

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. ПОСТРОЕНИЕ ПЛАНОВ СКОРОСТЕЙ

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 621.828.3:621.01(076.5)

ББК 34.442я7

К48

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

Клещарева, Г.А.

К48

Кинематический анализ рычажных механизмов. Построение планов скоростей: методические указания / Г.А. Клещарева; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 24 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 621.828.3:621.01(076.5)

ББК 34.442я7

© Клещарева Г.А., 2019

© ОГУ, 2019

Содержание

Введение	4
1 Общие сведения	6
2 Исходные данные для кинематического анализа.....	7
3 Построение плана скоростей кулисного механизма.....	9
4 Вопросы для самопроверки	22
Список использованных источников	24

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), 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 заданиями. Результаты кинематического анализа являются исходными данными для силового анализа при выполнении проектов и расчетно-графических заданий. В настоящих методических указаниях даны общие сведения, исходные данные, подробно рассмотрен пример кинематического анализа типового механизма методом планов с поэтапным построением плана скоростей.

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.

Звеном называется совокупность деталей, скрепленных друг с другом неподвижно.

Кинематической парой (КП) называют 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].

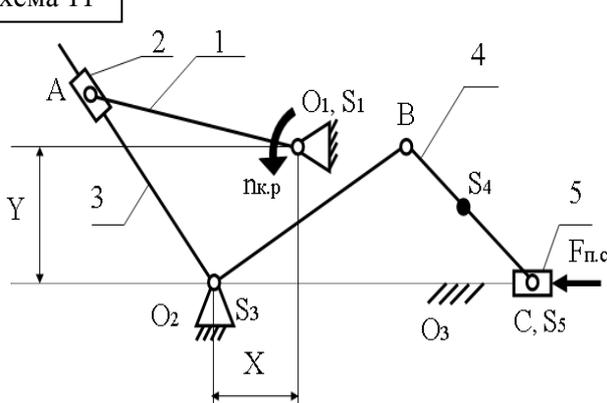
Для выполнения кинематического анализа должны быть известны:

- кинематическая схема механизма;
- размеры звеньев механизма, m ;
- величина и направление угловой скорости ведущего звена $\omega_1, c^{-1}(рад/с)$;
- двенадцать планов положений механизма, построенного в масштабном коэффициенте $\mu_p, м/мм$.

2 Исходные данные для кинематического анализа

Исходные данные должны быть взяты из своего варианта кинематической схемы с числовыми значениями необходимых величин, принятых ранее на стадии структурного анализа. Например, схема 11, вариант числовых значений и номер положения механизма для дальнейшего силового анализа 10 (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Кинематическая схема кулисного механизма и исходные данные

Схема 11		№	$n_{кр.}$ об/мин	F_{nc} кН	l_x мм	l_y мм	l_{O_1A} мм	l_{O_2B} мм	l_{BC} мм
		1	60	1,0	150	300	600	600	1500
		2	65	1,1	200	350	700	700	1750
		3	70	1,2	200	300	600	600	1500
		4	75	1,3	150	400	800	800	2000
		5	80	1,4	150	400	800	800	2000
		7	90	1,5	150	350	700	700	1750
		8	100	1,6	100	300	600	600	1500
		9	110	1,7	100	250	500	500	1250
$J_{si}, кг \cdot м^2$	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	10	115	1,8	100	200	400	400	1000
$m_i, кг$	$m_i = g \cdot l_i; m_5 = 3 \cdot m_1; g = 10 (кг/м)$	11	60	2,0	100	250	500	500	1250

Примечание – в таблице 2.1 приняты следующие обозначения

где $n_{кр.}$ – частота вращения кривошипа, об/мин;

F_{nc} – сила полезного сопротивления, кН;

J_{si} – собственные моменты инерции звеньев, кг·м²;

m_i – массы звеньев, кг;

g – масса одного метра звена 10 кг/м;

l_x, l_y – координаты точки O_2 относительно O_1 , мм;

$l_{O_1A}, l_{O_2B}, l_{BC}$ – длины звеньев, мм;

S_1, S_3, S_4, S_5 – центры тяжести 1, 3, 4, 5 звеньев соответственно.

Кинематический анализ начинается с построения планов положений механизма в выбранном масштабном коэффициенте. Количество, название и масштабные размеры звеньев механизма были определены ранее в структурном анализе [1]. Все параметры были сведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Количество и название звеньев кулисного механизма

Звено	Наименование звеньев	Буквенное обозначение звеньев	Действительные размеры, м	Масштабные размеры, мм ($\mu_l = 0,005 \frac{\text{м}}{\text{мм}}$)
1	кривошип	O_1A	$l_{O_1A} = 0,4 \text{ м}$	$\bar{l}_{O_1A} = \frac{l_{O_1A}}{\mu_l} = \frac{0,4}{0,005} = 80$
2	ползун	A	-	-
3	коромысло-кулиса	O_2B	$l_{O_2B} = 0,4 \text{ м}$	$\bar{l}_{O_2B} = \frac{l_{O_2B}}{\mu_l} = \frac{0,4}{0,005} = 80$
		O_2A_3	$l_{O_2A_3} = ?$	$\bar{l}_{O_2A_3} = ?$
4	шатун	BC	$l_{BC} = 1 \text{ м}$	$\bar{l}_{BC} = \frac{l_{BC}}{\mu_l} = \frac{1}{0,005} = 200$ $\bar{l}_{BS_4} = \frac{l_{BS_4}}{\mu_l} = \frac{0,5}{0,005} = 100$
5	ползун	C	-	-
6	стойка	O_1, O_2, O_3	$l_X = 0,1 \text{ м}$	$\bar{l}_X = \frac{l_X}{\mu_l} = \frac{0,1}{0,005} = 20 \text{ мм}$
			$l_Y = 0,2 \text{ м}$	$\bar{l}_Y = \frac{l_Y}{\mu_l} = \frac{0,2}{0,005} = 40 \text{ мм}$
Всего звеньев в механизме				6
Подвижных звеньев в механизме n				5

3 Построение плана скоростей кулисного механизма

Исходные данные: кинематическая схема механизма, построенная в масштабном коэффициенте $\mu_l = 0,005 \text{ м/мм}$ в заданном 10 положении (рисунок 3.1).

Размеры звеньев: $l_{O_1A} = 0,4 \text{ м}$, $l_{BC} = 1 \text{ м}$, $l_{BS_4} = 0,5 \text{ м}$. Угловую скорость звена 1 – кривошипа $\omega_1, \text{ рад/с}$, находят по формуле

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_{\text{кр}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 115}{30} = 12,04 \text{ с}^{-1}, \quad (3.1)$$

где $n_{\text{кр}}$ – заданная частота вращения кривошипа, *об/мин*.

