}{(b - e)^2 + f_{\text{max}} f_{\text{min}}}; \quad (34.8)$$

Отличие найденной величины  $\psi$  от заданной не должно превышать  $2^\circ$ .

## Кинематическая схема 35

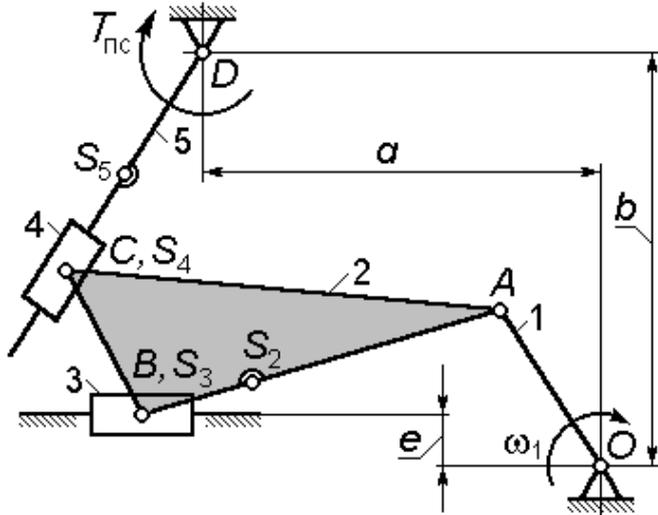


Рисунок 35.1

Заданы (рис. 35.1):  
 длина кривошипа  $OA$ ;  
 параметр  $e$ , определяющий положение направляющей ползуна 3;  
 параметры, определяющие положение центра шарнира  $C$  на шатуне  $AB$  - угол  $\angle ABC$  и размер  $BC$ ;  
 соотношение размеров звеньев  $a$ ,  $AB$  и  $OA$

$$AB = \alpha \cdot OA; \quad (35.1)$$

$$a = \alpha \cdot AB \quad (35.2)$$

(параметры  $\alpha$  и  $\beta$  заданы в виде диапазонов);

требуемый угол качания кулисы 5 -  $\psi$ .

Необходимо подобрать размер шатуна  $AB$  и величину ординаты  $b$  центра шарнира  $D$  так, чтобы обеспечить получение требуемого угла  $\psi$  с заданной точностью.

### Решение

Размеры  $AB$  и  $a$  находим из соотношений (35.1) и (35.2).

Для подбора подходящего значения размера  $b$  можно использовать:

- компьютерную среду САМАС; в этом случае ординате  $b$  задают ряд значений, для каждого из которых определяют величину угла качания  $\psi$  и таким образом подбирают подходящее значение  $b$ ;

- графический метод: для этого из бумаги вырезают два угловых шаблона с внутренними углами  $(\psi+2^\circ)$  и  $(\psi-2^\circ)$

и каждый из этих шаблонов поочередно пытаются поместить вершиной угла в такую точку  $D$  с абсциссой  $a$  (рис. 35.2), чтобы предварительно построенная траектория точки  $C$  поместилась внутри

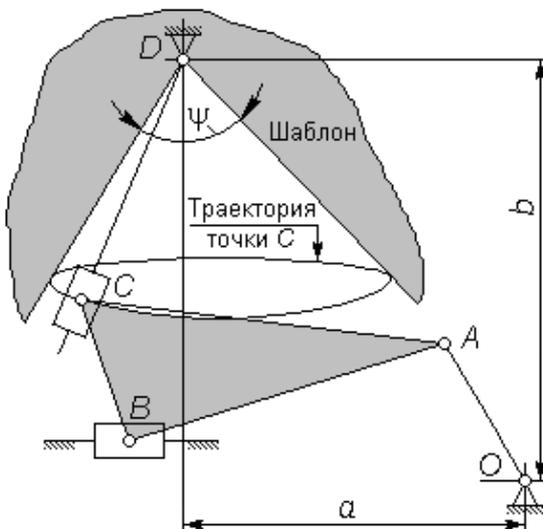


Рисунок 35.2

указанного угла и касалась его сторон. Таким образом, будут найдены два предельных положения точки  $D$  и соответственно два предельных значения искомого расстояния –  $b_{\max}$  и  $b_{\min}$ ; в качестве окончательного значения ординаты  $b$  можно принять любое, удовлетворяющее неравенству и  $b_{\max} \geq b \geq b_{\min}$ .

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в моменты начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода кулисы, а также фактическое значение  $\psi$  этого хода достаточно просто и точно можно определить в среде САМАС.

### Кинематическая схема 36

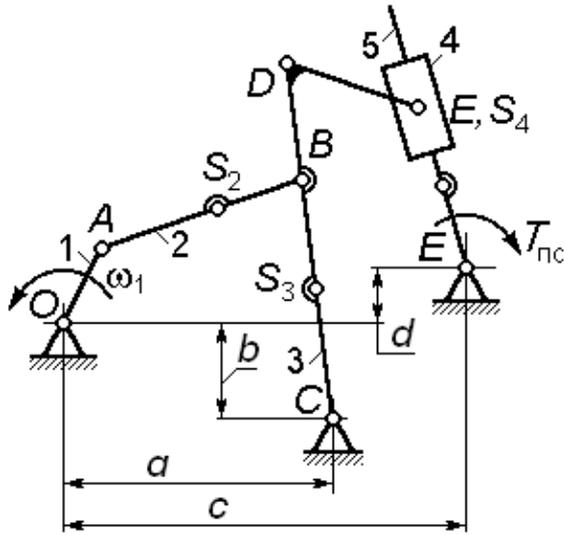


Рисунок 36.1

Заданы:

координаты центра шарнира  $C$  -  
размеры  $a$  и  $b$ ;

соотношение размеров  $OC$   
и  $OA$

$$OA = OC / \alpha; \quad (36.1)$$

соотношение размеров  $BD$   
и  $BC$

$$CD = \beta \cdot BC \quad (36.2)$$

(параметры  $\alpha$  и  $\beta$  заданы в виде диапазонов);

параметры, определяющие положение центра шарнира  $E$  на звене 3 – расстояние  $DE$  и угол  $\angle BDE$ .

Условие подбора длин звеньев  $AB$  и  $BC$  – угол  $\angle ABC$  должен иметь наименьшие возможные отклонения от  $90^\circ$  при  $AB \leq BC$ ;

угол  $\psi$  качания кулисы 5.

Требуется подобрать размеры  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$  и положение центра шарнира  $F$ ; абсцисса  $c$  точки  $F$  должна обеспечить вертикальность звена 5 в начале его рабочего хода, а ордината  $d$  – величину угла качания  $\psi$  (рис. 36.2).

