

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королева»

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Методические указания к лабораторной работе

Самара 2007

УДК 621.01 (075)

Составители: Н.П. Коробова, Б.А. Куликов, В.И. Журавлев

Кинематический анализ рычажных механизмов: метод. указания / сост. Н.П. Коробова, Б.А. Куликов, В.И. Журавлев. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2007. – 15 с.: ил.

Содержат вопросы кинематики рычажных механизмов, задания для выполнения лабораторной работы.

Рекомендованы студентам инженерно-технических специальностей всех форм обучения.

Подготовлены на кафедре основ конструирования машин.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета.

Рецензент: С.В. Фалалеев

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Цель кинематического анализа рычажных механизмов – изучение движения звеньев механизмов вне зависимости от сил, действующих на эти звенья. При этом решаются следующие три задачи:

1. Определение положений звеньев и траекторий движения точек этих звеньев.
2. Определение угловых скоростей звеньев и линейных скоростей их точек.
3. Определение угловых ускорений звеньев и линейных ускорений их точек.

Существует два способа решения этих задач: *графический* и *аналитический*.

Графические методы кинематического исследования механизмов обладают наглядностью и отличаются удобством контроля. Графические методы становятся затруднительными, если требуется провести большой объём однообразных построений и не могут быть использованы непосредственно, если расчёты требуется провести с высокой точностью и проанализировать влияние параметров на кинематику.

К достоинствам *аналитического* метода можно также отнести возможность анализировать влияние параметров на кинематику. Недостатки аналитического метода (сложность уравнений и последующей отладки программы на ЭВМ) можно компенсировать использованием отлаженных программ расчёта, которые будут рассмотрены в дальнейшем.

Аналитический метод кинематического исследования

Рычажный механизм – механизм, звенья которого образуют вращательные и поступательные кинематические пары. Примером такого механизма является кривошипно-ползунный механизм.

На кафедре основ конструирования машин разработана программы расчёта кинематики центрального кривошипно-ползунного механизма, представленного на [рисунке 1](#). При вводе в программу длины кривошипа l_{OA} , длины шатуна l_{AB} и угловой скорости входного звена ω_1 , программа рассчитывает угол поворота кривошипа φ , проекцию положения X_B точки В на ось x , проекцию скорости V_B точки В шатуна, проекцию ускорения W_B точки В шатуна.

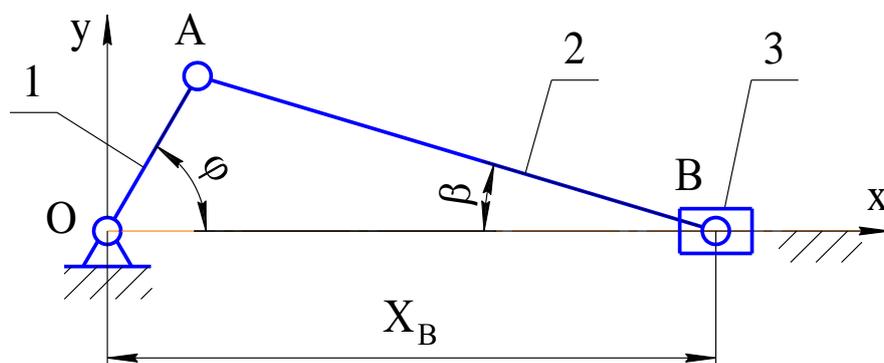


Рисунок 1 – Схема центрального кривошипно-ползунного механизма

Графический метод кинематического исследования

Первая задача кинематического исследования решается методом засечек. Вторая и третья задачи решаются построением планов скоростей и ускорений.

Так как речь пойдет о графическом построении, то всегда будет вставать вопрос о масштабах. В отличие от машиностроительных масштабов в ТММ используются *масштабные коэффициенты*, рассчитываемые как отношение действительного значения физической величины в собственных ей единицах измерения (система СИ) к отрезку (в мм), изображающему её на чертеже.

