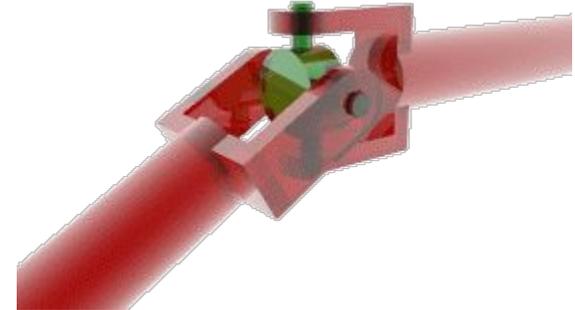
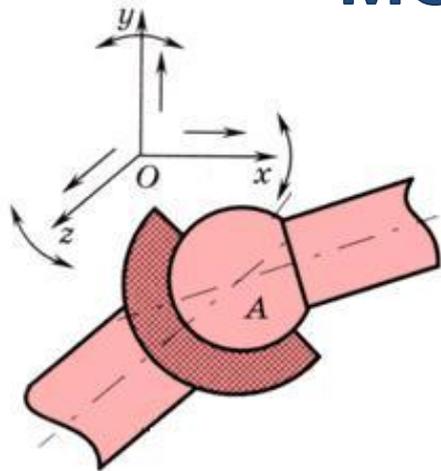


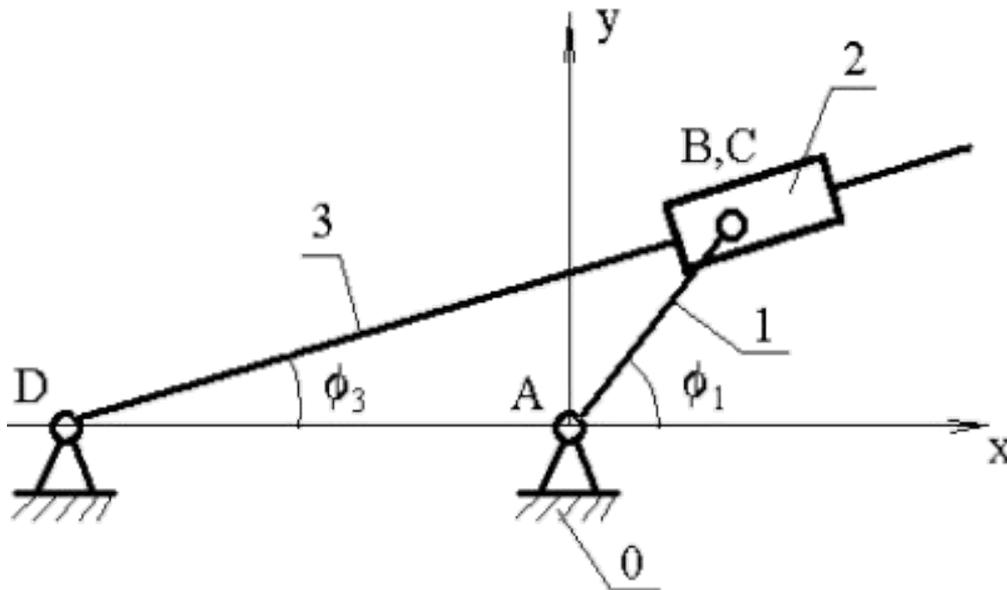
Кинематическое исследование механизмов и машин



Понятие о геометрических и кинематических характеристиках механизмов

Функция положения механизма

это зависимость углового или линейного перемещения точки звена или звена механизма от времени или обобщённой координаты.



$$\varphi_3 = \varphi(t)$$

$$\varphi_3 = \varphi(\varphi_1)$$

Кинематические передаточные функции механизма –

производные от функции положения по обобщенной координате.

Первая производная называется *первой передаточной функцией* или *аналогом скорости* (обозначается $\frac{d\varphi}{dt}$),

Вторая - *второй передаточной функцией* или *аналогом ускорения* (обозначается $\frac{d^2\varphi}{dt^2}$).

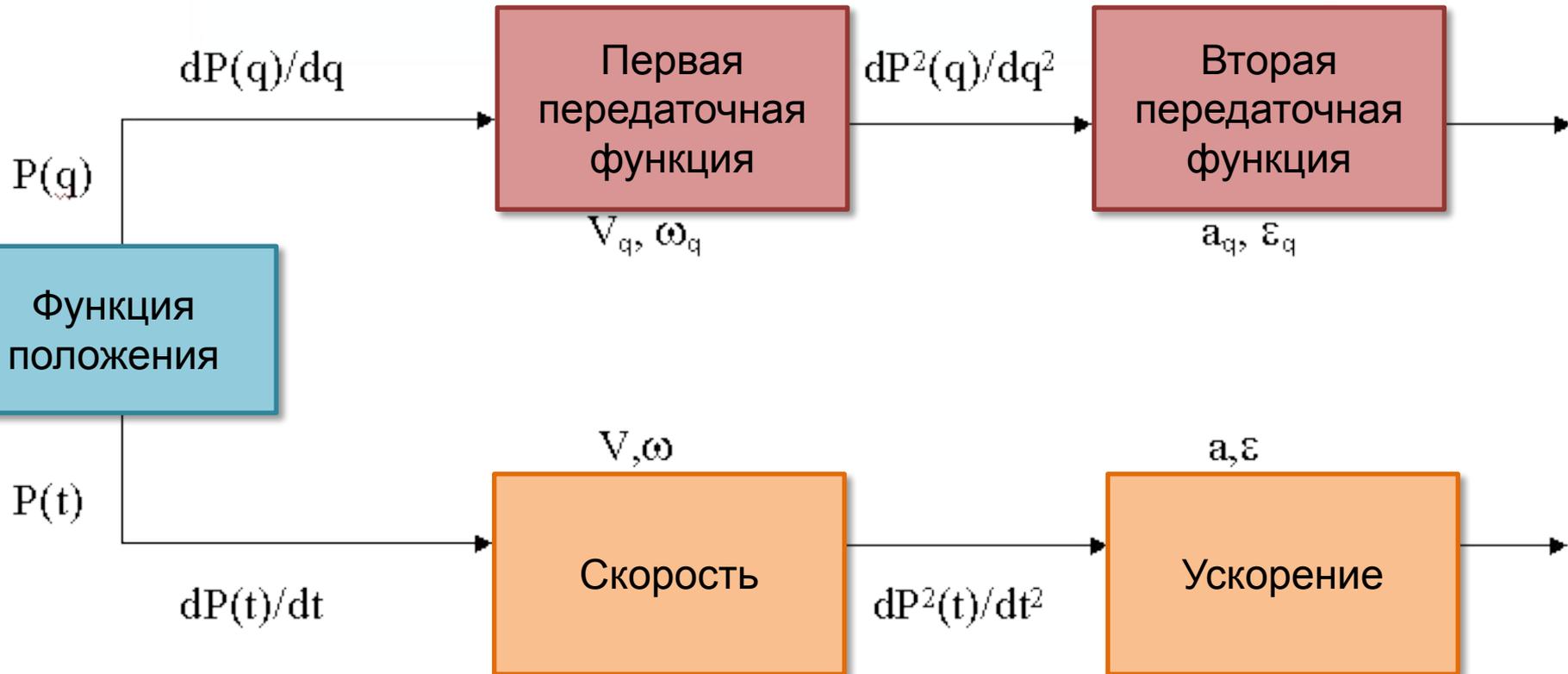
Кинематические характеристики механизма –

производные от функции положения по времени.

Первая производная называется *скоростью* (обозначается v),

вторая - *ускорением* (обозначается a, ε).

Геометрические и кинематические характеристики механизма



Механизм с **одной подвижностью** имеет **одно заданное входное движение** и некоторое **множество выходных** (движение любого звена или точки звена механизма).

Передаточные функции тех движений, которые в данном случае используются как выходные, называются **главными**, остальные - **вспомогательными**.

Рассмотрим схему механической системы образованной последовательно-параллельным соединением типовых механизмов.

