



*Івано-Франківський національний  
технічний університет нафти і газу*

## ***Т 1.9 Силовий розрахунок важільних механізмів без врахування сил тертя***

Рачкевич Руслан

### *Тематичний план лекції*

- 1.9.1 Задачі силового розрахунку механізмів. Метод кінетостатики
- 1.9.2 Умова статичної визначеності кінематичних ланцюгів
- 1.9.3 Сили інерції
- 1.9.4 Силовий розрахунок важільних плоских механізмів
- 1.9.5 Механічний коефіцієнт корисної дії

### 1.9.1 Задачі силового розрахунку механізмів. Метод кінетостатики

**Мета силового розрахунку:** визначення сил (реакцій у кінематичних парах), що діють на ланки механізму під час руху, і сил, які забезпечують цей рух.

**Задачі силового дослідження:**

- розрахунок деталей механізму на міцність методом опору матеріалів, встановити їх найбільш раціональні конструктивні форми;
- визначити втрати потужності на тертя та ККД механізму;
- обчислення необхідної потужності двигуна для приводу механізму.

**Припущення** при силовому аналізі механізмів:

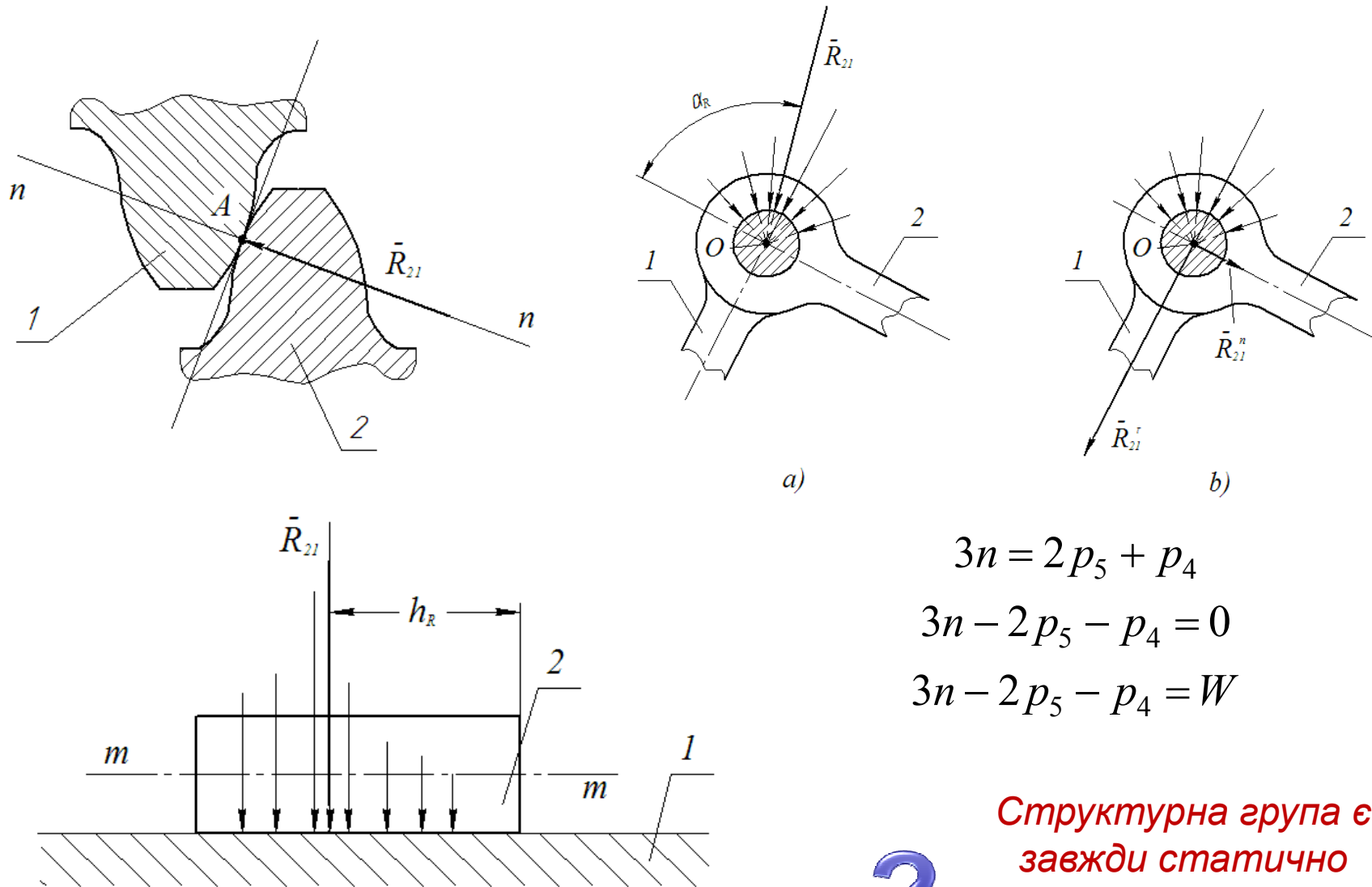
- ланки механізму абсолютно жорсткі;
- у кінематичних парах відсутні зазори;
- маси і моменти інерції всіх ланок відому;
- сили тертя малі порівняно з іншими силами, що прикладені до ланок механізму.