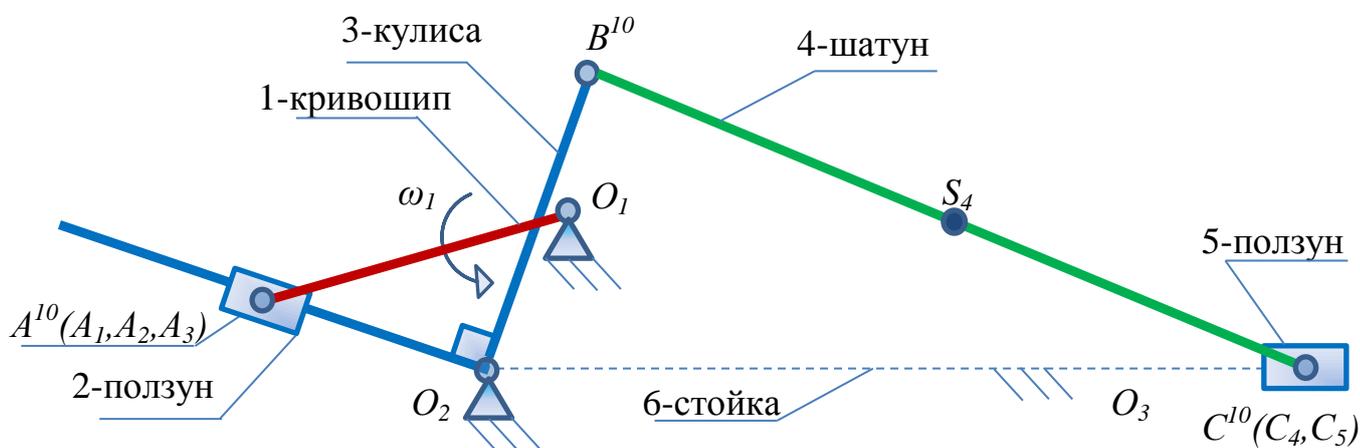


Рисунок 3.1 – План десятого положения кулисного механизма

Построение планов скоростей основано на графоаналитическом методе решения векторных уравнений [2], [3].

Абсолютная скорость \vec{V}_{A_1} точки A_1 на конце ведущего звена 1

$$\vec{V}_{A_1} = \vec{V}_{O_1} + \vec{V}_{A_1O_1}, \quad (3.2)$$

где \vec{V}_{O_1} – переносная скорость точки O_1 (величина вектора равна нулю, так как точка O_1 неподвижна)

$$\vec{V}_{O_1} = 0.$$

Тогда абсолютная скорость \vec{V}_{A_1} точки A_1 будет равна относительной скорости $\vec{V}_{A_1O_1}$, а скалярную величину находят по формуле

$$V_{A_1} = V_{A_1O_1} = \omega_1 \cdot l_{O_1A} = 12,04 \cdot 0,4 = 4,82 \text{ м/с.} \quad (3.3)$$

Для того, чтобы начать строить план скоростей, необходимо выбрать масштабный коэффициент построения плана μ_V .

Для нахождения величины масштабного коэффициента, действительное (скалярное) значение скорости кривошипа $V_{A_1O_1}$, м/с, нужно поделить на величину вектора, изображаемого на плане скоростей $\bar{V}_{A_1O_1}$, мм. Желательно, чтобы изображаемая на чертеже длина вектора скорости кривошипа $\bar{V}_{A_1O_1}$, мм, была от 50 до 100 миллиметров (для удобства и наглядности выполнения чертежа), тогда

$$\mu_V = \frac{V_{A_1O_1}}{\bar{V}_{A_1O_1}} = \frac{4,82}{100 \dots 50} = 0,048 \dots 0,096 \frac{\text{м/с}}{\text{мм}}. \quad (3.4)$$

Масштабный коэффициент выбирают из рассчитанного диапазона и округляют до стандартного значения из таблицы 3.1.

С учетом выбранного и принятого масштабного коэффициента (таблица 3.1) длина любого вектора скорости \bar{V}_i , мм, изображаемого на чертеже (плане скоростей) будет определяться выражением

$$\bar{V}_i = \frac{V_i}{\mu_V}. \quad (3.5)$$

Таблица 3.1 – Численные значения стандартных чисел масштабных коэффициентов

Диапазоны значений				
0,001	0,002	0,0025	0,004	0,005
0,01	0,02	0,025	0,04	0,05
0,1	0,2	0,25	0,4	0,5
1	2	2,5	4	5
10	20	25	40	50
100	200	250	400	500 и так далее

Масштабный коэффициент плана скоростей μ_V , (м/с)/мм, примем равным

$$\mu_V = 0,05 \frac{\text{м/с}}{\text{мм}}. \quad (3.6)$$

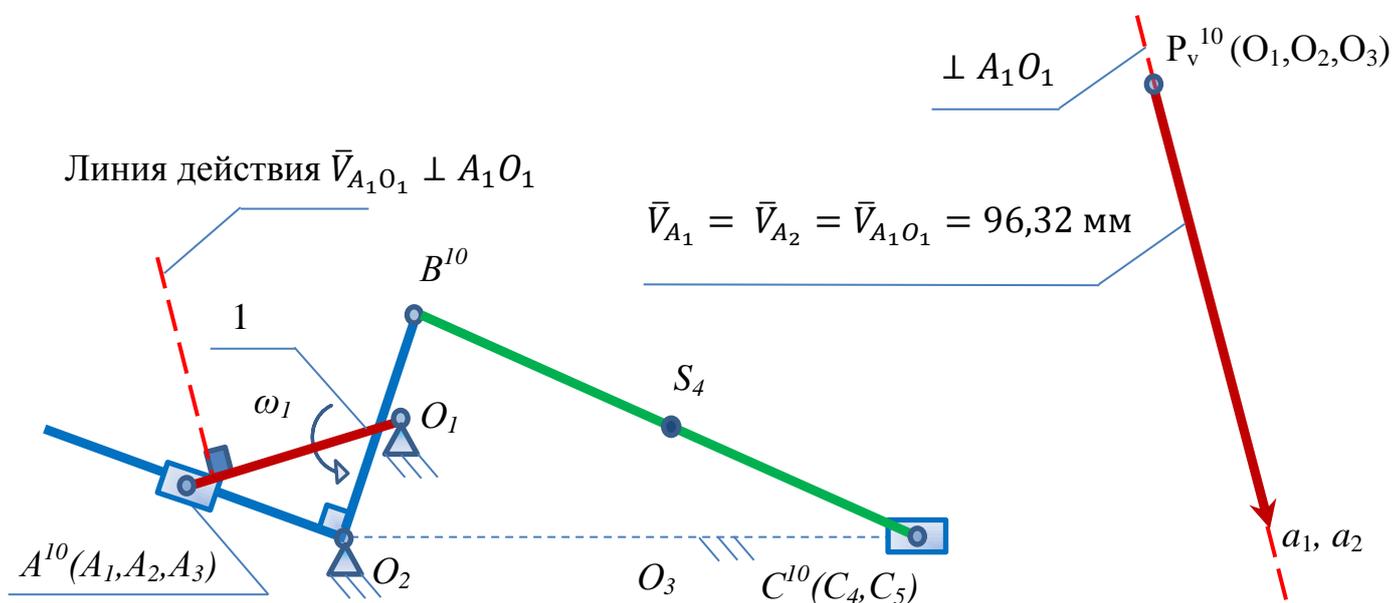
Длина вектора скорости \bar{V}_{A_1} , мм, изображаемого на плане, рассчитывается по формуле

$$\bar{V}_{A_1} = \frac{V_{A_1}}{\mu_V} = \frac{4,82}{0,05} = 96,32 \text{ мм}. \quad (3.7)$$

Из произвольно выбранной точки (рисунок 3.2 а, б) P_V (полюса плана скоростей) строим вектор скорости $\bar{V}_{A_1 O_1}$ перпендикулярно $O_1 A_1$ в направлении угловой скорости ω_1 .