Схема механической системы

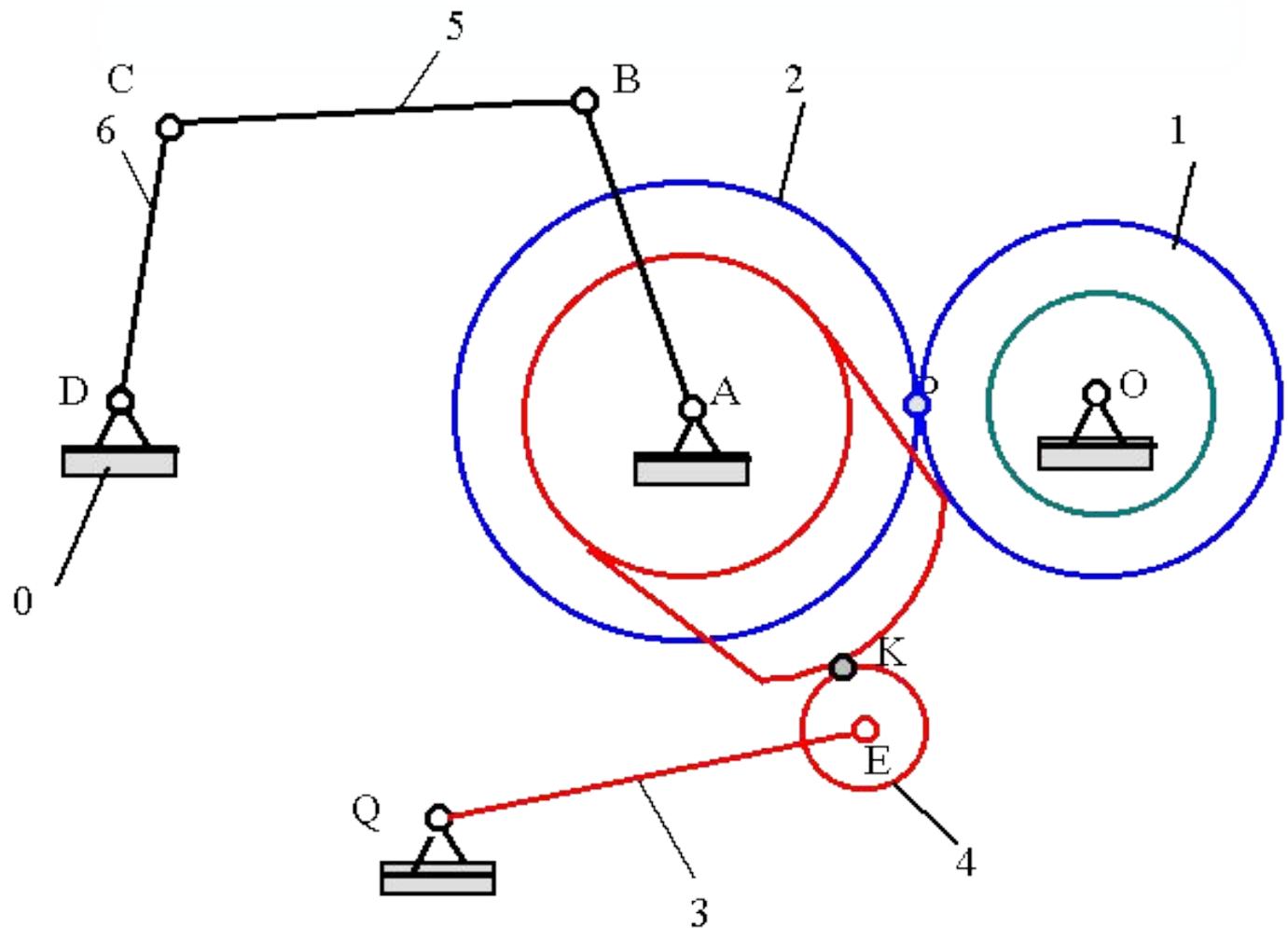
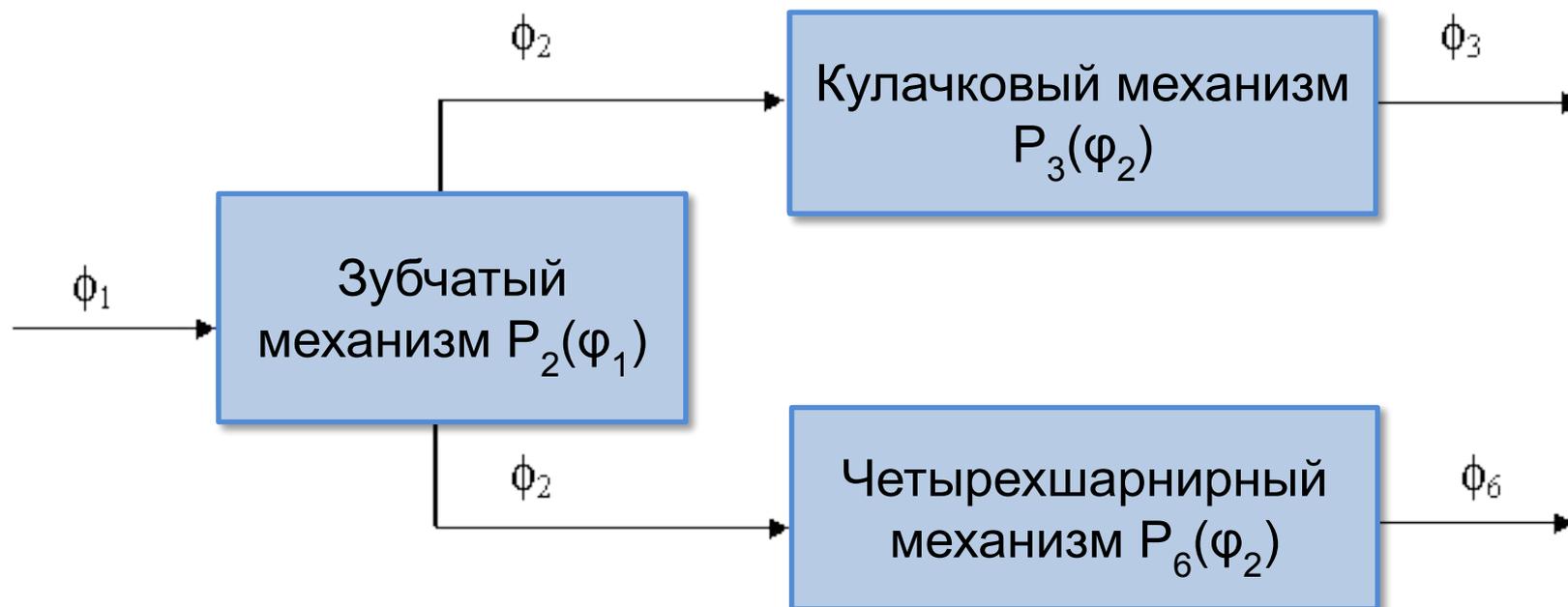


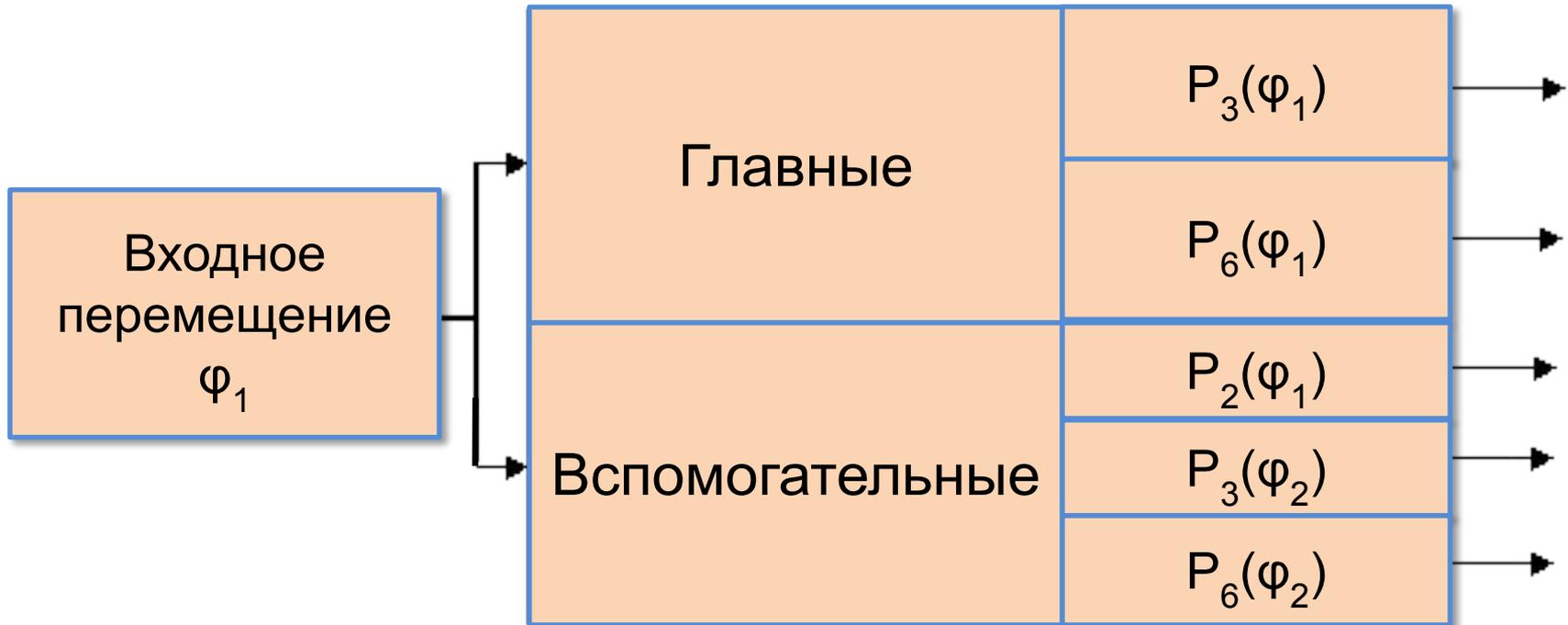
Схема включает входное звено (1), зубчатую передачу (звенья 1-2), кулачковый (звенья 2-3-4) и рычажный (звенья 2-5-6) механизмы и имеет два выходных звена (3 и 6).

