

Міністерство освіти і науки України
Донецький національний технічний університет

Кафедра ОПМ

**Кінематичне дослідження плоских
важільних шостиланкових механізмів за
методом планів**

Методичні вказівки до самостійної роботи
студентів з курсу ТММ

Донецьк, ДонНТУ - 2004

**Кінематичне дослідження плоских
важільних шостиланкових механізмів за
методом планів**

Методичні вказівки до самостійної роботи
студентів з курсу ТММ

Укладач: Пархоменко Валентина Георгіївна

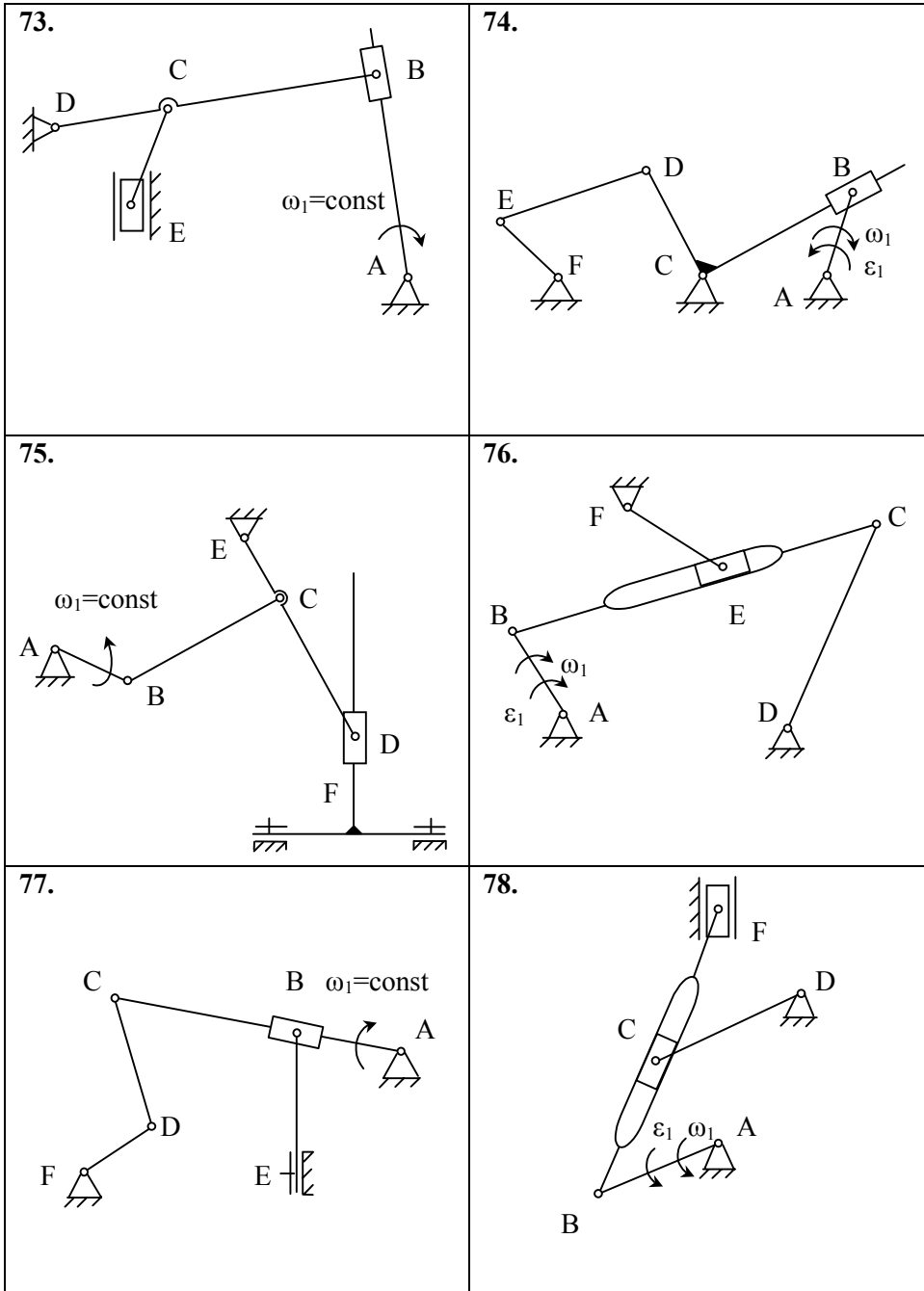
Комп'ютерний набір: Болотіна Світлана Євгенівна