Так как $\bar{V}_{O_1} = 0$, тогда точка O_1 на плане скоростей совпадает с полюсом P_V .

Скорость точки A_2 , принадлежащей звену 2, равна скорости точки A_1 , принадлежащей звену 1, то есть $\bar{V}_{A_2} = \bar{V}_{A_1}$. Скорость \bar{V}_{O_2} равна нулю, так как точка O_2 неподвижна.



а) план десятого положения механизма

б) скорость точек A_1, A_2

Рисунок 3.2 – Построение плана скоростей – первый этап

Скорость средней точки A_3 первой группы Ассур определяем через скорости крайних точек этой группы A_2 и O_2 . Причем точка A_3 принадлежит звену 3 и в данный момент совпадает с точками A_1 и A_2 .

Скорость точки A_3 относительно точки A_2 находят из уравнения

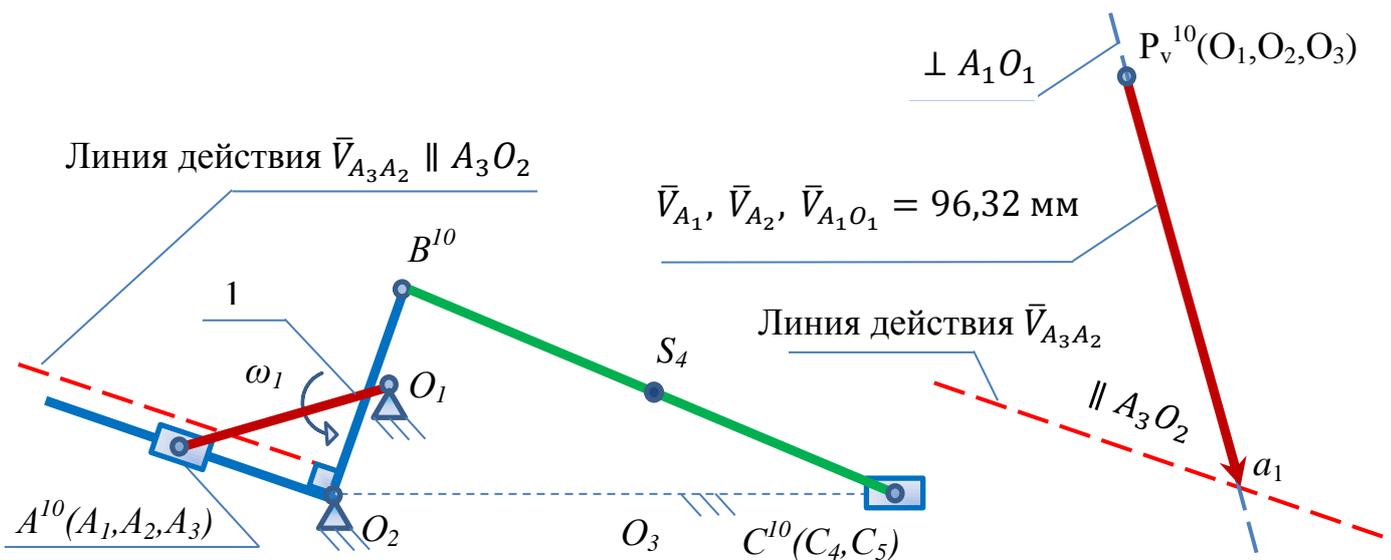
$$\vec{V}_{A_3} = \vec{V}_{A_2} + \vec{V}_{A_3A_2}, \quad (3.8)$$

где \vec{V}_{A_2} – вектор скорости точки A_2 в этом уравнении выступает как вектор скорости в переносном движении, величина и направление его уже известны (рисунок 3.2 а, б);

$\vec{V}_{A_3A_2}$ – вектор представляет собой относительную скорость звена 3 относительно звена 2 (скорость скольжения), направлен параллельно звену O_2A_3 .

Величина этой скорости неизвестна. Поэтому из конца вектора \vec{V}_{A_2} , изображаемого на плане скоростей, проводим только линию действия скорости $\vec{V}_{A_3A_2}$ параллельно звену O_2A_3 (рисунок 3.3 а, б).

В связи с тем, что уравнение (3.8) не может быть решено, так как неизвестны величина и направление вектора скорости $\vec{V}_{A_3A_2}$, мм, поэтому необходимо рассмотреть движение точки A_3 с другой стороны – относительно точки O_2 .



а) план десятого положения механизма

б) поступательная скорость точки A_3

Рисунок 3.3 – Скорость точки A_3 относительно A_2

Уравнение скорости точки A_3 относительно O_2 имеет вид

$$\vec{V}_{A_3} = \vec{V}_{O_2} + \vec{V}_{A_3 O_2}, \quad (3.9)$$

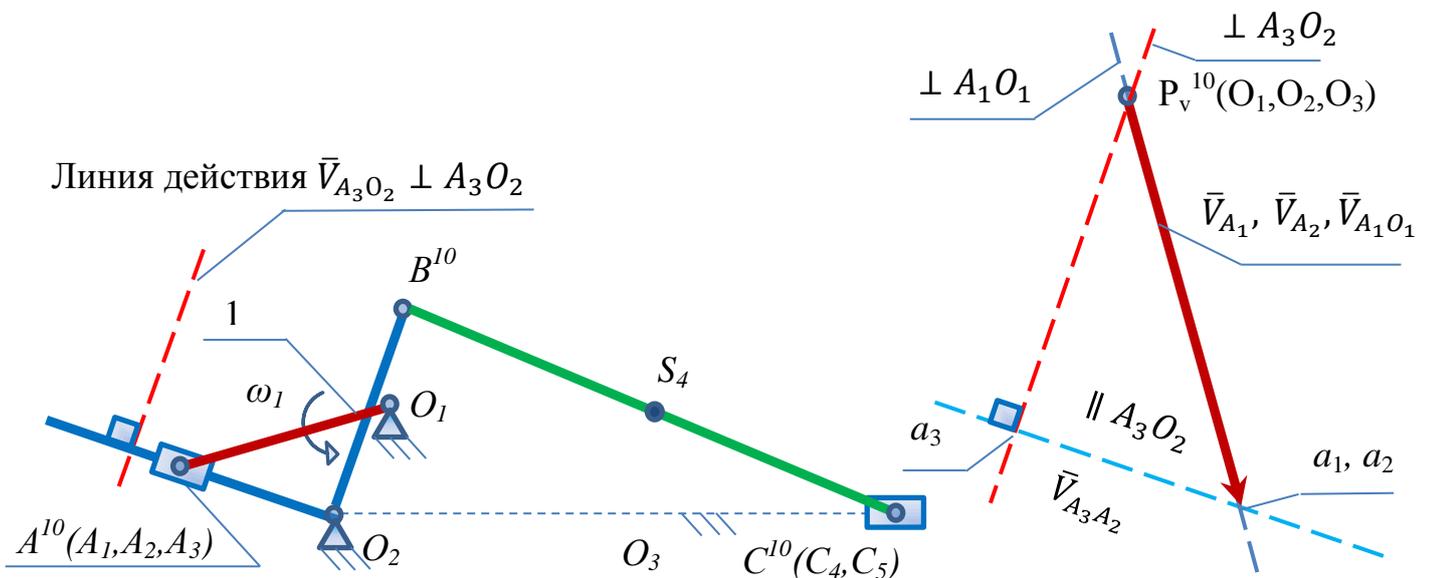
где \vec{V}_{O_2} – вектор скорости звена 3 в переносном (поступательном) движении вместе с точкой O_2 (так как точка O_2 неподвижна, то $V_{O_2} = 0$, и точка O_2 совпадает с полюсом плана скоростей P_V);

$\vec{V}_{A_3 O_2}$ – вектор скорости относительного (вращательного) движения точки A_3 относительно точки O_2 (линия действия скорости перпендикулярна звену $O_2 A_3$) (рисунок 3.4 а).

