

Семинар 2

Кинематический анализ плоского рычажного механизма V-образного ДВС методом планов

**Цель семинара: изучение
метода планов положений,
скоростей и ускорений на
конкретном примере рычажного
механизма ДВС**

Задачи семинара:

1. Построение кинематической схемы механизма (плана положений)
2. Построение плана скоростей для всех точек, обозначенных на механизме
3. Построение плана ускорений для всех точек, обозначенных на механизме
4. Знакомство с примерами оформления данного раздела первой части КР

[Далее...](#)

Исходные данные к первому ДЗ по Механике

Таблица 1

Вари- ант	H [мм]	λ [1]	D_n [мм]	φ_1 [град]	β [град]	n [$\frac{об}{мин}$]	$\frac{l_{AS_2}}{l_{AB}}$	P [$\frac{H}{см^2}$]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	50	0,28	75	30	60	3800	0,30	50
2.	60	0,28	78	45	70	3500	0,28	45
3.	70	0,28	82	60	80	3000	0,35	50
4.	80	0,28	85	75	90	2800	0,30	47
5.	90	0,28	98	120	100	3200	0,28	50
6.	54	0,25	72	15	110	3400	0,33	42
7.	66	0,25	76	60	120	3600	0,35	50
8.	74	0,25	80	45	60	2600	0,30	50
9.	92	0,25	92	30	70	2500	0,33	45
10.	88	0,25	82	45	80	2400	0,33	45
11.	60	0,27	65	60	90	2700	0,35	45
12.	70	0,27	75	30	100	2900	0,28	50
13.	80	0,27	75	120	110	3800	0,32	45
14.	84	0,27	95	150	120	3500	0,28	40
15.	94	0,27	90	120	60	3000	0,30	50
16.	50	0,29	78	45	70	2800	0,28	45
17.	60	0,29	80	60	80	3200	0,30	45
18.	70	0,29	82	45	90	3400	0,33	50
19.	90	0,29	95	30	100	3500	0,30	45
20.	100	0,29	85	60	110	2600	0,32	40
21.	52	0,30	78	30	60	2500	0,30	40
22.	64	0,30	76	45	70	2400	0,25	45
23.	72	0,30	80	60	80	2700	0,28	50
24.	84	0,30	95	75	90	2900	0,28	40
25.	92	0,30	90	30	100	3800	0,30	50
26.	50	0,25	72	15	110	3500	0,35	45
27.	60	0,25	82	60	120	3000	0,32	50
28.	70	0,24	85	45	60	2800	0,30	47
29.	80	0,25	63	30	70	3200	0,28	50
30.	90	0,25	65	75	80	3400	0,25	50

Таблица 1 (продолжение)

Вари- ант	H [мм]	λ [1]	D_n [мм]	φ_1 [град]	β [град]	n [$\frac{об}{мин}$]	$\frac{l_{AS_2}}{l_{AB}}$	P [$\frac{H}{см^2}$]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
31.	54	0,28	76	45	90	3600	0,28	45
32.	64	0,28	80	60	100	2600	0,30	45
33.	74	0,28	75	75	110	2500	0,32	45
34.	85	0,28	85	60	120	2400	0,35	45
35.	90	0,28	85	30	60	2700	0,32	50
36.	50	0,26	65	45	70	2900	0,30	45
37.	60	0,26	75	60	80	3800	0,26	40
38.	75	0,26	78	75	90	3500	0,25	50
39.	85	0,26	80	105	100	3000	0,30	42
40.	95	0,26	90	120	110	2800	0,30	43
41.	54	0,22	70	135	60	3200	0,25	42
42.	65	0,22	78	120	75	3400	0,30	48
43.	70	0,22	80	150	90	3600	0,25	48
44.	80	0,22	70	75	105	2600	0,30	40
45.	90	0,22	60	45	120	2500	0,25	40
46.	52	0,28	65	150	60	2400	0,28	45
47.	60	0,24	75	135	75	2700	0,32	50
48.	75	0,25	90	30	90	2900	0,30	50
49.	82	0,26	92	45	105	3800	0,28	45
50.	100	0,27	85	60	120	3500	0,25	40
51.	60	0,28	85	75	60	3000	0,25	45
52.	65	0,29	70	45	75	2800	0,28	60
53.	72	0,30	75	75	90	3200	0,30	48
54.	75	0,30	85	60	105	3400	0,32	45
55.	80	0,29	95	80	120	3600	0,25	50
56.	56	0,28	80	120	60	2600	0,38	40
57.	68	0,27	69	150	75	2500	0,30	45
58.	76	0,26	70	75	90	2400	0,28	50
59.	85	0,25	75	60	105	2700	0,25	45
60.	95	0,24	80	80	120	2900	0,30	50

Кинематический анализ плоского рычажного механизма методом планов

Постановка задачи:

Дано: Схема механизма, размеры – $H_C = H_F \beta$,
 $\lambda_2 = \lambda_4$, $\lambda_{S2} = \lambda_{S4}$, $K \cdot \phi_1$, ω_1 , ε_1 , K .

Определить: l_j , ϕ_j , V_j , a_j , ω_j , $\varepsilon_j \Rightarrow ?$

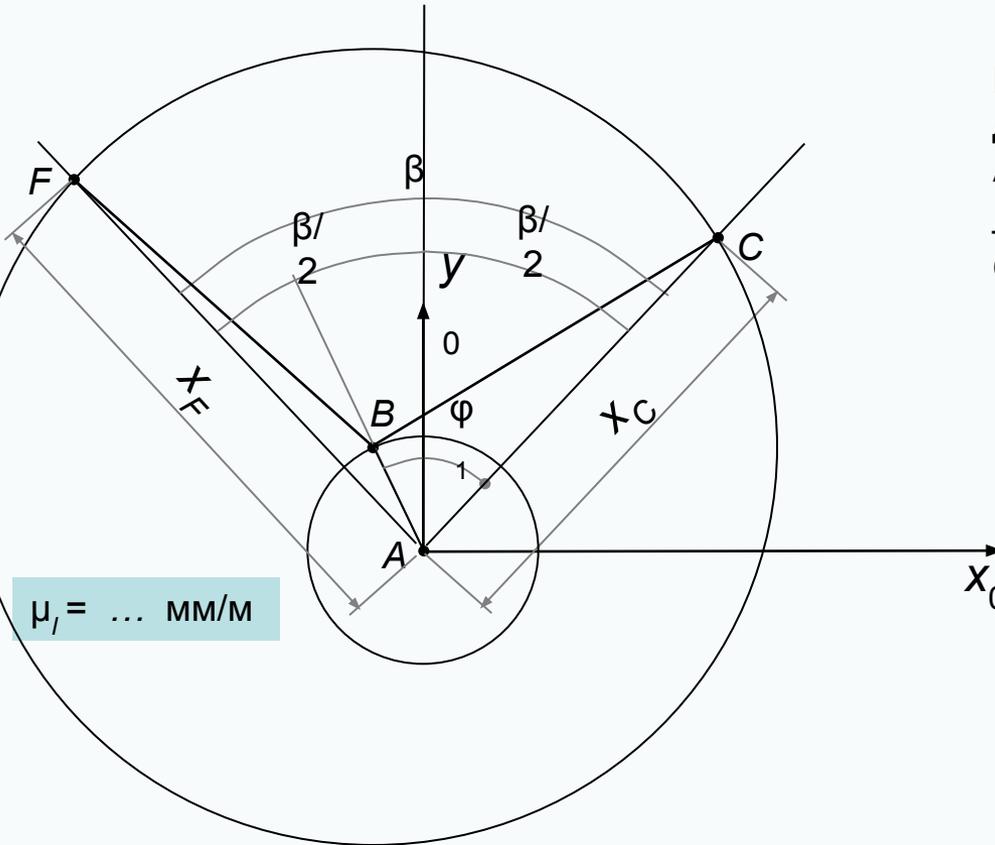
Перед началом построения плана механизма необходимо по имеющимся исходным данным определить недостающие размеры звеньев.