Изображение кинематической схемы механизма в выбранном масштабе, соответствующее определённому положению начального звена, называется *планом механизма*.

Масштаб длины плана механизма определяет размеры отрезков, изображающих длину звеньев и координаты точек звеньев. Масштабный коэффициент длины обозначают через μ_l с единицей – м/мм.

Например, $\mu_l = \frac{\lambda_{OA}}{OA}, \frac{м}{мм}$. Для определения числового значения отрезков размеры соответствующих звеньев в «м» необходимо разделить на выбранный масштабный коэффициент длины μ_l , например,

$$AB = \frac{\lambda_{AB}}{\mu_l}, \text{ мм.}$$

Кинематические расчёты рычажных механизмов основаны на теоремах теоретической механики о сложном составном движении тел. Зависимости между характеристиками абсолютного, переносного и относительного движения точки или звена, записанные в векторной форме, представляются в виде планов скоростей и ускорений механизма, выполняемых в соответствующих масштабах, позволяющих

получать числовые значения той или иной характеристики движения.

Терема сложения скоростей при сложном движении гласит: абсолютная скорость \bar{V}_a точки равна геометрической сумме переносной \bar{V}_e и относительной \bar{V}_r скоростей этой точки: $\bar{V}_a = \bar{V}_e + \bar{V}_r$.

Планом скоростей называется геометрическая фигура, из одной точки которой, называемой полюсом p , выходят векторы абсолютных скоростей характерных точек механизма, а отрезки, соединяющие концы векторов, относительные скорости соответствующих точек в данном положении звена.

Построение плана скоростей начинают с входного звена. Скорость любой точки входного звена направлена по касательной к траектории движения. Траектория движения точки A – дуга окружности радиуса λ_{OA} .

Для входного звена определяют линейную скорость точки A

$$V_A = \omega_1 \lambda_{OA}, \text{ м/с.}$$

Вектор скорости \bar{V}_A перпендикулярен звену OA и направлен в сторону вращения входного звена.

$$\text{Масштабный коэффициент плана скоростей } \mu_V = \frac{V_A}{pa}, \frac{\text{м/с}}{\text{мм}}.$$

Длина отрезка \bar{pa} , изображает на плане скоростей вектор скорости \bar{V}_A .

Для 7-го положения кривошипно-ползунного механизма ([рисунок 2](#)) построим план скоростей и ускорений.

Скорость точки B определяют из векторного уравнения

$$\underline{\bar{V}}_B = \underline{\bar{V}}_A + \underline{\bar{V}}_{BA}.$$

|| $OB \perp OA \perp BA$

Это векторное уравнение решается, если оно содержит не более двух неизвестных. Если известны траектории, описываемые точками A и B в абсолютном движении, то направление всех скоростей в этом уравнении определено: по касательной к траектории движения. Необходимо знать модуль скорости только одной из точек (например, $|\bar{V}_A|$). В векторных уравнениях одной чертой подчеркивают векторы, известные по направлению, двумя – известные по величине и по направлению.

На [рисунке 2, б](#) показан план скоростей для 7 положения механизма.

План ускорений строим (рисунок 2, в) в той же последовательности, что и план скоростей, т.е. вначале рассматриваем входное звено ОА, а затем группу Ассура 2₂₂ (звенья 2-3).

При равномерном вращении кривошипа ($\omega_1 = \text{const}$) ускорение точки А определится как

$$W_A = W_{AO}^n = \omega_1^2 \lambda_{OA}, \text{ м/с}^2.$$

при этом $W_{AO}^\tau = 0$, так как $\varepsilon_1 = 0$.

При равномерном вращении кривошипа (рисунок 2, а) полное ускорение точки А будет нормальным.