Скалярную величину скорости $V_{A_3 O_2}$, м/с, находят по формуле

$$V_{A_3 O_2} = \omega_3 \cdot l_{O_2 A_3}. \quad (3.10)$$

Величина $V_{A_3 O_2}$ неизвестна, так как неизвестна угловая скорость звена 3 – ω_3 , поэтому из полюса P_V (из точки O_2) проводим только линию действия скорости $\vec{V}_{A_3 O_2}$, мм (рисунок 3.4 б).



а) план десятого положения механизма б) вращательная скорость точки A_3

Рисунок 3.4 – Скорость точки A_3 относительно O_2

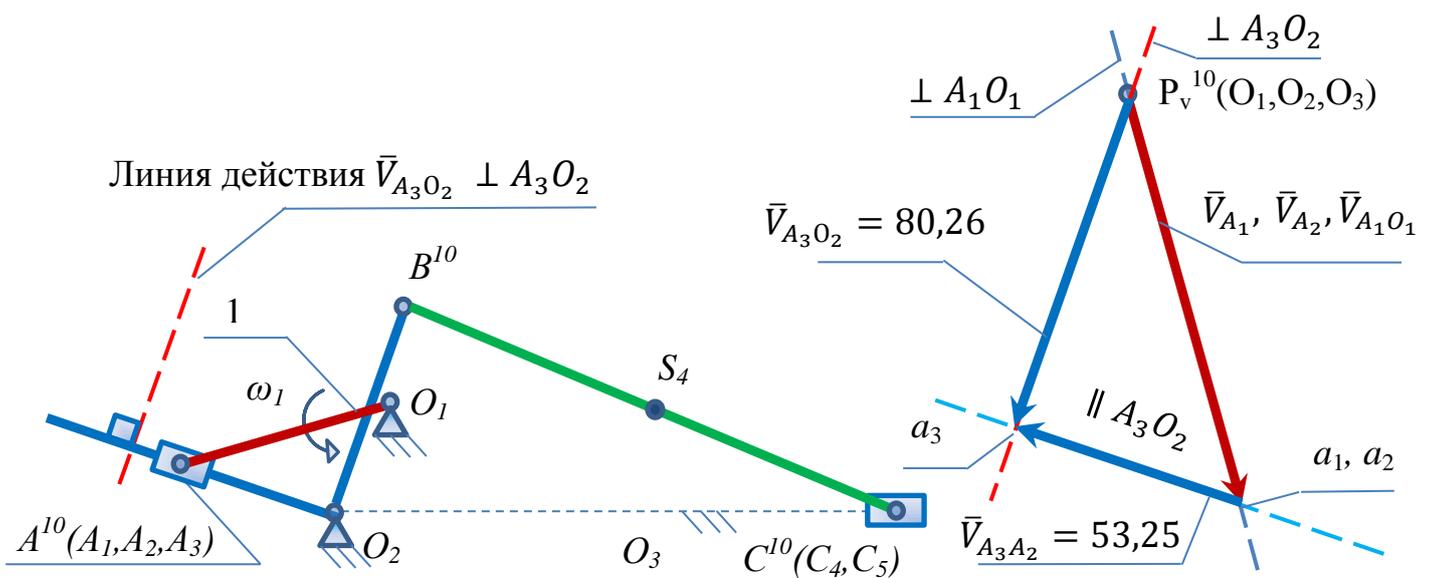
Уравнения (3.8) и (3.9) могут быть решены только графически, как система графических уравнений (3.11).

$$\begin{cases} \vec{V}_{A_3} = \vec{V}_{A_2} + \vec{V}_{A_3A_2} \\ \vec{V}_{A_3} = \vec{V}_{O_2} + \vec{V}_{A_3O_2} \end{cases} \quad (3.11)$$

Точка пересечения двух линий действий $\vec{V}_{A_3A_2}$ ($\vec{V}_{A_3A_2}$) и $\vec{V}_{A_3O_2}$ ($\vec{V}_{A_3O_2}$) определяет на плане скоростей положение (рисунок 3.5 б) точки A_3 . Отрезок $\overline{P_V a_3}$ представляет собой вектор скорости точки A_3 . Тогда изображаемый вектор скорости \vec{V}_{A_3} , мм, равен

$$\vec{V}_{A_3} = \vec{V}_{A_3O_2} = \overline{P_V a_3} = 80,23 \text{ мм}.$$

По свойству подобия находим на плане скоростей точку В, которая принадлежит звену 3 и звену 4, то есть является крайней точкой второй группы Ассура. Точки A_3 , O_2 и В, принадлежащие звену 3, образуют фигуру треугольника с направлением обхода вершин против часовой стрелки и углом 90° при вершине O_2 . На плане скоростей строим треугольную фигуру $a_3 P_V b$, подобную фигуре $A_3 O_2 B$ плана положений звена, но повернутую относительно нее на 90° .



а) план десятого положения механизма б) абсолютная скорость точки A_3

Рисунок 3.5 – Скорость точки A_3 относительно точек A_3 и O_2

Для этого перпендикулярно отрезку $\overline{a_3 P_V}$ проводим отрезок $\overline{P_V b}$, длина которого определяется из соотношения

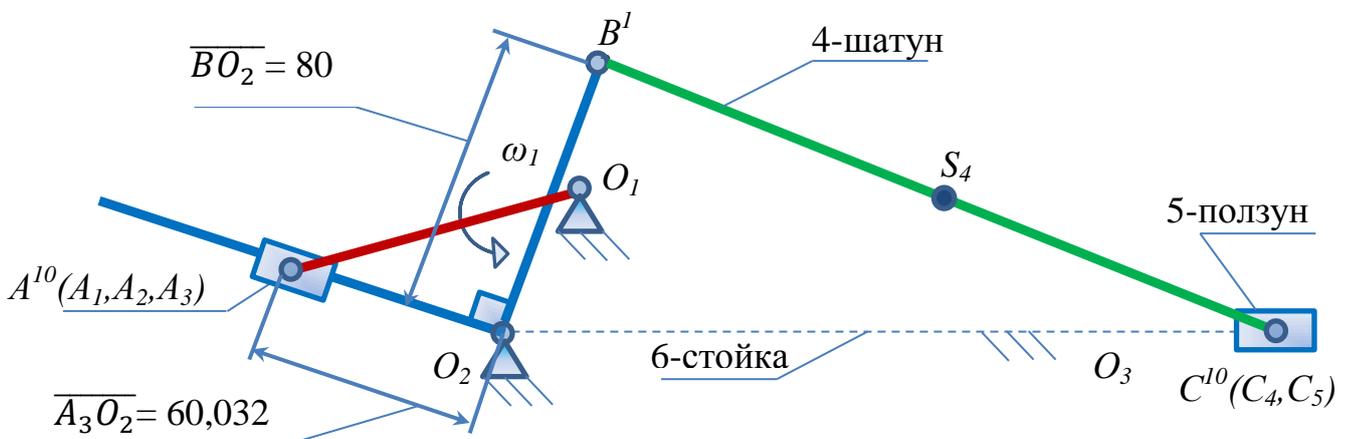
$$\frac{(\overline{A_3 O_2})}{(\overline{B O_2})} = \frac{(\overline{a_3 P_V})}{(\overline{P_V b})}, \quad (3.12)$$