Силовий розрахунок поділяється на: **статичний** і **динамічний**.

### 1.9.1 Задачі силового розрахунку механізмів. Метод кінетостатики

Силовий розрахунок проводитиме **методом кінетостатики**, який базується на принципі Д'Аламбера: для будь-якого кінематичного ланцюга, що входить до складу механізму, геометрична сума прикладених сил, реакцій у кінематичних парах і сил інерції дорівнює нулю. Сума моментів всіх вказаних сил відносно довільної точки теж дорівнює нулю.

$$\sum_i \vec{F}_i + \sum_j \vec{R}_j + \sum_k \vec{\Phi}_k = 0$$
$$\sum_i M_O(\vec{F}_i) + \sum_j M_O(\vec{R}_j) + \sum_k M_O(\vec{\Phi}_k) = 0$$



$$3n = 2p_5 + p_4$$

$$3n - 2p_5 - p_4 = 0$$

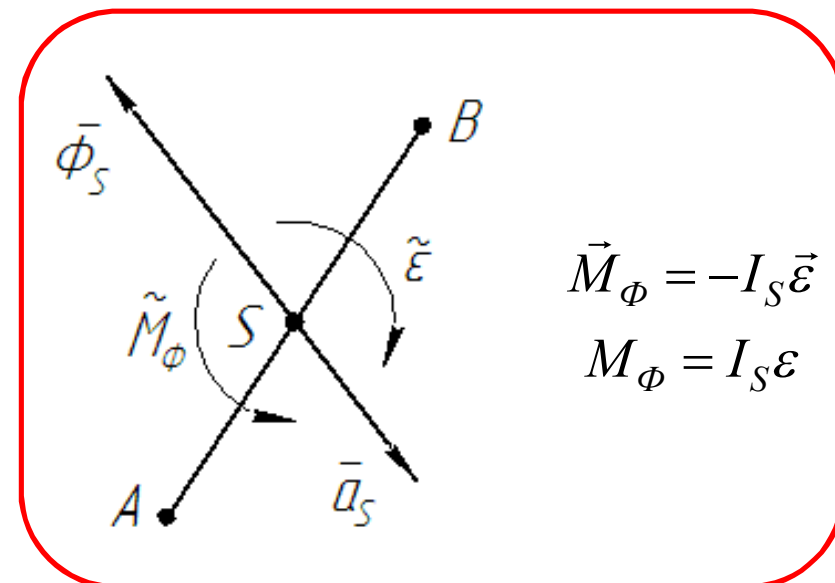
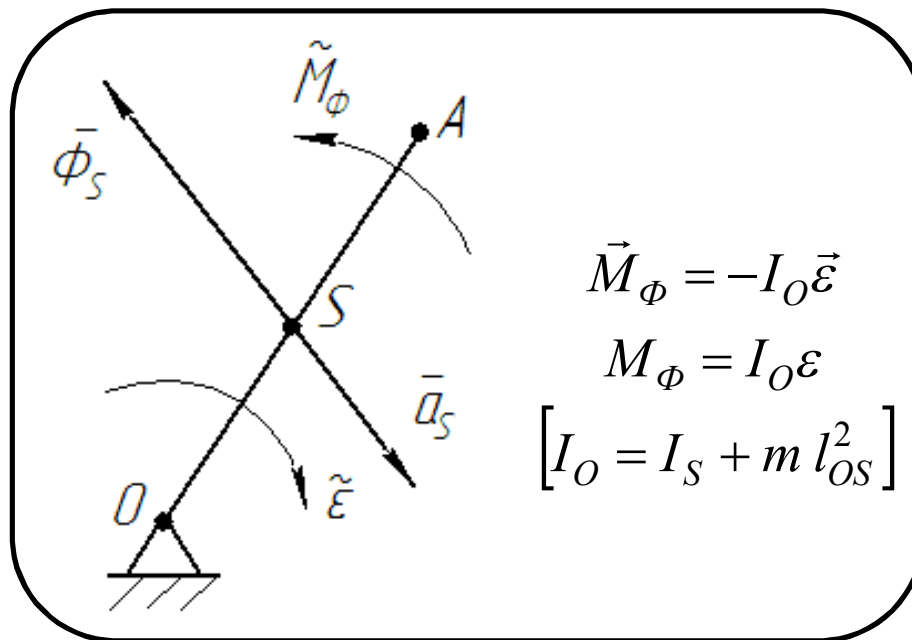
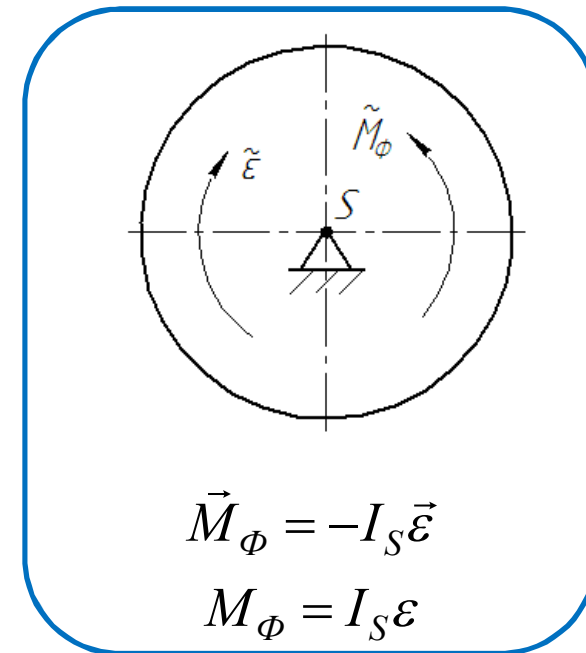
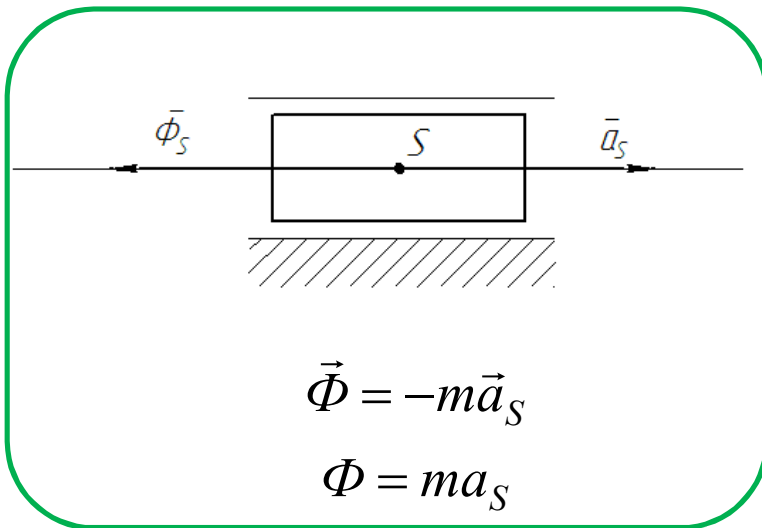
$$3n - 2p_5 - p_4 = W$$