Рассматриваемое ускорение центростремительное и направлено вдоль звена ОА к центру вращения, т.е. от точки А к точке О.

$$\text{Масштабный коэффициент плана ускорений } \mu_W = \frac{W_A}{\pi a}, \frac{\text{м/с}^2}{\text{мм}}.$$

Длина отрезка $\overline{\pi a}$ в мм, изображает на плане ускорений вектор ускорения \overline{W}_A .

Ускорение точки В определяют из векторного уравнения

$$\overline{W}_B = \overline{W}_A + \overline{W}_{BA}^n + \overline{W}_{BA}^\tau.$$

$$\|BO \quad \|OA \quad \|BA \quad \perp BA$$

Величина нормального ускорения

$$W_{BA}^n = \frac{V_{BA}^2}{\lambda_{BA}}; \quad \overline{an}_2 = \frac{W_{BA}^n}{\mu_W}.$$

Ускорение точки S₂ находят по теореме подобия.

Значения полных, относительных и угловых ускорений точек и звеньев определяют через отрезки плана ускорений:

$$W_B = \overline{\pi b} \cdot \mu_W; \quad W_{BA}^\tau = \overline{n_2 b} \cdot \mu_W; \quad \varepsilon_2 = \frac{W_{BA}^\tau}{\lambda_{BA}}.$$

Направления угловых ускорений определяют тем же методом, что и угловые скорости (через вектор касательного ускорения относительного движения точек В).

Теорема подобия. План ускорений звена подобен плану звена и повернут относительно него на угол $180^\circ - \alpha$ в сторону углового ускорения звена, где угол α – угол между абсолютным ускорением и его нормальной составляющей (рисунок 2, г).

Проектирование кривошипно-ползунного механизма

Исходные данные:

Длина кривошипа – $l_{OA} = 0,16$ м.

Длина шатуна – $l_{AB} = 0,48$ м.

Угловая скорость входного звена – $\omega_1 = 39,8$ с⁻¹.

Результаты расчёта представлены в [таблице 1](#).

Таблица 1 – Результаты расчёта механизма

Угол поворота кривошипа φ , град	Проекция положения точки В X_B , м	Проекция скорости поршня В V_B , м/с	Проекция ускорения поршня В W_B , м/с ²
0,0	0,6400	0,0	-337,93
30,0	0,6119	-4,1031	-261,73
60,0	0,5400	-6,4340	-84,482
90,0	0,4533	-6,3680	84,482
120,0	0,3800	-4,5957	168,96
150,0	0,3348	-2,2648	177,25
180,0	0,3200	0,0	168,96
210,0	0,3348	2,2648	177,25
240,0	0,3800	4,5957	168,96
270,0	0,4533	6,3680	84,482
300,0	0,5400	6,4340	-84,482
330,0	0,6119	4,1031	-261,73
360,0	0,6400	0,0	-337,93

Примечание. За положение «0» принимаем крайнее правое положение точки В, при котором $X_B = l_{OA} + l_{AB}$.

Построение кинематических диаграмм

Для того чтобы получить представление о характере непрерывного изменения кинематических параметров ползуна за время одного оборота, строят кинематические диаграммы ([рисунок 3](#)):