Блок-схема рассмотренной механической системы



Функции положения в механизмах

Функции положения



Связь кинематических и передаточных функций

Линейные скорости и ускорения

$$V_L = dS_L / dt = (dS_L / d\varphi_1) \cdot (d\varphi_1 / dt) = V_{qL} \cdot \omega_1,$$

$$\alpha_L = d(V_{qL} \cdot \omega_1) / dt = (dV_{qL} / d\varphi_1) \cdot (d\varphi_1 / dt) \cdot \omega_1 + V_{qL} \cdot \varepsilon_1 = \alpha_{qL} \cdot \omega_1^2 + V_{qL} \cdot \varepsilon_1,$$

Угловые скорости и ускорения

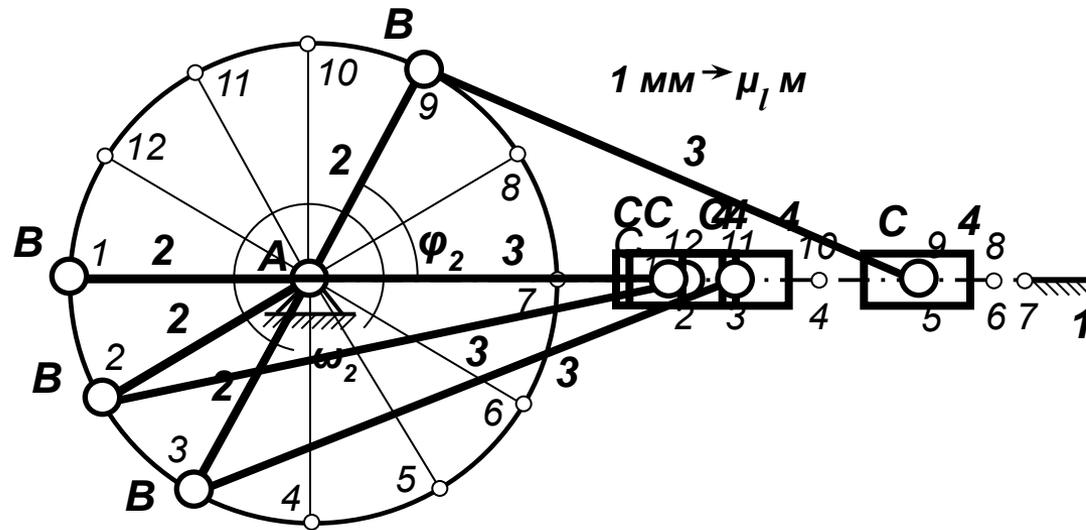
$$\omega_i = d\varphi_i / dt = (d\varphi_i / d\varphi_1) \cdot (d\varphi_1 / dt) = \omega_{qi} \cdot \omega_1,$$

$$\varepsilon_i = d(\omega_{qi} \cdot \omega_1) / dt = (d\omega_{qi} / d\varphi_1) \cdot (d\varphi_1 / dt) \cdot \omega_1 + \omega_{qi} \cdot \varepsilon_1 = \varepsilon_{qi} \cdot \omega_1^2 + \omega_{qi} \cdot \varepsilon_1.$$

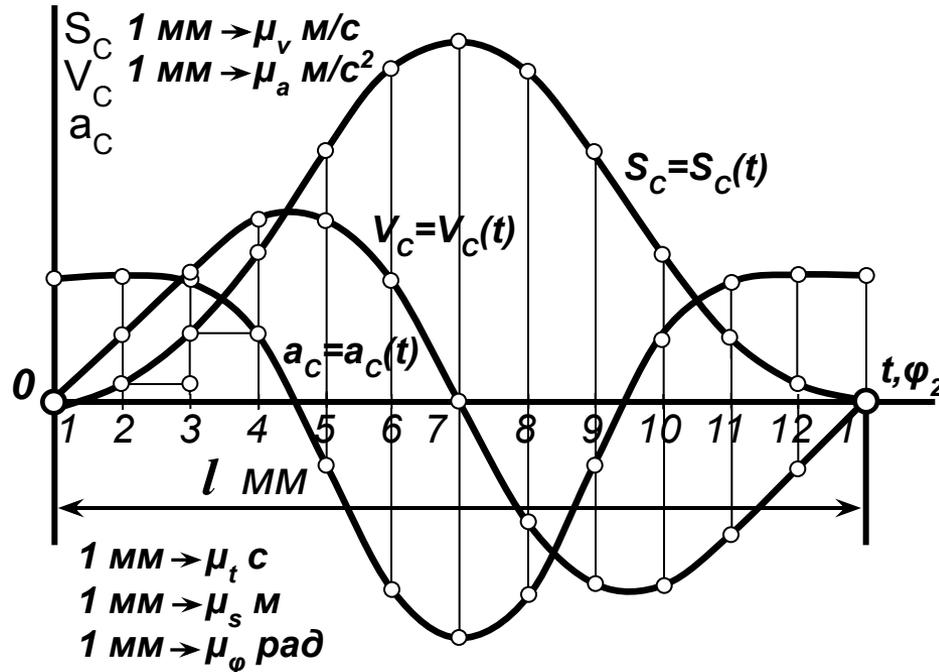
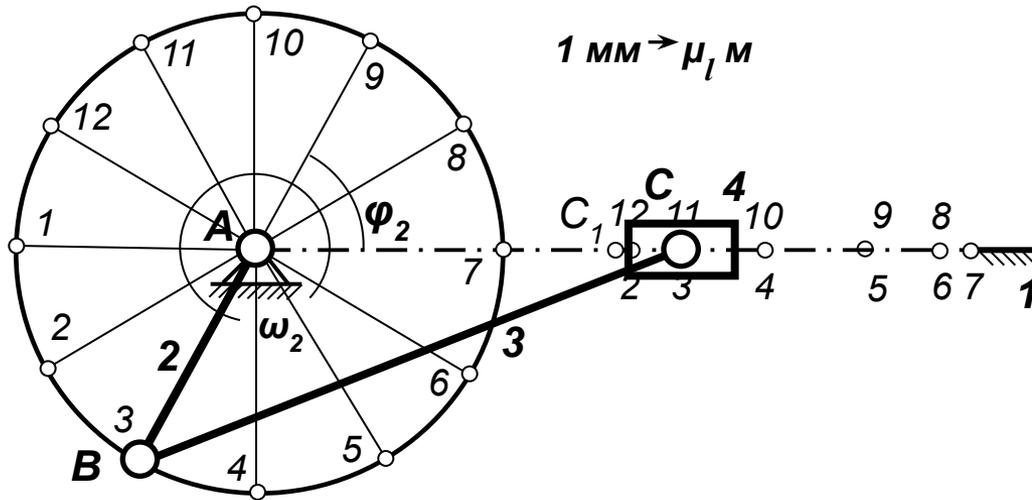
Методы кинематического исследования механизмов

- **кинематических диаграмм** (графический),
- **планов положений, скоростей и ускорений** (графо-аналитический),
- **проекций векторного контура** (аналитический),
- **преобразования координат** (аналитический),
- **экспериментальный.**

Графический метод (метод диаграмм)



Графический метод (метод диаграмм)

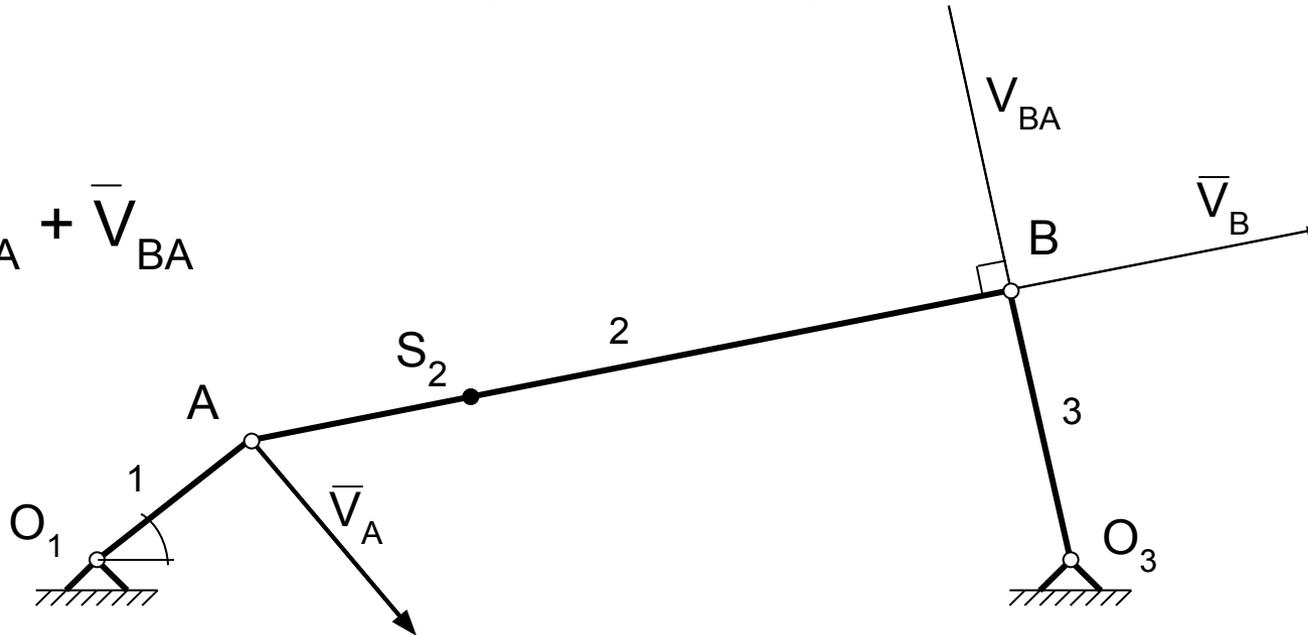


Графо-аналитический метод (метод планов скоростей)

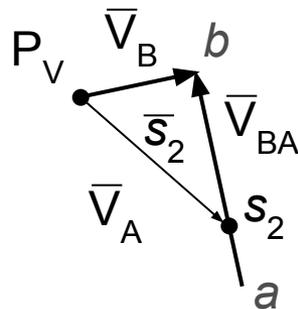
Метод планов скоростей основан на теореме о распределении скоростей точек тела совершающего плоскопараллельное движение.