**Кінематичне дослідження плоских
важільних шостиланкових механізмів за
методом планів**

Методичні вказівки до самостійної роботи
студентів з курсу ТММ

Розглянуто
на засіданні кафедри
“Основи проектування машин”
Протокол № від 200 р.

Затверджено на засіданні
навчально-методичної
ради ДонНТУ
Протокол № від



Кінематичне дослідження плоских важільних шостиланкових механізмів за методом планів. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів спеціальностей ТМ, МЕХ, МВС з курсу ТММ/ Укл.: В.Г. Пархоменко – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – 20с.

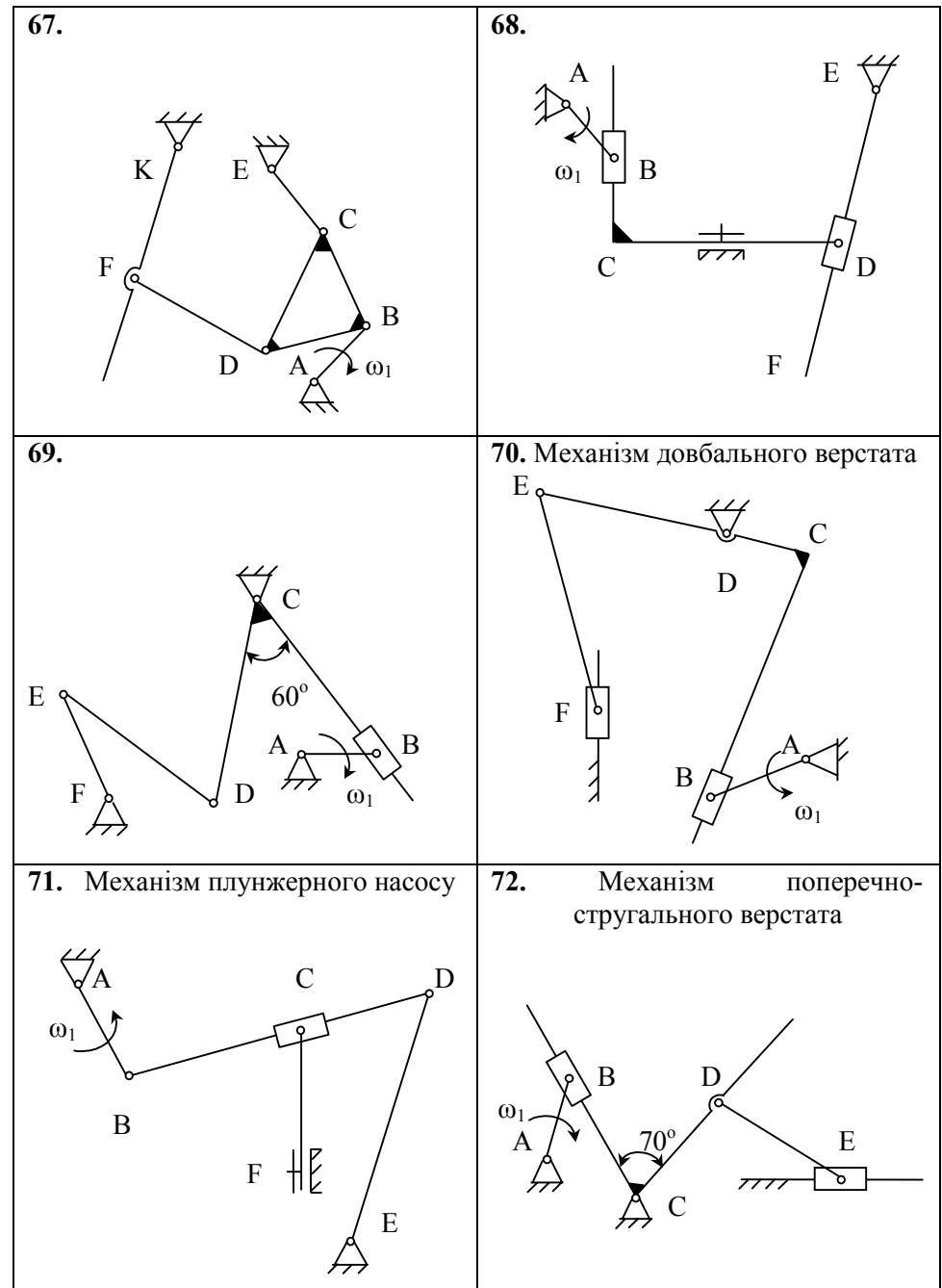
Пропонуються методики рішення задач кінематичного дослідження плоских шостиланкових механізмів за методом планів для студентів механічних спеціальностей ТМ, МВС і МЕХ.


