

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра механики материалов, конструкций и машин

Г.А. Клещарева

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ. МЕТОД ПЛАНОВ

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 12.03.04 Биотехнические системы и технологии, 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, 15.03.01 Машиностроение, 15.03.02 Технологические машины и оборудование, 15.03.03 Прикладная механика, 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 15.03.06 Мехатроника и робототехника

Оренбург
2019

УДК 621.8283:621.01(076.5)

ББК 34.442я7+34.41я7

К48

Рецензент – доцент, доктор технических наук Ю.А. Чирков

Клещарева, Г.А.

К48

Кинематический анализ рычажных механизмов. Метод планов : методические указания / Г.А. Клещарева; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 23 с.

Методические указания предназначены для выполнения кинематического анализа в курсовых проектах (работах), расчетно-графических и контрольных работах и других видах самостоятельной работы по дисциплинам «Теория механизмов и машин», «Механика», «Прикладная механика», «Машиноведение» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 12.03.04 Биотехнические системы и технологии, 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, 15.03.01 Машиностроение, 15.03.02 Технологические машины и оборудование, 15.03.03 Прикладная механика, 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 15.03.06 Мехатроника и робототехника.

Данные указания также могут быть полезны при выполнении отдельных разделов выпускных квалификационных работ.

УДК 621.8283:621.01(076.5)

ББК 34.442я7+34.41я7

© Клещарева Г.А., 2019

© ОГУ, 2019

Содержание

Введение	4
1 Общие сведения	6
2 Скорости кривошипно-ползунного механизма	7
3 Ускорения кривошипно-ползунного механизма	9
4 Скорости кулисного механизма	11
5 Ускорения кулисного механизма	13
6 Метод планов.....	16
7 Свойства планов	19
8 Последовательность построения плана скоростей (ускорений)	20
9 Вопросы для самопроверки.....	21
Список использованных источников	23

Введение

В процессе изучения дисциплин «Теория механизмов и машин», «Машиноведение», «Прикладная механика», «Механика» обучающиеся получают теоретические знания по расчету, анализу и синтезу, встречающихся в практике различных механизмов. Полученные знания закрепляются выполнением курсовых проектов (работ) и расчетно-графических и контрольных работ, в которых обучающиеся на практике выполняют расчеты, анализ и синтез механизмов. Кинематический анализ является второй неотъемлемой частью расчетов, выполняемых обучающимися в процессе работы над курсовыми проектами и расчетно-графическими работами. Результаты кинематического анализа являются исходными данными для силового анализа при выполнении проектов и расчетно-графических заданий. В настоящих методических указаниях даны рекомендации, по проведению кинематического анализа типовых механизмов графоаналитическим методом, рассмотрены сам метод и свойства планов, а также последовательность построения планов скоростей и ускорений.

Методические указания способствуют реализации следующих компетенций для направлений: 12.03.04 Биотехнические системы и технологии – ОПК-4 готовностью применять современные средства выполнения и редактирования изображений и чертежей и подготовки конструкторско-технологической документации; 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника – ОПК-2 способностью применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, при решении профессиональных задач; 15.03.01 Машиностроение – ПК-5 умением учитывать технические и эксплуатационные параметры деталей и узлов изделий машиностроения при их проектировании; 15.03.02 Технологические машины и оборудование – ОПК-1 способностью к приобретению с большой степенью самостоятельности новых знаний с использованием современных образовательных и информационных технологий; 15.03.03 Прикладная механика – ПК-7 готовностью выполнять расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики на основе

достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, физико-механических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и конструкциям;

15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств – ОПК-4 способностью участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с машиностроительными производствами, выборе оптимальных вариантов прогнозируемых последствий решения на основе их анализа;

15.03.06 Мехатроника и робототехника – ОПК-2 владением физико-математическим аппаратом, необходимым для описания мехатронных и робототехнических систем.

1 Общие сведения

Механизмом называется совокупность подвижно соединенных между собой звеньев, совершающих под действием приложенных к ним сил, определенные целесообразные движения [1].

Звеном называется совокупность деталей, скрепленных друг с другом неподвижно.

Кинематической парой (КП) называется соединение двух соприкасающихся звеньев, допускающее их относительное движение [1].

Движение звеньев любого механизма характеризуется:

- видом движения;
- перемещением и траекторией;
- скоростью, то есть быстротой изменения перемещения во времени;
- ускорением, то есть быстротой изменения скорости во времени.

Цель кинематического анализа – определение положений звеньев и траекторий движения, описываемых их точками, определение скоростей и ускорений точек звеньев, определение угловых скоростей и ускорений звеньев по заданному закону движения ведущего звена (без учета сил, вызывающих это движение) [2].

Для кинематического исследования механизмов в данных методических указаниях рассматривается графоаналитический метод – метод планов [3].

Для проведения кинематического анализа должны быть известны:

- кинематическая схема механизма;
- размеры звеньев механизма, m ;
- величина и направление угловой скорости ведущего звена $\omega_1 \text{ рад/с}$, $(1/c)$;
- планы положений механизма.

Планом положений механизма называется графическое представление относительных положений его звеньев, построенных в определенном масштабе.

2 Скорости кривошипно-ползунного механизма

Всякое движение любой плоской фигуры (звена) в ее плоскости можно разделить на два [3]:

$\vec{V}_{\text{пер}}$ – переносное (поступательное) движение всего звена вместе с произвольно выбранной точкой (полюсом);

$\vec{V}_{\text{отн}}$ – относительное (вращательное) движение вокруг этой точки (полюса).

