

2027



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Теория механизмов и машин»

П.П. Анципорович
В.К. Акулич
Е.М. Дубовская

СИНТЕЗ КРИВОШИПНО-ПОЛЗУННЫХ МЕХАНИЗМОВ

Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию
для студентов механических специальностей

Минск 2006

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра "Теория механизмов и машин"

П.П. Анципорович
В.К. Акулич
Е.М. Дубовская

**СИНТЕЗ
КРИВОШИПНО-ПОЛЗУННЫХ
МЕХАНИЗМОВ**

Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию
для студентов механических специальностей

Минск 2006

УДК 621.01(075.8)

ББК 34.41 я 7

А 74

Рецензенты:

А.Т. Скойбеда, М.В. Логачёв

Анципорович, П.П.

А 74 Синтез кривошипно-ползунных механизмов: учебно-метод. пособие по курсовому проектированию для студентов механических специальностей / П.П. Анципорович, В.К. Акулич, Е.М. Дубовская – Мн.: БНТУ, 2006. – 22 с.

ISBN 985-479-418-0.

В пособии рассматриваются основные геометрические характеристики кривошипно-ползунных механизмов, их влияние на качество работы машин. Приведены примеры синтеза механизмов.

Рекомендуется студентам механических специальностей.

УДК 621.01(075.8)

ББК 34.41 я 7

ISBN 985-479-418-0

© Анципорович П.П., Акулич В.К.,
Дубовская Е.М., 2006

© БНТУ, 2006

Содержание

1. Основные метрические характеристики кривошипно-ползунных механизмов.	4
2. Задачи синтеза. Условия синтеза.	5
3. Примеры синтеза кривошипно-ползунных механизмов. ...	9
Л и т е р а т у р а.	22

1. ОСНОВНЫЕ МЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИВОШИПНО-ПОЛЗУННЫХ МЕХАНИЗМОВ

Кривошипно-ползунные механизмы (КПМ) находят в машинах широкое применение в силу своей простоты и высокой надежности. Это основные механизмы двигателей внутреннего сгорания, компрессоров, прессового оборудования и т. п. В большинстве своём они предназначены для преобразования вращательного движения кривошипа 1 в возвратно-поступательное движение ползуна 3 (рис.1). В ряде случаев, например, в двигателях внутреннего сгорания, они служат для преобразования возвратно-поступательного движения ползуна во вращательное движение кривошипа. Основными метрическими характеристиками КПМ являются:

- а) длина кривошипа $l_1 = l_{OA}$;
- б) длина шатуна $l_2 = l_{AB}$;
- в) смещение (эксцентриситет) направляющих ползуна e .

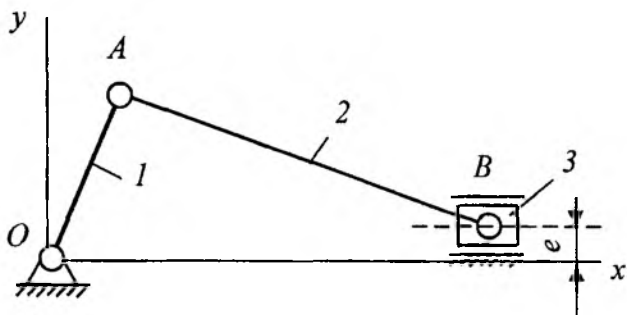


Рис. 1

При задании входных параметров синтеза часто используют относительные размеры $\lambda = l_1/l_2$ и $\varepsilon = e/l_1$.

Из рис. 2 видно, что ползун находится в крайних положениях тогда, когда кривошип OA и шатун AB складываются или вытягиваются в одну линию. При этом расстояние H – полный ход ползуна.

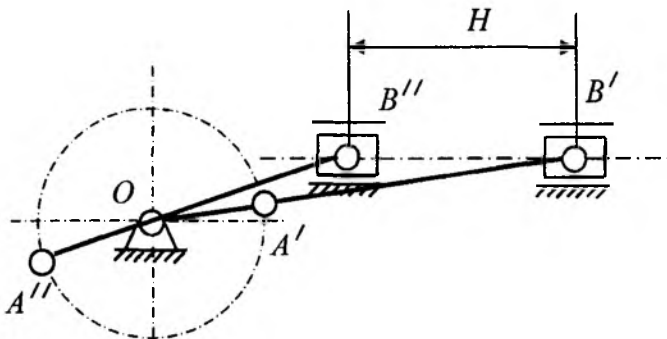


Рис. 2

2. ЗАДАЧИ СИНТЕЗА. УСЛОВИЯ СИНТЕЗА

При метрическом синтезе механизмов необходимо определить основные размеры схемы. Выбор оптимального варианта кинематической схемы является важнейшим этапом проектирования механизмов. При этом приходится учитывать условия геометрии, кинематики, динамики, технологичности и др. К таким условиям, часто встречающимся в конструкторской практике, относятся следующие:

- а) условие проворачиваемости кривошипа;
- б) условия передачи сил звеньям механизма;
- в) отношение времени прямого и обратного ходов механизма;
- г) ход ведомого звена;
- д) закономерности изменения скорости и др.

Условие проворачиваемости. Это условие заключается в том, что должна обеспечиваться возможность непрерывного перехода звена из одного заданного положения в другое, поскольку между двумя заданными положениями может оказаться промежуточное, в котором движение звеньев невозможно.

В КПМ (см. рис. 1) условие проворачиваемости кривошипа 1 имеет вид

$$l_1 + e < l_2.$$

Кривошип не сможет совершить полный оборот вокруг оси O , если $l_2 < l_1 + e$.

Условие передачи сил. Данное условие, позволяющее получить высокий коэффициент полезного действия механизма, регулируют с помощью углов давления.

Угол давления – угол между направлением вектора движущей силы, приложенной к ведомому звену, и вектором скорости точки приложения этой силы. Собственно говоря, угол давления – это угол θ между векторами движущей силы и её полезной составляющей (рис. 3)

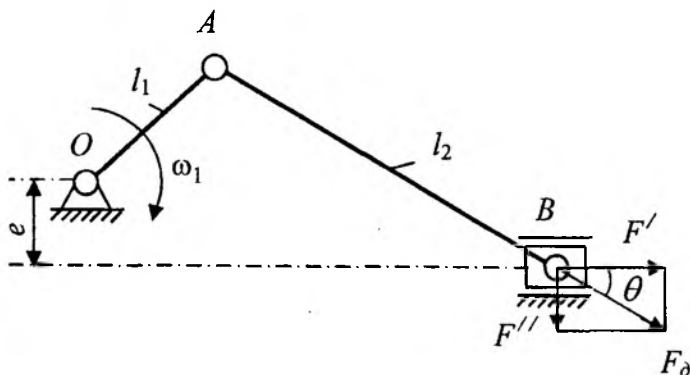


Рис. 3

При синтезе рычажных механизмов рекомендуется для рабочих ходов $\theta \leq 30^\circ$, для холостых ходов $\theta \leq 45^\circ$.

В КПМ угол θ можно уменьшить, увеличивая длину шатуна l_2 и влияя на эксцентриситет e . При наличии эксцентриситета максимальные углы давления будут разными при прямом и обратном ходах ползуна. Экстремальные значения углов давления имеют место в тех положениях, когда кривошип перпендикулярен линии движения ползуна (рис. 4):

$$\theta'_{max} = \arcsin \frac{l_1 + e}{l_2};$$

$$\theta_{max}'' = \arcsin \frac{l_1 - e}{l_2}.$$

При $e = 0$ $\theta_{max} = \arcsin \frac{l_1}{l_2} = \arcsin \lambda.$

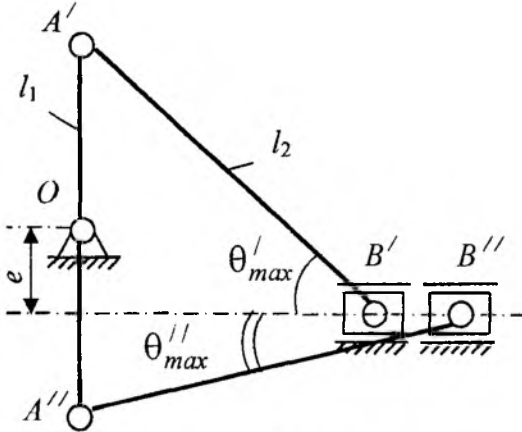


Рис. 4

Таким образом, в механизме с эксцентриситетом угол давления θ при прямом ходе можно уменьшить за счёт его увеличения при обратном ходе. Для машин с КПМ, у которых рабочий процесс осуществляется на части прямого хода, а обратный ход, начало и конец прямого хода являются холостыми, схема внецентренного механизма более рациональна, чем центрального.