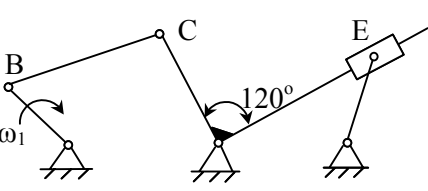
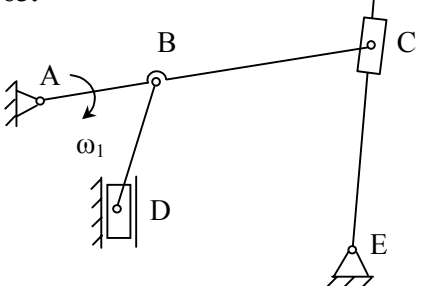
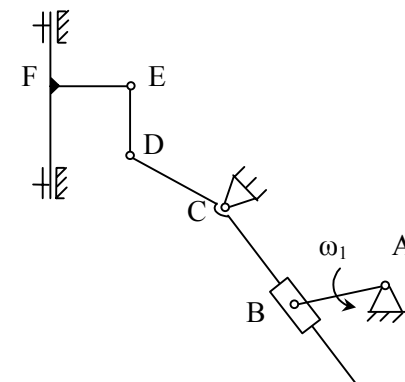
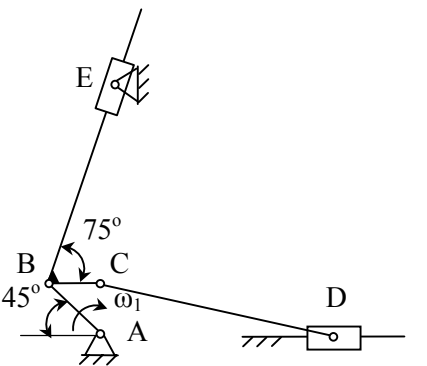
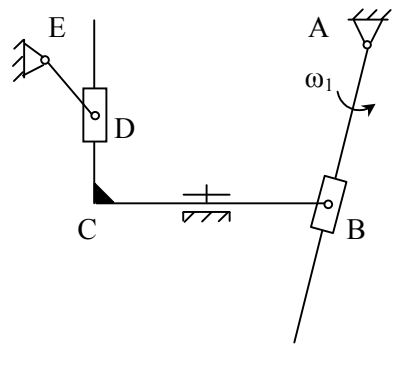
Приведені рішення двох задач у загальному вигляді та 78 завдань для самостійної роботи.

Укладач: В.Г. Пархоменко, ас.

Комп'ютерний набір: С.Е. Болотіна

Відп. за випуск: В.Т. Нечепаяв, зав. каф.