откуда

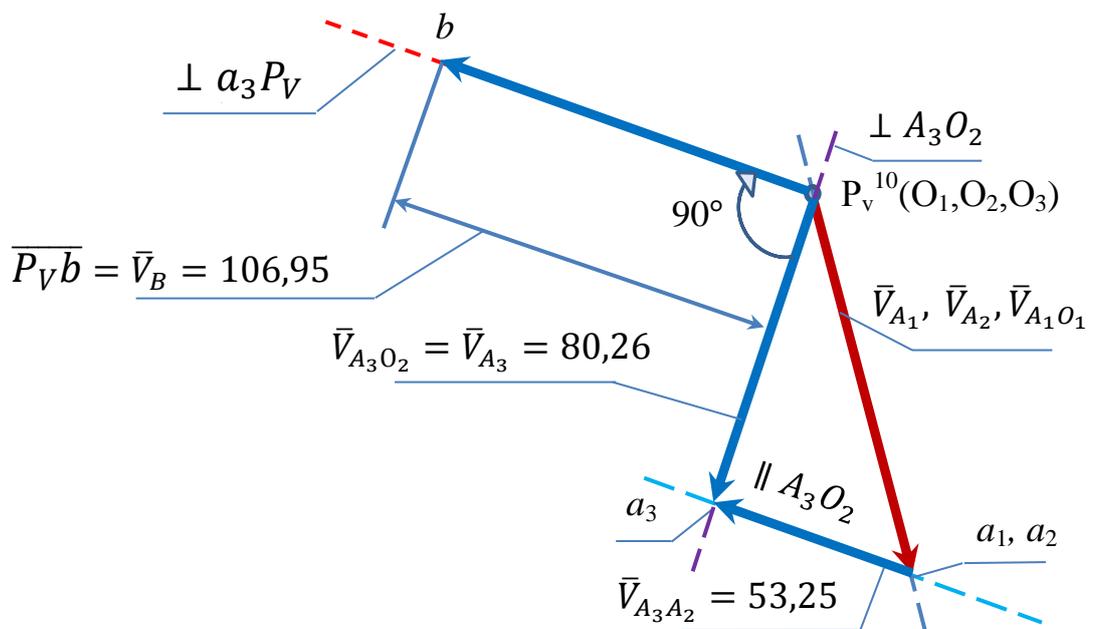
$$\overline{P_V b} = \frac{(\overline{B O_2}) \cdot (\overline{a_3 P_V})}{(\overline{A_3 O_2})} = \frac{80 \cdot 80,26}{60,032} = 106,95 \text{ мм.} \quad (3.13)$$

Отрезок $\overline{P_V b}$ (рисунок 3.6 а, б) представляет собой вектор скорости точки В

$$\vec{V}_B = \overline{P_V b} = 106,95 \text{ мм.}$$



а) план десятого положения механизма



б) построение вектора скорости точки В

Рисунок 3.6 – Скорость точки В

Скорость точки С относительно точки В находят из уравнения

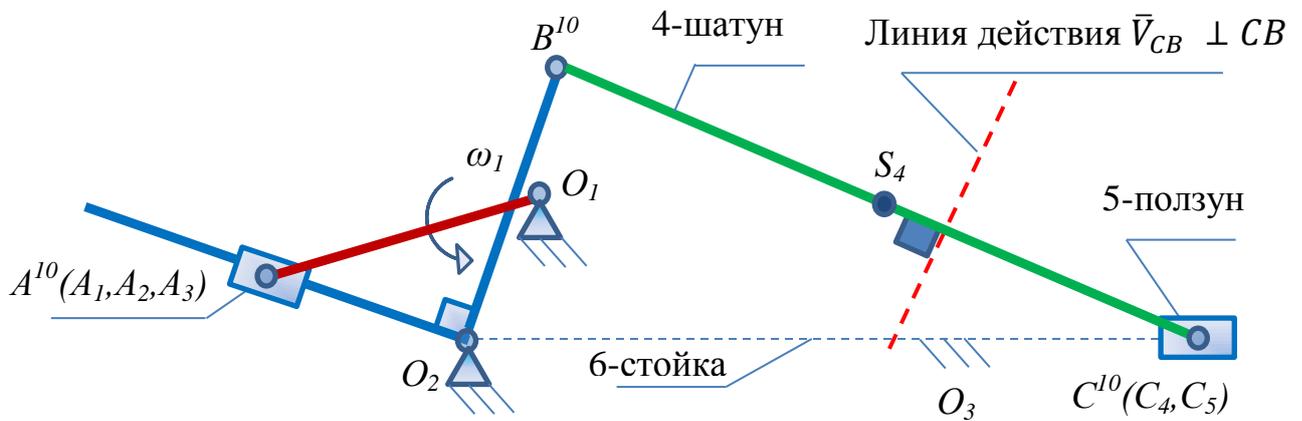
$$\vec{V}_C = \vec{V}_B + \vec{V}_{CB}, \quad (3.14)$$

где \vec{V}_B – вектор скорости переносного (поступательного) движения звена ВС, величина и направление его уже известны (рисунок 3.6 б);

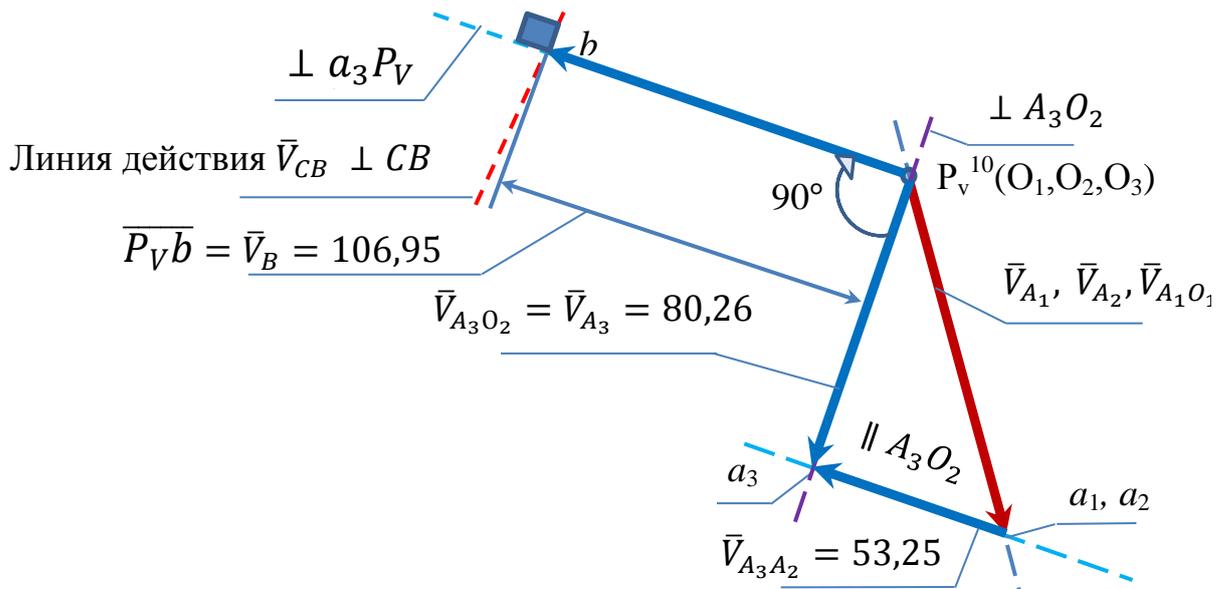
\vec{V}_{CB} – вектор относительной скорости точки С при вращении его вокруг точки В. Линия действия вектора перпендикулярна звену СВ (рисунок 3.7 а).