Коэффициент изменения средней скорости выходного звена.

Для увеличения производительности машины нужно, чтобы время рабочего хода было больше времени холостого. В КПМ это осуществляется введением эксцентриситета e .

Из рис. 5 видно, что при равномерном вращении кривошипа время движения ползуна влево (t_x) и вправо (t_p) различное:

$$t_x = \frac{\varphi_x}{\omega_1};$$

$$t_p = \frac{\varphi_p}{\omega_1}.$$

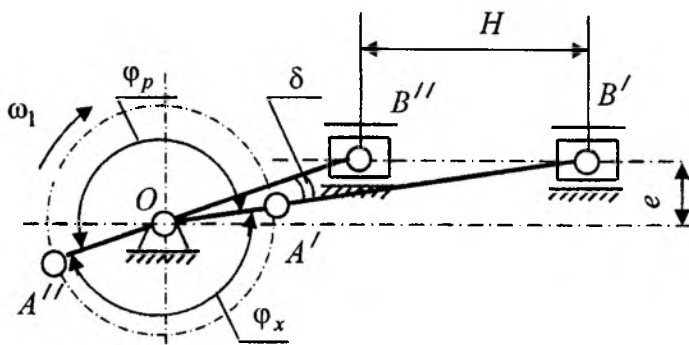


Рис. 5

Отношение средней скорости выходного звена на холостом и рабочем ходах называется коэффициентом изменения средней скорости выходного звена

$$K_V = \frac{V_{Bx}}{V_{Bp}} = \frac{H t_p}{t_x H} = \frac{\varphi_p \omega_1}{\omega_1 \varphi_x} = \frac{\varphi_p}{\varphi_x}$$

$$\text{или } K_V = \frac{180^\circ + \delta}{180^\circ - \delta},$$

где δ - угол перекрытия, равный $\delta = 180^\circ \cdot \frac{K_V - 1}{K_V + 1}$.

Путём оптимального подбора геометрических, кинематических и динамических параметров схемы механизма можно получить наиболее приемлемые эксплуатационные характеристики, связанные с конкретным технологическим процессом, для обслуживания которого предназначен тот или иной механизм.

3. ПРИМЕРЫ СИНТЕЗА КРИВОШИПНО-ПОЛЗУННЫХ МЕХАНИЗМОВ

Пример 1. Спроектировать КПМ (рис. 6), для которого заданы входные параметры:

- а) $V_{B\text{ ср}}$ (м/с) - средняя скорость движения ползуна;
- б) n_1 (об/мин) - частота вращения кривошипа 1;
- в) $e = 0$ - эксцентриситет;
- г) θ_{max} - максимальный угол давления.

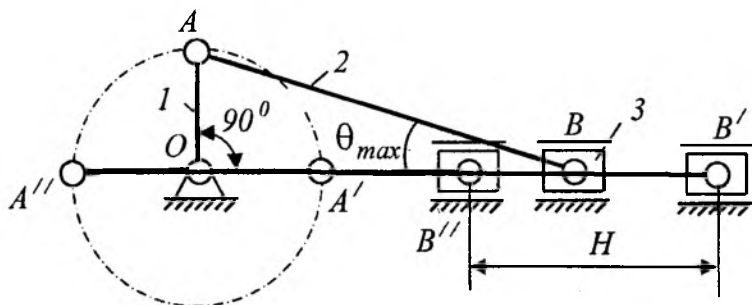


Рис. 6

Так как за один оборот кривошипа 1 $V_{B\text{ ср}} = \frac{2H}{T}$, где

$T = \frac{60}{n_1}$ - время одного оборота (период), то ход ползуна

$$H = \frac{30 V_{B\text{ ср}}}{n_1}.$$

Так как $e = 0$, то $l_1 = 0,5 H$.

Из $\triangle OAB$ находим

$$l_2 = \frac{l_1}{\sin \theta_{\text{max}}}.$$

Частным случаем рассмотренного примера является задание входных параметров H , λ и $e = 0$.

Так как при $e = 0$
$$\sin \theta_{max} = \frac{l_1}{l_2} = \lambda,$$

то используются следующие формулы:

$$l_1 = 0,5H, \quad l_2 = \frac{l_1}{\lambda}.$$

Пример 2. Спроектировать КПМ (рис. 7), для которого заданы входные параметры:

- а) H - ход ползуна;
- б) $\lambda = l_1 / l_2$;
- в) $\varepsilon = e / l_1$.