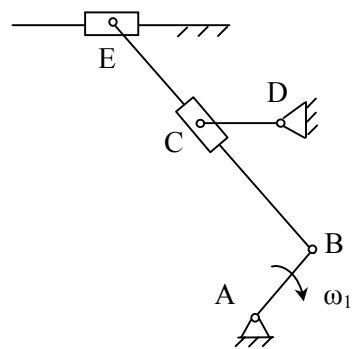
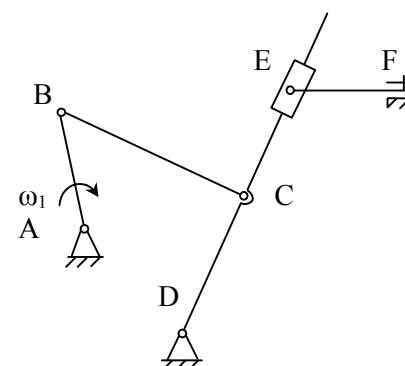
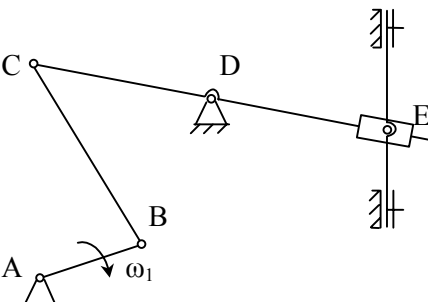
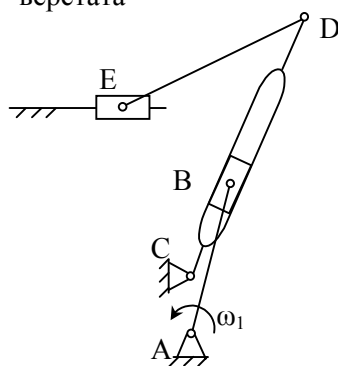
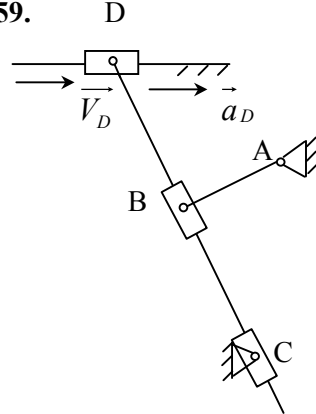
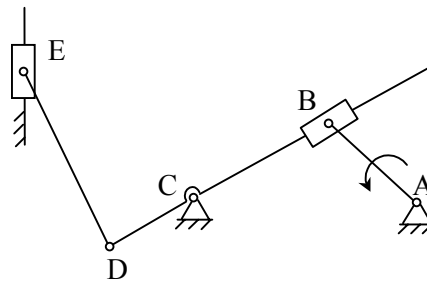