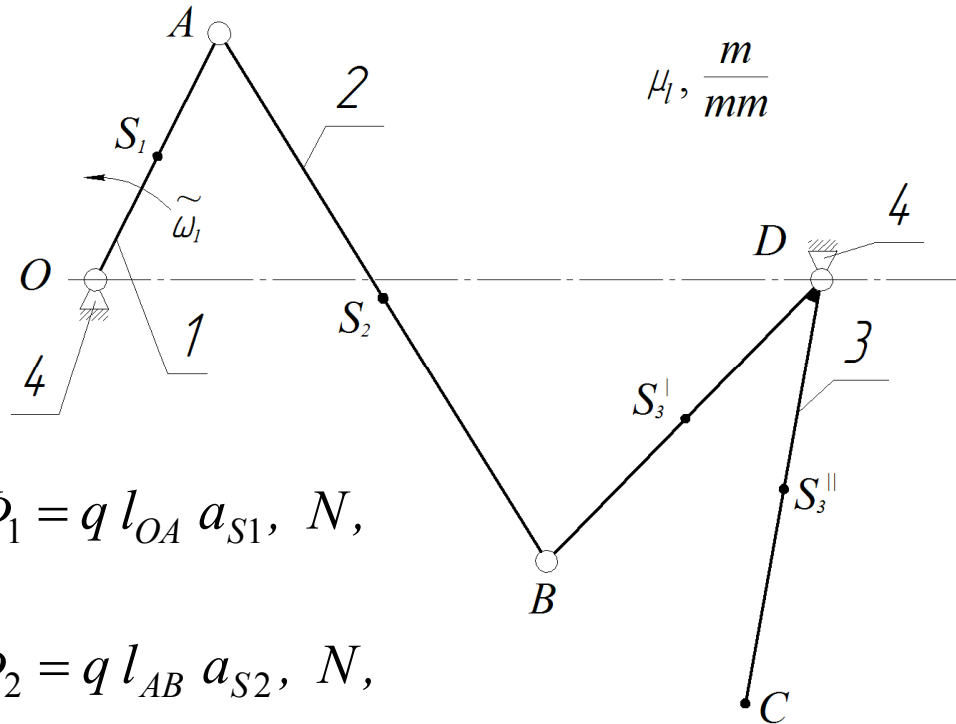


Структурна група є завжди статично визначеною, якою б складною не була

### 1.9.3 Сили інерції

6





$$M_{\Phi_1} = 0, \quad M_{\Phi_2} = \frac{ql_{AB}^3}{12} \varepsilon_2,$$

$$M_{\Phi'_3} = \frac{ql_{BD}^3}{12} \varepsilon_3, \quad M_{\Phi''_3} = \frac{ql_{DC}^3}{12} \varepsilon_3.$$