Длина кривошипа:
$$l_{AB} = \frac{K \cdot H_C}{2}, \text{ м}$$

Длина шатунов:
$$l_{BC} = l_{AB} \cdot \lambda_2, \text{ м} \quad l_{BF} = l_{AB} \cdot \lambda_4, \text{ м}$$

Положение центров масс на шатунах:
$$l_{BS2} = l_{BC} \cdot \lambda_{S2}, \text{ м}$$

$$l_{BS4} = l_{BF} \cdot \lambda_{S4}, \text{ м}$$

**Постановка задачи:**

Дано: Схема механизма, размеры – $H_C = H_F$, β , $\lambda_2 = \lambda_4$, $\lambda_{S2} = \lambda_{S4}$, ϕ_1 , ω_1 , ε_1 .

Определить: I_p , ϕ_i , V_j , a_j , ω_p , $\varepsilon_i \Rightarrow ?$

Построим план механизма и его кинематическую схему в заданном положении. Зададимся масштабом μ_p мм/м.

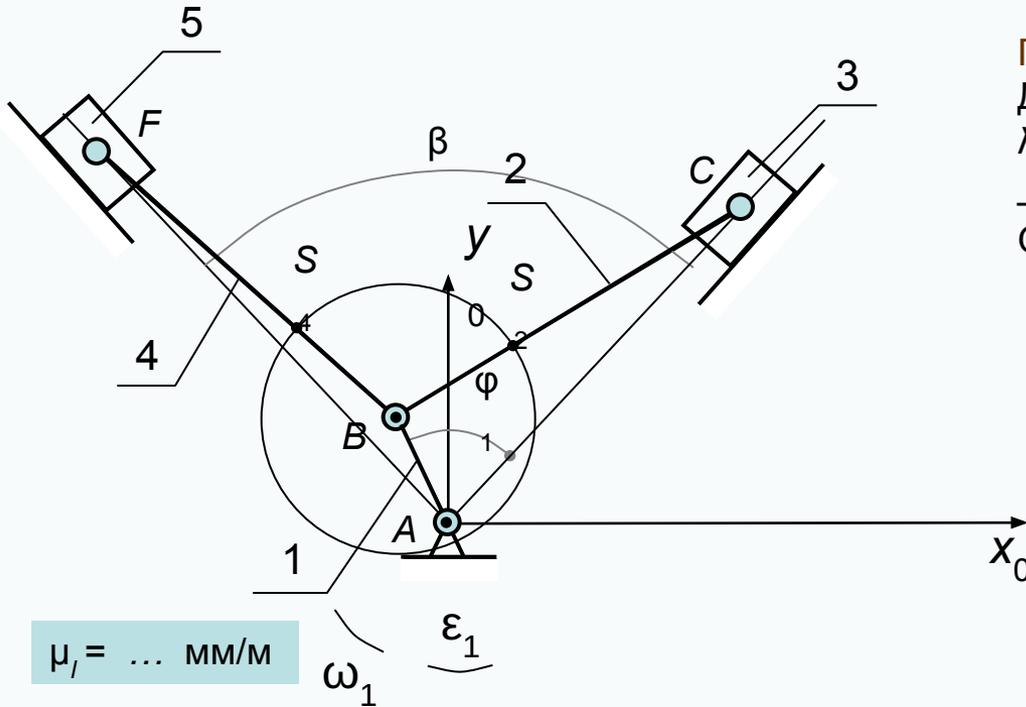
1. Выбираем произвольную точку, в которой размещаем центр пары A . Принимаем эту точку за начало правой системы координат $x_0 A y_0$. Проводим оси первого и второго цилиндров ДВС, откладывая углы 0.5β по и против часовой стрелки от оси y_0 . Угловую координату кривошипа ϕ_1 отсчитываем от оси первого цилиндра.

Из точки A проводим окружность радиусом $r = \mu_l \cdot l_{AB}$. Точка пересечения этой окружности с прямой определяет положение центра шарнира B . Соединяем точки A и B и получаем изображение звена 1.

2. Из точки B радиусом $r = \mu_l \cdot l_{BC} = \mu_l \cdot l_{BF}$ проводим окружность. Точки пересечения этой окружности с осями цилиндров определяют положение центров шарниров C и F . Соединяем точку B с точками C и F и получаем изображение звеньев 2 и 4, координаты S_C и S_F , угловые координаты ϕ_2 и ϕ_4 .

Назад...

Далее...



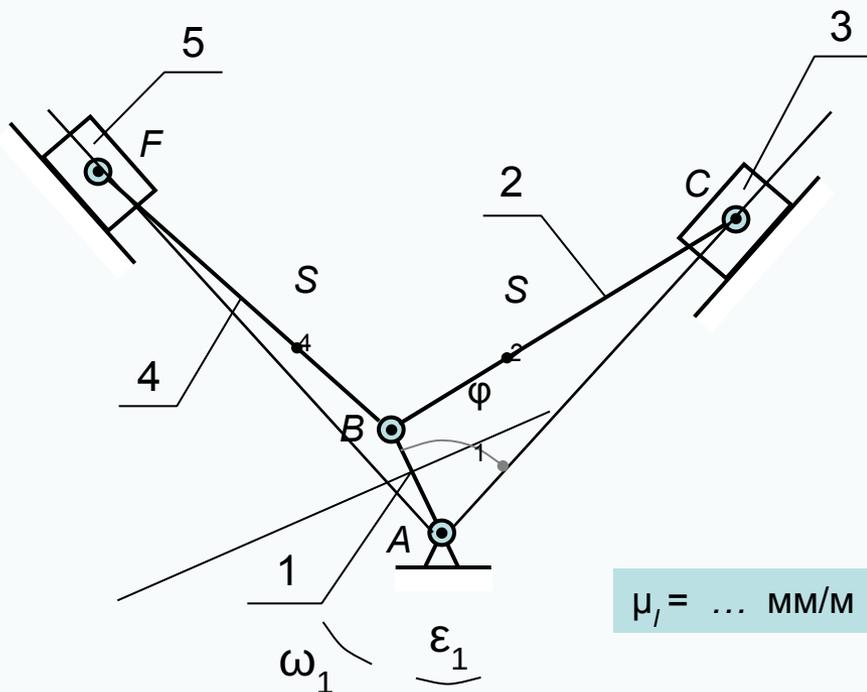
Постановка задачи:

Дано: Схема механизма, размеры – $H_C = H_F \beta$, $\lambda_2 = \lambda_4$, $\lambda_{S2} = \lambda_{S4}$, ϕ_1 , ω_1 , ε_1 .

Определить: I_j , ϕ_j , V_j , a_j , ω_j , $\varepsilon_j \Rightarrow ?$

3. Из точки B радиусом $r = \mu_l \cdot l_{BS2} = \mu_l \cdot l_{BS4}$ проводим окружность. Точка пересечения этой окружности с линиями BC и BF определяет положение центров масс звеньев 2 и 4 (точки S_2 и S_4).

4. Наносим на полученный план положений условные обозначения звеньев и кинематических пар и получаем кинематическую схему шестизвенного механизма ДВС в заданном положении ϕ_1 .



Постановка задачи:

Дано: Схема механизма, размеры – $H_C = H_F \beta$, $\lambda_2 = \lambda_4$, $\lambda_{S2} = \lambda_{S4}$, ϕ_1 , ω_1 , ϵ_1 .

Определить: $I_j, \phi_i, V_j, a_j, \omega_j, \epsilon_j \Rightarrow ?$

Движение звеньев механизма:

- 1 - вращательное,
- 2 и 4 - плоское,
- 3 и 5 - поступательное.