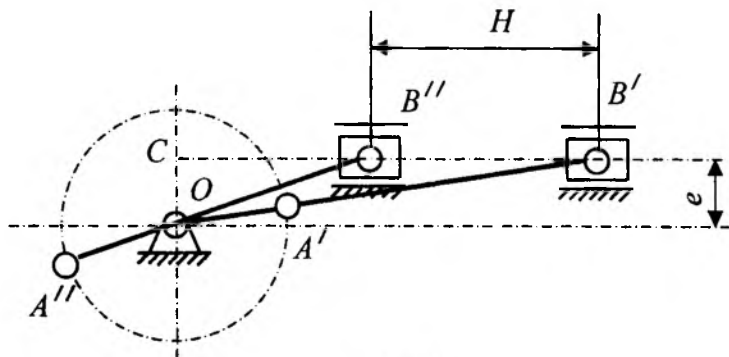


Рис. 7

Из $\triangle OCB''$ и $\triangle OCB'$ ход ползуна равен

$$H = CB' - CB'' = \sqrt{(l_2 + l_1)^2 - e^2} - \sqrt{(l_2 - l_1)^2 - e^2}.$$

Так как $l_1 = \lambda l_2$, $e = \varepsilon l_1 = \varepsilon \lambda l_2$, то длина шатуна

$$l_2 = \frac{H}{\sqrt{(1+\lambda)^2 - \varepsilon^2 \lambda^2} - \sqrt{(1-\lambda)^2 - \varepsilon^2 \lambda^2}};$$

длина кривошипа $l_1 = \lambda l_2$;

эксцентриситет $e = \varepsilon l_1$.

Пример 3. Спроектировать КПМ (рис. 8), для которого заданы входные параметры:

- H - ход ползуна;
- $\theta_{p \max}$ - максимальный угол давления на рабочем ходу;
- $\theta_{x \max}$ - максимальный угол давления на холостом ходу.

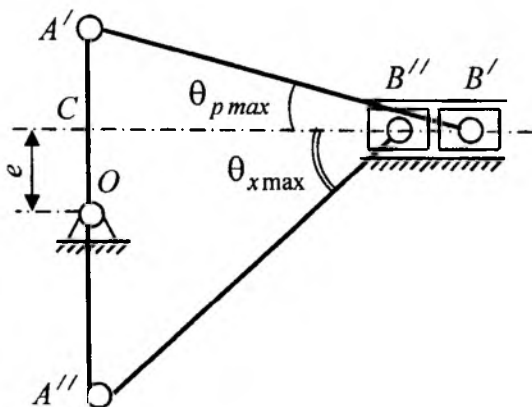


Рис. 8

Так как из $\triangle CA'B'$ и $\triangle CA''B''$

$$\sin \theta_{x \max} = \frac{l_1 + e}{l_2} = \lambda + \varepsilon \lambda = \lambda (1 + \varepsilon);$$

$$\sin \theta_{p \max} = \frac{l_1 - e}{l_2} = \lambda - \varepsilon \lambda = \lambda (1 - \varepsilon),$$

то $\lambda = (\sin \theta_{x \max} + \sin \theta_{p \max}) / 2,$

$$\varepsilon = (\sin \theta_{x \max} - \sin \theta_{p \max}) / 2.$$

Далее по известным параметрам H , λ и ε производится определение l_2 , l_1 , e (см. пример 2):

$$l_2 = \frac{H}{\sqrt{(1+\lambda)^2 - \varepsilon^2 \lambda^2} - \sqrt{(1-\lambda)^2 - \varepsilon^2 \lambda^2}};$$

$$l_1 = \lambda l_2;$$

$$e = \varepsilon l_1.$$

Пример 4. Спроектировать КПМ (рис. 9), для которого заданы входные параметры:

а) H_T - технологический ход ползуна;

б) φ_{1T} - угол поворота кривошипа, при котором ползун совершает ход H_T ;

в) $\lambda = l_1 / l_2$;

г) $e = 0$.