$$X_B = f(t), \quad \frac{dX_B}{dt} = f(t), \quad \frac{d^2 X_B}{dt^2} = f(t).$$

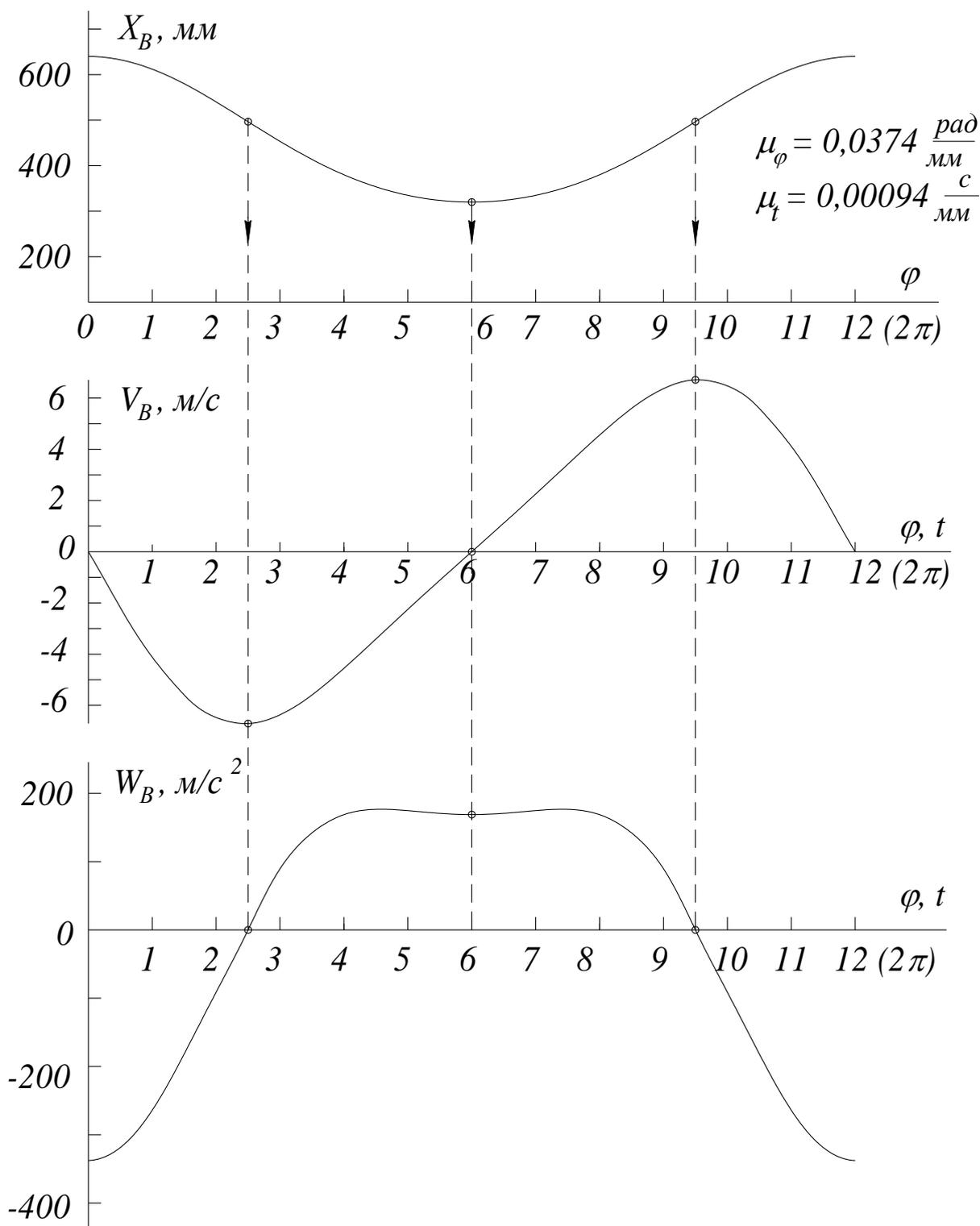


Рисунок 3 – Кинематические диаграммы точки В

По оси абсцисс откладывают отрезок L в мм, который изображает время T одного полного оборота кривошипа и определяет масштабный коэффициент

$$\mu_t = \frac{T}{L}, \frac{\text{с}}{\text{мм}}, \quad \text{где } T = \frac{2\pi}{\omega_1}, \text{ с.}$$

Время перехода точки В из любого положения в другое соседнее одинаково, поэтому отрезок делят на 12 равных частей. По оси ординат, пользуясь результатами расчёта на ЭВМ, откладывают соответственно каждому положению кривошипа значения X_B . Аналогично строят и следующие графики.