$\mu_l = \dots \text{ мм/м}$

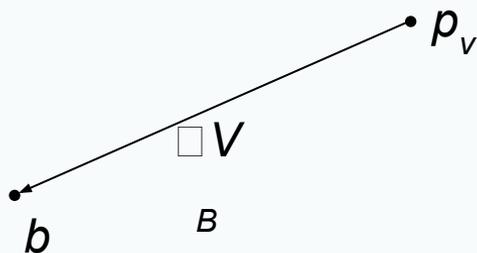
$\mu_v = \dots \text{ мм/(м} \cdot \text{с}^{-1})$

1.1. Определение скоростей. План скоростей строится в масштабе $\mu_v, \text{ мм/м} \cdot \text{с}^{-1}$ на основании следующих уравнений:

вращательное движение 1-го звена

$V_B = \omega_1 \cdot l_{AB}$ $V_B \perp l_{AB};$

Отрезок плана скоростей $p_v b$ определяется через принятый масштаб $\mu_v, \text{ мм/м}$ (масштаб, выбирается так, чтобы длина отрезка $p_v b$ лежала в пределах 50-100 мм)

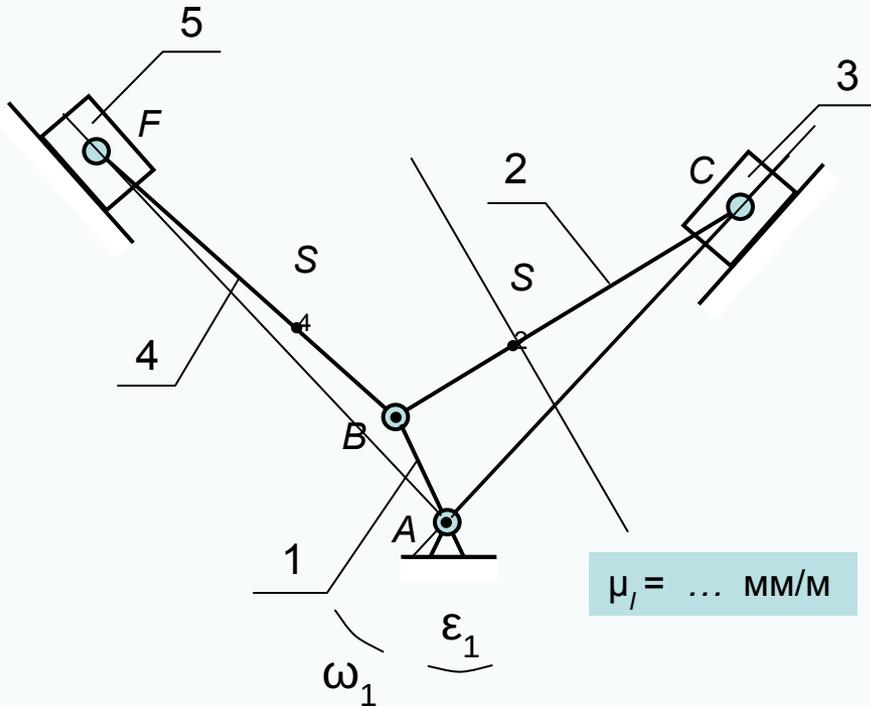


$p_v b = \mu_v \cdot V_B$

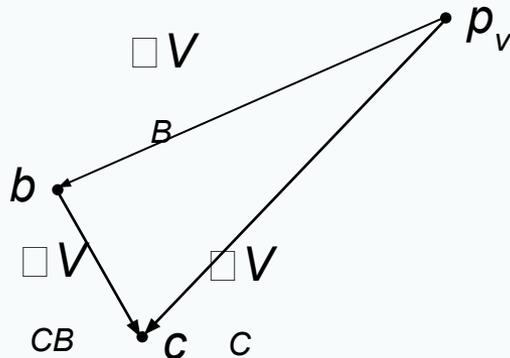
[Далее...](#)

[Назад...](#)

Кинематический анализ плоского рычажного механизма методом планов



$$\mu_V = \dots \text{ мм/(м} \cdot \text{с}^{-1}\text{)}$$



плоское движение звена 2

$$\square V_C \begin{matrix} // AC \\ \perp BC \end{matrix} = \square V_B + \square V_{CB} \begin{matrix} \perp BC \\ \perp BC \end{matrix};$$

В этом векторном уравнении вектор V_B известен по величине и направлению, а векторы V_C и V_{CB} известны только по направлению (первый направлен параллельно AC , второй - \perp отрезку BC).

Графически это уравнение решается так: на плане скоростей из конца вектора V_B проводится прямая $\perp BC$, а из полюса проводится прямая $// AC$. Точка пересечения этих прямых (точка c) является решением векторного уравнения. Измеряются отрезки плана скоростей и с помощью масштаба рассчитываются значения скоростей $\square V_C$ и $\square V_{CB}$.

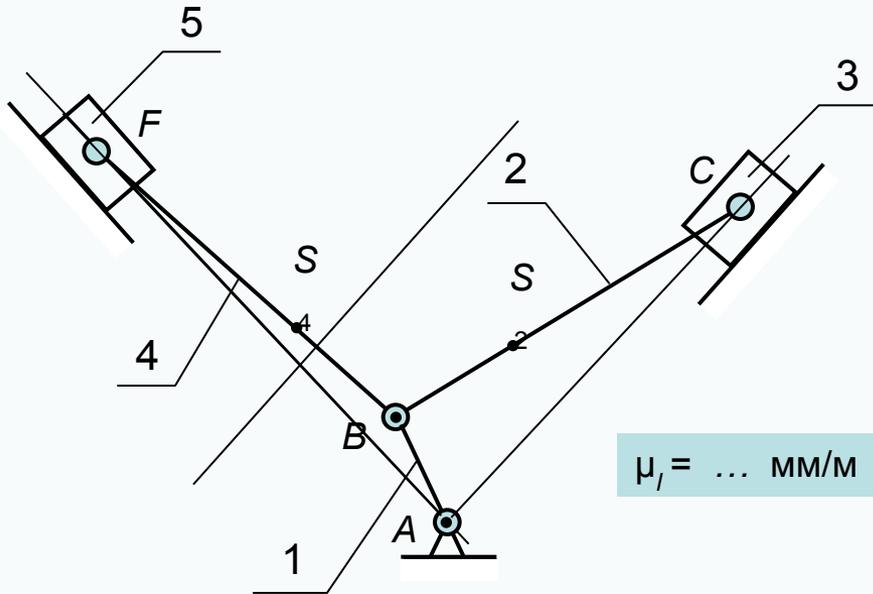
$$V_C = p_v c / \mu_V;$$

$$V_{CB} = cb / \mu_V;$$

[Далее...](#)

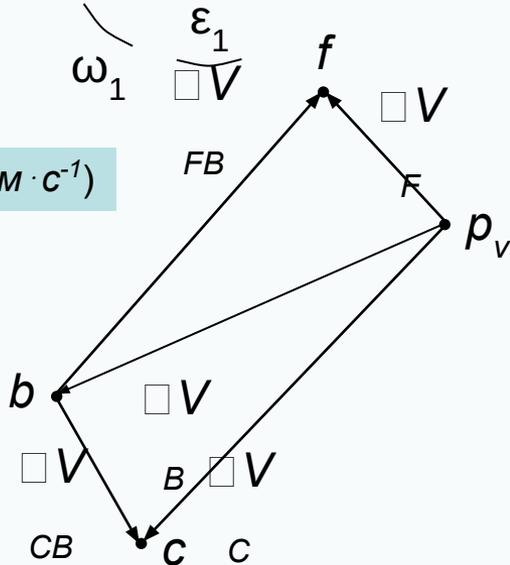
[Назад...](#)

Кинематический анализ плоского рычажного механизма методом планов



$\mu_l = \dots \text{ мм/м}$

$\mu_v = \dots \text{ мм/(м} \cdot \text{с}^{-1})$



плоское движение звена 4

$$\square V_F \parallel AF = \square V_B + \square V_{FB} \perp BF$$

В этом векторном уравнении вектор V_B известен по величине и направлению, а векторы V_F и V_{FB} известны только по направлению (первый направлен параллельно AF , второй - \perp отрезку BF).

Графически это уравнение решается так: на плане скоростей из конца вектора V_B проводится прямая $\perp BF$, а из полюса проводится прямая $\parallel AF$. Точка пересечения этих прямых (точка f) является решением векторного уравнения. Измеряются отрезки плана скоростей и с помощью масштаба рассчитываются значения скоростей $\square V_F$ и $\square V_{FB}$.