Скалярную величину скорости V_{CB} , м/с, находят из соотношения (рисунок 3.7 б)

$$V_{CB} = \omega_4 \cdot l_{CB}. \quad (3.15)$$



а) план десятого положения механизма



б) вращательная скорость точки С относительно В

Рисунок 3.7 – Скорость точки С относительно В

Уравнение (3.14) не может быть решено, и значение скорости V_{CB} на этом этапе неизвестно, так как неизвестно значение и направление угловой скорости звена 4 – $\omega_4, \text{rad/c}$ (рисунок 3.7 б). Поэтому из конца вектора \vec{V}_B (на плане скоростей) проводим только линию действия скорости \vec{V}_{CB} перпендикулярно звену СВ. Далее необходимо рассмотреть движение точки С с другой стороны – относительно неподвижной точки O_3 . Уравнение скорости \vec{V}_C точки С, поступательно двигающейся относительно неподвижной направляющей O_3 :

$$\vec{V}_C = \vec{V}_{O_3} + \vec{V}_{CO_3}, \quad (3.16)$$

где \vec{V}_{O_3} – вектор скорости точки O_3 (совпадающей с точкой C_4, C_5) на неподвижной направляющей в переносном движении. Так как $\vec{V}_{O_3} = 0$, то точка O_3 совпадает с полюсом плана скоростей P_V ;

\vec{V}_{CO_3} – вектор скорости в относительном (поступательном) движении звена 5 относительно (параллелен) направляющей O_2O_3 . По величине скорость V_{CO_3} неизвестна. Поэтому из полюса P_V проводим только линию действия изображаемого вектора скорости \vec{V}_{CO_3} , мм, параллельно O_2O_3 (рисунок 3.8).

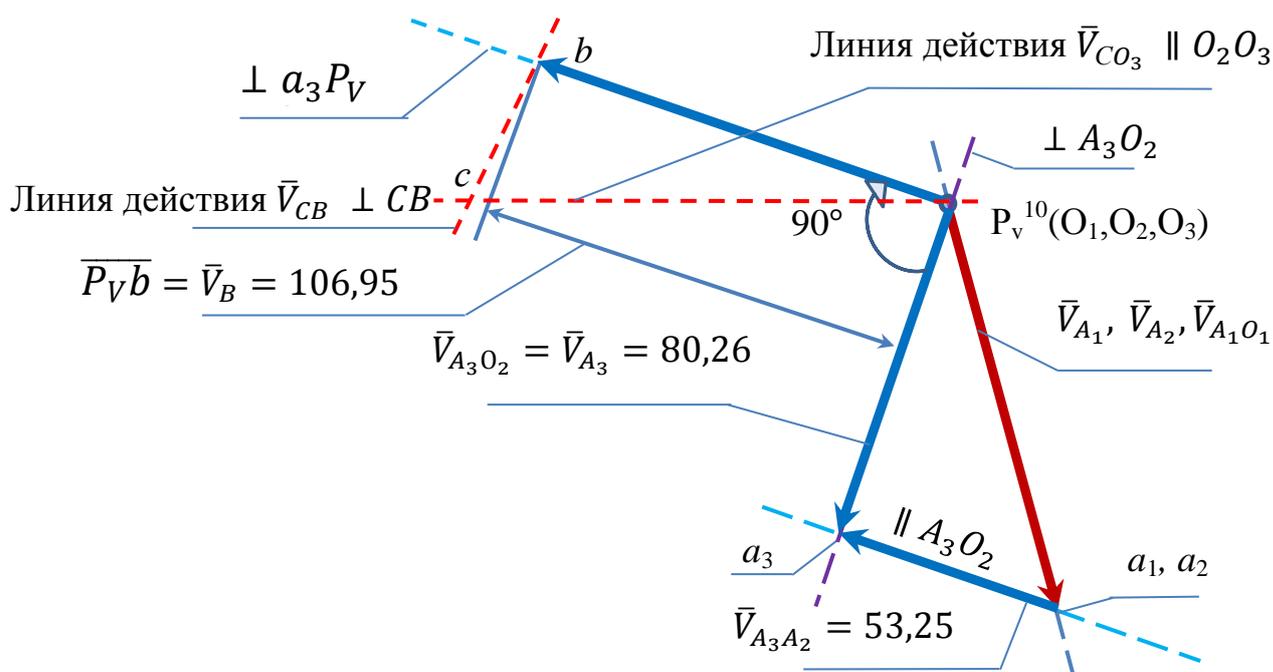


Рисунок 3.8 – Скорость точки С относительно O_3

Уравнения (3.8) и (3.16) могут быть решены только графически, как система графических уравнений (3.11).

$$\begin{cases} \vec{V}_C = \vec{V}_B + \vec{V}_{CB} \\ \vec{V}_C = \vec{V}_{O_3} + \vec{V}_{CO_3} \end{cases} \quad (3.17)$$

Точка пересечения двух линий действия \vec{V}_{CB} и \vec{V}_{CO_3} определяет на плане скоростей положение точки С. Отрезок $\overline{P_V C}$ представляет собой вектор скорости точки С, то есть

$$\vec{V}_C = \overline{P_V C} \text{ и } \vec{V}_{CB} = \overline{cb}.$$

По свойству подобия находим положения центров тяжести весомых звеньев на плане скоростей. Центр тяжести звена 4 (рисунок 3.9 а) лежит на прямой ВС на плане положений механизма, поэтому соответствующая ей точка на плане скоростей, лежит на прямой, проходящей через точки b и c (рисунок 3.9 б). При этом длина отрезка $\overline{bS_4}$, мм, на плане скорости определяется соотношением

$$\frac{\overline{BC}}{\overline{BS_4}} = \frac{\overline{bc}}{\overline{bS_4}}, \quad (3.18)$$