### Решение

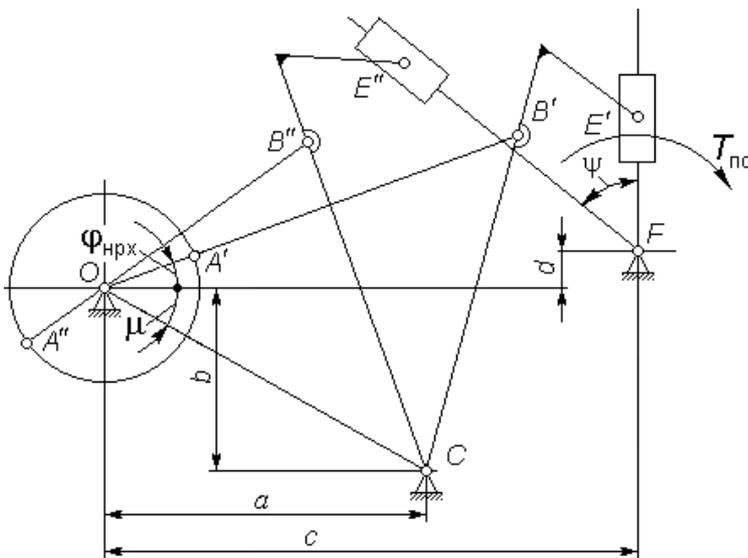


Рисунок 36.2

Вначале находим расстояние

$$OC = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (36.3)$$

и затем из диапазона, определяемого соотношением (36.1), выбираем подходящий размер  $OA$ .

Рассматривая на схеме механизма (рис. 36.1) изменяемую фигуру -  $\triangle ABC$ , видим, что угол  $\gamma = \angle ABC$  принимает предельное значение  $\gamma_{\max}$  при

$AC = AC_{\max} = OC + OA$  и соответственно  $\gamma_{\min}$  - при  
 $AC = AC_{\min} = OC - OA$ .

Полагая  $\gamma_{\min}^{\max} = 90^\circ \pm \delta$  (угол  $\delta$  пока неизвестен) для подбора длин  $AB$  и  $BC$ , удовлетворяющих условиям синтеза, составим уравнения

$$\left. \begin{aligned} AB^2 + BC^2 + 2 \cdot AB \cdot BC \cdot \sin \delta &= AC_{\max}^2 ; \\ AB^2 + BC^2 - 2 \cdot AB \cdot BC \cdot \sin \delta &= AC_{\min}^2 . \end{aligned} \right\} \quad (36.4)$$

Нетрудно показать, что система (36.4) не имеет решений при

$$\delta < \delta_{\min} = \arcsin \frac{AC_{\max}^2 - AC_{\min}^2}{AC_{\max}^2 + AC_{\min}^2} . \quad (36.5)$$

Отличие угла  $\gamma = \angle ABC$  от  $90^\circ$  составляет наименьшую возможную величину  $\delta = \delta_{\min}$  при

$$AB = BC = 0.5 \sqrt{AC_{\max}^2 + AC_{\min}^2} , \quad (36.6)$$

что можно считать искомым решением задачи подбора длин звеньев  $AB$  и  $BC$ .

Для нахождения пары приемлемых значений координат  $c$  и  $d$  центра шарнира  $F$  необходимо построить крайние положения звена  $BC$  (рис. 36.2) и соответствующие положения  $E'$  и  $E''$  точки  $E$  (при построении нужно принять во внимание соотношения –  $OB' = AB + OA$ ;  $OB'' = AB - OA$ ). Тогда для подбора приемлемого положения точки  $F$  можно применить такой прием: через точку  $E'$  проводим вертикальную прямую, а через точку  $E''$  проводим такую прямую, чтобы она пересекла первую под углом  $\psi$ . Точка пересечения построенных прямых и будет искомой точкой  $F$  – ее координаты  $c$  и  $d$  измеряются на чертеже и после возможного округления используются в дальнейшем в качестве окончательных значений.

Для подбора координат  $c$  и  $d$  точки  $F$  можно также использовать компьютерную среду САМАС; находят средствами этой среды наибольшее значение абсциссы точки  $E$  и принимают  $c = x_{E_{\max}}$ . Далее параметру  $d$  задают ряд значений и для каждого из них устанавливают соответствующий угол качания кулисы  $\psi$ , пока не подберут подходящей величины  $d$ .

Угол  $\varphi_{\text{нрх}}$ , определяющий положение кривошипа  $OA$  в момент начала рабочего хода кулисы 5, можно найти аналитически (рис. 36.2):

$$\angle COB' = \arccos \frac{(AB + OA)^2 + OC^2 - BC^2}{2(AB + OA)OC}; \quad (36.7)$$

$$\mu = \arctg \frac{b}{a}; \quad (36.8)$$

$$\varphi_{\text{нрх}} = \angle COB' - \mu. \quad (36.9)$$

Угол  $\varphi_{\text{крх}}$  для положения кривошипа  $OA$  в момент окончания рабочего хода можно найти по аналогичным формулам:

$$\angle COB'' = \arccos \frac{(AB - OA)^2 + OC^2 - BC^2}{2(AB - OA)OC}; \quad (36.10)$$

$$\varphi_{\text{крх}} = 180^\circ + \angle COB'' - \mu. \quad (36.11)$$

Фактический угол качания  $\psi$  кулисы 5 можно найти аналитически, но в силу сложности и громоздкости расчетных формул проще воспользоваться средствами САМАС.

### Кинематическая схема 37

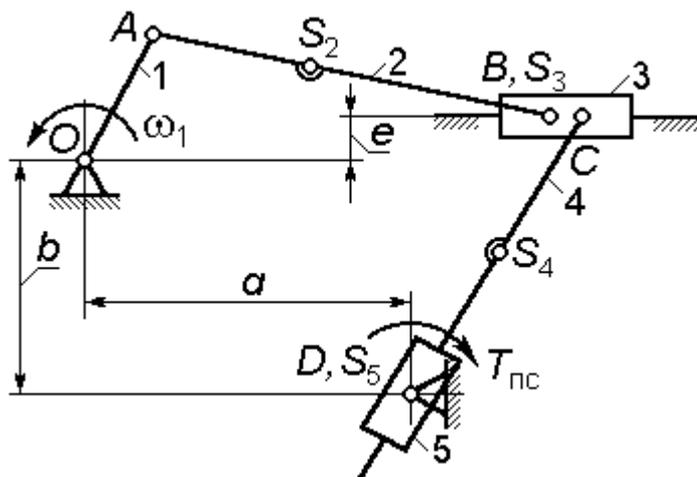


Рисунок 37.1

Заданы:  
 длина кривошипа  $OA$ ;  
 параметр  $e$ , определяющий положение направляющей ползуна 3;  
 размер  $BC$ , определяющий расстояние между центрами шарниров на ползуне 3;  
 соотношение размеров звеньев  $AB$  и  $OA$

$$AB = \alpha \cdot OA; \quad (37.1)$$

соотношение, задающее абсциссу  $a$  центра  $D$  качания кулисного камня 5

$$a = \beta \cdot OA \quad (37.2)$$

(параметры  $\alpha$  и  $\beta$  заданы в виде диапазонов);

условие подбора ординаты  $b$  центра качания  $D$  – получение максимально возможного угла качания  $\psi$ .