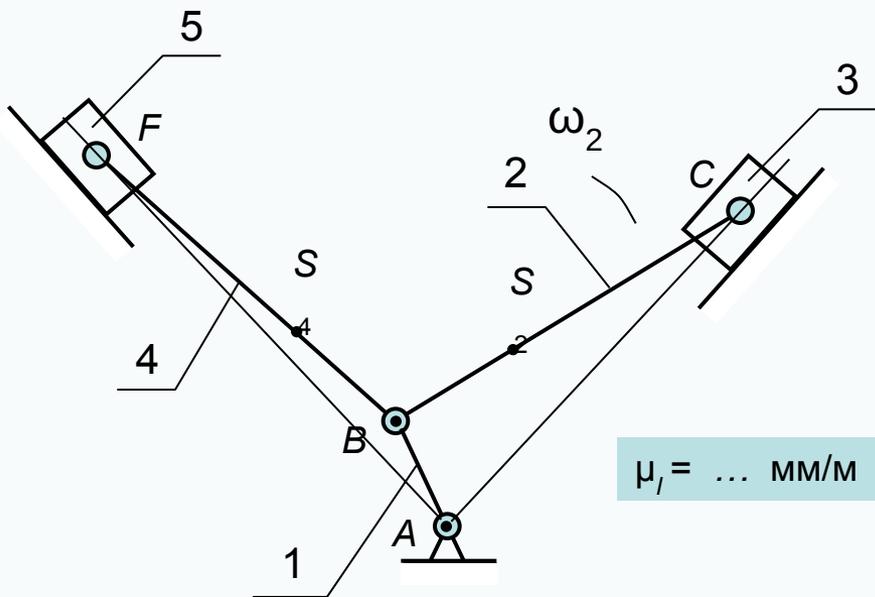
$$V_F = p_v f / \mu_v;$$

$$V_{FB} = fb / \mu_v;$$

[Далее...](#)

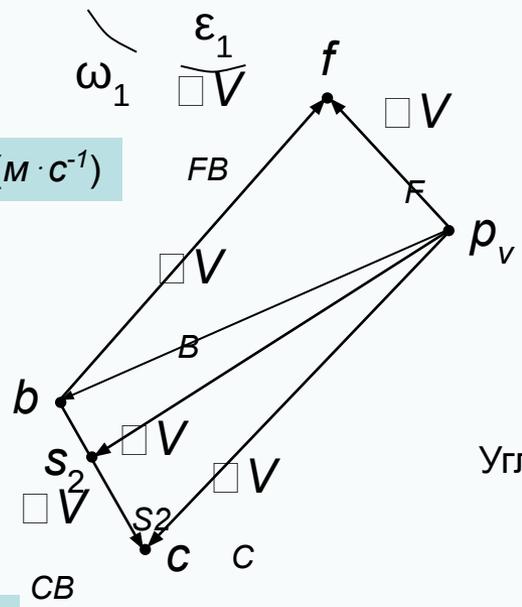
[Назад...](#)

Кинематический анализ плоского рычажного механизма методом планов



$$\mu_l = \dots \text{ мм/м}$$

$$\mu_v = \dots \text{ мм/(м} \cdot \text{с}^{-1}\text{)}$$



Скорость точки S_2 второго звена определяем методом пропорционального деления. Составляем пропорцию

$$BS_2 / BC = bs_2 / bc ; \quad bs_2 = (BS_2 / BC) \cdot cb$$

и находим положение точки s_2 на плане скоростей. Соединяем эту точку с полюсом и определяем изображение вектора V_{S_2} , по которому рассчитываем значение этой скорости

$$V_{S_2} = p_v s_2 / \mu_v ;$$

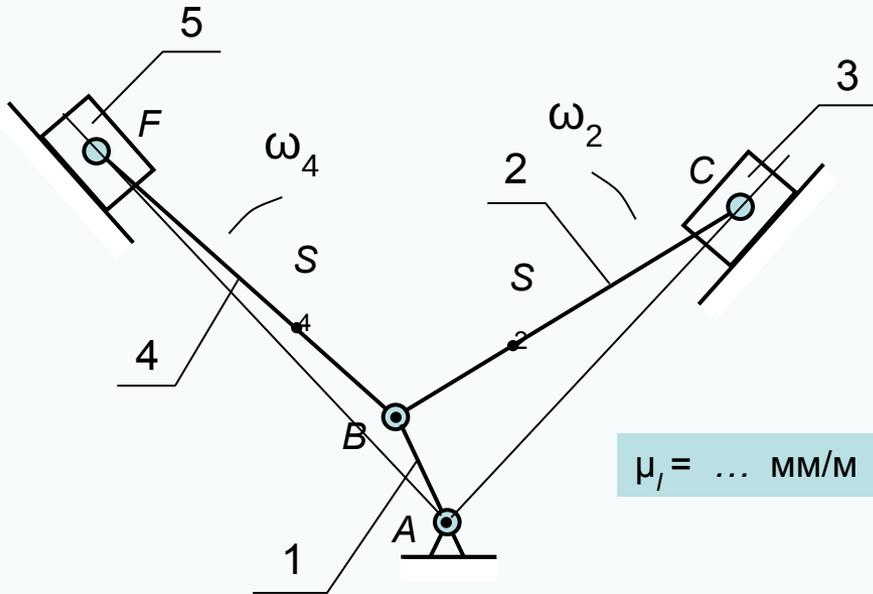
Угловую скорость звена 2 механизма находим по скорости V_{CB}

$$\omega_2 = V_{CB} / l_{CB}$$

[Далее...](#)

[Назад...](#)

Кинематический анализ плоского рычажного механизма методом планов



$$\mu_l = \dots \text{ мм/м}$$

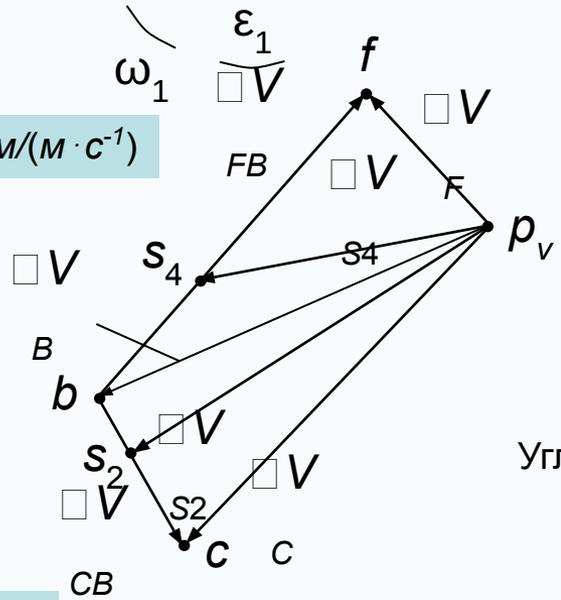
Скорость точки S_4 четвертого звена определяем методом пропорционального деления. Составляем пропорцию

$$BS_4 / BF = bs_4 / bf;$$

$$bs_4 = (BS_4 / BF) \cdot bf;$$

и находим положение точки s_4 на плане скоростей. Соединяем эту точку с полюсом и определяем изображение вектора V_{S_4} , по которому рассчитываем значение этой скорости

$$\mu_v = \dots \text{ мм/(м} \cdot \text{с}^{-1}\text{)}$$



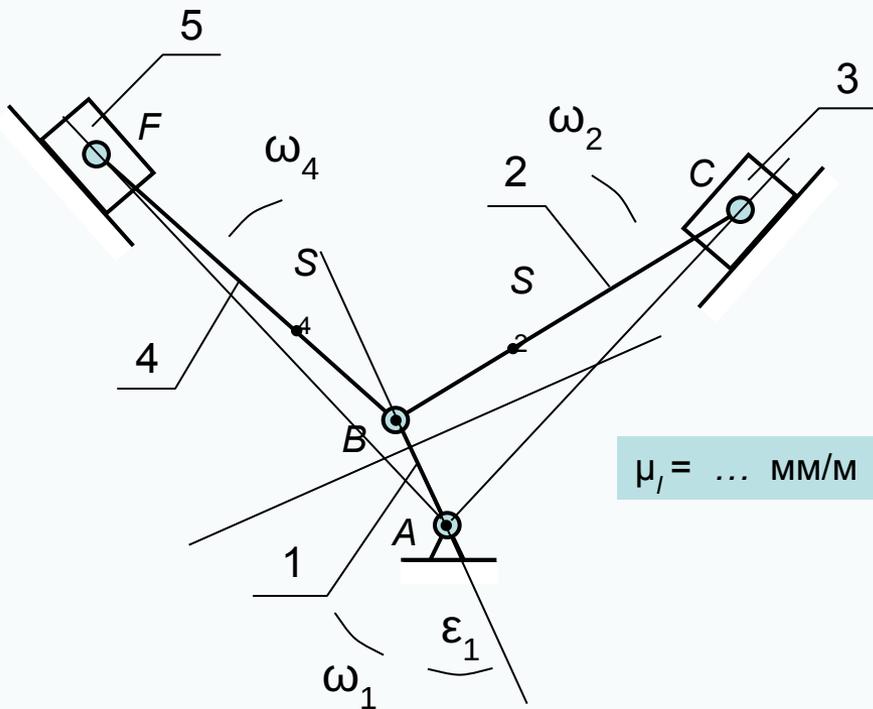
$$V_{S_4} = p_v s_4 / \mu_v;$$

Угловую скорость звена 4 механизма находим по скорости V_{FB}

$$\omega_4 = V_{FB} / l_{FB};$$

[Далее...](#)