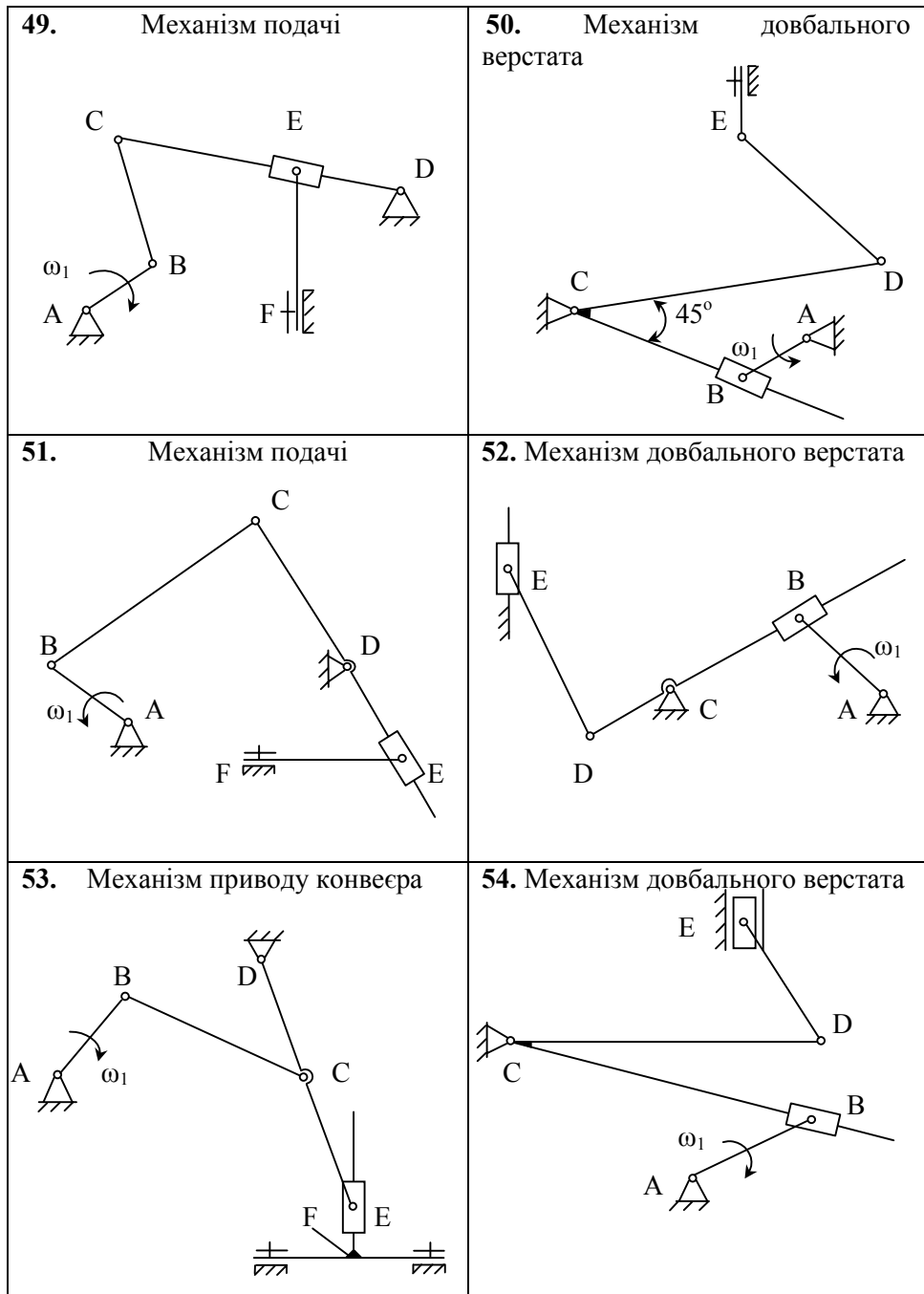
<p>61.</p>  <p>Механізм стругального верстата</p>	<p>62.</p> 	<p>Кінематичне дослідження механізму – вивчення руху його ланок без обліку зумовлюючих цей рух сил – складається із наступних задач:</p> <ul style="list-style-type: none"> • визначення переміщень ланок і траєкторій їхніх точок; • визначення лінійних швидкостей і прискорень означених точок ланок; • визначення кутових швидкостей і прискорень ланок.
<p>63.</p> 	<p>64. Механізм довбального верстата</p> 	<p>Найбільш наочним і досить простим є метод, що заснований на побудові планів швидкостей і прискорень для заданого положення механізму. Його точність, як правило, цілком достатня для технічних розрахунків.</p> <p>Для механізму, що має один ступінь рухомості, переміщення, швидкості і прискорення ланок й точок механізму – це функції переміщення, швидкості і прискорення початкової ланки. Часто закон руху початкової ланки задається у виді функції швидкості, наприклад, $\omega = \omega(t)$.</p>
<p>65.</p> 	<p>66.</p> 	<p>При побудові планів швидкостей і прискорень необхідно пам'ятати про їхні властивості:</p> <ul style="list-style-type: none"> • точки ланок, швидкості і прискорення яких дорівнюють нулю, зображуються у відповідних полюсах планів;

- вектори абсолютних швидкостей і прискорень точок починаються в полюсах планів;
- вектори відносних швидкостей і прискорень точок з'єднують кінці векторів абсолютних швидкостей і прискорень;
- незмінній фігурі (ланці) на плані механізму будуть відповідати на планах швидкостей і прискорень східно розташовані подібні фігури (теорема подібності).