Из $\triangle OAB$ находим угол θ :

$$\frac{\sin \theta}{\sin \varphi_{1T}} = \frac{l_1}{l_2} = \lambda; \quad \theta = \arcsin (\lambda \sin \varphi_{1T}).$$

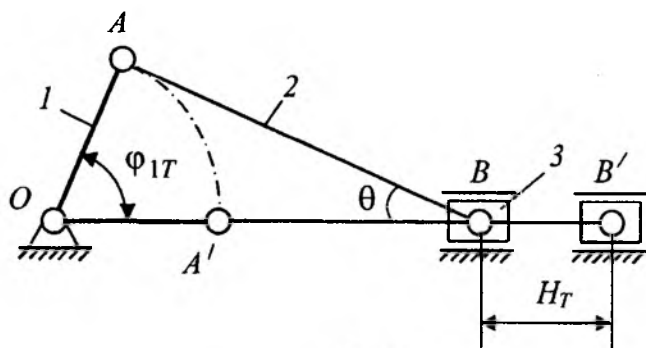


Рис. 9

Так как

$$H_T = l_{OB'} - l_{OB} = (l_2 + l_1) - (l_1 \cos \varphi_{1T} + l_2 \cos \theta),$$

то с учётом того, что $l_2 = \frac{l_1}{\lambda}$, находим

$$l_1 = \frac{\lambda H_T}{1 + \lambda (1 - \cos \varphi_{1T}) - \cos \theta}.$$

Тогда

$$l_2 = \frac{l_1}{\lambda}.$$

Пример 5. Спроектировать КПМ (рис. 10), для которого заданы входные параметры:

- H - ход ползуна;
- K_V - коэффициент изменения средней скорости ползуна;
- $\lambda = l_1 / l_2$.

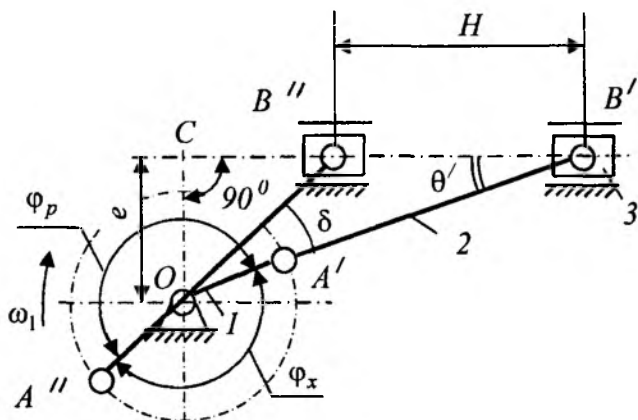


Рис. 10

Из формулы

$$K_V = \frac{\varphi_p}{\varphi_x} = \frac{180^\circ + \delta}{180^\circ - \delta}$$

находим

$$\delta = 180^\circ \cdot \frac{K_V - 1}{K_V + 1}$$

Изображаем схему механизма в крайних положениях $OA'B'$ и $OA''B''$. Из $\triangle OB'B''$ имеем

$$H^2 = (l_2 + l_1)^2 + (l_2 - l_1)^2 - 2(l_2 + l_1)(l_2 - l_1) \cos \delta,$$

откуда, учитывая, что $l_2 = \frac{l_1}{\lambda}$, находим

$$l_1 = \frac{\lambda H}{\sqrt{2[1 + \lambda^2 - (1 - \lambda^2) \cos \delta]}}$$

Тогда
$$l_2 = \frac{l_1}{\lambda}.$$

Из $\triangle OVB' C$

$$e = (l_2 + l_1) \sin \theta',$$

а из $\triangle OVB' B''$

$$\frac{l_2 - l_1}{H} = \frac{\sin \theta'}{\sin \delta},$$

откуда
$$\sin \theta' = \frac{(l_2 - l_1) \sin \delta}{H}.$$

В результате находим

$$e = \frac{(l_2^2 - l_1^2) \sin \delta}{H}.$$

Пример 6. Спроектировать КПМ (рис. 11), для которого заданы входные параметры:

- а) H - ход ползуна;
- б) e - смещение направляющих ползуна;
- в) K_V - коэффициент изменения средней скорости ползуна.