Задания для выполнения лабораторной работы

В качестве задания для выполнения лабораторной работы предлагаются кривошипно-ползунные механизмы, в которых при вращательном движении кривошипа ползун совершает возвратно-поступательное движение. Такого типа механизмы применяются в поршневых двигателях, насосах, компрессорах и других машинах.

Задание № 1

Схема механизма V-образного двигателя внутреннего сгорания представлена на [рисунке 4](#).

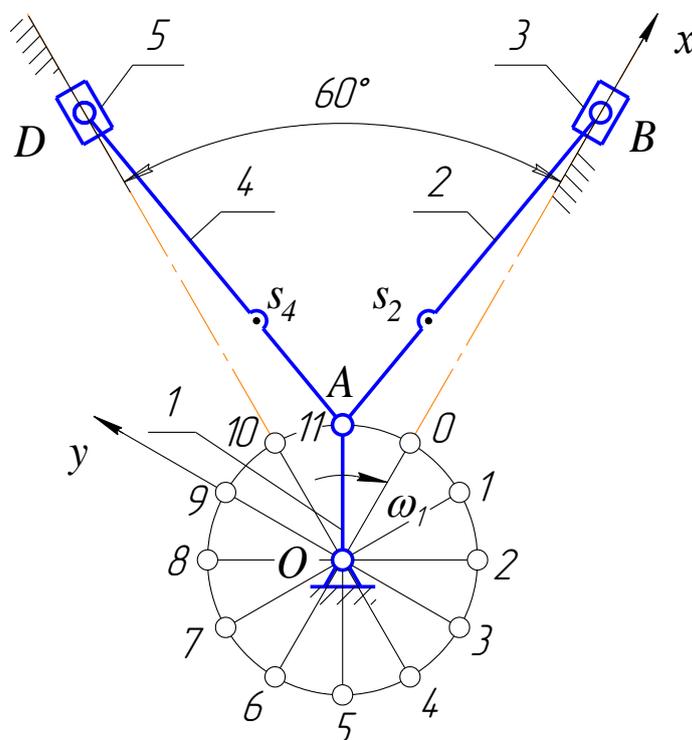


Рисунок 4 – Схема механизма V-образного двигателя внутреннего сгорания

Исходные данные к заданию № 1 представлены в [таблице 2](#).

Таблица 2 – Исходные данные к заданию № 1

Обозначение	Размерность	Вариант									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l_{OA}	м	0,06	0,065	0,07	0,075	0,08	0,085	0,06	0,065	0,07	0,075
l_{AB}	м	0,18	0,20	0,21	0,23	0,24	0,30	0,20	0,24	0,25	0,30
ω_1	с ⁻¹	250	255	260	265	270	275	280	250	240	245

Соотношение размеров: $l_{AB} = l_{AD}$, $l_{AS_2} = 1/3 l_{AB}$, $l_{AS_4} = 1/3 l_{AD}$.

Задание № 2

Схема механизма оппозитного двигателя внутреннего сгорания представлена на рисунке 5.