Необходимо подобрать размеры шатуна  $AB$  и координат  $a$  и  $b$  центра качания кулисы (точки  $D$ ).

### Решение

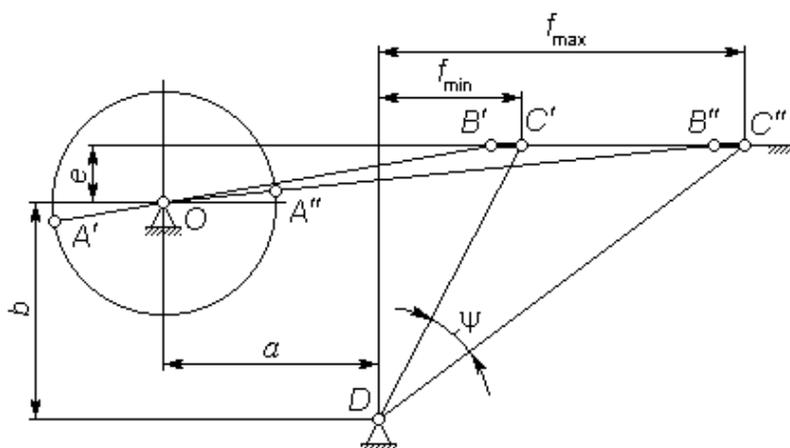


Рисунок 37.2

Из соотношения (37.1) находим размер  $AB$ , из (37.2) – значение параметра  $a$ .

Для подбора подходящего значения абсциссы  $b$  можно использовать расчетную схему (рис. 37.2), на которой показаны два крайних положения механизма, соответствующих крайним положениям звена 5. Поскольку  $OA' = OA'' = OA$ ,  $A'B' = A''B'' = AB$  и  $B'C' = B''C'' = BC$ , то из этой схемы можно найти для указанных положений параметры  $f_{\max}$  и  $f_{\min}$ :

$$f_{\max} = \sqrt{(AB + OA)^2 - e^2} + BC - a, \quad (37.3)$$

$$f_{\min} = \sqrt{(AB - OA)^2 - e^2} + BC - a; \quad (37.4)$$

тогда для вычисления угла  $\psi$  можно записать формулу

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\frac{f_{\max} - f_{\min}}{b+e}}{1 + \frac{f_{\max} \cdot f_{\min}}{b+e}}, \quad (37.5)$$

или

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{(b+e)(f_{\max} - f_{\min})}{(b+e)^2 + f_{\max} f_{\min}}; \quad (37.6)$$

функция  $\psi = \psi(b)$ , определяемая равенством (37.6), имеет максимум при  $\frac{d\psi}{db} = 0$ , или, как показывает анализ этой производной, при

$$b = \sqrt{f_{\max} f_{\min}} - e. \quad (37.7)$$

Найденное значение размера  $b$  является искомым решением задачи синтеза; допускается округление размера.

Углы  $\varphi_{\text{нрх}}$  и  $\varphi_{\text{крх}}$ , определяющие положения кривошипа  $OA$  в моменты начала и окончания рабочего хода звена 5 можно найти аналитически:

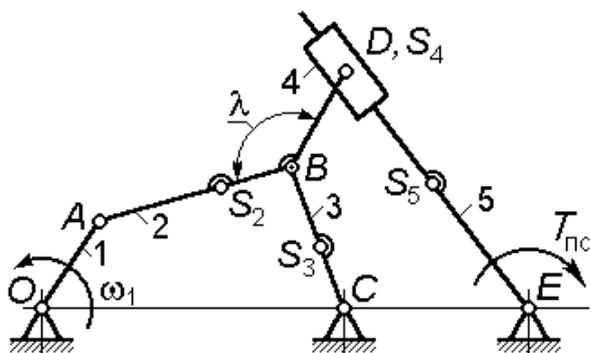
$$\varphi_{\text{нрх}} = \operatorname{arctg} \left( \frac{e}{AB + OA} \right), \quad (37.8)$$

при отрицательном -

$$\varphi_{\text{нрх}} = 180^\circ + \operatorname{arctg} \left( \frac{e}{AB - OA} \right). \quad (37.9)$$

Для нахождения фактического значения угла  $\psi$  можно использовать (37.6), подставляя в нее округленное значение ординаты  $b$ .

### Кинематическая схема 38



Заданы:  
 длина кривошипа  $OA$ ;  
 параметры, определяющие положение центра шарнира  $D$  на шатуне – угол  $\lambda$  и размер  $BD$ ;  
 соотношение размеров  $OC$  и  $OA$

$$OC = \alpha \cdot OA; \quad (38.1)$$

соотношение размеров  $CE$  и  $OC$

$$CE = \beta \cdot OC \quad (38.2)$$

(параметры  $\alpha$  и  $\beta$  заданы в виде диапазонов).

Необходимо подобрать размеры звеньев  $OC$ ,  $AB=BC$ ,  $CE$  и при этом обеспечить, чтобы средняя за время цикла величина угла передачи  $\angle ABC$  была равна  $\gamma_m \pm 1^\circ$ .

### Решение

Размеры  $OC$  и  $CE$  находим из соотношений (38.1) и (38.2).