ПОРЯДОК РІШЕННЯ ЗАДАЧІ

1. Побудувати в означеному положенні план механізму, для чого вибрати зручну для розрахунку величину масштабного коефіцієнта $\mu_l, \frac{м}{мм}$.
2. Зробити структурний аналіз механізму, визначити його ступінь рухомості і формулу будування.
3. Записати векторні рівняння для побудови плану швидкостей, розв'язати їх графічно.
4. Визначити величини і напрямки векторів абсолютних і відносних прискорень швидкостей точок.
5. Записати векторні рівняння для побудови плану прискорень, розв'язати їх графічно і визначити модулі і

<p>55.</p> 	<p>56. Механізм хитного конвеєра</p> 
<p>57. Механізм довбального верстата</p> 	<p>58. Механізм стругального верстата</p> 
<p>59.</p> 	<p>60. Механізм довбального верстата</p> 



напрямки абсолютних і відносних прискорень точок ланок механізму.

6. Визначити величину і напрямок кутових швидкостей і прискорень ланок механізму.

ПРИКЛАД 1.

Побудувати плани швидкостей і прискорень для заданого положення механізму поршневого насоса, кінематична схема якого зображена на рис. 1, якщо відомі закон руху початкової ланки $\omega_1 = const$, довжини ланок, взаємне розташування шарнірів A та D і направляючої повзуна.

Визначити величину і напрямок кутових швидкостей і прискорень ланок.

ПРИМІТКА. Задачу вирішити в загальному виді: послідовно записувати усі векторні рівняння і розрахункові формули без чисельних значень параметрів; на планах швидкостей і прискорень величини цих параметрів зображувати відрізками довільної довжини (наприклад, $P_v b$, $P_a n_2$, bn_1 та ін.), дотримуючись їхньої послідовності та напрямків відповідно до положення ланок на плані механізму.