Из формулы

$$K_V = \frac{\varphi_p}{\varphi_x} = \frac{180^\circ + \delta}{180^\circ - \delta}$$

находим
$$\delta = 180^\circ \cdot \frac{K_V - 1}{K_V + 1}.$$

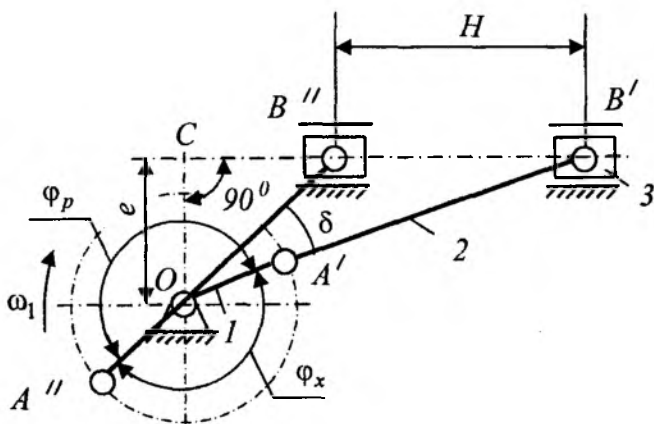


Рис. 11

Изображаем схему механизма в крайних положениях $OA'B'$ и $OA''B''$. Из $\triangle OB'B''$ имеем

$$H^2 = (l_2 + l_1)^2 + (l_2 - l_1)^2 - 2(l_2 + l_1)(l_2 - l_1)\cos\delta. \quad (1)$$

Выражаем площадь $\triangle OB'B''$ двумя способами и приравниваем:

$$\frac{1}{2}He = \frac{1}{2}(l_2 + l_1)(l_2 - l_1)\sin\delta. \quad (2)$$

В результате из уравнений (1) и (2) находим

$$l_1 = 0,5H \sqrt{1 - \frac{2e(1 - \cos\delta)}{H \sin\delta}};$$

$$l_2 = 0,5H \sqrt{1 + \frac{2e(1 + \cos\delta)}{H \sin\delta}}$$

Пример 7. Спроектировать КГМ (рис. 12), для которого заданы входные параметры:

- а) H - ход ползуна;
- б) $\theta_{p \max}$ - максимальный угол давления на рабочем ходу;
- в) $\lambda = l_1 / l_2$.

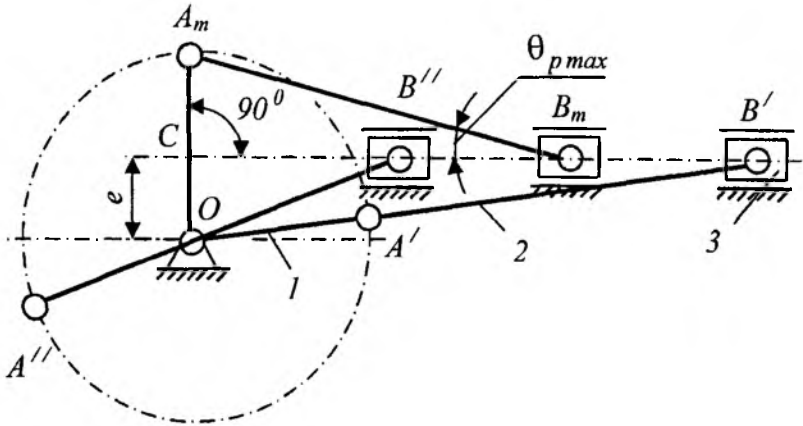


Рис. 12

Изображаем схему механизма в крайних положениях $OA'B'$ и $OA''B''$, а также в положении A_mB_m , в котором угол давления $\theta = \theta_{p \max}$. Из ΔA_mB_mC выражаем

$$\sin \theta_{p \max} = \frac{l_1 - e}{l_2},$$

откуда находим отношение $\frac{e}{l_1} = \varepsilon$:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\sin \theta_{p \max}}{\lambda}.$$

Из $\Delta OB'C$ и $\Delta OB''C$ выражаем

$$H = \sqrt{(l_2 + l_1)^2 - e^2} - \sqrt{(l_2 - l_1)^2 - e^2},$$

откуда, учитывая, что $l_2 = \frac{l_1}{\lambda}$ и $e = \varepsilon l_1$, находим

$$l_1 = \frac{\lambda H}{\sqrt{(1+\lambda)^2 - \varepsilon^2 \lambda^2} - \sqrt{(1-\lambda)^2 - \varepsilon^2 \lambda^2}}.$$

Тогда $l_2 = \frac{l_1}{\lambda};$

$$e = \varepsilon l_1.$$

Пример 8. Спроектировать КПМ (рис. 13), для которого заданы входные параметры:

- а) H - ход ползуна;
- б) L_{\max} ;
- в) $\lambda = l_1/l_2$.