[Назад...](#)



1.2. Определение ускорений. Ускорение точки B звена 1 определяем по уравнению вращательного движения

$$\square a_B = \square a_B^n + \square a_B^t.$$

$\parallel AB$ $\perp AB$

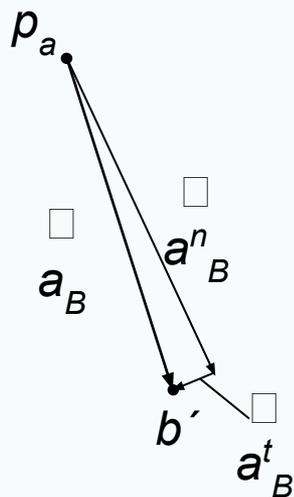
В этом векторном уравнении: нормальная составляющая направлена \parallel звену 1, а величина ее рассчитывается по формуле

$$a_B^n = \omega_1^2 \cdot l_{AB},$$

тангенциальная составляющая направлена \perp звену 1 и рассчитывается по формуле

$$a_B^t = \varepsilon_1 \cdot l_{AB}.$$

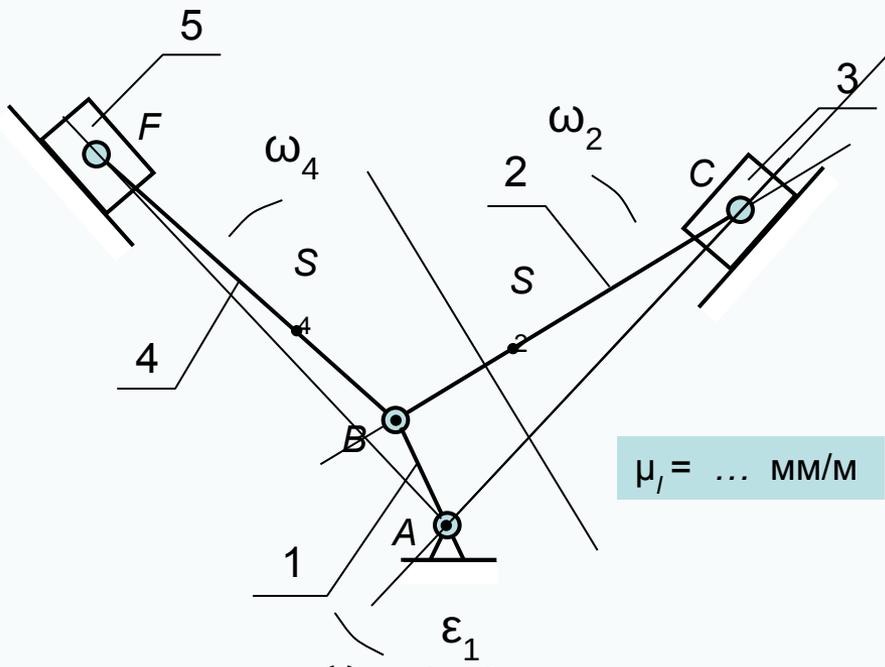
Рассчитываются составляющие ускорения, выбирается масштаб плана ускорений μ_a (отрезок изображающий нормальную составляющую выбирается в пределах 50 -150 мм) и строится вектор ускорения точки B .



$$\mu_a = \dots \text{ мм}/(\text{м} \cdot \text{с}^{-2})$$

Назад...

[Далее...](#)



Ускорение точки C звена 2 определяем по уравнению плоского движения

$$\square a_C \parallel AC = \square a_B \parallel CB + \square a_{CB}^n \parallel CB + \square a_{CB}^t \perp CB$$

В этом векторном уравнении:

нормальная составляющая $\square a_{CB}^n$ направлена // звену 2, а величина ее рассчитывается по формуле

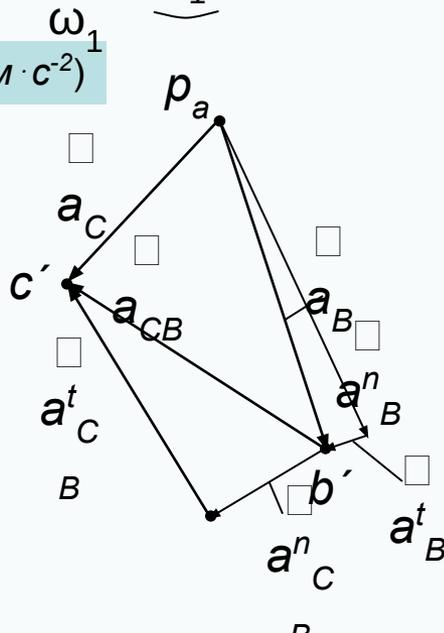
$$a_{CB}^n = \omega_2^2 \cdot l_{BC},$$

тангенциальная составляющая $\square a_{CB}^t$ направлена \perp звену 2, а ускорение $\square a_C$ направлено по траектории движения звена 3 - //AC.

Графически это уравнение решается так:

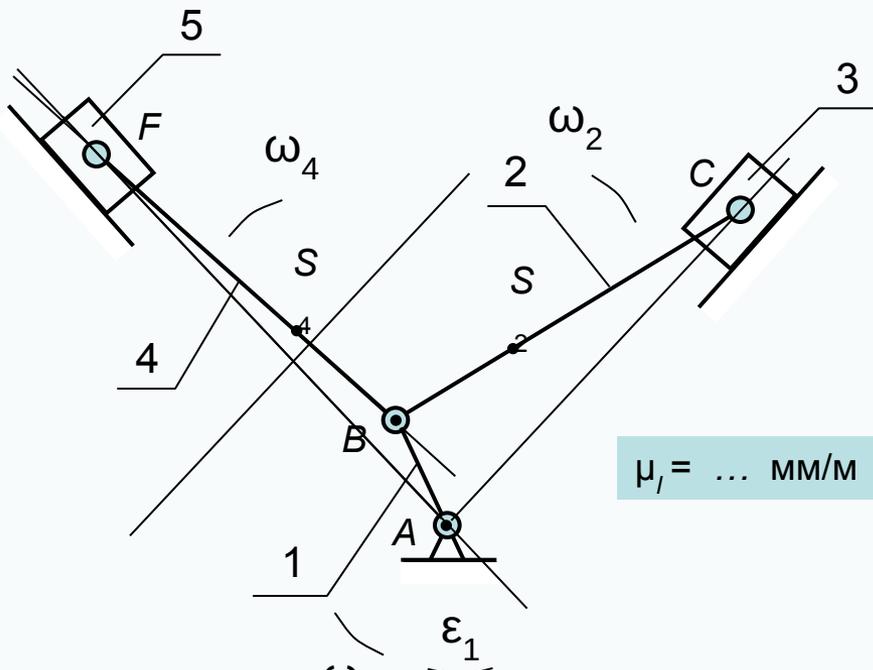
- на плане ускорений из конца вектора a_B проводится прямая // BC и на ней откладывается в масштабе μ_a отрезок, изображающий составляющую относительного ускорения a_{CB}^n ,
- из конца этого отрезка проводится прямая \perp звену 2 (направление тангенциальной составляющей a_{CB}^t), а из полюса проводится //AC (направление ускорения a_C),
- точка пересечения этих направлений (точка c') является решением векторного уравнения.

$$\mu_a = \dots \text{ мм}/(\text{м} \cdot \text{с}^{-2})$$



Назад...