Вектор абсолютной скорости $\vec{V}_{\text{абс}}$ равен геометрической сумме переносной $\vec{V}_{\text{пер}}$ и относительной $\vec{V}_{\text{отн}}$ скоростей. Справедливо векторное уравнение.

$$\vec{V}_{\text{абс}} = \vec{V}_{\text{пер}} + \vec{V}_{\text{отн}}. \quad (2.1)$$

Рассмотрим кривошипно-ползунный механизм (рисунок 2.1). Абсолютную скорость \vec{V}_A точки A находят [4] из соотношения

$$\vec{V}_A = \vec{V}_{O_1} + \vec{V}_{AO_1}, \quad (2.2)$$

где \vec{V}_{O_1} – вектор переносной скорости точки O_1 (величина равна нулю, так как точка O_1 неподвижна);

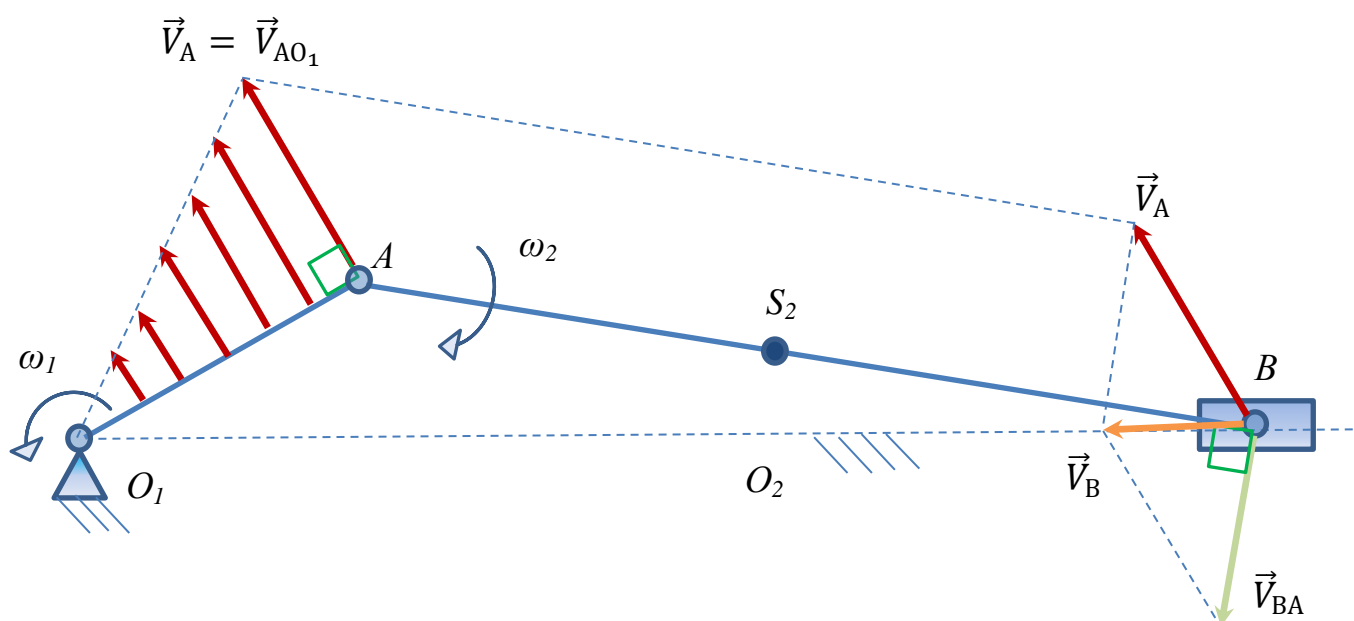


Рисунок 2.1 – Скорости подвижных точек кривошипно-ползунного механизма

\vec{V}_{AO_1} – вектор скорости относительного движения точки А при вращательном движении относительно O_1 .

Линия действия вектора скорости \vec{V}_{AO_1} перпендикулярна AO_1 и направлена в сторону вращения кривошипа (угловой скорости $\omega_1, \text{rad/c}$).

Величина вектора изменяется по треугольному закону [5] в зависимости от длины радиуса вращения l_{O_1A}, m , а его скалярная величина $V_{AO_1}, \text{m/c}$, определяется по формуле

$$V_{AO_1} = \omega_1 \cdot l_{AO_1}. \quad (2.3)$$

Абсолютная скорость \vec{V}_B точки В звена АВ (рисунок 2.1) при известной скорости \vec{V}_A (точку А принимаем за мгновенный полюс вращения) можно представить как геометрическую (векторную) сумму скорости полюса А и скорости вращения точки В вокруг полюса – точки А

$$\vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_{BA}, \quad (2.4)$$

где \vec{V}_A – вектор скорости переносного (поступательного) движения звена АВ, величина и направление его уже известны из уравнения (2.2);

\vec{V}_{BA} – вектор относительной скорости точки В при вращении её вокруг точки А.

Линия действия вектора \vec{V}_{BA} перпендикулярна звену АВ и направлена в сторону вращения второго звена (угловой скорости шатуна $\omega_2, \text{rad/c}$).

Уравнение (2.4) решается графически, путем сложения векторов [6, 7, 8] методом параллелограмма. Абсолютная величина $V_{BA}, \text{m/c}$, равна

$$V_{BA} = \omega_2 \cdot l_{BA}. \quad (2.5)$$

3 Ускорения кривошипно-ползунного механизма

Вектор абсолютного ускорения $\vec{a}_{абс}$ равен геометрической сумме переносного $\vec{a}_{пер}$ и относительного ускорения $\vec{a}_{отн}$

$$\vec{a}_{абс} = \vec{a}_{пер} + \vec{a}_{отн}. \quad (3.1)$$

Относительное ускорение $\vec{a}_{отн}$ при вращательном движении состоит из геометрической суммы нормального $\vec{a}_{отн}^n$ и тангенциального ускорения $\vec{a}_{отн}^t$

$$\vec{a}_{отн} = \vec{a}_{отн}^n + \vec{a}_{отн}^t. \quad (3.2)$$

Тогда уравнение (3.1) примет вид

$$\vec{a}_{абс} = \vec{a}_{пер} + \vec{a}_{отн}^n + \vec{a}_{отн}^t, \quad (3.3)$$

где $\vec{a}_{отн}^n$ – нормальное (центростремительное) ускорение, вектор которого направлен вдоль звена к центру вращения;

$\vec{a}_{отн}^t$ – тангенциальное ускорение, вектор которого перпендикулярен звену и направлен в сторону углового ускорения ϵ , $рад/с^2$.