Для нахождения приемлемых размеров  $AB$  и  $BC$  рассмотрим на схеме механизма изменяемую фигуру –  $\triangle ABC$ ; очевидно, что угол  $\gamma = \angle ABC$  принимает предельные значения

$$\gamma_{\max}^{\min} = \gamma_m \pm \Delta \quad (38.3)$$

(угол  $\Delta$  пока неизвестен) при

$$AC_{\max}^{\min} = OC \pm OA; \quad (38.4)$$

тогда на основании теоремы косинусов можно для этого треугольника записать соотношения

$$\left. \begin{aligned} AB^2 + BC^2 + 2 \cdot AB \cdot BC \cdot \cos(\gamma_m + \Delta) &= AC_{\max}^2; \\ AB^2 + BC^2 - 2 \cdot AB \cdot BC \cdot \cos(\gamma_m - \Delta) &= AC_{\min}^2. \end{aligned} \right\} \quad (38.5)$$

Обозначим

$$\lambda = AC_{\max} / AC_{\min}; \quad (38.6)$$

при  $AB = BC$  решение (38.5) можно найти в виде

$$\Delta = 2 \operatorname{arctg} \left( \frac{\lambda - 1}{\lambda + 1} \operatorname{tg} \frac{\gamma_m}{2} \right); \quad (38.7)$$

$$AB = BC = 0.5 \sqrt{\frac{AC_{\max}^2 - AC_{\min}^2}{\sin \gamma_m \sin \Delta}}. \quad (38.8)$$

Округление рассчитанных значений  $AB$  и  $BC$  могут потребовать проверки фактической величины  $\gamma_m$ :

$$\gamma_{\max} = \arccos \frac{AB^2 + BC^2 - AC_{\max}^2}{2 \cdot AB \cdot BC}; \quad (38.9)$$

$$\gamma_{\min} = \arccos \frac{AB^2 + BC^2 - AC_{\min}^2}{2 \cdot AB \cdot BC}; \quad (38.10)$$

$$\gamma_m = \frac{\gamma_{\min} + \gamma_{\max}}{2}. \quad (38.11)$$

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в момент начала  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода кулисы 5, а также величину ее хода  $\psi$  можно найти только приближенно – либо графически, либо средствами компьютерной среды САМАС.

### Кинематическая схема 39

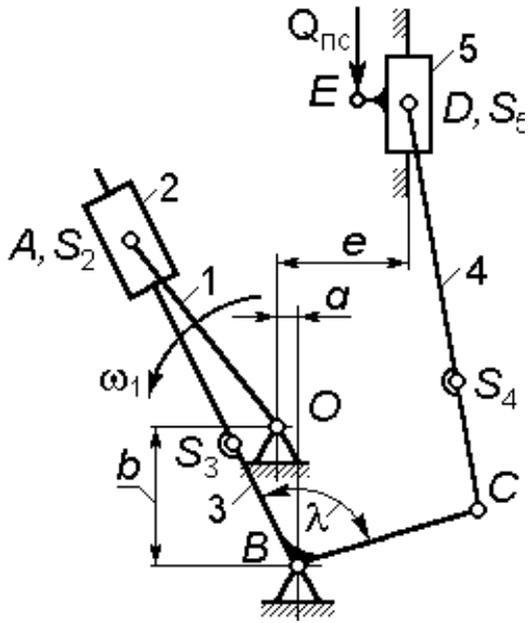


Рисунок 39.1

Заданы:  
 координаты  $a$  и  $b$  центра шарнира  $B$ ;  
 параметры, определяющие положение  
 добавочной точки  $C$  на кулисе 3 –  
 размер  $BC$  и угол  $\angle ABC = \lambda$ ;

соотношения для размеров  $OB$ ,  
 $OA$ ,  $e$  и  $BC$

$$OA = \alpha \cdot OB; \quad (39.1)$$

$$e = \beta \cdot BC \quad (39.2)$$

(параметры  $\alpha$  и  $\beta$  заданы в виде диа-  
 пазонов);

длину шатуна  $CD$  назначить так,  
 чтобы угол его давления на ползун 5  
 не превышал заданной максимально

допустимой величины  $\alpha_{\max}$ .

Необходимо подобрать размеры  $OA$ ,  $e$  и  $CD$ .

### Решение

Найдем размер  $OB$

$$OB = \sqrt{a^2 + b^2}, \quad (39.3)$$

а затем –  $OA$  из соотношения (39.1) и  $e$  –  
 из (39.2); тогда для выбора длины  $CD$   
 можно воспользоваться неравенством

$$CD \geq \frac{e - a + BC}{\sin \alpha_{\max}}. \quad (39.4)$$

На рис. 39.2 показано положение ме-  
 ханизма в момент начала рабочего хода  
 звена 5. Угол  $\varphi_{\text{нрх}}$ , соответствующий это-  
 му положению, найдем с помощью формул

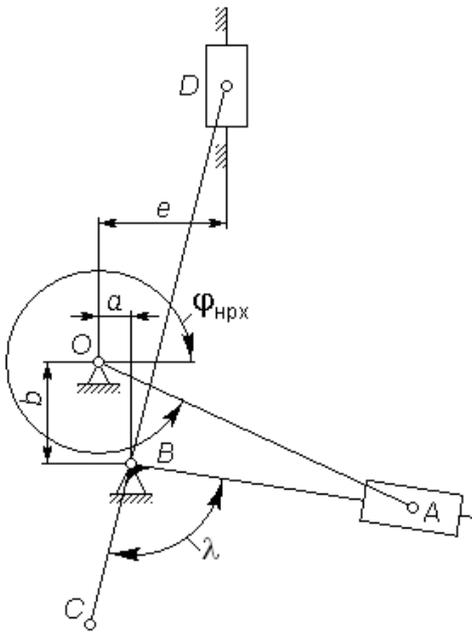


Рисунок 39.2

$$\mu = \arcsin\left(\frac{e-a}{CD-BC}\right); \quad (39.5)$$

$$\varphi_{\text{нрх}} = 270^\circ + \lambda - \mu - \arcsin\left(\frac{b \sin(\lambda - \mu) - a \cos(\lambda - \mu)}{OA}\right). \quad (39.6)$$

Для положения, определяющего окончание рабочего хода механизма, угол  $\varphi_{\text{нрх}}$  можно найти по аналогичным формулам:

$$\mu = \arcsin\left(\frac{e-a}{CD+BC}\right); \quad (39.7)$$

$$\varphi_{\text{крх}} = 90^\circ + \lambda - \mu + \arcsin\left(\frac{b \sin(\lambda - \mu) - a \cos(\lambda - \mu)}{OA}\right). \quad (39.8)$$

Величина рабочего хода звена 5

$$H_5 = \sqrt{(CD+BC)^2 - (e-a)^2} - \sqrt{(CD-BC)^2 - (e-a)^2}. \quad (39.9)$$

## Кинематическая схема 40

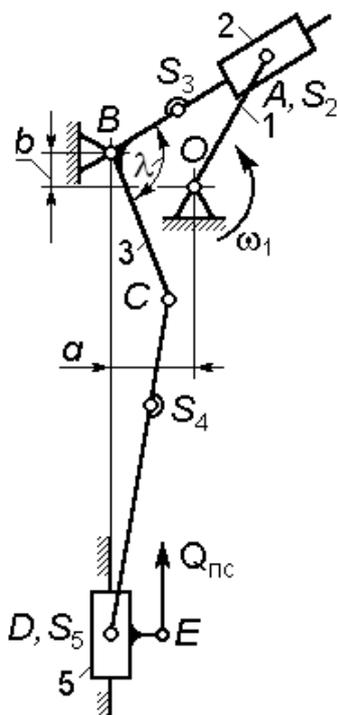


Рисунок 40.1

Заданы:

координаты  $a$  и  $b$  центра шарнира  $B$ ;

параметры, определяющие положение добавочной точки  $C$  на кулисе 3 – размер  $BC$  и угол  $\angle ABC = \lambda$ ;

соотношение для размеров  $OB$  и  $OA$

$$OA = \alpha \cdot OB; \quad (40.1)$$

(параметр  $\alpha$  задан как диапазон);

длину шатуна  $CD$  назначить так, чтобы угол его давления на ползун 5 не превышал заданной максимально допустимой величины  $\alpha_{\max}$ .