Далее...



Ускорение точки F звена 4 определяем по уравнению плоского движения

$$\square a_F = \square a_B + \square a_{FB}^n + \square a_{FB}^t$$

$\parallel AF$ $\parallel FB$ $\perp FB$

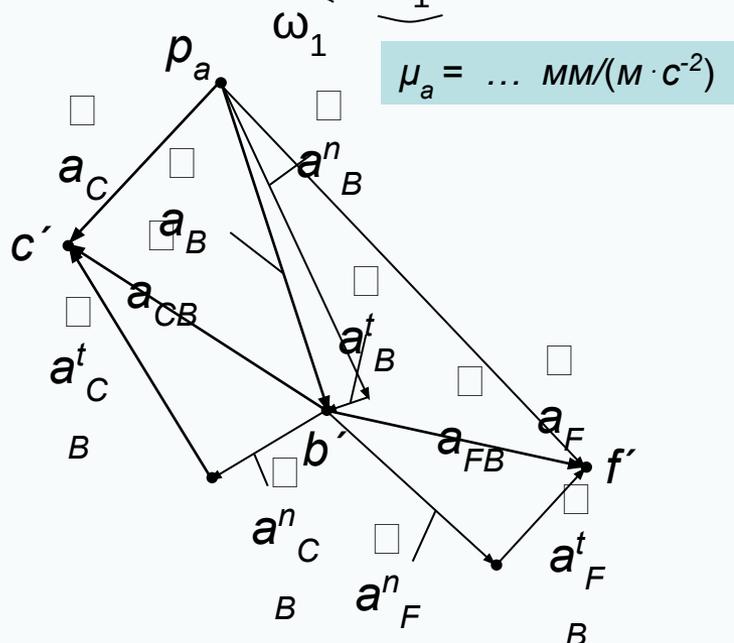
В этом векторном уравнении:

нормальная составляющая $\square a_{FB}^n$ направлена \parallel звену 4, а величина ее рассчитывается по формуле

$$a_{FB}^n = \omega_4^2 \cdot l_{FC}$$

тангенциальная составляющая $\square a_{FB}^t$ направлена \perp звену 4, а ускорение $\square a_F$ направлено по траектории движения звена 5 - $\parallel AF$.

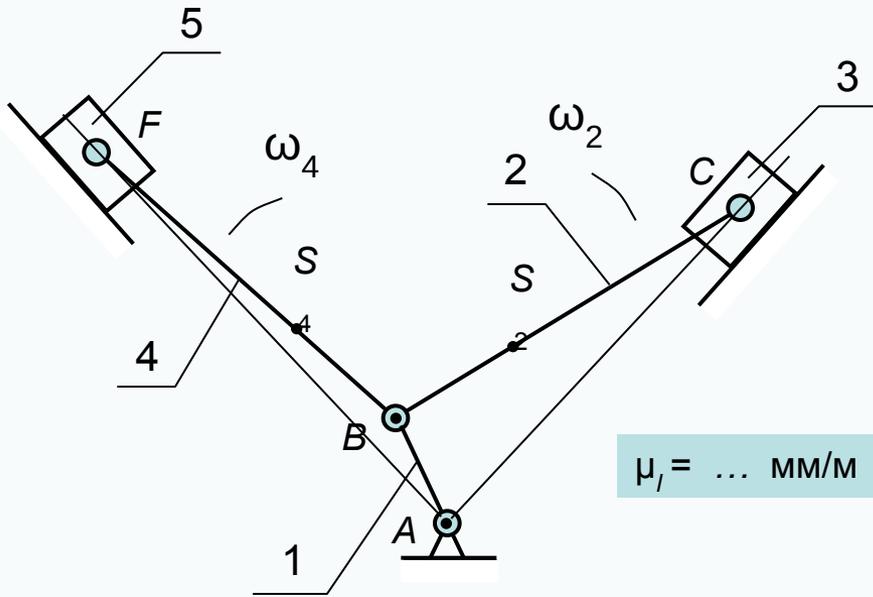
Графически это уравнение решается так:



- на плане ускорений из конца вектора a_F проводится прямая $\parallel BF$ и на ней откладывается в масштабе μ_a отрезок, изображающий составляющую относительного ускорения a_{FB}^n ,
- из конца этого отрезка проводится прямая \perp звену 4 (направление тангенциальной составляющей a_{FB}^t), а из полюса проводится $\parallel AF$ (направление ускорения a_F),
- точка пересечения этих направлений (точка f') является решением векторного уравнения.

Назад...

Далее...



$$\mu_l = \dots \text{ мм/м}$$

Далее измеряются отрезки плана ускорений и с помощью масштаба рассчитываются:

- значения ускорений a_{CB}^t и a_C .

$$a_{CB}^t = n'c' / \mu_a;$$

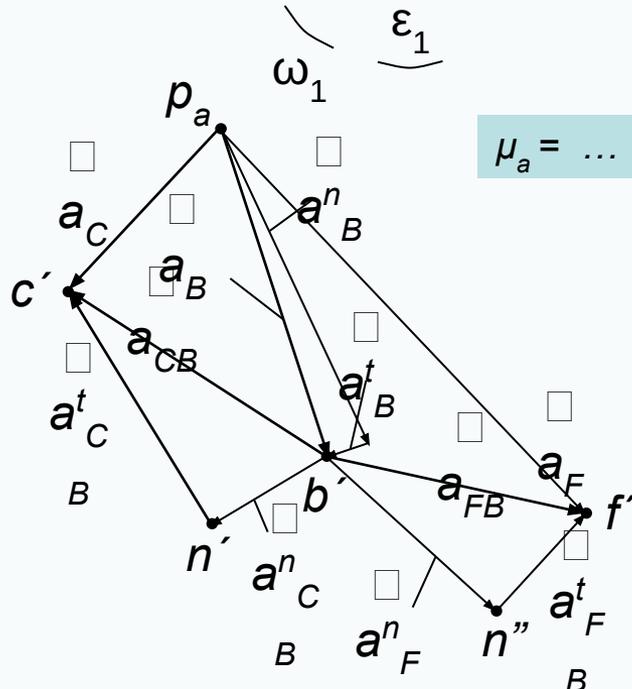
$$a_C = p_a c' / \mu_a;$$

$$\mu_a = \dots \text{ мм/(м} \cdot \text{с}^{-2}\text{)}$$

- значения ускорений a_{FB}^t и a_F .

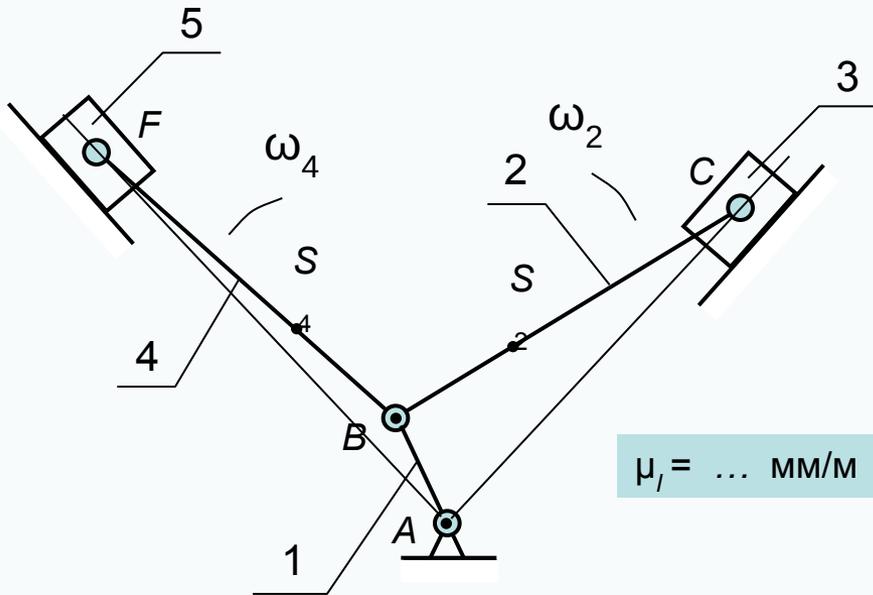
$$a_{FB}^t = n''f' / \mu_a;$$

$$a_F = p_a f' / \mu_a;$$



Назад...