Рассмотрим кривошипно-ползунный механизм (рисунок 3.1). Абсолютное ускорение \vec{a}_A точки А можно представить как геометрическую сумму ускорения \vec{a}_{O_1} , полюса O_1 и относительного ускорения точки А при вращении ее вокруг точки O_1 (состоящего из нормального $\vec{a}_{AO_1}^n$ и тангенциального $\vec{a}_{AO_1}^t$ ускорения)

$$\vec{a}_A = \vec{a}_{O_1} + \vec{a}_{AO_1}^n + \vec{a}_{AO_1}^t, \quad (3.4)$$

где \vec{a}_{O_1} – переносное ускорение точки O_1 (величина вектора равна нулю, так как точка O_1 неподвижна);

$\vec{a}_{AO_1}^n$ – нормальное ускорение, вектор которого направлен вдоль звена AO_1 к центру вращения от А к O_1 .

Скалярную величину $a_{AO_1}^n$, $м/с^2$, находят как произведение квадрата угловой скорости ω_1 , $рад/с$, на длину кривошипа l_{AO_1} , $м$,

$$a_{AO_1}^n = \omega_1^2 \cdot l_{AO_1}, \quad (3.5)$$

где $\vec{a}_{AO_1}^t$ – тангенциальное ускорение, вектор которого направлен перпендикулярно AO_1 в сторону углового ускорения ε_1 .

Скалярную величину $a_{AO_1}^t, м/с^2$, находят как произведение углового ускорения $\varepsilon_1, рад/с$, на длину кривошипа $l_{AO_1}, м$,

$$a_{AO_1}^t = \varepsilon_1 \cdot l_{AO_1}. \quad (3.6)$$

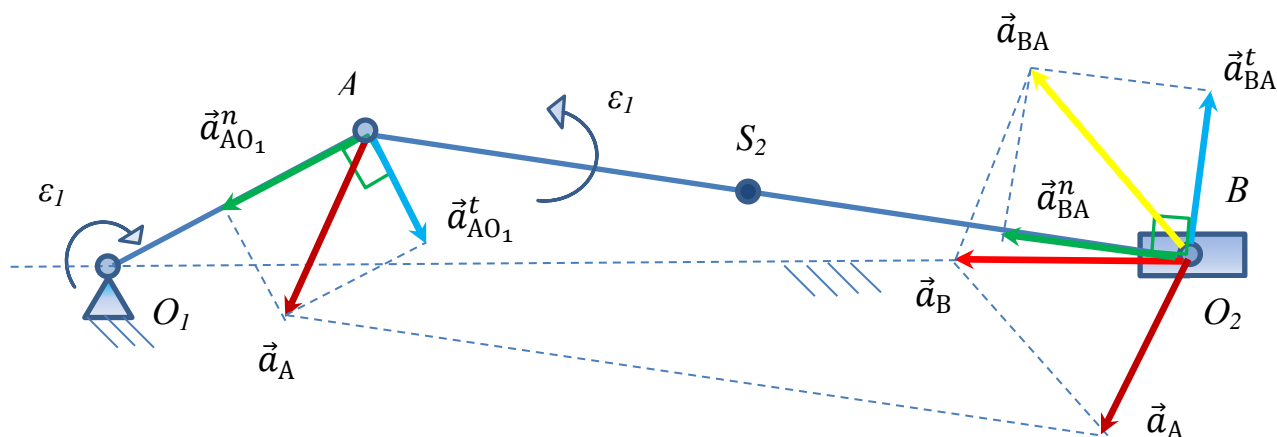


Рисунок 3.1 – Ускорения подвижных точек кривошипно-ползунного механизма

Аналогично абсолютное ускорение \vec{a}_B точки В при известном ускорении \vec{a}_A точки А можно представить как геометрическую сумму ускорения полюса А и относительного ускорения точки В при вращении ее вокруг точки А (рисунок 3.1)

$$\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{BA}^n + \vec{a}_{BA}^t, \quad (3.7)$$

где \vec{a}_{BA}^n – нормальная составляющая относительного ускорения, вектор которого направлен вдоль звена ВА к полюсу вращения от точки В к точке А.

Скалярную величину $a_{BA}^n, м/с^2$, находят как произведение квадрата угловой скорости $\omega_2, рад/с$, на длину шатуна $l_{BA}, м$,

$$a_{BA}^n = \omega_2^2 \cdot l_{BA} = \frac{V_{BA}^2}{l_{BA}}, \quad (3.8)$$

где \vec{a}_{BA}^t – тангенциальная составляющая относительного ускорения, вектор которого направлен перпендикулярно шатуну ВА в сторону углового ускорения.

Скалярную величину $a_{BA}^t, м/с^2$, находят как произведение углового ускорения $\varepsilon_2, рад/с^2$, на длину шатуна $l_{BA}, м$,

$$a_{BA}^t = \varepsilon_2 \cdot l_{BA}. \quad (3.9)$$

4 Скорости кулисного механизма

В кулисных механизмах подвижные звенья соединяются между собой поступательной парой, например, звено 2 и звено 3 (рисунок 4.1).

Точка А принадлежит трем звеньям. Обозначим: точка A_1 принадлежит звену 1 – кривошипу, точка A_2 принадлежит звену 2 – ползуну, а точка A_3 – звену 3 – кулисе. В данный момент времени точки A_1 , A_2 и A_3 совпадают.

Абсолютную скорость \vec{V}_A точки A_1 находят аналогично (2.2) и (2.3)

$$\vec{V}_A = \vec{V}_{O_1} + \vec{V}_{AO_1}. \quad (4.1)$$

Так как у ползуна обычно размеры не заданы, и он вращается вместе с кривошипом, а скорость точки O_1 $\vec{V}_{O_1} = 0$, то

$$\vec{V}_{A_1} = \vec{V}_{A_2} = \vec{V}_{A_1O_1}. \quad (4.2)$$

Переносное движение звена 2 является не только поступательным, но и вращательным вместе с кулисой.