Необходимо подобрать размеры  $OA$  и  $CD$ .

### Решение

Найдем размер  $OB$

$$OB = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (40.2)$$

и затем –  $OA$  из соотношения (40.1).

Для подбора длины  $CD$  воспользуемся неравенством

$$CD \geq BC / \sin \alpha_{\max}; \quad (40.3)$$

в качестве окончательного пригодно любое значение  $CD$ , удовлетворяющее неравенству (40.3).

На рис. 40.2 показано положение механизма в момент начала рабочего хода ползуна 5. Угол  $\varphi_{\text{нрх}}$ , определяющий соответствующее положение кривошипа, можно найти аналитически:

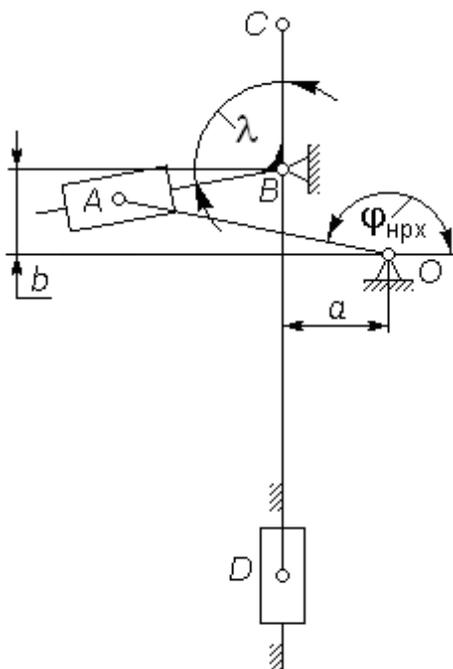


Рисунок 40.2

текущее значение расстояния  $h$  центра  $O$  вращения кривошипа  $OA$  до линии кулисы  $AB$

$$h = b \sin \lambda - a \cos \lambda; \quad (40.4)$$

текущее значение угла  $\angle OAB = \gamma$

$$\gamma = \arcsin(h/OA); \quad (40.5)$$

искомый угол

$$\varphi_{\text{нрх}} = 90^\circ + \lambda - \gamma. \quad (40.6)$$

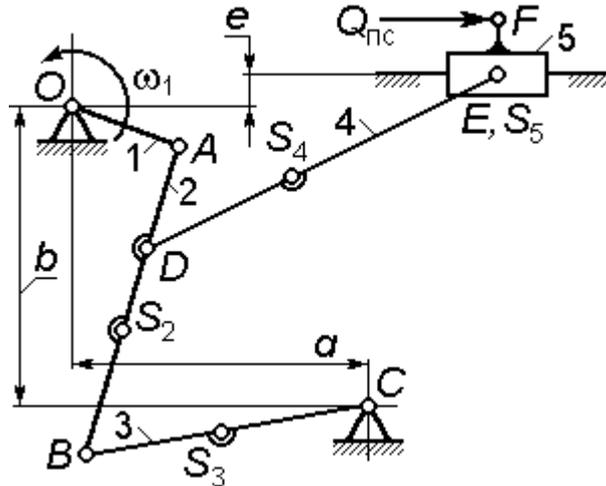
Угол  $\varphi_{\text{крх}}$ , определяющий положения кривошипа  $OA$  в момент окончания рабочего хода ползуна 5 также можно определить аналитически; текущие значения расстояния  $h$  и угла  $\gamma$  находим по тем же формулам (40.4) и (40.5), а угол  $\varphi_{\text{крх}}$  – по формуле

$$\varphi_{\text{крх}} = \lambda + \gamma - 90^\circ. \quad (40.7)$$

Величина рабочего хода ползуна 5

$$H = 2BC. \quad (40.8)$$

### Кинематическая схема 41



Заданы:

координаты центра шарнира  $C$  – размеры  $a$  и  $b$ ;

смещение направляющей ползуна 5 –  $e$ ;

соотношение размеров  $OC$  и  $OA$

$$OA = OC/\alpha; \quad (41.1)$$

соотношение размеров  $AD$  и  $AB$

$$AD = \beta \cdot AB; \quad (41.2)$$

(параметры  $\alpha$  и  $\beta$  заданы в виде диапазонов);

условие подбора длин звеньев  $AB$  и  $BC$  – среднее за цикл значение угла  $\angle ABC$  должно быть равно  $\gamma_m$  при соблюдении равенства  $AB = BC$ ;

длина шатуна  $DE$  должна быть подобрана так, чтобы угол его давления на ползун 5 (угол наклона шатуна к направляющей) не превышал заданной величины  $\alpha_{\max}$ .

Необходимо подобрать размеры  $OA$ ,  $AB$ ,  $BC$ ,  $AD$ ,  $DE$ .

### Решение

Вначале находим размер

$$OC = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (41.3)$$

и затем выбираем подходящее значение  $OA$  из диапазона, определяемого соотношением (41.1).

Рассматривая на схеме механизма изменяемую фигуру –  $\Delta ABC$ , видим, что угол  $\angle ABC = \gamma$  принимает предельное значение  $\gamma_{\max}$  при  $AC = AC_{\max} = OC + OA$  и значение  $\gamma_{\min}$  – при  $AC = AC_{\min} = OC - OA$ . Очевидно, что для подбора длин  $AB$  и  $BC$ , удовлетворяющих условиям синтеза, можно использовать уравнения:

$$\begin{cases} AB^2 + BC^2 - 2 \cdot AB \cdot BC \cdot \cos \gamma_{\max} = AC_{\max}^2; \\ AB^2 + BC^2 - 2 \cdot AB \cdot BC \cdot \cos \gamma_{\min} = AC_{\min}^2. \end{cases} \quad (41.4)$$