Для звена АВ (шатун) в векторном виде теорема записывается в следующем виде:

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



$$\mu_v = A \frac{m/c}{mm.черт.}$$



$$\frac{AS_2}{S_2B} = \frac{as_2}{s_2b}$$

$$V_B = P_v b \cdot \mu_v$$

$$V_{BA} = ab \cdot \mu_v$$

$$s_2 = P_v s_2 \cdot \mu_v$$

Графо-аналитический метод (метод планов ускорений)

Метод планов ускорений основан на теореме о распределении ускорений точек тела совершающего плоскопараллельное движение

Для шатуна АВ теорема в векторном виде запишется:

$$\overset{\sphericalangle}{a}_B = \overset{\sphericalangle}{a}_A + \overset{\sphericalangle}{a}_{BA} .$$

Точка А в абсолютном движении, и т. В в относительном, движутся по криволинейным траекториям значит:

$$\overset{\sphericalangle}{a}_A = \overset{\sphericalangle}{a}_A^n + \overset{\sphericalangle}{a}_A^t ;$$

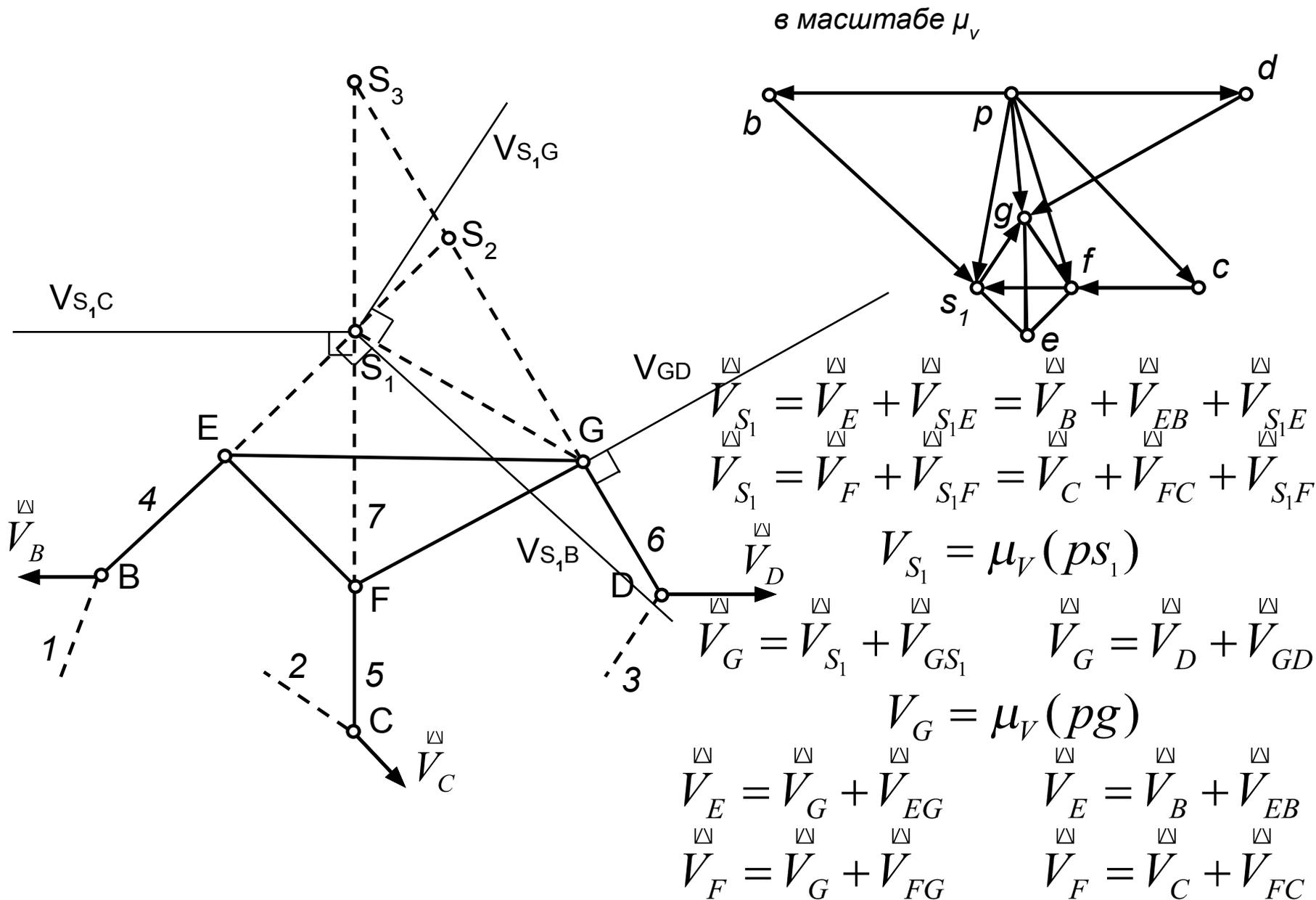
$$\overset{\sphericalangle}{a}_{BA} = \overset{\sphericalangle}{a}_{BA}^ц + \overset{\sphericalangle}{a}_{BA}^{вр} ,$$

т.е. вектор абсолютного ускорения т. В есть сумма четырёх векторов:

$$\overset{\sphericalangle}{a}_B = \overset{\sphericalangle}{a}_A^n + \overset{\sphericalangle}{a}_A^t + \overset{\sphericalangle}{a}_{BA}^ц + \overset{\sphericalangle}{a}_{BA}^{вр} .$$

План ускорений строится также как и план скоростей.