Далее...



$$\mu_l = \dots \text{ мм/м}$$

$$\mu_a = \dots \text{ мм/(м} \cdot \text{с}^{-2}\text{)}$$

Ускорение точки S_2 второго звена определяем методом пропорционального деления.

Составляем пропорцию

$$BS_2 / BC = b's_2' / b'c'; \quad b's_2' = (BS_2 / BC) \cdot b'c';$$

и находим положение точки s_2' на плане ускорений. Соединяя эти точки с полюсом определяем изображение вектора $a_{S_2'}$, по которому рассчитывается значение этого ускорения

$$a_{S_2} = p_a s_2' / \mu_a;$$

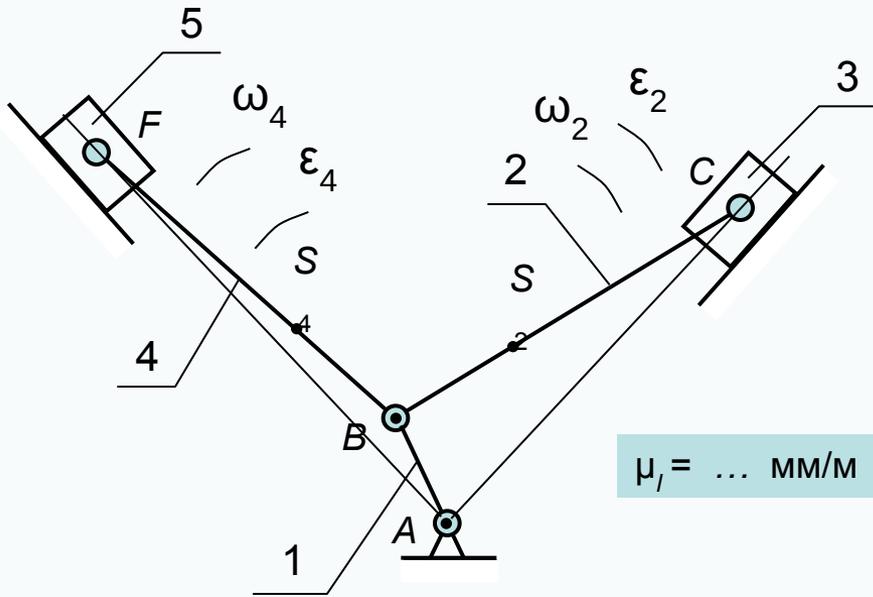
Аналогично определяется и ускорение точки S_4 четвертого звена.

$$BS_4 / BF = b's_4' / b'f'; \quad b's_4' = (BS_4 / BF) \cdot b'f';$$

$$a_{S_4} = p_a s_4' / \mu_a;$$

Назад...

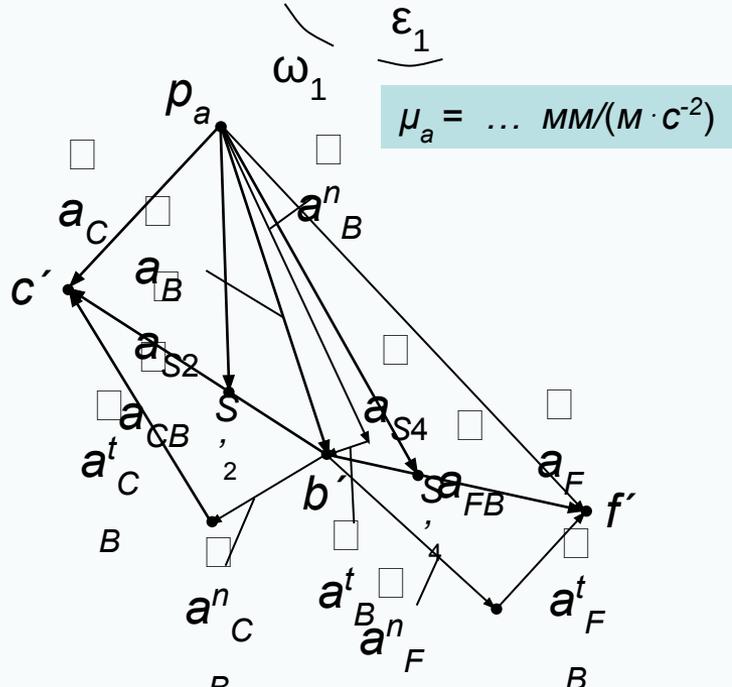
[Далее...](#)



По тангенциальным составляющим ускорений a_{CB}^t и a_{CF}^t определяем угловые ускорения звеньев 2 и 4. Наносим их на схему механизма, определяя направление по направлению тангенциальных составляющих a_{CB}^t и a_{CF}^t .

$$\epsilon_2 = a_{CB}^t / l_{CB};$$

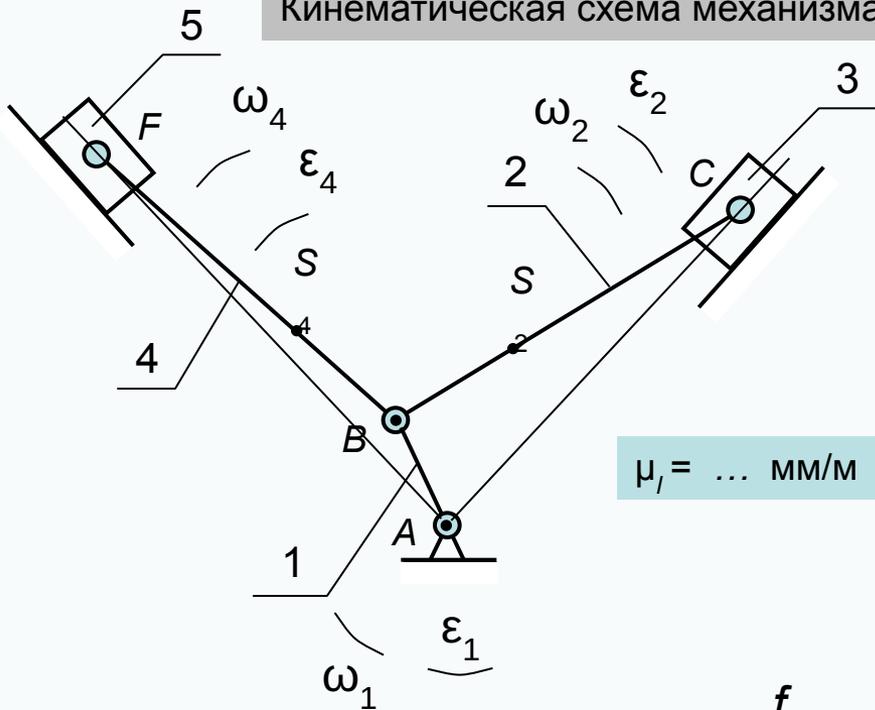
$$\epsilon_4 = a_{CF}^t / l_{CF};$$



Назад...

[Далее...](#)