Обозначим

$$\lambda = \frac{AC_{\max}}{AC_{\min}}. \quad (41.5)$$

Считая, что углы  $\gamma_{\max}$  и  $\gamma_{\min}$  отличаются от среднего значения  $\gamma_m$  на одну и ту же (пока неизвестную) величину  $\Delta$ , т.е.  $\gamma_{\max} = \gamma_m \pm \Delta$ , и при этом  $AB = BC$ , то решение системы (41.4) может быть найдено в виде

$$\Delta = 2 \operatorname{arctg} \left( \frac{\lambda - 1}{\lambda + 1} \operatorname{tg} \frac{\gamma_m}{2} \right); \quad (41.6)$$

$$AB = BC = 0.5 \sqrt{\frac{AC_{\max}^2 - AC_{\min}^2}{\sin \gamma_m \sin \Delta}}. \quad (41.7)$$

Округление размеров  $AB$  и  $BC$  вызывает необходимость проверки фактического значения  $\gamma_m$ :

$$\gamma_{\max} = \arccos \frac{AB^2 + BC^2 - AC_{\max}^2}{2 \cdot AB \cdot BC}; \quad (41.8)$$

$$\gamma_{\min} = \arccos \frac{AB^2 + BC^2 - AC_{\min}^2}{2 \cdot AB \cdot BC}; \quad (41.9)$$

$$\gamma_m = \frac{\gamma_{\min} + \gamma_{\max}}{2}. \quad (41.10)$$

Отличие найденной величины  $\gamma_m$  от заданной не должно превышать одного градуса.

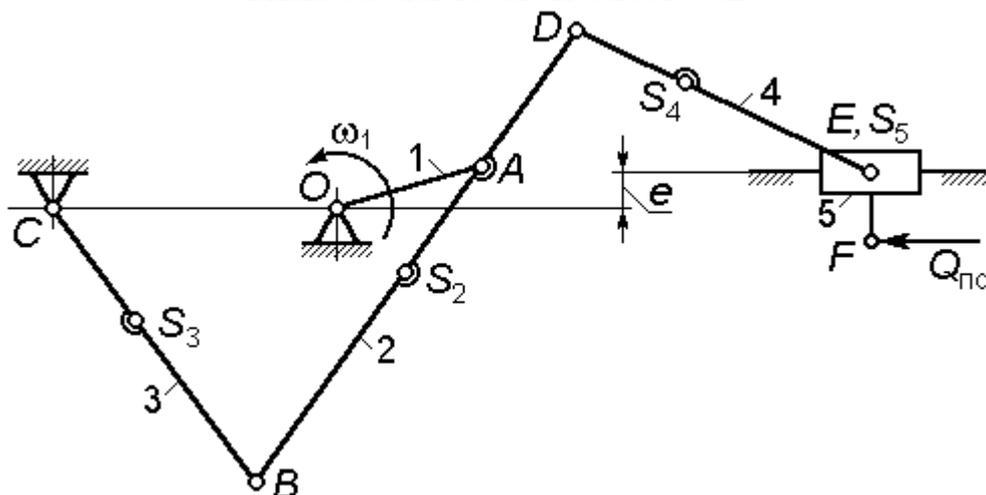
По выполнении этих расчетов находим из (41.2) подходящее значение  $AD$ .

Для подбора размера  $DE$  необходимо определить величину наибольшего по абсолютной величине удаления  $h_{D_{\max}}$  центра шарнира  $D$  от горизонтальной направляющей ползуна 5; это можно сделать либо графически, вычертив в подходящем масштабе траекторию точки  $D$  и замерив ее наибольшее удаление от направляющей, либо используя компьютерную среду САМАС. В качестве окончательного значения длины шатуна можно взять любое, удовлетворяющее неравенству

$$DE \geq \frac{h_{D_{\max}}}{\sin \alpha_{\max}}. \quad (41.11)$$

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в моменты начала  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода ползуна 5, а также величину  $H_5$  этого хода можно найти либо графически, либо с помощью компьютерной среды САМАС.

## Кинематическая схема 42



Заданы:

длина шатуна 2 –  $AB$ ;

длина коромысла 3 –  $BC$ ;

соотношение размеров  $AD$  и  $AB$

$$AD = \alpha \cdot AB$$

(42.1)

(параметр  $\alpha$  задан в виде диапазона);

условие подбора длины кривошипа  $OA$  и межосевого расстояния  $OC$ : угол передачи  $\gamma = \angle ABC$  при работе механизма должен изменяться в заданных пределах  $[\gamma_{\min} \dots \gamma_{\max}]$ ;

длина шатуна  $DE$  должна быть подобрана так, чтобы угол его давления на ползун 5 (угол наклона шатуна к направляющей) не превышал величины  $\alpha_{\max}$ .

Необходимо подобрать размеры  $OA$ ,  $OC$ ,  $AD$ ,  $DE$ .

### Решение

Размер  $AD$  найдем из соотношения (42.1).

Рассматривая геометрию изменяемой фигуры –  $\triangle ABC$ , можно заметить следующее:

$$\left. \begin{aligned} AC_{\max} &= \sqrt{AB^2 + BC^2 - 2AB \cdot BC \cos \gamma_{\max}}; \\ AC_{\min} &= \sqrt{AB^2 + BC^2 - 2AB \cdot BC \cos \gamma_{\min}}. \end{aligned} \right\} \quad (42.2)$$

Поскольку  $AC_{\max} = OC \pm OA$ , то результаты расчета по формулам (42.2) можно использовать для выбора размеров  $OA$  и  $OC$ :

$$\left. \begin{aligned} OC &= (AC_{\max} + AC_{\min})/2; \\ OA &= (AC_{\max} - AC_{\min})/2. \end{aligned} \right\} \quad (42.3)$$

Если результаты расчетов по формулам (42.3) округлялись, то фактические значения предельных величин углов передачи следует проверить по формулам

$$\left. \begin{aligned} \gamma_{\max} &= \arccos \frac{AB^2 + BC^2 - (OC + OA)^2}{2AB \cdot BC}; \\ \gamma_{\min} &= \arccos \frac{AB^2 + BC^2 - (OC - OA)^2}{2AB \cdot BC}. \end{aligned} \right\} \quad (42.4)$$

Найденные здесь значения должны находиться в пределах заданного диапазона этих углов.

Для подбора размера  $DE$  необходимо определить величину наибольшего по абсолютной величине удаления  $h_{D_{\max}}$  центра шарнира  $D$  от горизонтальной направляющей ползуна 5; это можно сделать либо графически, вычертив в подходящем масштабе траекторию точки  $D$  и замерив ее наибольшее удаление от направляющей, либо используя компьютерную среду САМАС. В качестве окончательного значения длины шатуна можно взять любое, удовлетворяющее неравенству

$$DE \geq \frac{h_{D_{\max}}}{\sin \alpha_{\max}}. \quad (42.4)$$

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в моменты начала  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода ползуна 5, а также величину  $H_5$  этого хода можно найти либо графически, либо с помощью компьютерной среды САМАС.