Построение плана скоростей для группы 3-го класса



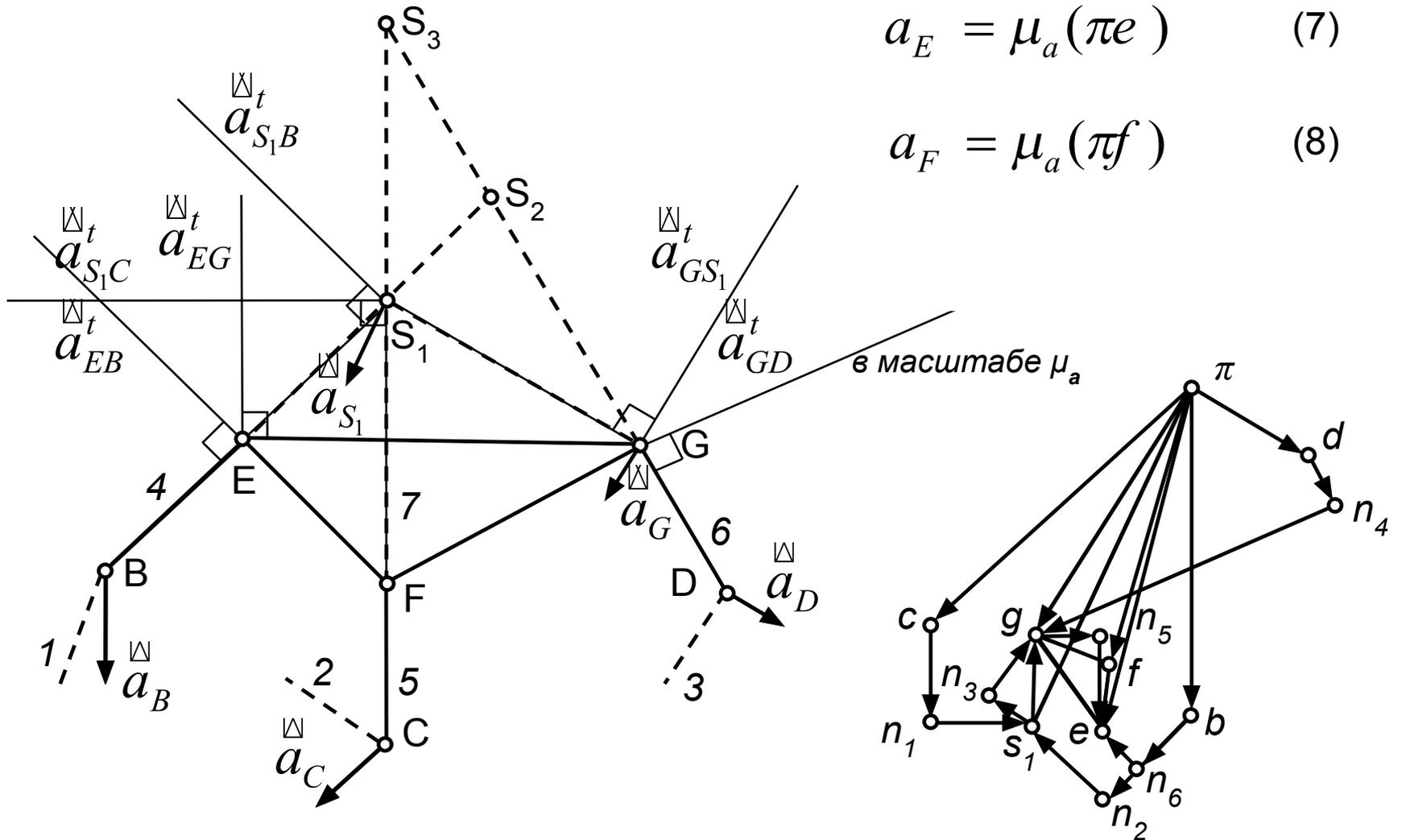
$$a_G = \mu_a(\pi g) \quad (5)$$

$$a_E = a_G + a_{EG}^n + a_{EG}^t \quad (6)$$

$$a_E = a_B + a_{EB}^n + a_{EB}^t$$

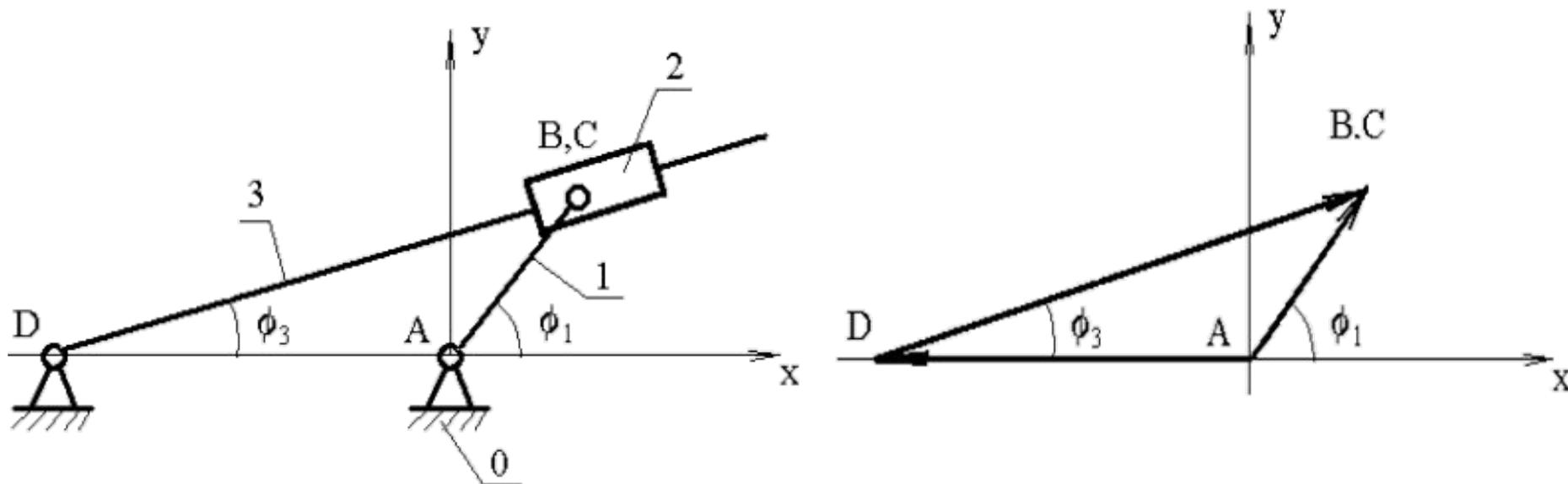
$$a_E = \mu_a(\pi e) \quad (7)$$

$$a_F = \mu_a(\pi f) \quad (8)$$



Аналитический метод кинематического анализа. Метод проекций векторного замкнутого контура.

Рассмотрим простейший кулисный механизм.

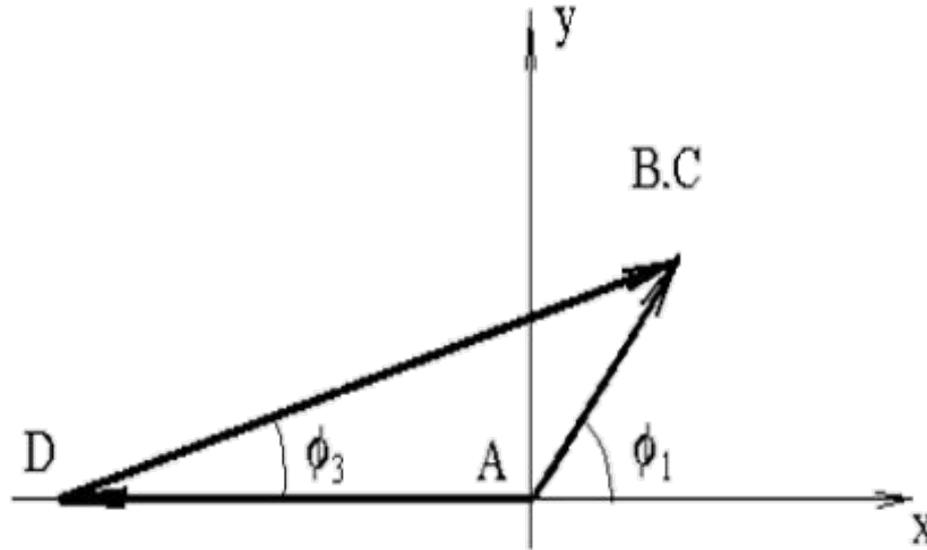


Заменяем кинематическую схему механизма эквивалентным векторным контуром.

Тогда уравнение замкнутости векторного контура запишется:

$$\vec{l}_{AB} = \vec{l}_{AD} + \vec{l}_{BC}.$$

Задача о положениях звеньев механизма



Проецируем векторный контур на оси координат и получаем координаты точки В механизма:

$$x_B = l_{AB} \cdot \cos(\varphi_1) = l_{AD} \cdot \cos(\pi) + l_{DB} \cdot \cos(\varphi_3), \quad (1)$$

$$y_B = l_{AB} \cdot \sin(\varphi_1) = l_{AD} \cdot \sin(\pi) + l_{DB} \cdot \sin(\varphi_3), \quad (2)$$

Из решения этой системы уравнений определяем неизвестные величины φ_3 и l_{DB} , которые определяют положение звеньев и точек механизма

$$\operatorname{tg}(\varphi_3) = \sin(\varphi_3) / \cos(\varphi_3) = l_{AB} \cdot \sin(\varphi_1) / ((l_{AB} \cdot \cos(\varphi_1) - l_{AD} \cdot \cos(\pi))),$$

$$\Rightarrow \varphi_3 = \operatorname{arctg} \frac{l_{AB} \cdot \sin(\varphi_1)}{l_{AB} \cdot \cos(\varphi_1) - l_{AD} \cdot \cos(\pi)},$$

$$l_{DB} = \frac{l_{AB} \cdot \sin(\varphi_1)}{\sin(\varphi_3)}.$$

Задача о первых кинематических передаточных функциях механизма

Продифференцируем уравнения проекций векторного контура по обобщенной координате и получим

$$V_{qBx} = -l_{AB} \cdot \sin(\varphi_1) = V_{qDB} \cdot \cos(\varphi_3) - l_{DB} \cdot \omega_{q3} \cdot \sin(\varphi_3),$$

$$V_{qBy} = l_{AB} \cdot \cos(\varphi_1) = V_{qDB} \cdot \sin(\varphi_3) + l_{DB} \cdot \omega_{q3} \cdot \cos(\varphi_3).$$

Из этой системы уравнений определяем первые передаточные функции V_{qB} и ω_{q3} .

Задача о вторых передаточных функциях механизма

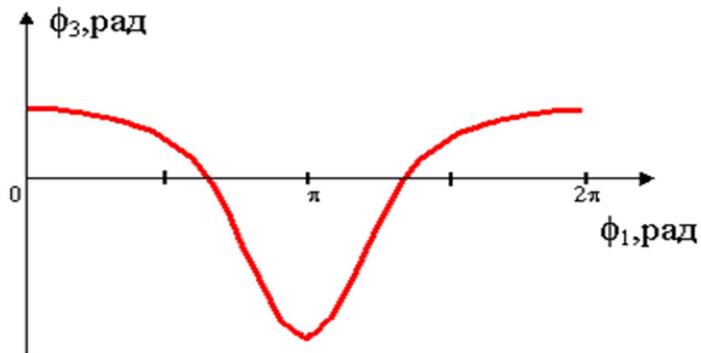
Вторично продифференцируем уравнения проекций векторного контура по обобщенной координате и получим

$$\alpha_{q_{Bx}} = -l_{AB} \cdot \cos(\varphi_1) = \alpha_{q_{DB}} \cdot \cos(\varphi_3) - 2 \cdot V_{q_{DB}} \cdot \omega_3 \cdot \sin(\varphi_3) - l_{DB} \cdot \varepsilon_{q_3} \cdot \sin(\varphi_3) - l_{DB} \cdot \omega_3^2 \cdot \cos(\varphi_3),$$

$$\alpha_{q_{By}} = -l_{AB} \cdot \sin(\varphi_1) = \alpha_{q_{DB}} \cdot \sin(\varphi_3) + 2 \cdot V_{q_{DB}} \cdot \omega_3 \cdot \cos(\varphi_3) + l_{DB} \cdot \varepsilon_{q_3} \cdot \cos(\varphi_3) - l_{DB} \cdot \omega_3^2 \cdot \sin(\varphi_3).$$

Из этой системы уравнений определяем вторые передаточные функции α_{q_B} и ε_{q_3} .