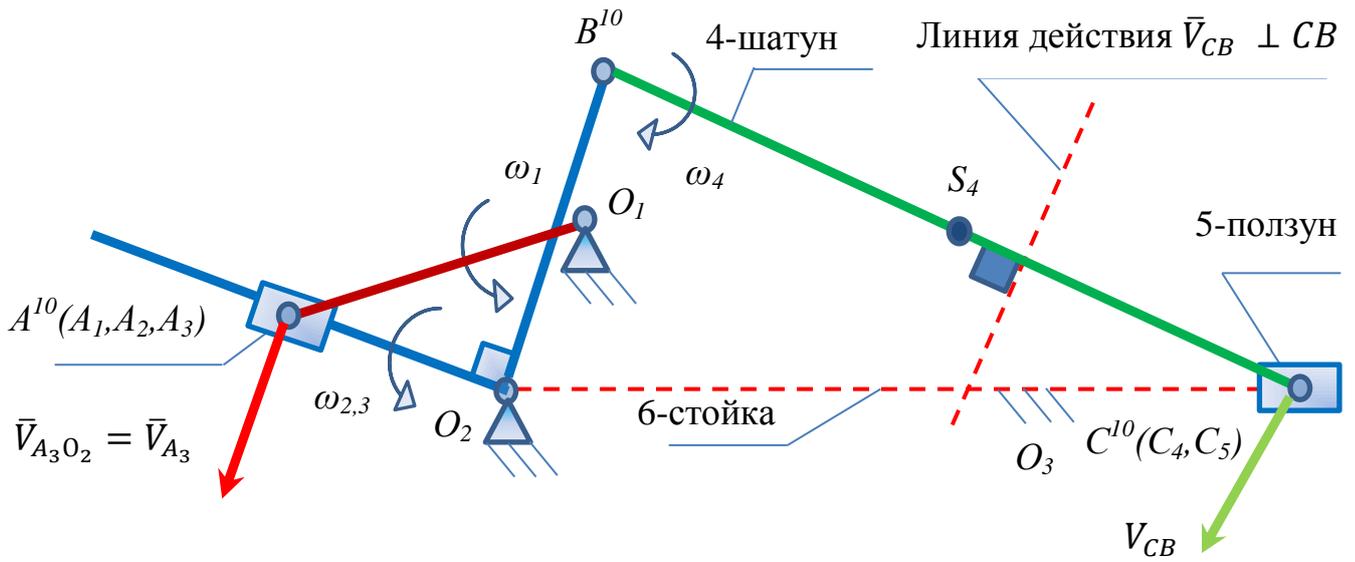
откуда

$$\overline{bS_4} = \frac{\overline{BS_4}}{\overline{BC}} \cdot \overline{bc} = \frac{100}{200} \cdot 34,83 = 17,41 \text{ мм}. \quad (3.19)$$

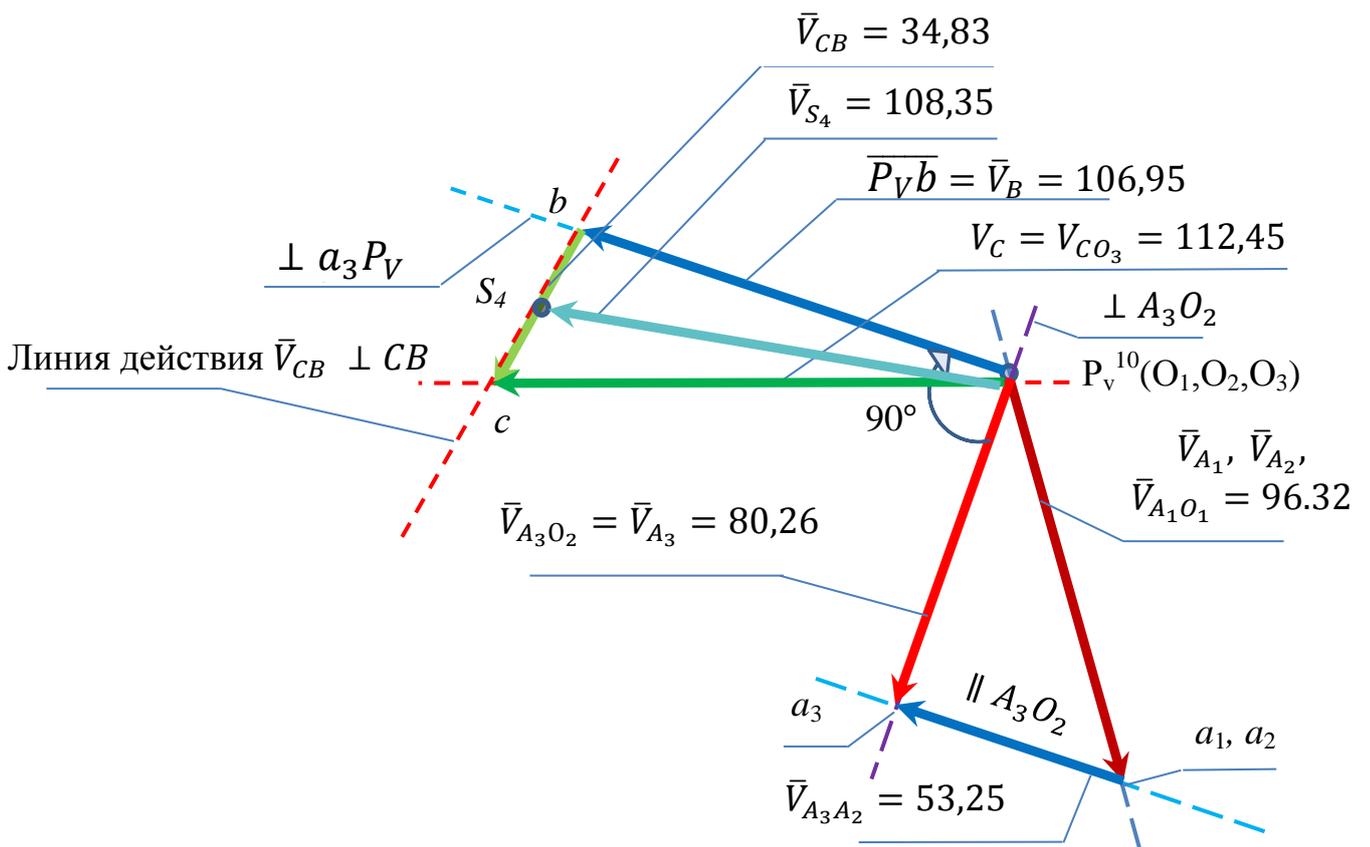
Вектор скорости \vec{V}_{S_4} , мм, точки S_4 (рисунок 3.9 б) определяется отрезком $\overline{P_V S_4}$, то есть

$$\vec{V}_{S_4} = \overline{P_V S_4} = 108,35 \text{ мм}.$$

Для большей наглядности и удобства представления истинные (абсолютные) значения скоростей всех точек механизма сведены в таблицу 3.2.