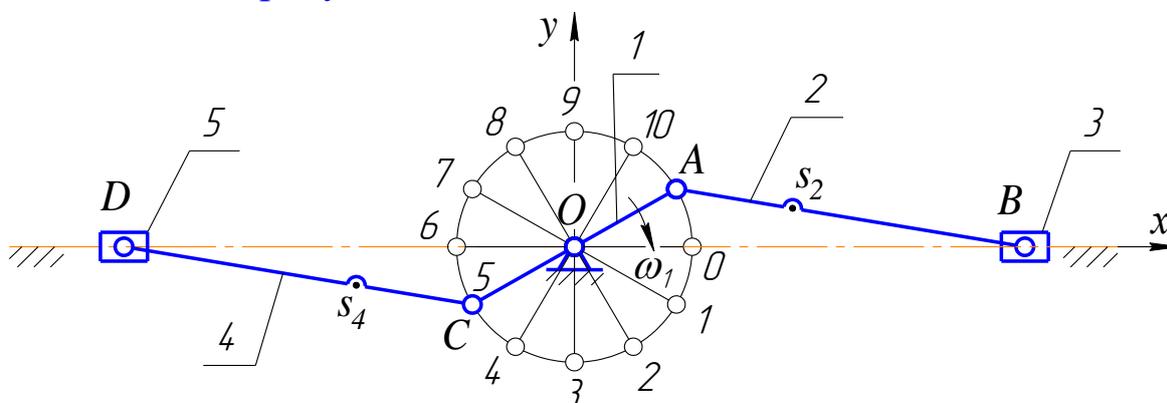


Рисунок 5 – Схема механизма оппозитного двигателя внутреннего сгорания

Исходные данные к заданию № 2 представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные к заданию № 2

Обозначение	Размерность	Вариант									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l_{OA}	м	0,03	0,04	0,035	0,036	0,05	0,04	0,03	0,035	0,04	0,03
l_{AB}	м	0,09	0,12	0,105	0,108	0,15	0,14	0,10	0,12	0,15	0,12
ω_1	с ⁻¹	240	245	250	255	260	265	270	275	280	285

Соотношение размеров: $l_{OA} = l_{OC}$, $l_{AB} = l_{CD}$, $l_{AS_2} = 1/3 l_{AB}$, $l_{AS_4} = 1/3 l_{AD}$.

Задание № 3

Схема механизма двухцилиндрового компрессора представлена на рисунке 6.

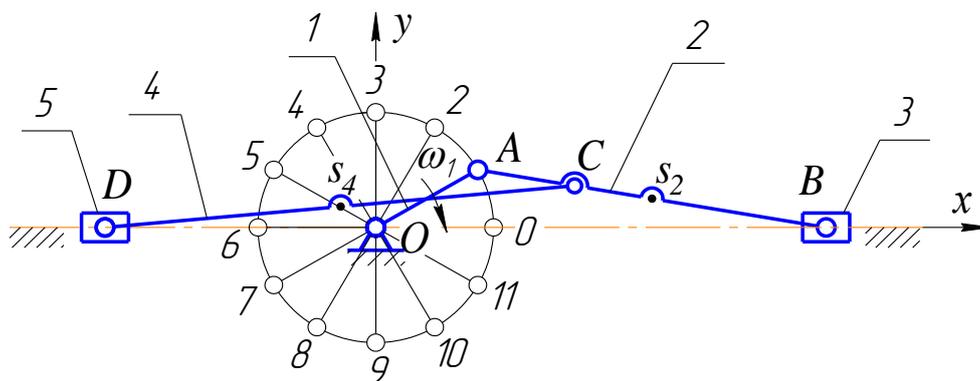


Рисунок 6 – Схема механизма двухцилиндрового компрессора

Исходные данные к заданию № 3 представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Исходные данные к заданию № 3

Обозначение	Размерность	Вариант									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l_{OA}	м	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,20	0,30	0,25
l_{AB}	м	0,60	0,66	0,72	0,78	0,84	0,90	0,96	0,70	0,95	0,75
ω_1	c^{-1}	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49

Соотношение размеров: $l_{AC} = 1/3l_{AB}$, $l_{CD} = 0,8l_{AB}$, $l_{AS_2} = 0,5l_{AB}$, $l_{CS_4} = 0,5l_{CD}$.

Задание № 4

Схема механизма двухцилиндрового компрессора представлена на рисунке 7.