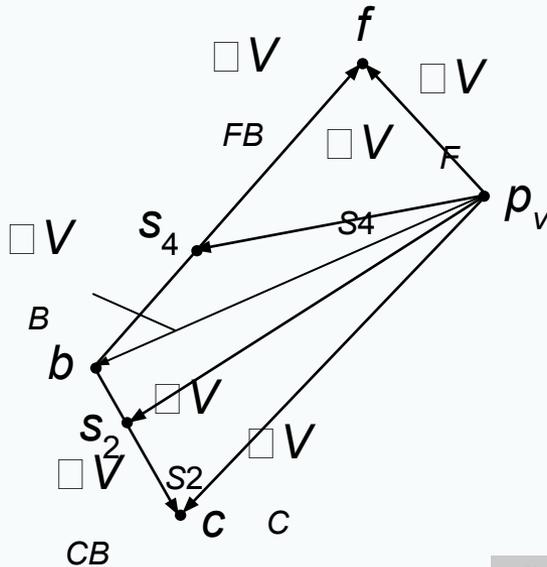
Кинематическая схема механизма



$\mu_l = \dots \text{ мм/м}$

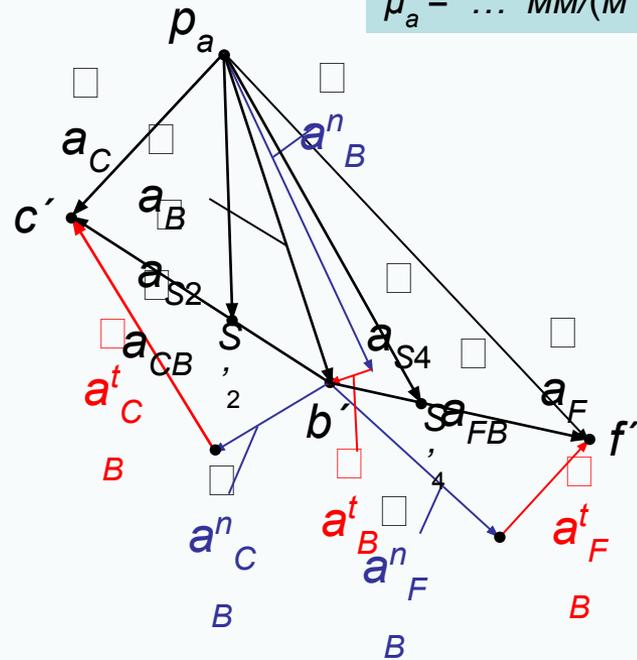
План скоростей

$\mu_v = \dots \text{ мм/(м} \cdot \text{с}^{-1})$



План ускорений

$\mu_a = \dots \text{ мм/(м} \cdot \text{с}^{-2})$

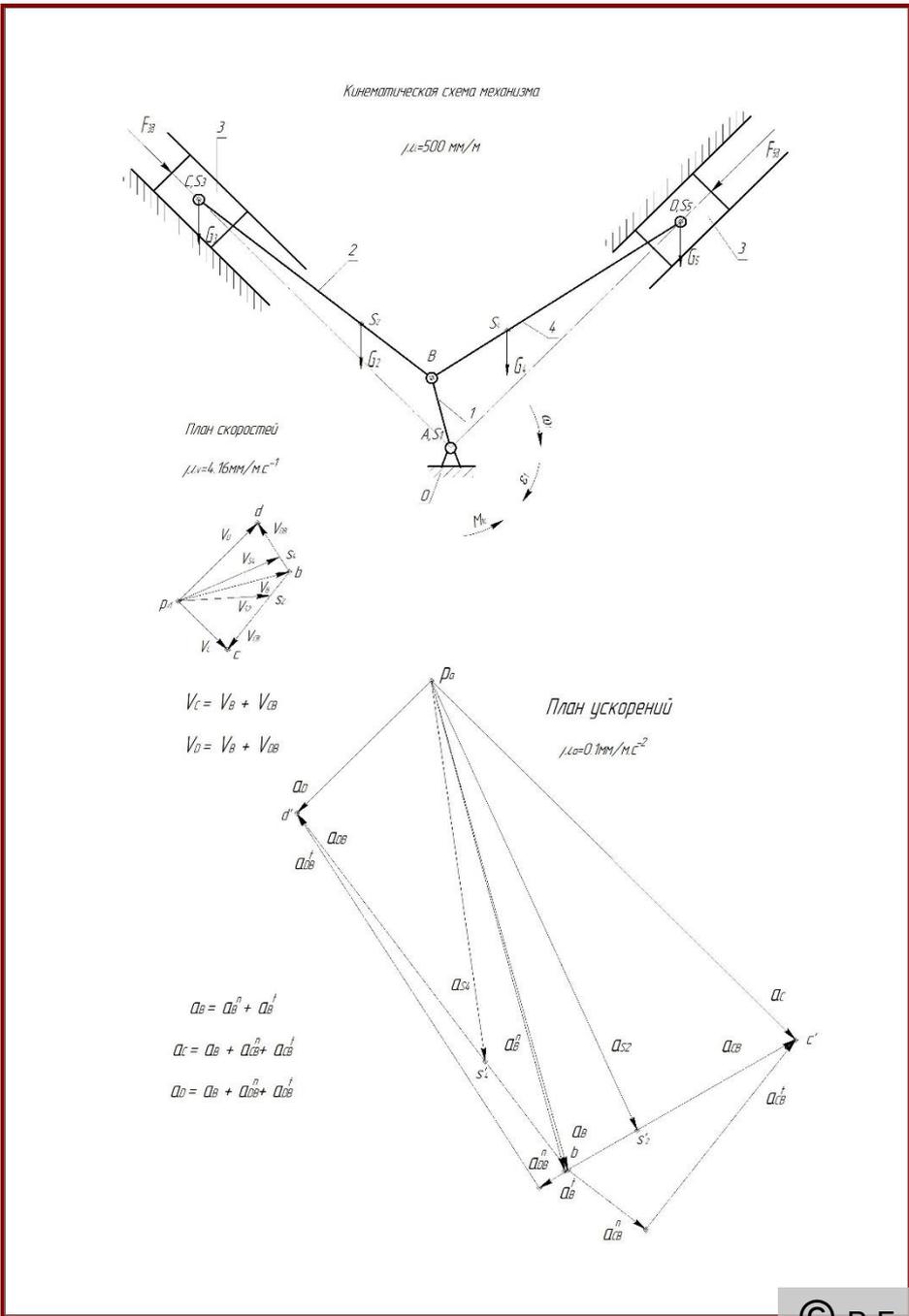


Назад...

Далее...

Кинематический анализ плоского рычажного механизма методом планов

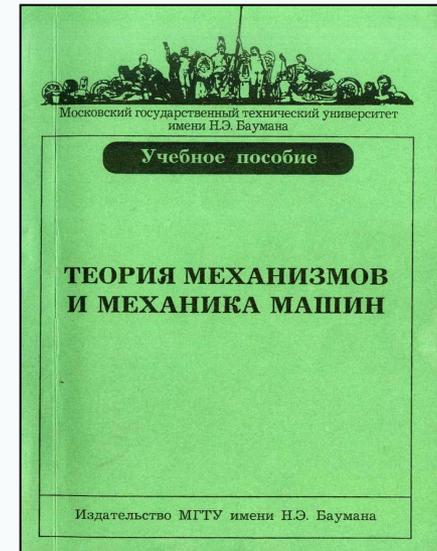
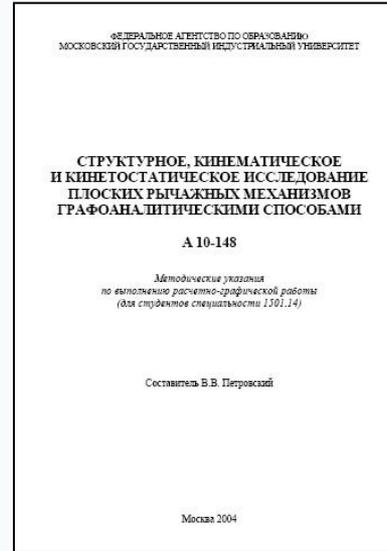
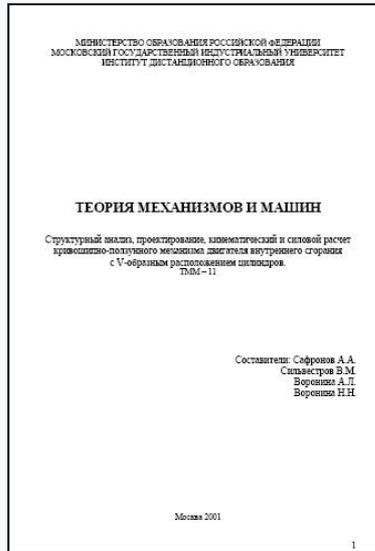
Пример оформления раздела КР по кинематическому анализу плоского рычажного механизма методом планов



Назад...

Далее...

Методические указания по выполнению первого домашнего задания



Литература:

1. Теория механизмов и машин, ТММ-11, Методические рекомендации, Сафронов А. А., 2001
2. Структурное, кинематическое и кинетостатическое исследование плоских рычажных механизмов графоаналитическими способами, А10-148, Петровский В.В.
3. Теория механизмов и механика машин: Учеб. пособие / О.О. Барышникова, И.В. Леонов, В.А. Никаноров и др.; под ред. Г.А. Тимофеева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 96с.; ил.