Диаграмма функции положения



Выполнив вычисления по приведённым выше зависимостям, построим соответствующие диаграммы.

Диаграмма первой передаточной функции

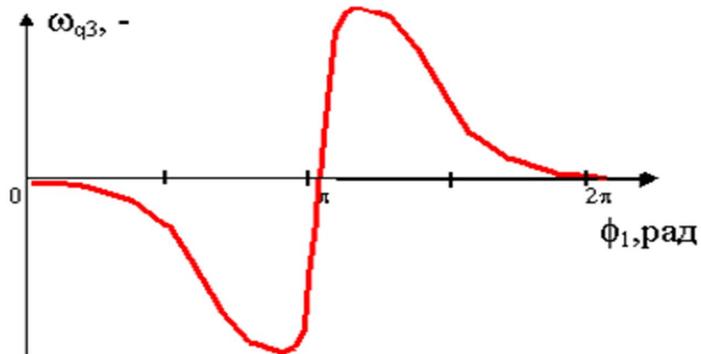
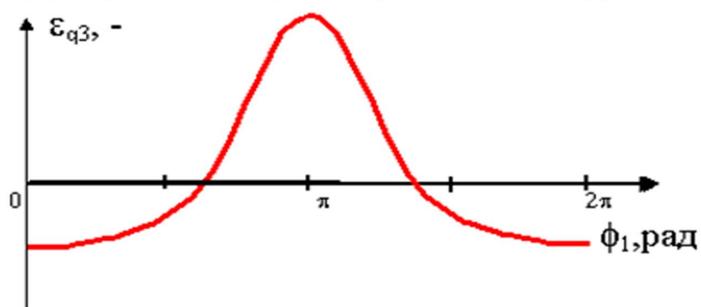


Диаграмма второй передаточной функции



Диаграммы функции положения и передаточных функций для зубчатой передачи

Диаграмма функции положения

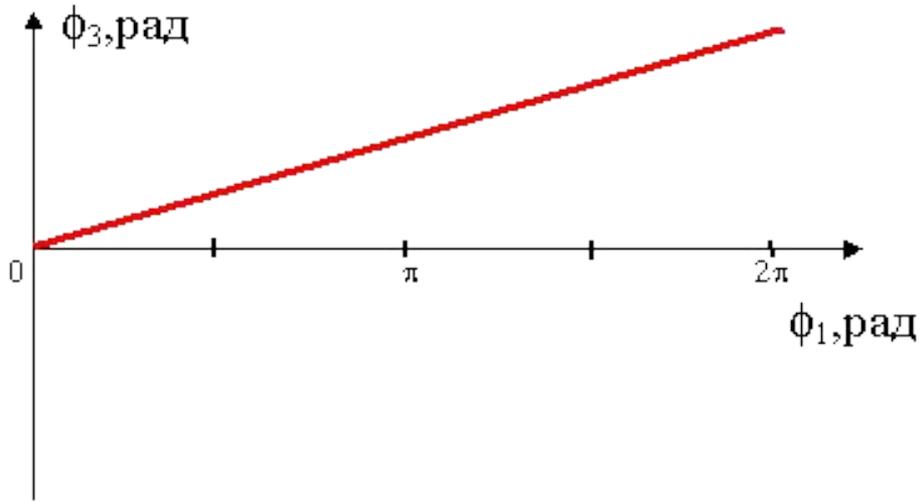


Диаграмма второй передаточной функции

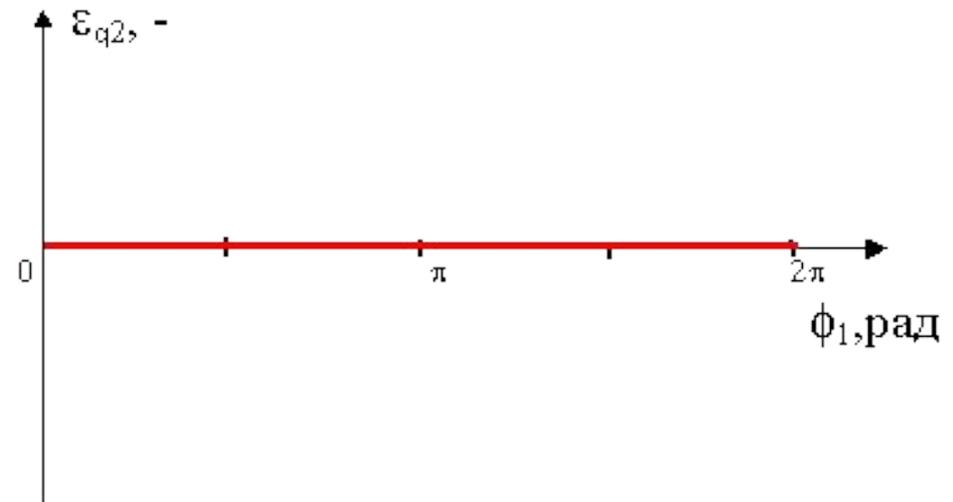
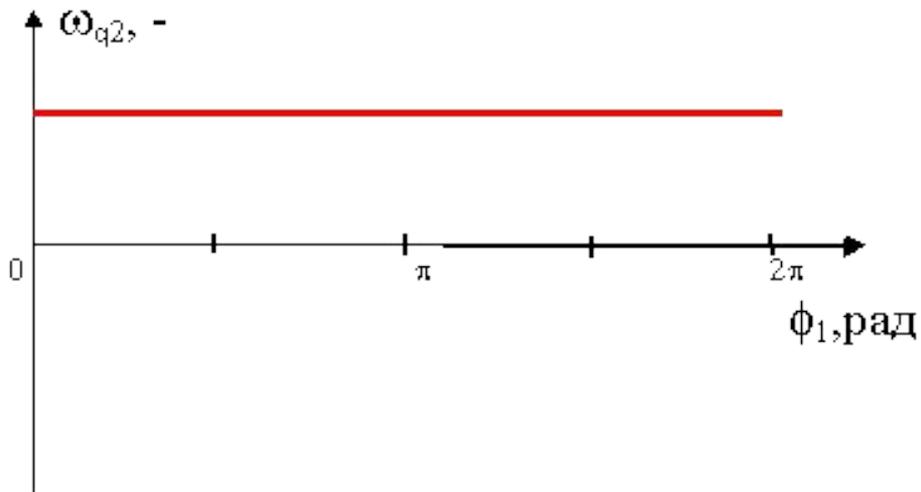
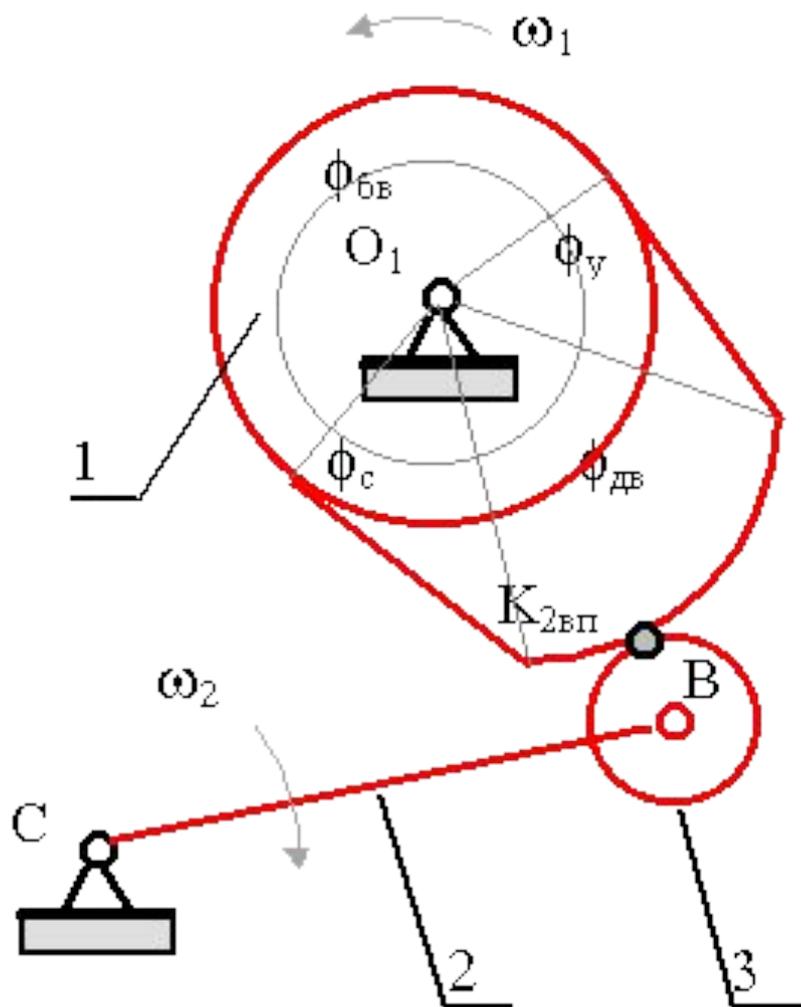