### Кинематическая схема 43

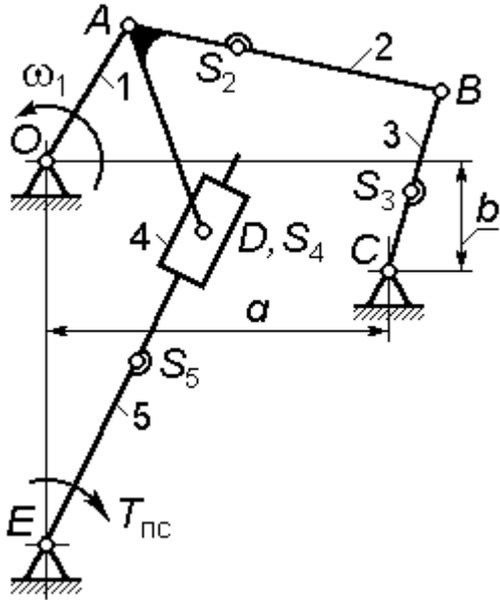


Рисунок 43.1

Заданы:  
 координаты центра шарнира  $C$  –  
 размеры  $a$  и  $b$ ;  
 соотношение размеров  $OC$  и  $OA$   
 $OA = OC / \alpha$ ; (43.1)  
 (параметр  $\alpha$  задан в виде диапазона);  
 параметры, определяющие поло-  
 жение центра шарнира  $D$  на звене 2 –  
 угол  $\angle BAD$  и соотношение размеров  
 $AD$  и  $OA$   
 $AD = \beta \cdot OA$ ; (43.2)  
 условия подбора длин звеньев  $AB$  и  
 $BC$ : среднее за цикл значение угла пе-  
 редачи  $\angle ABC = \gamma$  должно быть равно

$\gamma_m$  при соблюдении равенства  $AB = BC$  ;  
 угол  $\psi$  качания кулисы 5.

Требуется подобрать размеры  $OA$ ,  $AB$ ,  $BC$ ,  $AD$  и положение цен-  
 тра шарнира  $E$  (расстояние  $OE$ ).

### Решение

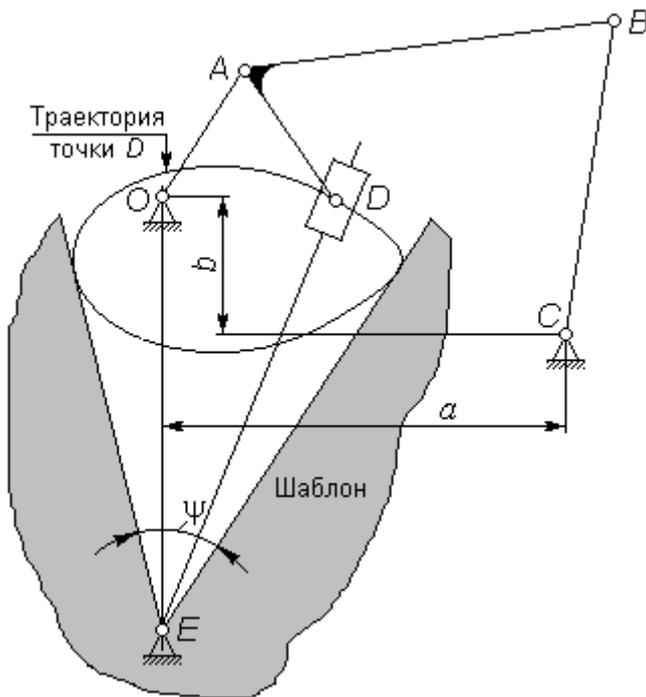


Рисунок 43.2

Вначале находим расстоя-  
 ние

$$OC = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (43.3)$$

и затем выбираем подходящий  
 размер  $OA$  из диапазона, опре-  
 деляемого соотношением (43.1).

Рассматривая на схеме ме-  
 ханизма (рис. 43.1) изменяе-  
 мую фигуру  $\triangle ABC$ , видим, что  
 угол  $\gamma = \angle ABC$  принимает  
 предельное значение  $\gamma_{\max}$  при  
 $AC = AC_{\max} = OC + OA$  и дру-  
 гое предельное значение  $\gamma_{\min}$  –  
 при  $AC = AC_{\min} = OC - OA$ .

Очевидно, что для подбора

длин  $AB$  и  $BC$ , удовлетворяющих условиям синтеза, можно использовать уравнения:

$$\begin{cases} AB^2 + BC^2 - 2 \cdot AB \cdot BC \cdot \cos \gamma_{\max} = AC_{\max}^2 ; \\ AB^2 + BC^2 - 2 \cdot AB \cdot BC \cdot \cos \gamma_{\min} = AC_{\min}^2 , \end{cases} \quad (43.4)$$

где углы  $\gamma_{\max} = \gamma_m \pm \Delta$  (угол  $\Delta$  пока неизвестен).

Обозначим

$$\lambda = \frac{AC_{\max}}{AC_{\min}}, \quad (43.5)$$

тогда решение системы (43.4), при  $AB = BC$ , найдем в виде

$$\Delta = 2 \operatorname{arctg} \left( \frac{\lambda - 1}{\lambda + 1} \operatorname{tg} \frac{\gamma_m}{2} \right); \quad (43.6)$$

$$AB = BC = 0.5 \sqrt{\frac{AC_{\max}^2 - AC_{\min}^2}{\sin \gamma_m \sin \Delta}}. \quad (43.7)$$

Округление рассчитанных значений  $AB$  и  $BC$  могут потребовать проверки фактической величины  $\gamma_m$ :

$$\gamma_{\max} = \arccos \frac{AB^2 + BC^2 - AC_{\max}^2}{2 \cdot AB \cdot BC}; \quad (43.8)$$

$$\gamma_{\min} = \arccos \frac{AB^2 + BC^2 - AC_{\min}^2}{2 \cdot AB \cdot BC}; \quad (43.9)$$

$$\gamma_m = \frac{\gamma_{\min} + \gamma_{\max}}{2}. \quad (43.10)$$

Найденная по (43.10) величина  $\gamma_m$  не должна отличаться от заданной более чем на  $1^\circ$

Для подбора подходящего значения размера  $OE$  можно использовать компьютерную среду САМАС; в этом случае параметру  $OE$  задают ряд значений, для каждого из них определяют величину угла качания  $\psi$  и таким образом подбирают подходящую величину  $OE$ ;

Можно также воспользоваться графическим методом: для этого из бумаги вырезают два угловых шаблона с внутренними углами  $(\psi + 2^\circ)$  и  $(\psi - 2^\circ)$  и каждый из этих шаблонов поочередно пытаются поместить вершиной угла в такую точку  $E$  (рис. 43.2), чтобы траекто-

рия точки  $D$  (предварительно построенная) поместилась внутри указанного угла и касалась его сторон. Таким образом, будут найдены два предельных положения точки  $E$  и соответственно два предельных значения искомого расстояния –  $OE_{\max}$  и  $OE_{\min}$ ; в качестве окончательного значения размера  $OE$  можно принять любое, удовлетворяющее неравенству  $OE_{\max} \geq OE \geq OE_{\min}$ .