Изображаем схему механизма в крайних положениях $OA'B'$ и $OA''B''$. Из $\Delta OB'C$ имеем

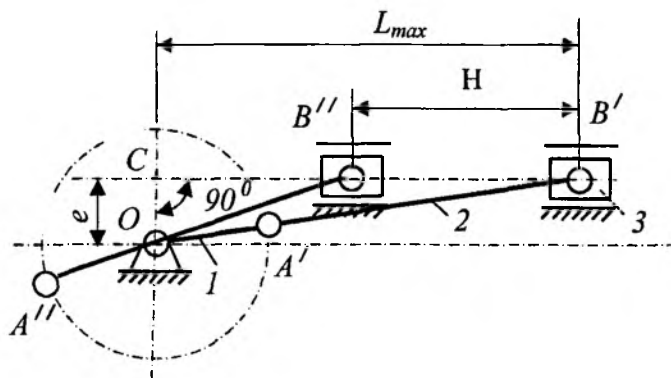


Рис. 13

$$(l_2 + l_1)^2 = L_{max}^2 + e^2, \quad (3)$$

а из $\triangle OB''C$

$$(l_2 - l_1)^2 = (L_{max} - H)^2 + e^2. \quad (4)$$

Из выражений (3) и (4) с учётом того, что $l_2 = \frac{l_1}{\lambda}$, находим

$$l_1 = 0,5 \sqrt{\lambda H (2L_{max} - H)}.$$

Тогда $l_2 = \frac{l_1}{\lambda},$

$$e = \sqrt{(l_2 + l_1)^2 - L_{max}^2}.$$

Пример 9. Спроектировать КПМ (см. рис. 10), для которого заданы входные параметры:

- а) V_{Bcp}^p - средняя скорость ползуна на рабочем ходу;
- б) n_1 (об/мин) - частота вращения кривошипа;
- в) K_V - коэффициент изменения средней скорости ползуна;
- г) $\lambda = l_1/l_2$.

Из соотношений

$$\frac{\varphi_p}{\varphi_x} = K_V \quad \text{и} \quad \varphi_p + \varphi_x = 2\pi$$

выражаем
$$\varphi_p = \frac{2\pi K_V}{K_V + 1}. \quad (5)$$

Средняя скорость ползуна на рабочем ходу

$$V_{Bcp}^p = \frac{H}{t_p}, \quad (6)$$

где t_p - время рабочего хода.

Так как

$$t_p = \frac{\varphi_p}{\omega_1} = \frac{30\varphi_p}{\pi n_1}, \quad (7)$$

то из выражения (6) с учётом соотношений (5) и (7) находим

$$H = \frac{60 K_V V_{Bcp}^p}{n_1 (K_V + 1)}.$$

Таким образом, рассматриваемая задача сводится к случаю, когда заданы H , λ и K_V (см. пример 5). В результате получаются следующие расчётные формулы:

$$l_1 = \frac{\lambda H}{\sqrt{2[1 + \lambda^2 - (1 - \lambda^2) \cos \delta]}};$$

$$l_2 = \frac{l_1}{\lambda}; \quad e = \frac{(l_2^2 - l_1^2) \sin \delta}{H},$$

где
$$\delta = 180^\circ \cdot \frac{K_V - 1}{K_V + 1}.$$

Литература

1. Попов С.А., Тимофеев Г.А. Курсовое проектирование по теории механизмов и механике машин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2002. – 411 с.
2. Теория механизмов и машин: Проектирование / Под ред. О.И. Кульбачного. – М.: Высшая школа, 1970. – 287 с.
3. Теория механизмов и механика машин / К.В. Фролов С.А. Попов, А.К. Мусатов и др. – 3-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2001. – 496 с.

Учебное издание

АЩИПОРОВИЧ Петр Петрович
АКУЛИЧ Валерий Константинович
ДУБОВСКАЯ Елена Михайловна

СИНТЕЗ
КРИВОШИПНО-ПОЛЗУННЫХ
МЕХАНИЗМОВ

Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию
для студентов механических специальностей

Технический редактор Л.Д. Мартынюк
Компьютерная верстка А.Г. Гармазы

Подписано в печать 30.01.2006.

Формат 60x84 1/16. Бумага. офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,3. Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 500. Заказ 108.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Независимости, 65.