Диаграмма первой передаточной функции



Диаграммы функции положения и передаточных функций для кулачкового механизма



Кинематическая схема и цикловые характеристики кулачкового механизма

Диаграмма функции положения

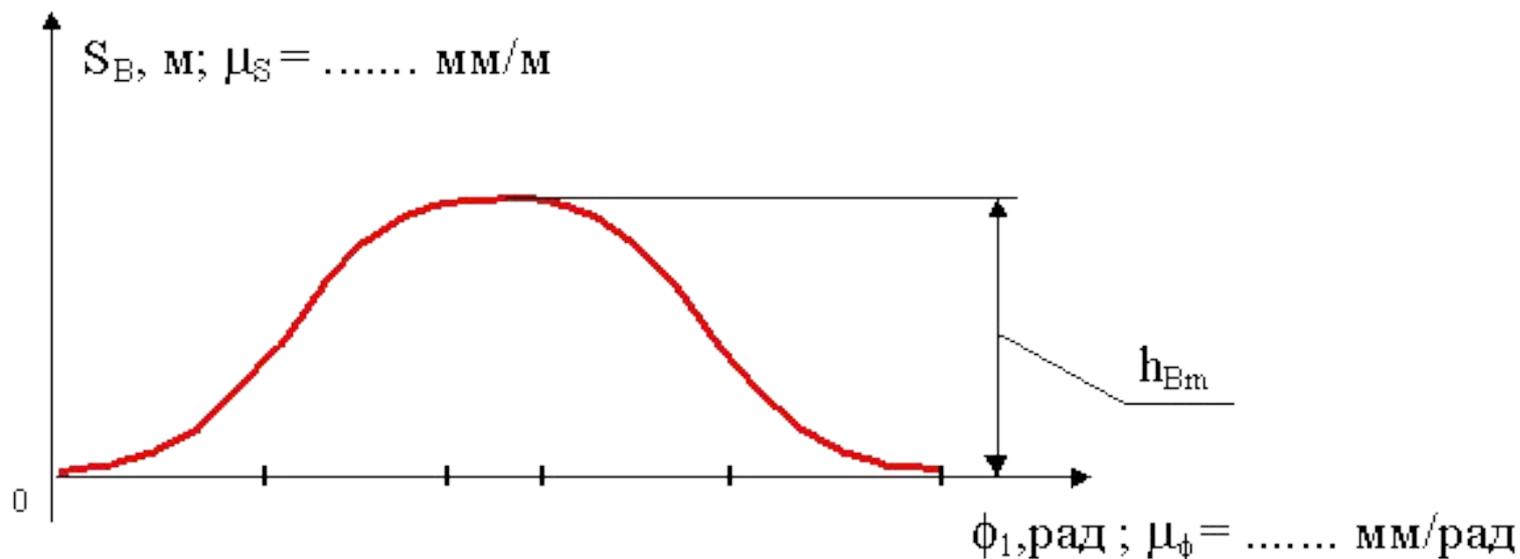


Диаграмма первой передаточной функции

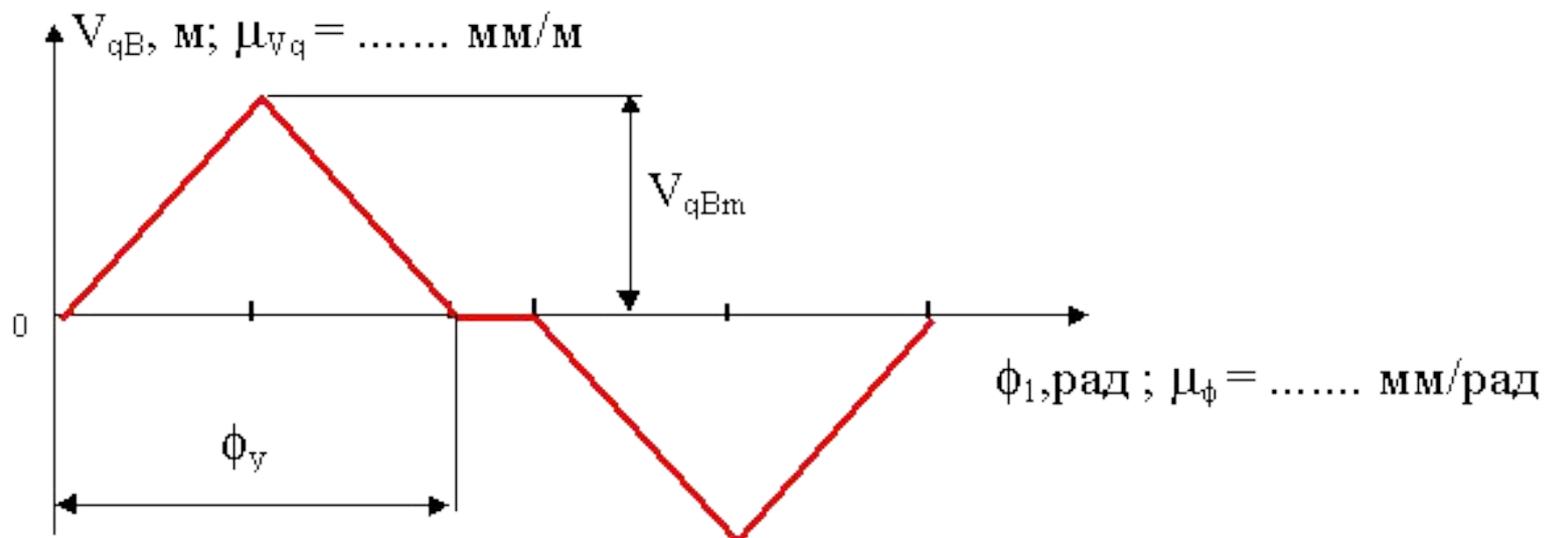
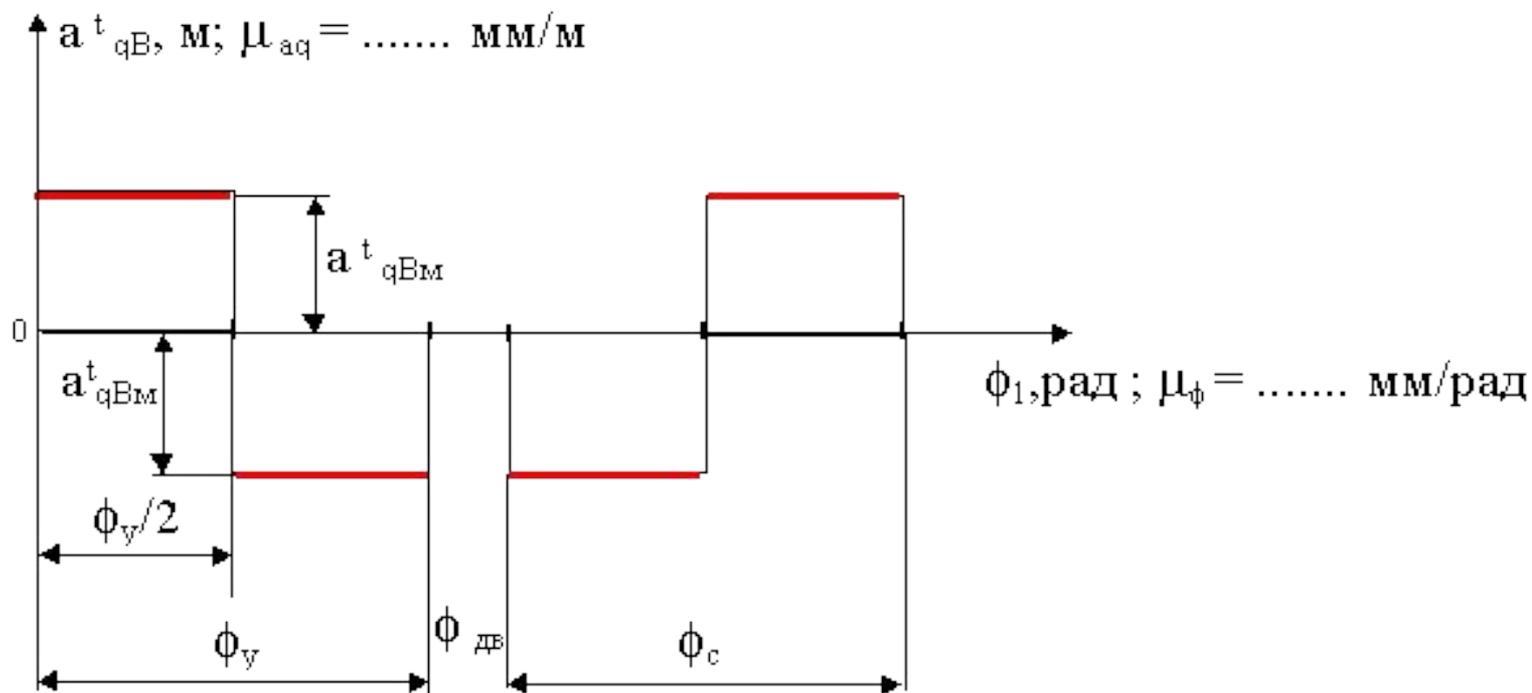