а) план десятого положения механизма



б) построение плана скоростей

Рисунок 3.9 – Скорость точки S_4

Таблица 3.2 – Истинные (абсолютные) значения скоростей точек механизма

Величина, размерность	Формула	Расчет	Результат
$V_{A_1} = V_{A_2} = V_{A_1O_1}, \text{ м/с}$	$\omega_1 \cdot l_{O_1A}$	$12,04 \cdot 0,4$	4,82
$V_{A_3} = V_{A_3O_2}, \text{ м/с}$	$\bar{V}_{A_3} \cdot \mu_V$	$80,26 \cdot 0,05$	4,01
$V_B, \text{ м/с}$	$\bar{V}_B \cdot \mu_V$	$106,95 \cdot 0,05$	5,34
$V_{CB}, \text{ м/с}$	$\bar{V}_{CB} \cdot \mu_V$	$34,83 \cdot 0,05$	1,74
$V_{A_3A_2}, \text{ м/с}$	$\bar{V}_{A_3A_2} \cdot \mu_V$	$53,25 \cdot 0,05$	2,66
$V_C = V_{CO_3}, \text{ м/с}$	$\bar{V}_C \cdot \mu_V$	$112,48 \cdot 0,05$	5,62
$V_{S_4}, \text{ м/с}$	$\bar{V}_{S_4} \cdot \mu_V$	$108,35 \cdot 0,05$	5,42
$l_{A_3O_2}, \text{ м}$	$\bar{l}_{A_3O_2} \cdot \mu_l$	$60,03 \cdot 0,005$	0,30
$\omega_1, \text{ рад/с}$	$\pi \cdot n_1 / 30$	$3,14 \cdot 115 / 30$	12,04
$\omega_2 = \omega_3, \text{ рад/с}$	$V_{A_3} / l_{A_3O_2}$	$4,01 / 0,3$	13,36
$\omega_4, \text{ рад/с}$	V_{CB} / l_{CB}	$1,74 / 2$	0,87

Для определения направления угловой скорости $\omega_3, \text{ рад/с}$, звена 3 вектор $\bar{V}_{A_3O_2} = \bar{V}_{A_3}$, то есть вектор относительной скорости точки A_3 при вращении ее относительно точки O_2 , переносим с плана скоростей на звено 3 в точку A_3 и рассматриваем вращение этого звена вокруг точки O_2 (против часовой стрелки). Аналогично, определяем направления угловой скорости ω_4 звена 4, перенося вектор скорости \bar{V}_{CB} с плана скорости в точку C звена 4 на план механизма, рассматриваем вращение звена 4 вокруг точки B (по часовой стрелке) (рисунок 3.9).

Сравнение результатов двух методов. В таблице 3.1 на странице 25 [2] необходимо взять значение $V_5, \text{ м/с}$, для заданного (десятого) положения (графический метод), оно же будет значением скорости $V_C, \text{ м/с}$, точки C для заданного (десятого) положения механизма, рассмотренного в данных методических указаниях (графоаналитический метод). Результаты двух методов должны быть одинаковы. Допустимая погрешность в пределах 10 % (зависит от точности построения и правильности расчетов). В примере погрешность составила 5,7 %.

На рисунке 3.10 пример оформления листа отчета по плану скоростей.

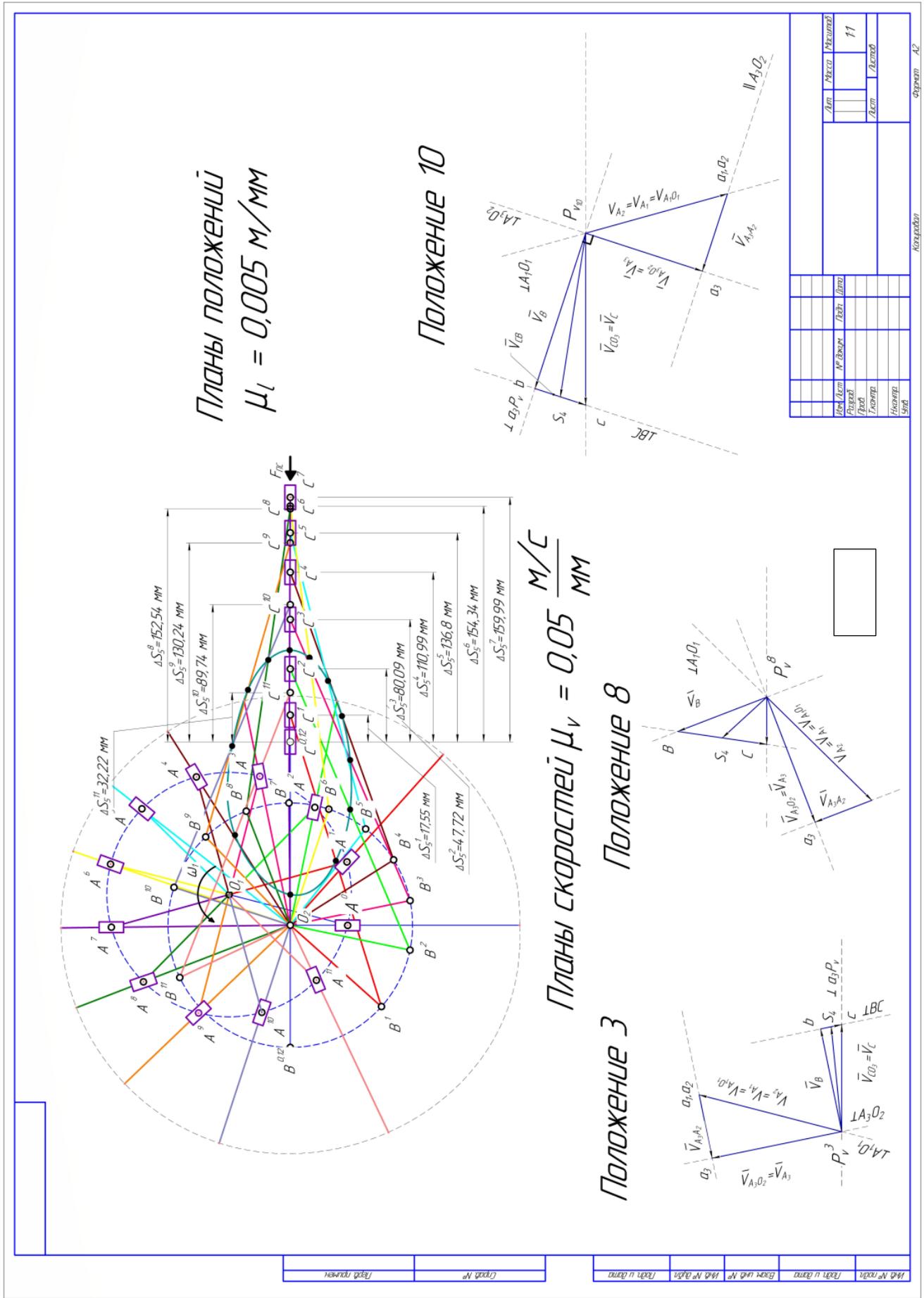


Рисунок 3.10 – Планы положений и планы скоростей кулисного механизма

4 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 характеризуется ...
- 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 Время цикла можно найти по формуле:
- 21 Вектор скорости точки при естественном способе задания движения:
- 22 Нормальное ускорение точки движущейся по окружности определяется по формуле:
- 23 Нормальное ускорение точки при вращательном движении определяется по формуле:
- 24 Центробежное ускорение при вращательном движении определяется по формуле:
- 25 Касательное ускорение точки движущейся по окружности определяется по формуле:
- 26 Тангенциальное ускорение при вращательном движении определяется по формуле:
- 27 Величина ускорения Кориолиса определяется по формуле:
- 28 Кориолисово ускорение точки относительно точки на неподвижной направляющей равно ...
- 29 Кориолисово ускорение учитывается при кинематическом анализе ...
- 30 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 Клещарева, Г.А. Кинематический анализ рычажных механизмов. Метод планов : методические указания / Г.А. Клещарева. – Оренбург : ОГУ, 2019. – 23 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 Фролов, К.В. Теория механизмов и машин / К.В. Фролов. – М. : Высшая школа, 1999. – 496 с.
- 7 Попов, С.А. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин / С.А. Попов. – М. : Высшая школа, 1986. – 250 с.