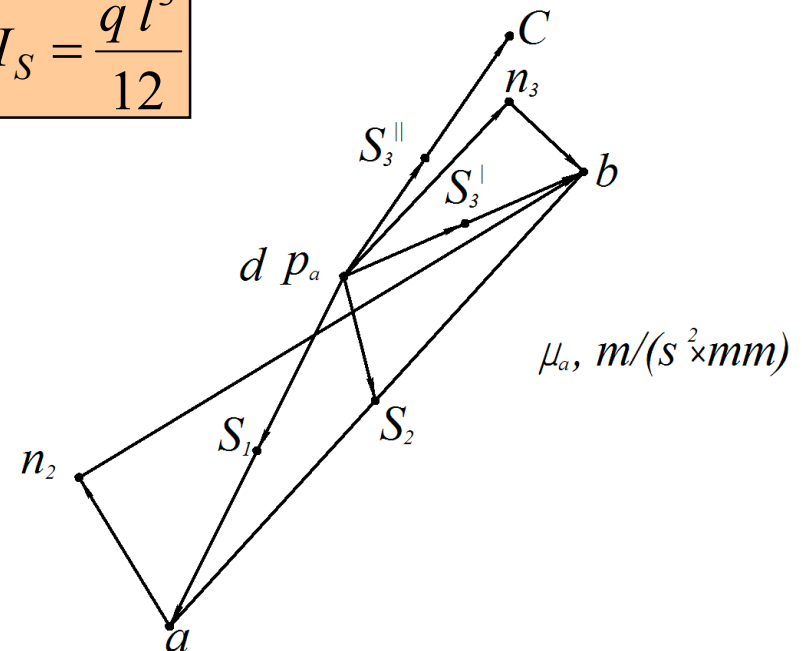
$$I_S = \frac{ql^3}{12}$$

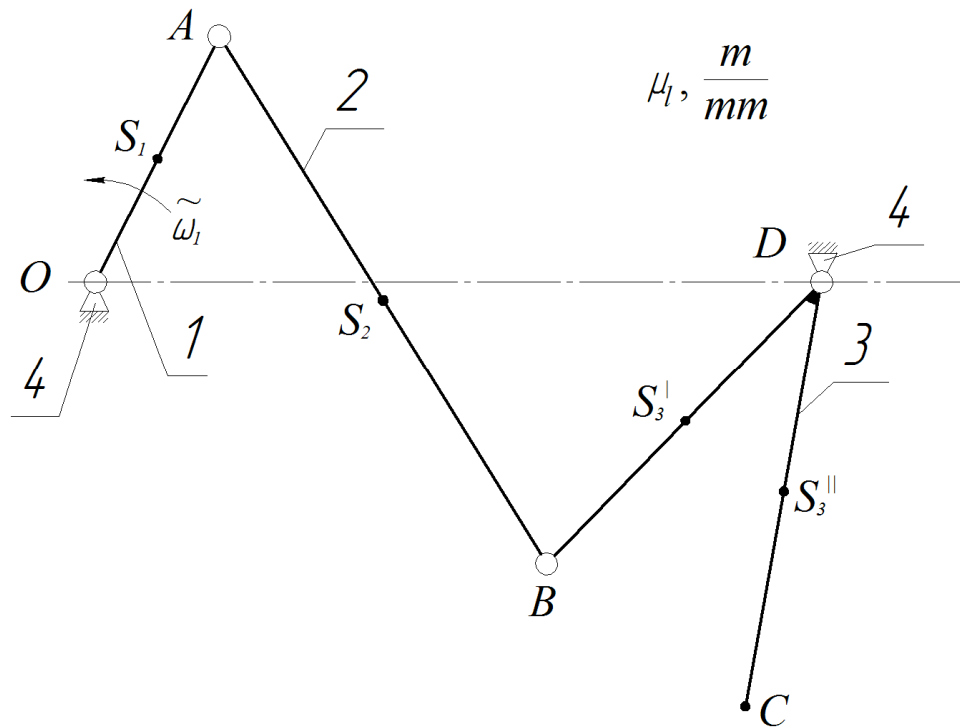
$$\Phi_1 = ql_{OA} a_{S1}, \quad N,$$

$$\Phi_2 = ql_{AB} a_{S2}, \quad N,$$

$$\Phi'_3 = ql_{BD} a'_{S3}, \quad N,$$

$$\Phi''_3 = ql_{DC} a''_{S3}, \quad N.$$



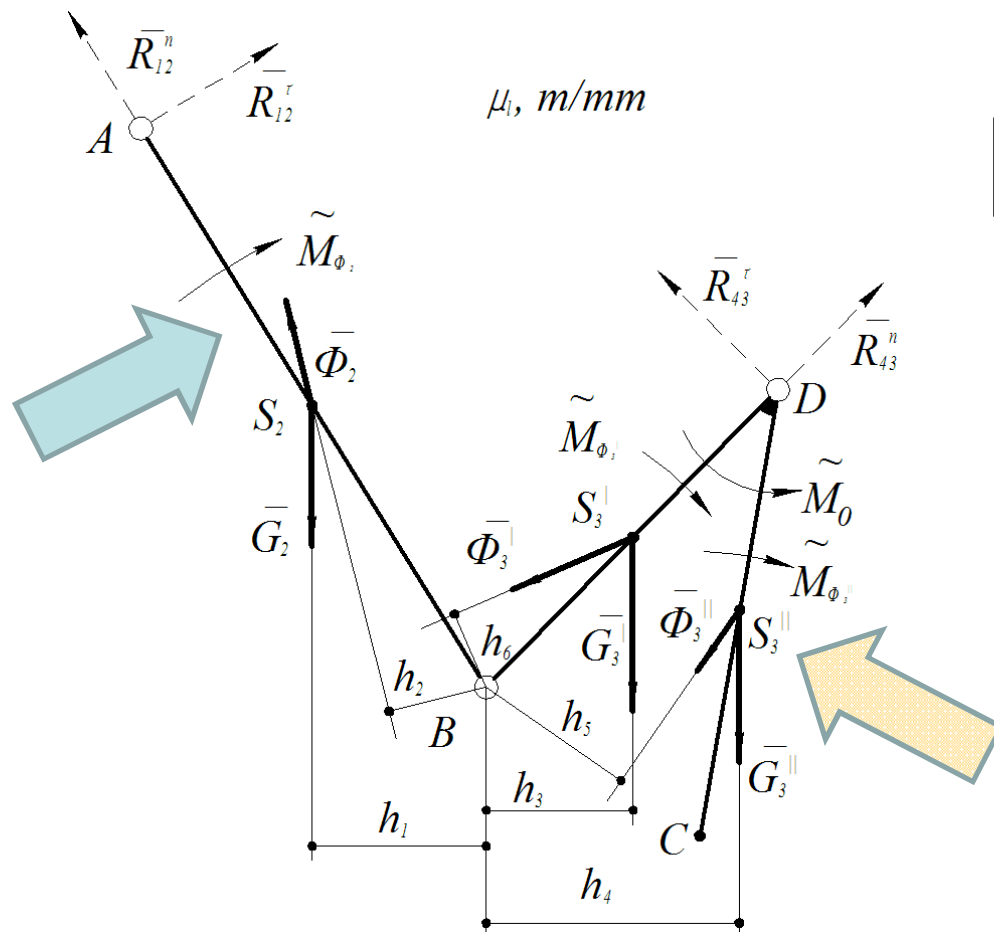


$$G_1 = q l_{OA} g,$$

$$G_2 = q l_{AB} g,$$

$$G_3' = q l_{BD} g,$$