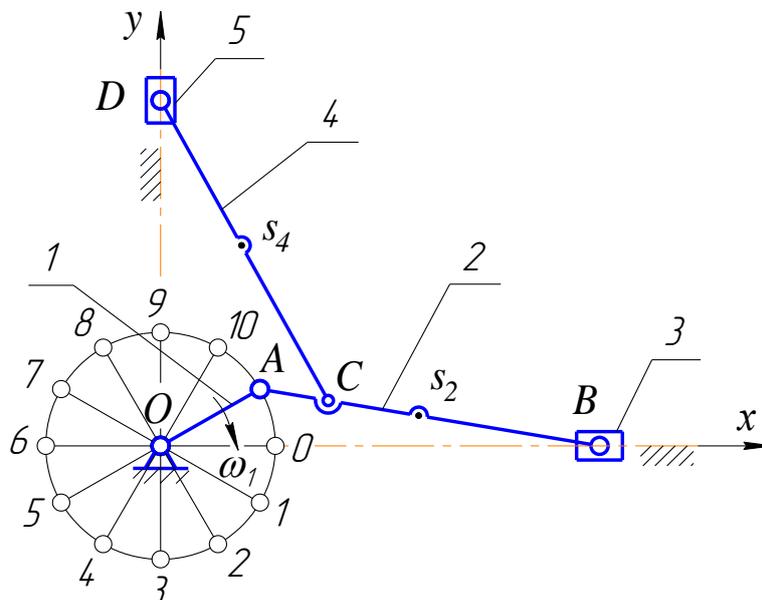


Рисунок 7 – Схема механизма двухцилиндрового компрессора
Исходные данные к заданию № 3 представлены в таблице 5.

Таблица 4 – Исходные данные к заданию № 4

Обозначение	Размерность	Вариант									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l_{OA}	м	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,20	0,30	0,25
l_{AB}	м	0,60	0,66	0,72	0,78	0,84	0,90	0,96	0,70	0,95	0,75
ω_1	c^{-1}	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49

Соотношение размеров: $l_{AC} = 1/3 l_{AB}$, $l_{CD} = 0,75 l_{AB}$, $l_{AS_2} = 0,5 l_{AB}$, $l_{CS_4} = 0,5 l_{CD}$.

Порядок выполнения лабораторной работы

Используя схемы заданий 1-4, по указанию преподавателя:

1 Построить кинематическую схему механизма:

а) определить масштабный коэффициент μ_ℓ :

$$\mu_\lambda = \frac{\lambda_{OA}}{OA}, \frac{м}{мм}, \text{ где}$$

ℓ_{OA} – истинный размер звена (задан в таблице задания в м);

OA – чертёжный размер (задают произвольно в мм);

б) определить чертёжные размеры других звеньев:

$$AB = \frac{\lambda_{AB}}{\mu_\lambda}, \text{ мм; и т. д.}$$

в) вычертить кинематическую схему механизма в указанном положении с учётом масштабного коэффициента μ_ℓ .

2 Рассчитать на ЭВМ:

$$X_B, \frac{dX_B}{dt}, \frac{d^2X_B}{dt^2}, \text{ (таблица 1).}$$

В программу вводятся следующие данные:

длина кривошипа – ℓ_{OA} , м;

длина шатуна – ℓ_{AB} , м;

угловая скорость входного звена – ω_1 , c^{-1} .

3 Построить кинематические диаграммы точки В (рисунок 3), используя результаты расчёта на ЭВМ:

1) $X_B = f(t)$;

2) $V_B = f(t)$;

3) $W_B = f(t)$.

4 Построить планы скоростей и ускорений для заданного положения механизма.

5 Сравнить V_B и W_B , определённые аналитическим и графическим методами

$$\Delta_V = \frac{|V_B^{гр} - V_B^{ан}|}{0,5 |V_B^{гр} + V_B^{ан}|} 100\% \quad \text{и} \quad \Delta_W = \frac{|W_B^{гр} - W_B^{ан}|}{0,5 |W_B^{гр} + W_B^{ан}|} 100\% ,$$

погрешности $\Delta_V \leq 5\%$, $\Delta_W \leq 5\%$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Теория механизмов и механика машин: учебник для вузов / Под ред. К. В. Фролова. – М.: Высшая школа, 2003. – 496 с.
- 2 Мамаев А. Н., Балабина Т.А. Теория механизмов и машин: учебник для вузов. – М.: Экзамен, 2008. – 254 с.