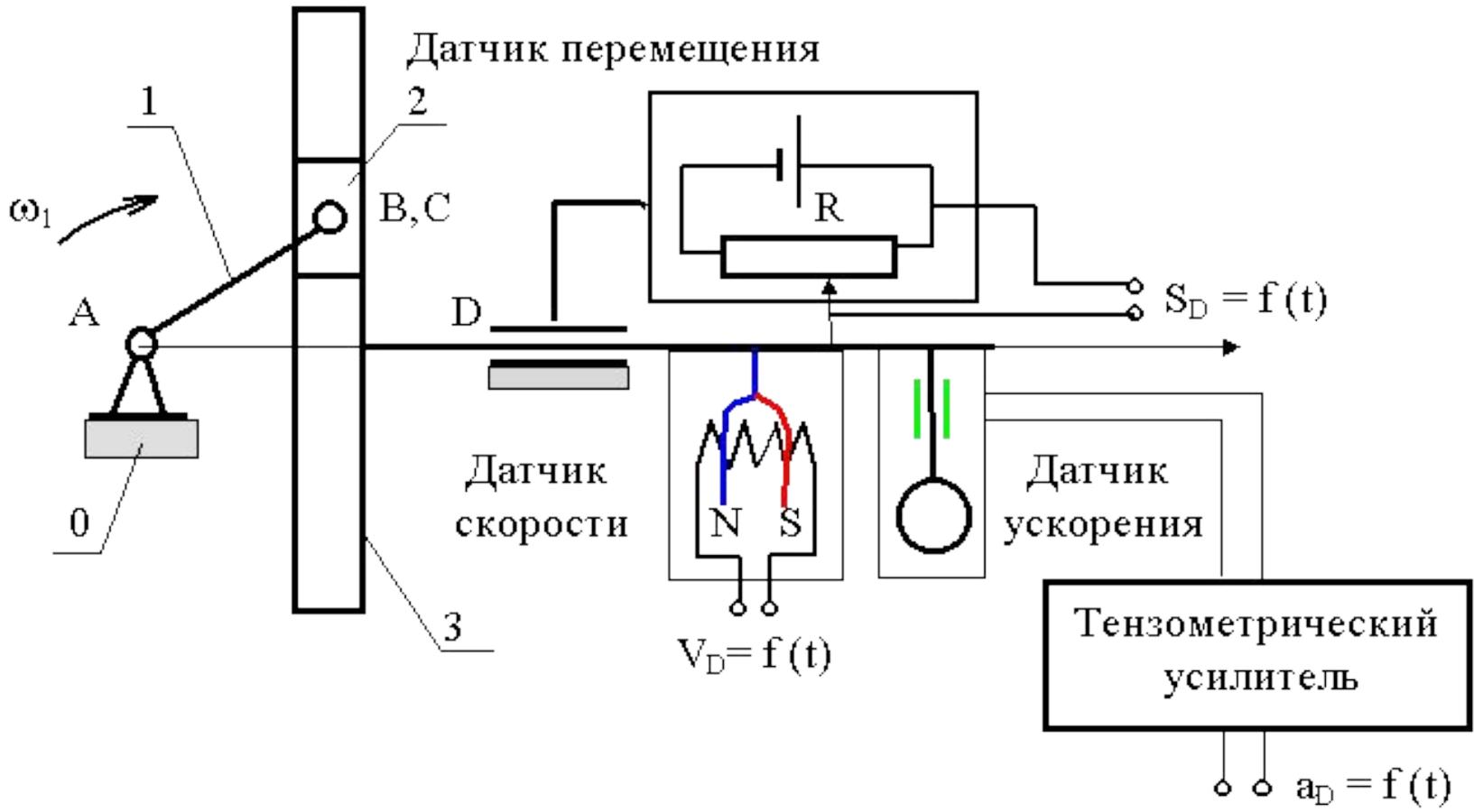
Диаграмма второй передаточной функции



Экспериментальный метод кинематического исследования

При экспериментальном исследовании кинематики механизмов кинематические характеристики звеньев и точек механизма определяются и регистрируются с помощью чувствительных элементов - датчиков, которые используя различные физические эффекты преобразуют кинематические параметры в пропорциональные электрические сигналы. Эти сигналы регистрируются измерительными самопишущими приборами (самописцами, осциллографами и др.)

В последнее время для регистрации и обработки экспериментальных данных все более широко используются специальные или универсальные компьютеры. Для примера рассмотрим экспериментальную установку для исследования кинематических характеристик синусного механизма:



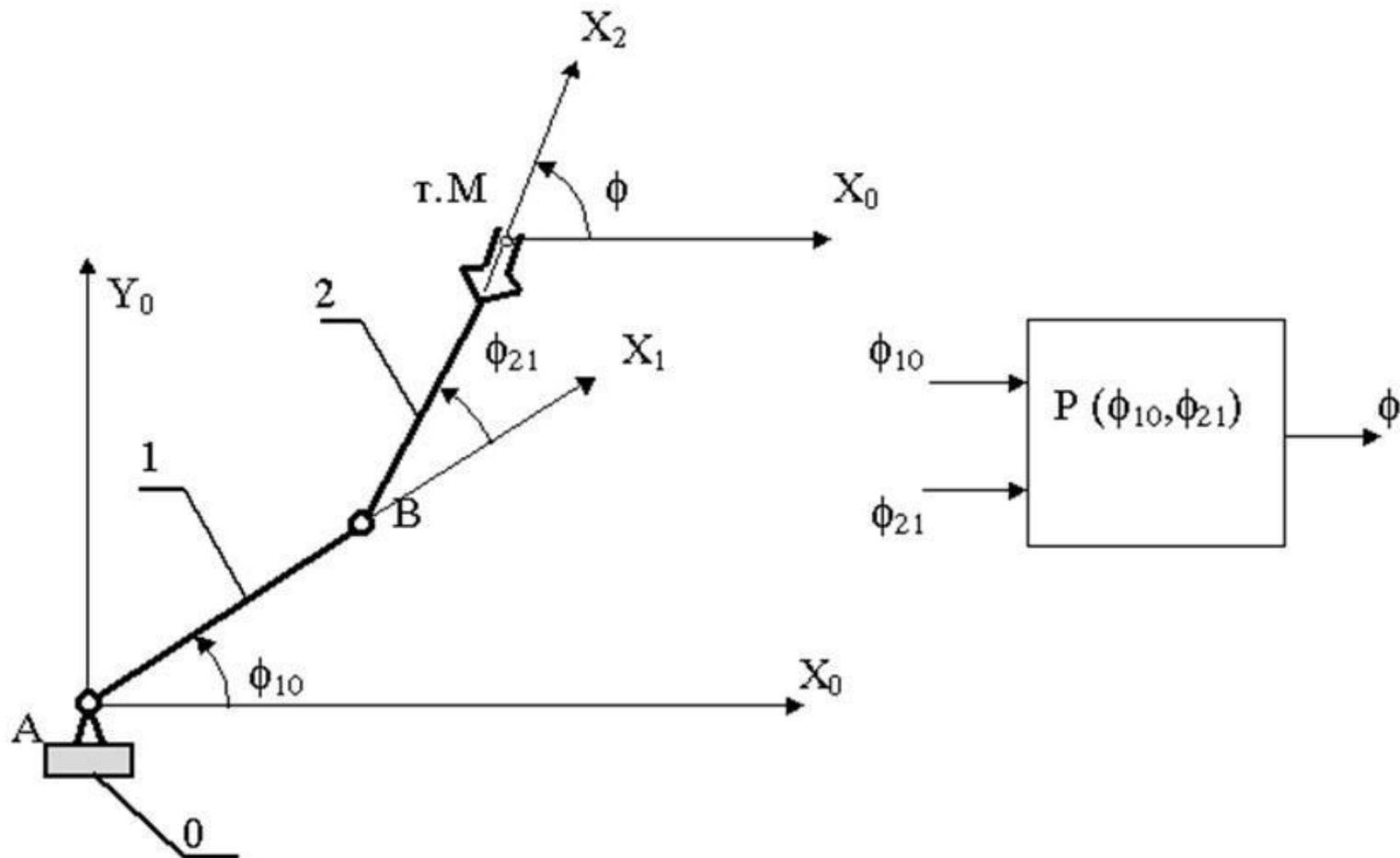
В этой экспериментальной установке:

- для измерения перемещения выходного звена используется потенциометрический датчик перемещения, в котором пропорционально положению движка потенциометра изменяется его сопротивление;
- для измерения скорости выходного звена используется индукционный датчик скорости, в котором напряжение на концах катушки движущейся в поле постоянного магнита пропорционально скорости катушки;

- для измерения ускорения выходного звена используется тензометрический акселерометр. Он состоит из пластинчатой пружины один конец которой закреплен на выходном звене механизма, а на втором закреплена масса. На пластину наклеены проволочные тензопреобразователи. При движении выходного звена с ускорением инерционность массы вызывает изгиб пластины, деформацию тензопреобразователей и изменение их сопротивления пропорциональное ускорению выходного звена.

Передаточные функции механизмов с несколькими подвижностями ($W > 1$)

Рассмотрим простой двухподвижный манипулятор:



Функция положения для выходного звена этого механизма является функцией двух переменных

$$\varphi = P(\varphi_{10}, \varphi_{21}),$$

и её производная определится как производная функции двух переменных:

$$\begin{aligned} d\varphi_2 &= [dP(\varphi_{10}, \varphi_{21}) / d\varphi_{10}]d\varphi_{10} + [dP(\varphi_{10}, \varphi_{21}) / d\varphi_{21}]d\varphi_{21} = \\ &= \omega_{q10} \cdot d\varphi_{10} + \omega_{q21} \cdot d\varphi_{21}, \end{aligned}$$

где ω_{q10} и ω_{q21} - частные производные по обобщённым координатам.