$$G_3'' = q l_{DC} g,$$



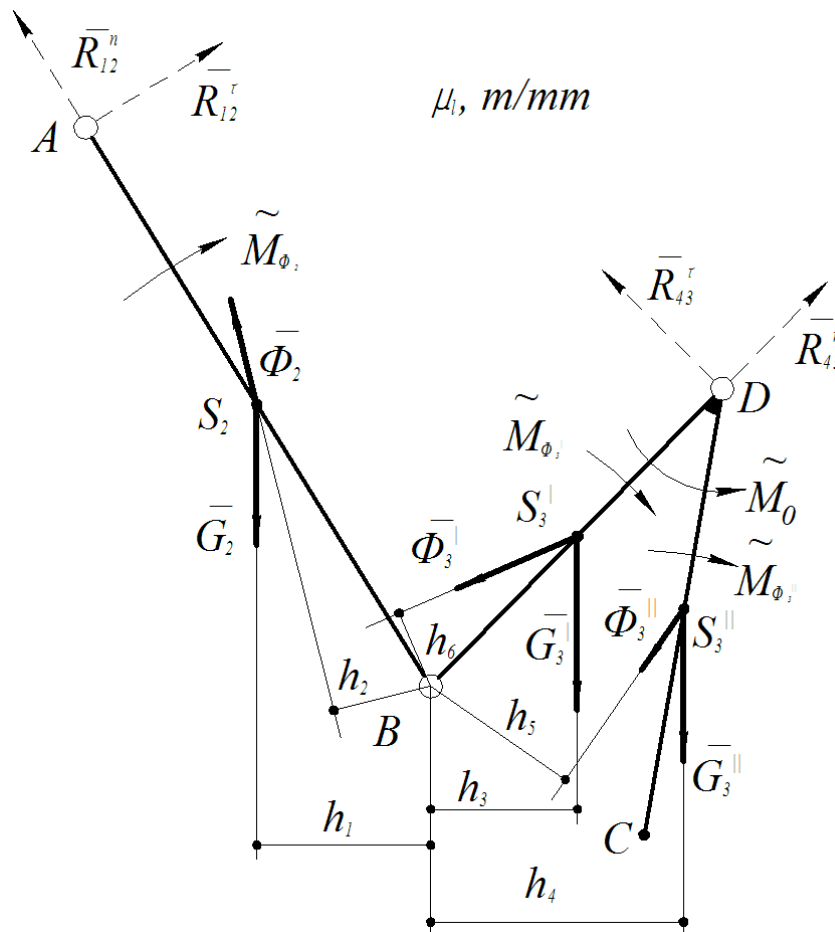
$$\bar{R}_{12}^\tau l_{AB} + M_{\Phi_2} - G_2 h_1 \mu_l + \Phi_2 h_2 \mu_l = 0,$$

$$\bar{R}_{12}^\tau = \frac{-M_{\Phi_2} + G_2 h_1 \mu_l - \Phi_2 h_2 \mu_l}{l_{AB}}, N.$$

$$\bar{R}_{43}^\tau \cdot l_{BD} + M_0 - G'_3 h_3 \mu_l + \Phi'_3 h_6 \mu_l - M_{\Phi'_3} - G''_3 h_4 \mu_l - \Phi''_3 h_5 \mu_l - M_{\Phi''_3} = 0,$$