Относительное движение звена 2 относительно звена 3 является поступательным (скольжение звена 2 по звену 3).

Абсолютная скорость \vec{V}_{A_3} точки A_3 (принадлежащей звену 3) при известной скорости точки A_2 (принадлежащей звену 2) будет определяться векторным уравнением

$$\vec{V}_{A_3} = \vec{V}_{A_2} + \vec{V}_{A_3A_2}, \quad (4.3)$$

где \vec{V}_{A_2} – вектор переносной скорости звена 2 известен из уравнения (4.2);

$\vec{V}_{A_3A_2}$ – вектор относительной скорости звена 3 относительно звена 2 (скорость скольжения).

Линия действия вектора $\vec{V}_{A_3A_2}$ параллельна линии O_2A_3 звена 3.

Направление и величина вектора $\vec{V}_{A_3A_2}$ обычно неизвестны, поэтому приходится рассматривать движение точки A_3 с другой стороны, как вращение точки A_3 относительно неподвижной точки O_2 , движение которого, описывается уравнением

$$\vec{V}_{A_3} = \vec{V}_{O_2} + \vec{V}_{A_3O_2}, \quad (4.4)$$

где \vec{V}_{O_2} – вектор переносной скорости точки O_2 .

Величина вектора \vec{V}_{O_2} равна нулю, так как точка O_2 неподвижна.

$\vec{V}_{A_3O_2}$ – вектор относительной скорости точки A_3 при вращении относительно O_2 .

Вектор $\vec{V}_{A_3O_2}$ перпендикулярен A_3O_2 , направлен в сторону угловой скорости ω_3 кулисы 3. Скалярную величину $V_{A_3O_2}$, м/с, находят из зависимости

$$V_{A_3O_2} = \omega_3 \cdot l_{A_3O_2}. \quad (4.5)$$

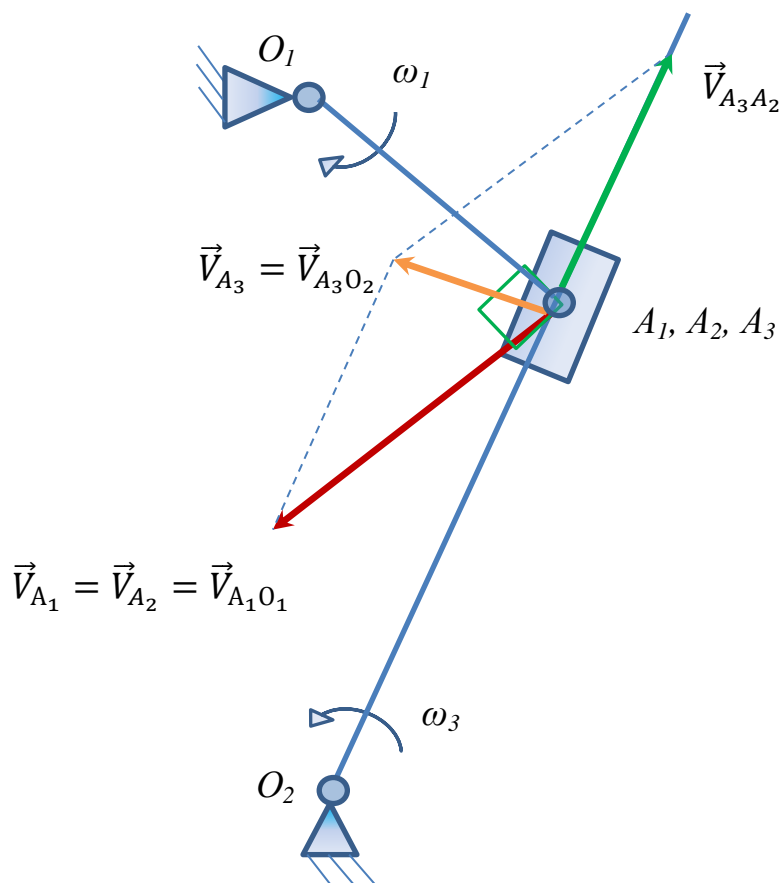


Рисунок 4.1 – Скорости подвижных точек кулисного механизма

5 Ускорения кулисного механизма

Абсолютное ускорение \vec{a}_{A_1} точки A_1 находят аналогично уравнениям (3.4), (3.5) (рисунок 5.1)

$$\vec{a}_{A_1} = \vec{a}_{O_1} + \vec{a}_{A_1O_1}^n + \vec{a}_{A_1O_1}^t, \quad (5.1)$$

где \vec{a}_{O_1} – вектор переносного ускорения неподвижной точки O_1 равен нулю;

$\vec{a}_{A_1O_1}^n$ – вектор нормального относительного ускорения точки A_1 при вращении относительно O_1 .

Вектор $\vec{a}_{A_1O_1}^n$ направлен параллельно A_1O_1 от A_1 к O_1 . Скалярную величину $a_{A_1O_1}^n, м/с^2$, находят по формуле

$$a_{A_1O_1}^n = \omega_1^2 \cdot l_{A_1O_1}, \quad (5.2)$$

$\vec{a}_{A_1O_1}^t$ – тангенциальное относительное ускорение точки A_1 при вращении относительно O_1 .

Вектор $\vec{a}_{A_1O_1}^t$ направлен перпендикулярно A_1O_1 в сторону углового ускорения $\varepsilon_1, рад/с$, кривошипа 1. Скалярная величина $a_{A_1O_1}^t, м/с^2$, равна

$$a_{A_1O_1}^t = \varepsilon_1 \cdot l_{A_1O_1}. \quad (5.3)$$

Обычно кривошип вращается равномерно и угловая скорость первого звена $\omega_1 = const$, тогда угловое ускорение $\varepsilon_1 = 0$ и $a_{A_1O_1}^t = 0$.

Так как у ползуна обычно размеры не заданы, представляем его в виде точки, которая вращается вместе с кривошипом, тогда $\vec{a}_{A_1} = \vec{a}_{A_2}$.