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в моменты начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода кулисы, а также фактическое значение  $\psi$  этого хода наиболее просто и в то же время достаточно точно можно определить в компьютерной среде САМАС.

### Кинематическая схема 44

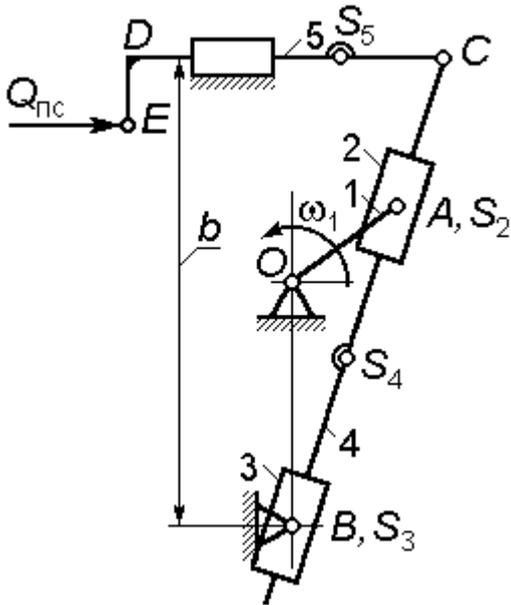


Рисунок 44.1

Требуется подобрать размеры  $OA$ ,  $OB$  и  $b$ .

Заданы (рис. 44.1 и 44.2):

$H$  – величина хода штока 5;

$K_v$  – коэффициент изменения средней скорости хода штока:

$$K_v = \varphi_p / \varphi_x, \quad (44.1)$$

где  $\varphi_p$  и  $\varphi_x$  – углы поворота кривошипа 1 за время рабочего и холостого ходов штока 5 соответственно;

соотношение размеров звеньев

$$OB + OA = \beta \cdot b \quad (44.2)$$

(коэффициент  $\beta$  задан в виде диапазона).

### Решение

На рис. 44.2 показана расчетная схема для определения требуемых размеров.

Кривошип  $OA$  за время рабочего хода ползуна 5 поворачивается на угол  $\varphi_p$ , а за время холостого хода - на угол  $\varphi_x$ ; тогда из соотношений

$$K_v = \frac{\varphi_p}{\varphi_x}, \quad \varphi_p + \varphi_x = 360^\circ \quad (44.3)$$

найдем эти углы:

$$\varphi_x = \frac{360^\circ}{1 + K_v}; \quad \varphi_p = K_v \varphi_x. \quad (44.4)$$

Т.к.  $C'C'' = H$ , то из  $\Delta BC'C''$  найдем ординату направляющей штока 5

$$b = 0.5 H \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_x}{2}\right). \quad (44.5)$$

Поскольку из  $\triangle OA'B$  следует соотношение

$$\frac{OA}{OB} = \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right), \quad (44.6)$$

то из (44.2) и (44.6) найдем межосевое расстояние  $OB$  и длину кривошипа  $OA$

$$\begin{cases} OB = \frac{\beta \cdot b}{1 + \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right)}; \\ OA = OB \cdot \cos\left(\frac{\varphi_x}{2}\right). \end{cases} \quad (44.7)$$

Размер  $OB$  допускает округление в пределах, определяемых диапазоном  $\beta$ .

Принятые значения размеров желательно проверить на соответствие заданным условиям синтеза: коэффициент изменения средней скорости хода  $K_v$  и фактическая величина  $H$  хода штока 5, определяемые из формул

$$\varphi_x = 2 \arccos\left(\frac{OA}{OB}\right); \quad K_v = \frac{360^\circ - \varphi_x}{\varphi_x}; \quad H = \frac{2b}{\operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_x}{2}\right)}. \quad (44.8)$$

не должны отличаться от заданных более, чем на 2%.

Угловые координаты кривошипа  $OA$  в момент начала –  $\varphi_{\text{нрх}}$  и окончания –  $\varphi_{\text{крх}}$  рабочего хода ползуна

$$\varphi_{\text{нрх}} = 270^\circ + \frac{\varphi_x}{2}; \quad \varphi_{\text{крх}} = 270^\circ - \frac{\varphi_x}{2}. \quad (44.9)$$

В формулы (44.9) следует подставлять  $\varphi_x$  из (44.8).

## Список литературы

1. Теория механизмов и машин: учебн. пособие для вузов /К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов и др.; Под редакцией К.В. Фролова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 664 с.
2. Тимофеев Г.А. Теория механизмов и машин: курс лекций / Г.А. Тимофеев. – М.: Высшее образование, 2009. – 352с.
3. Белоконев И.М. теория механизмов и машин. Конспект лекций: учебн. пособие для вузов / И.М. Белоконев, С.А. Балан, К.И. Белоконев. – 2-е изд. исп. и доп. – М.: Дрофа, 2004. – 172 с.
4. Теория механизмов и машин: учебн. Пособие / Б.И. Гурьев, Л.С. Кутушева, Л.Л. Русак, А.Я. Садыкова, Р.Ш. Хабибуллина. – Уфа: УГАТУ, 2008. – 114с.
5. Анализ и синтез зубчатых, рычажных и кулачковых механизмов: Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Теория механизмов и машин» (пример выполнения курсовой работы) / Уфимск. гос. авиац. технич. ун-т; Сост.: Б.И. Гурьев, Л.С. Кутушева, Л.Л. Русак. – Уфа, 2009. – 68с.
6. Теория механизмов и машин: Методические указания и контрольные задания для студентов очно-заочной и заочной формы обучения технических специальностей / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост.: Б.И.Гурьев, О.Ф.Васильева, Л.Л.Русак, А.Я.Садыкова, Р.Ш.Хабибуллина. – Уфа, 2004. - 92 с.

Составители: ГУРЬЕВ Борис Иванович,  
КУТУШЕВА Людмила Сергеевна,  
РУСАК Людмила Леонидовна

ПОДБОР ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ЗВЕНЬЕВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ  
РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Методические указания  
по выполнению курсовой работы  
по дисциплине «Теория механизмов и машин»

Подписано к печати . Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman

Усл. печ. л. Уч.-изд. л.

Тираж экз. Заказ №

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический уни-  
верситет

Центр оперативной полиграфии УГАТУ  
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12