$$\bar{R}_{43}^\tau = \frac{1}{l_{BD}} \left( -M_0 + G'_3 h_3 \mu_l - \Phi'_3 h_6 \mu_l + M_{\Phi'_3} + G''_3 h_4 \mu_l + \Phi''_3 h_5 \mu_l + M_{\Phi''_3} \right), N.$$

$$\vec{R}_{12}^n + \vec{R}_{12}^\tau + \vec{G}_2 + \vec{\Phi}_2 + \vec{G}_3' + \vec{\Phi}_3' + \vec{G}_3'' + \vec{\Phi}_3'' + \vec{R}_{34}^\tau + \vec{R}_{34}^n = 0.$$



$$oa = \frac{R_{12}^\tau}{\mu_F}, \text{ мм,}$$

$$de = \frac{\Phi_3'}{\mu_F}, \text{ мм,}$$

$$ab = \frac{G_2}{\mu_F}, \text{ мм,}$$

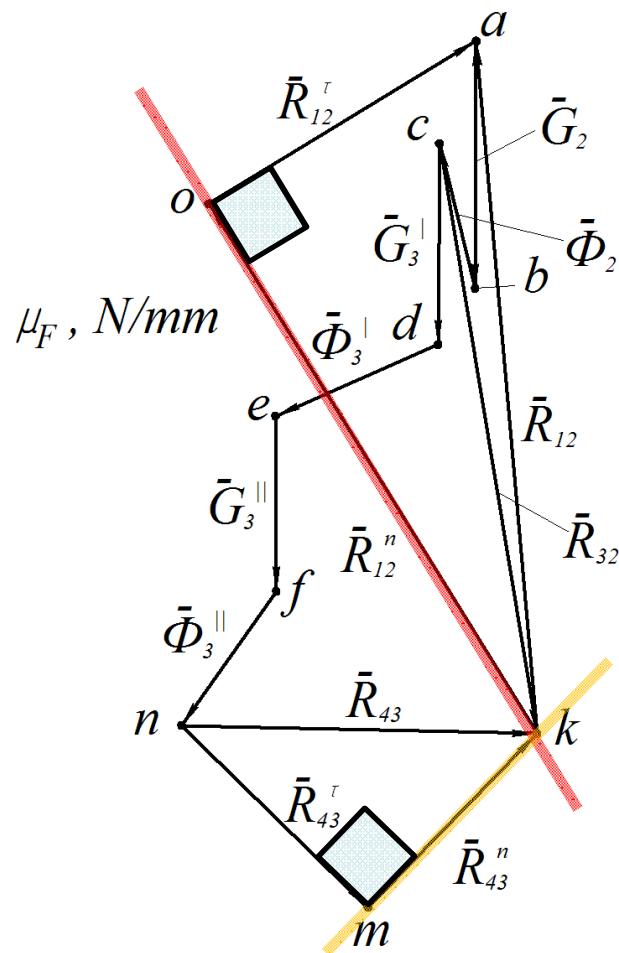
$$ef = \frac{G_3''}{\mu_F}, \text{ мм,}$$

$$bc = \frac{\Phi_2}{\mu_F}, \text{ мм,}$$

$$fn = \frac{\Phi_3''}{\mu_F}, \text{ мм,}$$

$$cd = \frac{G_3'}{\mu_F}, \text{ мм,}$$

$$nm = \frac{R_{34}^\tau}{\mu_F}, \text{ мм,}$$



$$oa = \frac{R_{12}^\tau}{\mu_F}, \text{ мм,}$$

$$de = \frac{\Phi_3'}{\mu_F}, \text{ мм,}$$

$$ab = \frac{G_2}{\mu_F}, \text{ мм,}$$

$$ef = \frac{G_3''}{\mu_F}, \text{ мм,}$$

$$bc = \frac{\Phi_2}{\mu_F}, \text{ мм,}$$

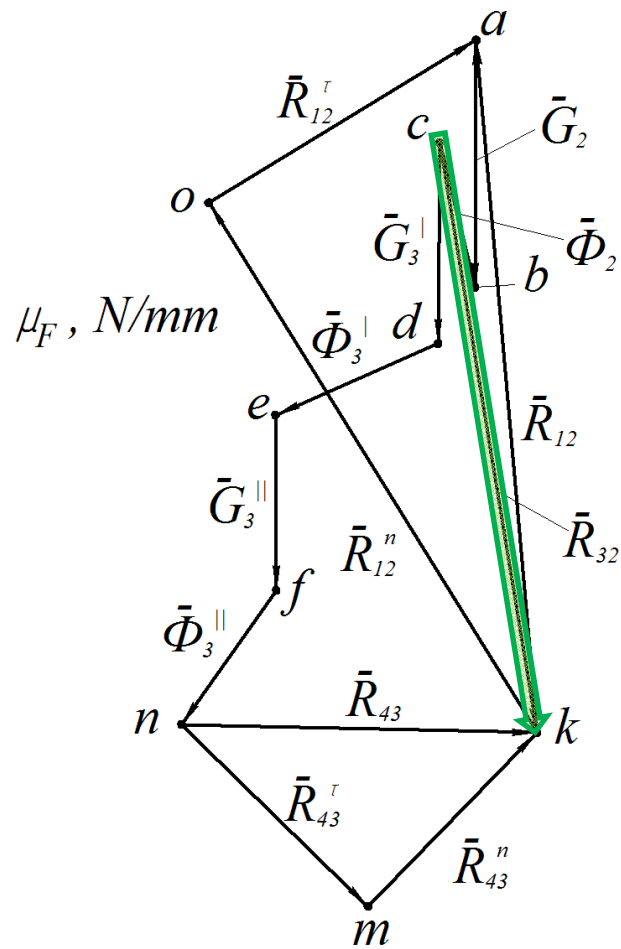
$$fn = \frac{\Phi_3'''}{\mu_F}, \text{ мм,}$$