Учитывая все вышесказанное, уравнение (5.1) принимает вид (рисунок 5.1)

$$\vec{a}_{A_1} = \vec{a}_{A_2} = \vec{a}_{A_1O_1}^n. \quad (5.4)$$

Переносное движение звена 2 является не только поступательным, но и вращательным вместе с кулисой. Относительное движение звена 2 относительно звена 3 является поступательным (скольжение звена 2 по звену 3).

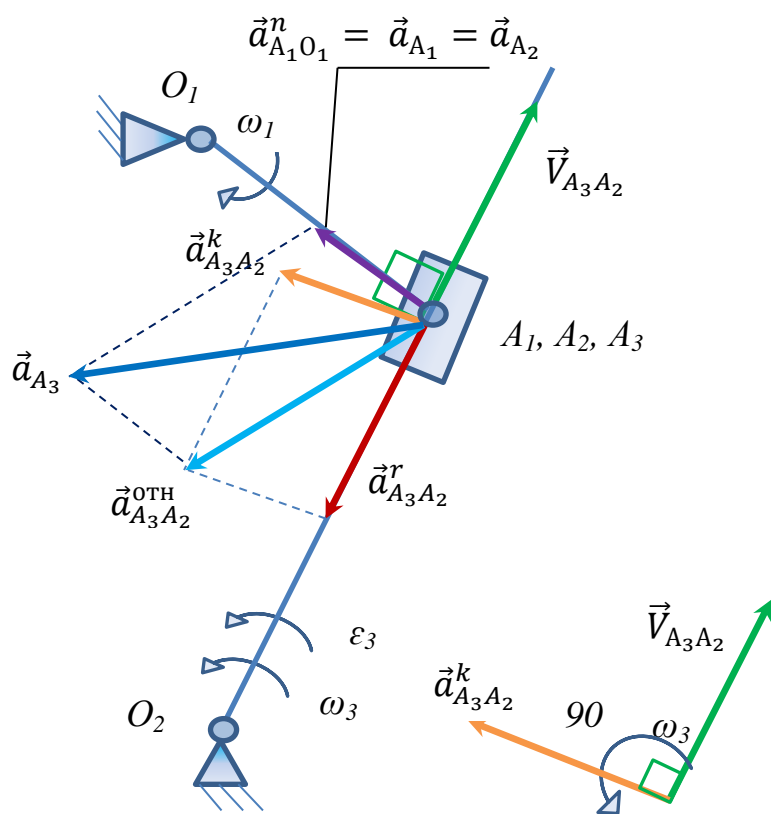


Рисунок 5.1 – Ускорения подвижных точек кулисного механизма

Абсолютное ускорение \vec{a}_{A_3} точки A_3 при известном ускорении точки A_2 складывается из векторной суммы трех ускорений: переносного (ускорения \vec{a}_{A_2} точки A_2), ускорения Кориолиса – $\vec{a}_{A_3A_2}^k$ и относительного (релятивного) – $\vec{a}_{A_3A_2}^r$ (ускорение скольжения звена 2 по звену 3) (рисунок 5.1)

$$\vec{a}_{A_3} = \vec{a}_{A_2} + \vec{a}_{A_3A_2}^k + \vec{a}_{A_3A_2}^r. \quad (5.5)$$

Скалярная величина $a_{A_3A_2}^k, м/с^2$, равна

$$a_{A_3A_2}^k = 2 \cdot \omega_3 \cdot V_{A_3A_2} \cdot \sin(\omega_3 V_{A_3A_2}), \quad (5.6)$$

где ω_3 – угловая скорость звена 3, $рад/с$;

$V_{A_3A_2}$ – относительная скорость точки A_3 по отношению к точке A_2 (скорость скольжения), $м/с$;

$$\sin(\omega_3 V_{A_3A_2}) = \sin 90^\circ = 1 - \text{угол между } \omega_3 \text{ и } V_{A_3A_2}.$$

Для определения направления ускорения Кориолиса надо вектор относительной скорости $\vec{V}_{A_3A_2}$ повернуть на 90° в сторону угловой скорости ω_3 переносного движения. Направление повернутого вектора $\vec{V}_{A_3A_2}$ совпадает с направлением вектора $\vec{a}_{A_3A_2}^k$ (рисунок 5.1).

С другой стороны, абсолютное ускорение \vec{a}_{A_3} точки A_3 можно записать как вращающейся относительно точки O_2 (рисунок 5.2)

$$\vec{a}_{A_3} = \vec{a}_{O_2} + \vec{a}_{A_3O_2}^n + \vec{a}_{A_3O_2}^t, \quad (5.7)$$

где $\vec{a}_{A_3O_2}^n$ – вектор нормального ускорения точки A_3 относительно O_2 , скалярную величину которого $a_{A_3O_2}^n$, м/с^2 , определяют

$$a_{A_3O_2}^n = \omega_3^2 \cdot l_{A_3O_2} = \frac{V_{A_3O_2}^2}{l_{A_3O_2}}, \quad (5.8)$$

$\vec{a}_{A_3O_2}^t$ – вектор тангенциального ускорения, линия действия перпендикулярна A_3O_2 . Скалярную величину $a_{A_3O_2}^t$, м/с^2 , находят