$$cd = \frac{G_3'}{\mu_F}, \text{ мм,}$$

$$nm = \frac{R_{34}^\tau}{\mu_F}, \text{ мм,}$$

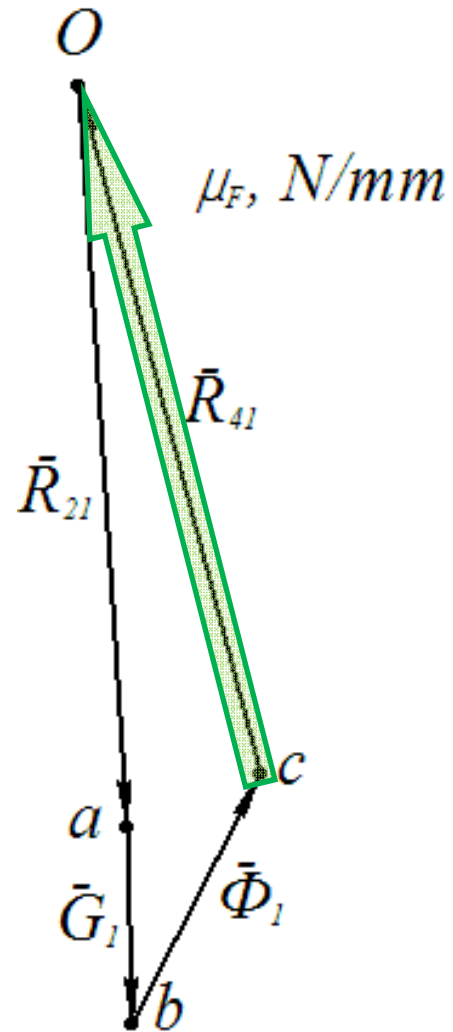
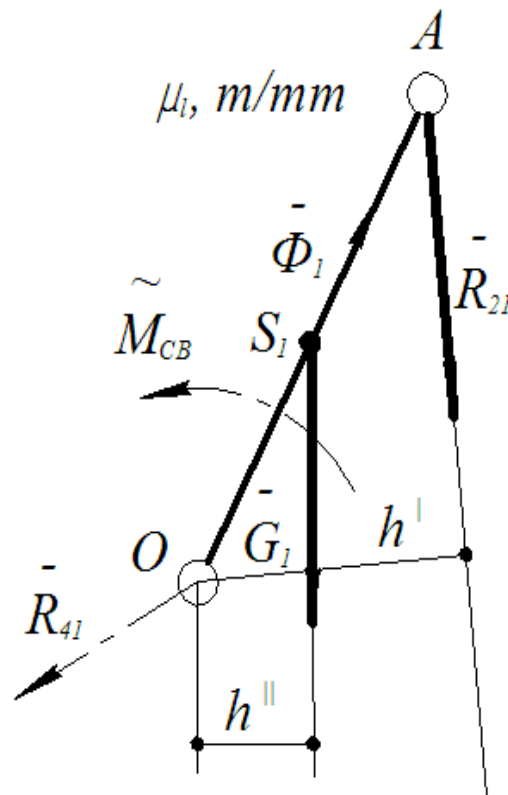
$$R_{12} = ka \mu_F, N,$$

$$R_{43} = nk \mu_F, N,$$



$$\bar{R}_{12} + \bar{G}_2 + \bar{\Phi}_2 + \bar{R}_{32} = 0,$$

$$R_{32} = ck \mu_F, N.$$



$$R_{21}h'\mu_l + G_1h''\mu_l - M_{CB} = 0,$$

$$M_{CB} = R_{21}h'\mu_l + G_1h''\mu_l, \quad Nm.$$

$$\bar{R}_{21} + \bar{G}_1 + \bar{\Phi}_1 + \bar{R}_{41} = 0.$$

$$oa = \frac{R_{21}}{\mu_F}, \text{ мм}$$

$$ab = \frac{G_1}{\mu_F}, \text{ мм}$$

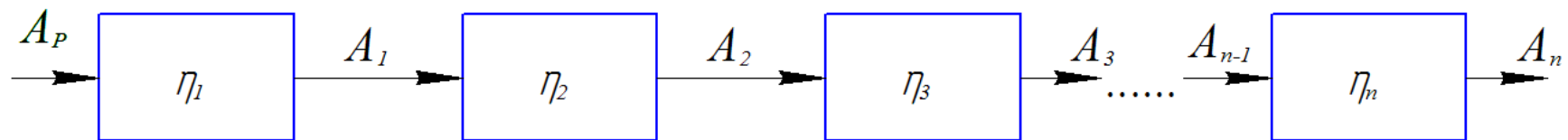
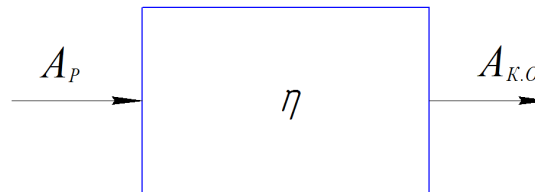
$$bc = \frac{\Phi_1}{\mu_F}, \text{ мм}$$

$$R_{41} = co \mu_F, \quad N.$$

$$A_P = A_{K.O} + A_{Ш.O}$$

$$\eta = \frac{A_{K.O}}{A_P} < 1.$$

$$\eta = \frac{A_P - A_{Ш.O}}{A_P} = 1 - \frac{A_{Ш.O}}{A_P} = 1 - \psi$$

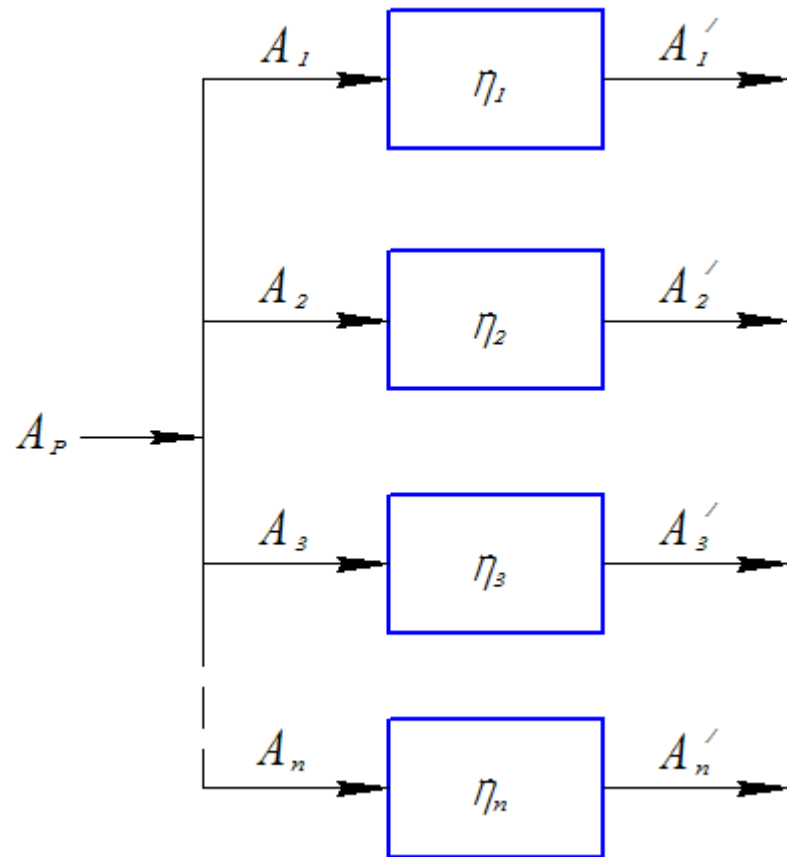


$$\eta_{\Sigma} = \frac{A_n}{A_P}$$

$$\eta_1 = \frac{A_1}{A_P}; \eta_2 = \frac{A_2}{A_1}; \eta_3 = \frac{A_3}{A_2}; \dots; \eta_n = \frac{A_n}{A_{n-1}}$$

$$\eta_1 \eta_2 \eta_3 \dots \eta_n = \frac{A_1}{A_P} \frac{A_2}{A_1} \frac{A_3}{A_2} \dots \frac{A_n}{A_{n-1}} = \frac{A_n}{A_P} = \eta_{\Sigma}$$

$$\eta_{\Sigma} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \dots \eta_n$$



$$A_P = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n = \sum_{i=1}^n A_i.$$

$$A'_1 = A_1 \eta_1,$$

$$A'_2 = A_2 \eta_2,$$

$$A'_3 = A_3 \eta_3,$$

...

$$A'_n = A_n \eta_n.$$

$$\begin{aligned} A_{K.O} &= A'_1 + A'_2 + A'_3 + \dots + A'_n = \\ &= A_1 \eta_1 + A_2 \eta_2 + A_3 \eta_3 + \dots + A_n \eta_n = \sum_{i=1}^n A_i \eta_i. \end{aligned}$$

$$\eta_{\Sigma} = \frac{A_{K.O.}}{A_P} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i n_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{A_1 \eta_1 + A_2 \eta_2 + A_3 \eta_3 + \dots + A_n \eta_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}.$$

У випадку якщо:  $A_1 = A_2 = A_3 = \dots = A_n = A$

$$\eta_{\Sigma} = \frac{A_{K.O.}}{A_P} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i n_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{A (\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \dots + \eta_n)}{A n}.$$

$$\eta_{\Sigma} = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \dots + \eta_n}{n}.$$

Дякую за увагу!