$$a_{A_3O_2}^t = \varepsilon_3 \cdot l_{A_3O_2}. \quad (5.9)$$

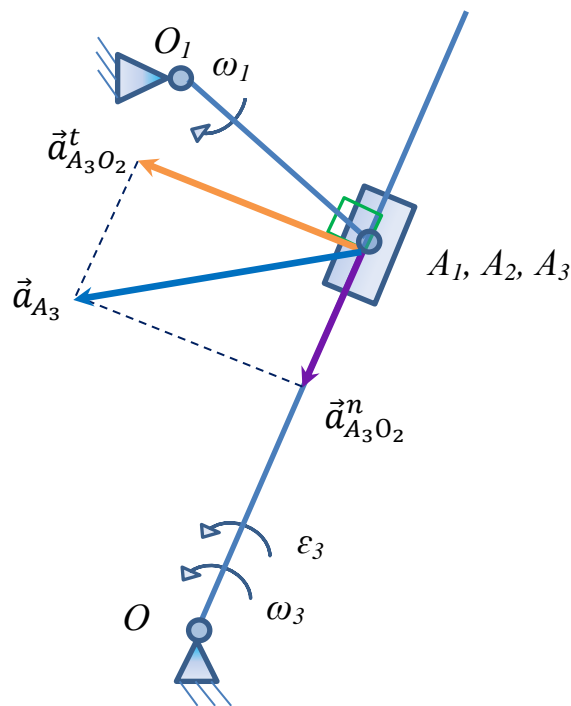


Рисунок 5.2 – Ускорения подвижных точек кулисного механизма 2

6 Метод планов

При кинематическом анализе механизмов угловые скорости звеньев ω_i и угловые ускорения ε_i не известны и сами подлежат определению. Поэтому абсолютные линейные скорости и ускорения точек звеньев находятся графическим решением векторных уравнений (4.3), (4.4), (5.5), (5.7), то есть построением планов скоростей и ускорений. *Планом (или картиной) скоростей (ускорений)* называется многоугольник истинных значений скоростей (ускорений) движения характерных точек механизма, построенного из общего полюса, для его конкретного положения, в определенном масштабе μ_v .

Рассмотрим звено BCD плоского механизма, которое вращается вокруг точки P, являющейся мгновенным центром вращения (рисунок 6.1 а). Из точки полюса P проведем радиусы вращения до точек B, C, D и на перпендикулярах к радиусам проведем векторы скоростей в направлении вращения (с постоянной угловой скоростью) $\omega = const$ (рисунок 6.1 а).

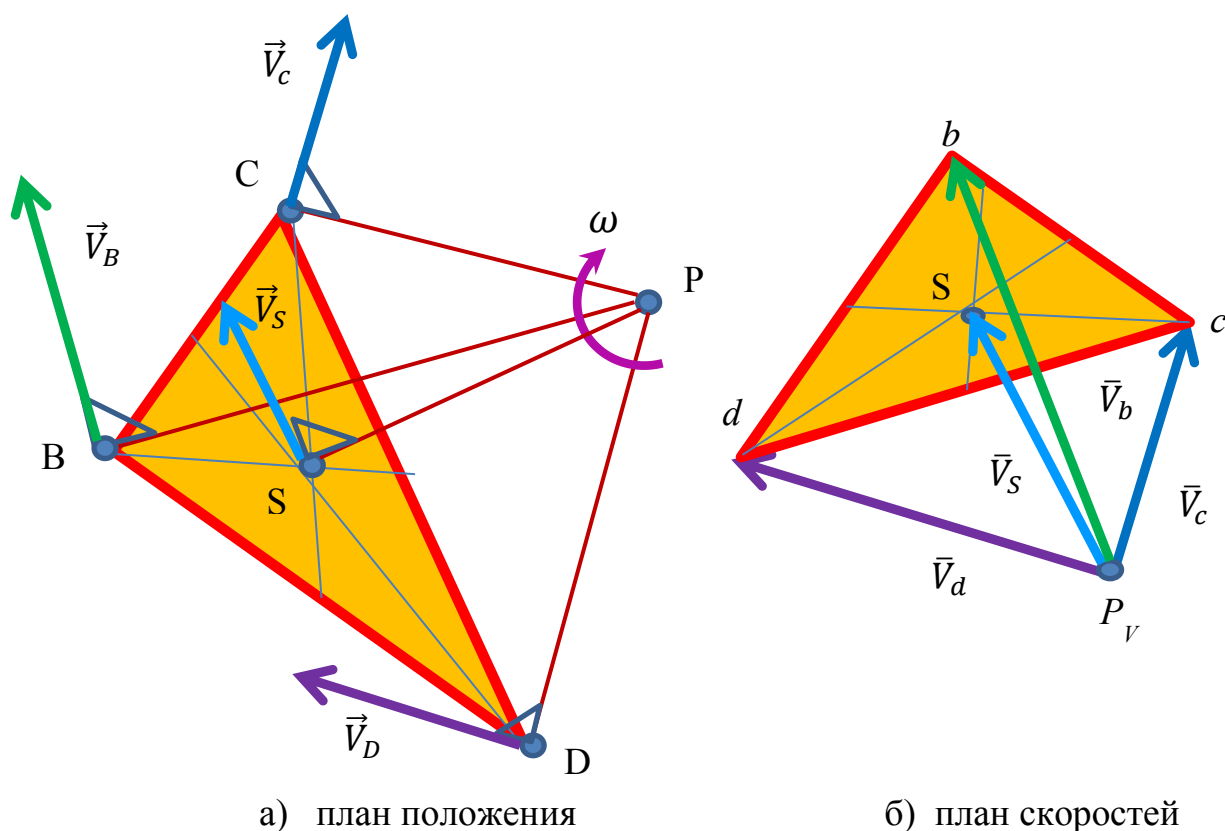


Рисунок 6.1 – Скорости точек треугольного звена ВСД

Мгновенная угловая скорость звена BCD ω , rad/c ,

$$\omega = V_B/\overline{PB} = V_C/\overline{PC} = V_D/\overline{PD}. \quad (6.1)$$

Скорости V_B , V_C , V_D точек В, С и D направлены перпендикулярно отрезкам \overline{PB} , \overline{PC} и \overline{PD} и определяются по выражениям:

$$V_B = \omega \cdot l_{BP} (\perp \overline{PB}),$$

$$V_C = \omega \cdot l_{CP} (\perp \overline{PC}),$$

$$V_D = \omega \cdot l_{DP} (\perp \overline{PD}).$$

Если из произвольной точки P_V (общего полюса) (рисунок 6.1 б) провести векторы скоростей \vec{V}_B , \vec{V}_C и \vec{V}_D в определенном масштабе μ_V , $(m/c)/mm$, который находят из соотношения (6.2), то получим фигуру P_Vbcd , называемую планом (картиной) скоростей, с указанным на ней центром тяжести S , которая подобна фигуре PCBD и повернута относительно нее на 90° в сторону вращения ω .

$$\mu_V = \frac{V_B}{\bar{V}_B}, \quad (6.2)$$

где V_B – скалярная величина скорости точки В, m/c ;

\bar{V}_B – длина отрезка на плане скоростей, изображающая величину скорости точки В, mm ;

Ускорения точек В, С и D при постоянной угловой скорости $\omega = const$ и $\varepsilon = 0$ будут состоять только из нормальных ускорений относительно мгновенного центра вращения P (рисунок 6.2 а). Скалярные величины a_B , a_C , a_D , m/c^2 , находят:

$$a_B = a_{BP}^n = \omega^2 \cdot l_{PB} // PB,$$

$$a_C = a_{CP}^n = \omega^2 \cdot l_{PC} // PC,$$

$$a_D = a_{DP}^n = \omega^2 \cdot l_{PD} // PD.$$

Вышеуказанные уравнения действительны при отсутствии углового ускорения $\varepsilon = 0$, тогда (рисунок 6.2 б)

$$a_{BP}^t = a_{CP}^t = a_{DP}^t = \bar{a}_P = 0.$$

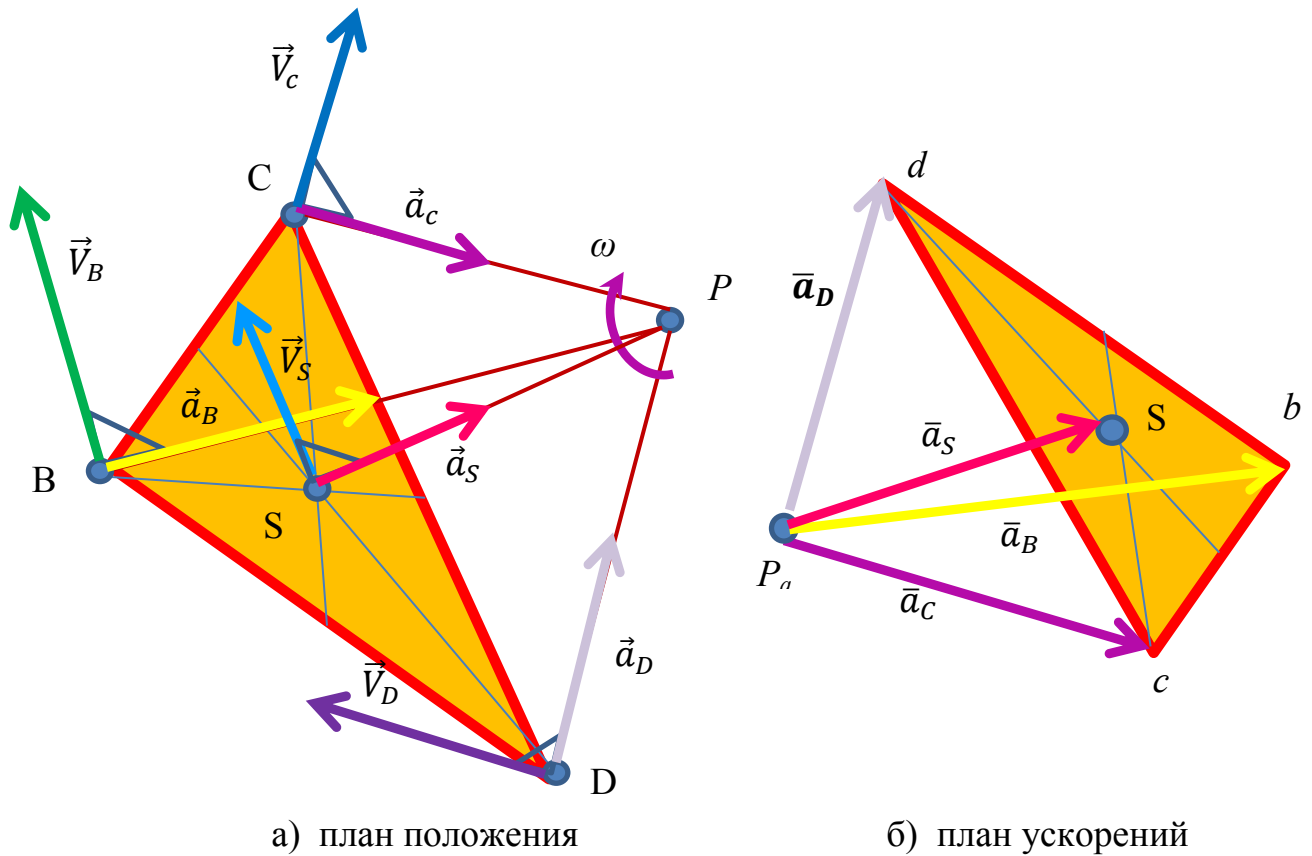


Рисунок 6.2 – Скорости и ускорения точек треугольного звена BCD

Если из произвольно выбранной точки P_a (общего полюса ускорений) провести векторы ускорений \vec{a}_B , \vec{a}_C и \vec{a}_D в определенном масштабе $\mu_a, \frac{m/c^2}{mm}$, который находят из соотношения (6.3), то фигура $P_a bcd$ будет называться планом ускорений, которая подобна фигуре PBCD и повернута в сторону вращения на 180° .

$$\mu_a = \frac{a_B}{\bar{a}_B}, \quad (6.3)$$

где a_B – действительное ускорение точки B, m/c^2 ;

\bar{a}_B – длина отрезка на плане ускорений, изображающая величину ускорения точки B, мм.

7 Свойства планов

Из сказанного в предыдущих пунктах, можно сформулировать следующие свойства планов:

- если точка P – мгновенный центр вращения звена BCD, то скорости и ускорения точек B, C и D пропорциональны отрезкам l_{BP} , l_{CP} и l_{DP} . Фигуры P_Vcbd и P_acbd подобны фигуре PCBD и называются планом скоростей и планом ускорений;
- отрезки $\overline{P_Vb}$, $\overline{P_Vc}$ и $\overline{P_Vd}$ представляют собой векторы скоростей, а отрезки $\overline{P_ab}$, $\overline{P_ac}$ и $\overline{P_ad}$ – векторы ускорений точек B, C и D в масштабах $\mu_V, \frac{\text{м/с}}{\text{мм}}$, $\mu_a, \frac{\text{м/с}^2}{\text{мм}}$;
- жесткие контуры (звено BCD) отражаются на планах скоростей и ускорений подобно и повернуты на 90° на плане скоростей в сторону действия угловой скорости ω и на 180° (при $\omega = const$ и $\varepsilon = 0$) на плане ускорений;
- используя свойства подобия, можно определить скорость и ускорение любой точки на звене.

Например, известно положение центра тяжести звена BCD точка S (рисунок 6.1 а). По подобию находим положение этой точки на фигурах P_Vcbd и P_acbd . Вектор скорости, изображенный на плане $\overline{V_S}$, мм, точки S будет равен отрезку, проведенному из полюса P_V к точке S

$$\overline{V_S} = \overline{P_VS}.$$

Вектор ускорения, изображенный на плане $\overline{a_S}$, мм, точки S будет равен отрезку, проведенному из полюса P_a к точке S

$$\overline{a_S} = \overline{P_aS}.$$

Истинные значения скорости и ускорения точки S определяются с учетом масштабных коэффициентов планов скоростей и ускорений:

$$V_S = \overline{V_S} \cdot \mu_V,$$

$$a_S = \overline{a_S} \cdot \mu_a.$$

8 Последовательность построения плана скоростей (ускорений)

Построение плана скоростей (ускорений) для рычажных механизмов II класса рекомендуется проводить следующим образом:

- определить скорость точки на конце ведущего звена 1;
- определить масштабный коэффициент плана скоростей (желательно из ряда стандартных чисел) и длину вектора скорости точки на конце ведущего звена;
- составить векторные уравнения скорости средней точки первой группы Ассура, выразив ее через крайние точки;
- полученные векторные уравнения решить графически;
- по свойству подобия определить скорости крайних точек второй группы Ассура;
- составить векторные уравнения скорости средней точки второй группы Асура, выразив ее через крайние точки;
- полученные векторные уравнения решить графически, то есть достроить план скоростей;
- по свойству подобия найти положения центров тяжести весомых звеньев на плане скоростей и определить их скорости;
- из построенного плана скоростей по величинам относительных скоростей (где есть вращательное движение звеньев) определить угловые скорости (ускорения) звеньев;
- найти скалярные значения скоростей и свести результаты кинематического расчета в таблицу.

9 Вопросы для самопроверки

- 1 Наиболее точным при определении скоростей и ускорений звеньев механизма, является ... метод.
- 2 В графическом методе определения скоростей и ускорений звеньев механизма, основой является ...
- 3 В графоаналитическом методе определения скоростей и ускорений звеньев механизма основой является ...
- 4 Звено, движения которого должно быть известно заранее, для определения движения остальных звеньев механизма называется ...
- 5 Окружность, которую описывает мгновенный центр вращения кривошипа называют ...
- 6 Периодическое движение характеризуются ...
- 7 Такие кинематические характеристики движения плоской фигуры можно найти по уравнениям ее движения –
- 8 Графики функций перемещений, скоростей и ускорений характерных точек звеньев в зависимости от времени, – это ...
- 9 Угловая скорость – это ...
- 10 Угловое ускорение – это ...
- 11 Линейное ускорение – это ...
- 12 Отношение изображаемой единицы физической величины в свойственных ей единицах измерения к длине отрезка на чертеже в мм изображающего эту величину называют ...
- 13 План положений начинают строить с ... механизма.
- 14 За нулевое положение принимается ...
- 15 Метод кинематических диаграмм – это ...
- 16 Метод построения планов скоростей и ускорений базируется на..
- 17 Скорость абсолютного движения точки представляет собой ...
- 18 Ускорение абсолютного движения точки представляет собой ...
- 19 Относительное ускорение состоит из ...

20 и перпендикулярного.

21 Время цикла можно найти по формуле:

22 Вектор скорости точки при естественном способе задания движения:

23 Нормальное ускорение точки движущейся по окружности определяется по формуле:

24 Нормальное ускорение точки при вращательном движении определяется по формуле:

25 Центробежное ускорение при вращательном движении определяется по формуле:

26 Касательное ускорение точки движущейся по окружности определяется по формуле:

27 Тангенциальное ускорение при вращательном движении определяется по формуле:

28 Величина ускорения Кориолиса определяется по формуле:

29 Кориолисово ускорение точки относительно точки на неподвижной направляющей равно ...

30 Кориолисово ускорение учитывается при кинематическом анализе ...

31 Для определения направления Кориолисова ускорения нужно вектор скорости (ползуна относительно кулисы) повернуть на 90° по направлению ...

Список использованных источников

- 1 Клещарева, Г.А. Структурный анализ рычажных механизмов : методические указания / Г.А. Клещарева. – Оренбург : ОГУ, 2018. – 29 с.
- 2 Клещарева, Г.А. Кинематический анализ рычажных механизмов. Метод кинематических диаграмм : методические указания / Г.А. Клещарева. – Оренбург : ОГУ, 2019. – 30 с.
- 3 Ефанов, А.М. Курс теории механизмов и машин : учебное пособие для студентов вечерней и заочной форм обучения / А.М. Ефанов, С.А. Ефанов. – Оренбург : ОГУ, 2000. – 148 с.
- 4 Ефанов, А.М. Теория механизмов и машин : учебное пособие / А.И. Ефанов, В.П. Ковалевский. – ИПК ГОУ ОГУ, 2006. – 267 с.
- 5 Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – М. : Наука, 1988. – 638 с.
- 6 Левитский, Н.И. Теория механизмов и машин / Н.И. Левитский. – М. : Наука, 1979. – 576 с.
- 7 Фролов, К.В. Теория механизмов и машин / К.В. Фролов. – М. : Высшая школа, 1999. – 496 с.
- 8 Попов, С.А. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин / С.А. Попов. – М. : Высшая школа, 1986. – 250 с.