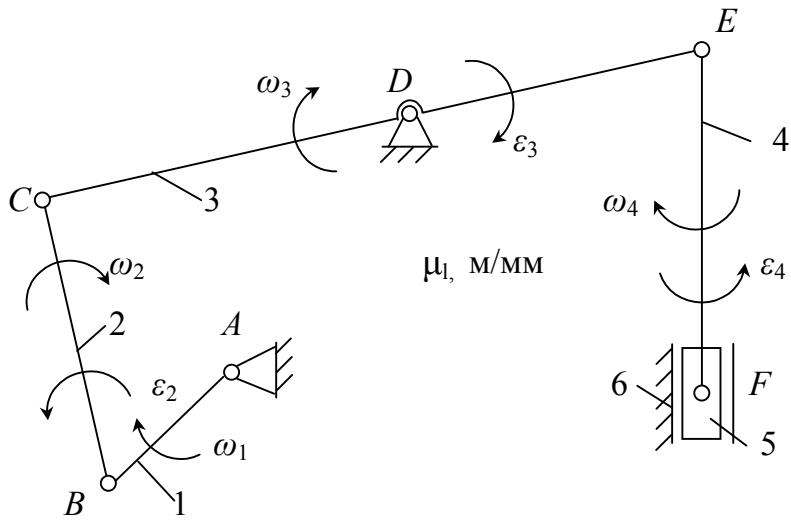


Рис.1 – План механізму поршневого насоса

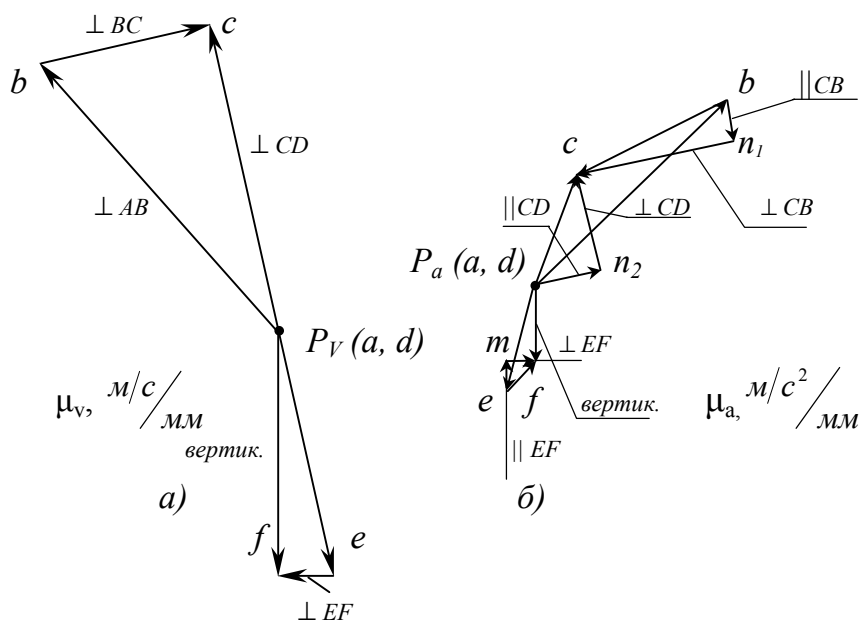
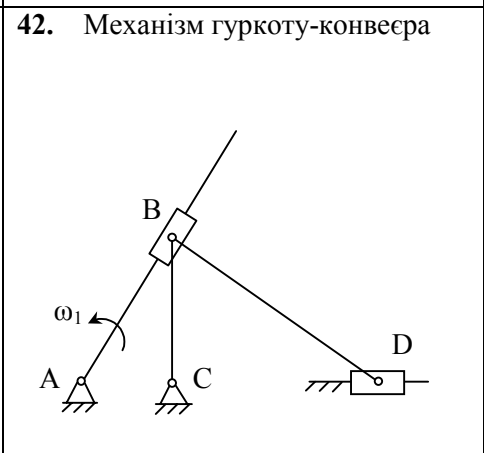
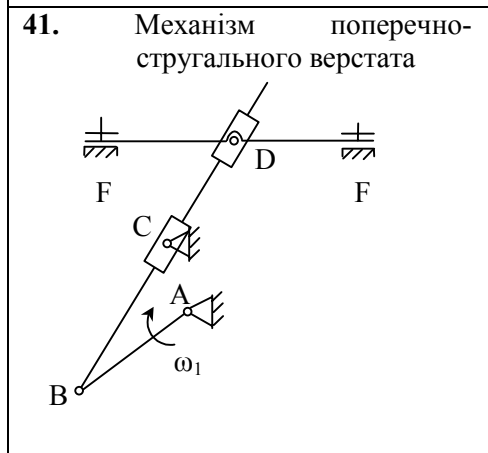
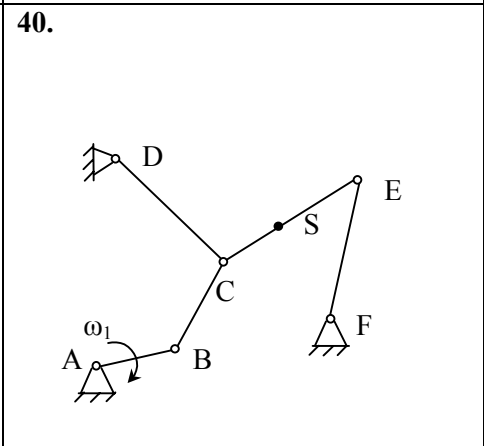
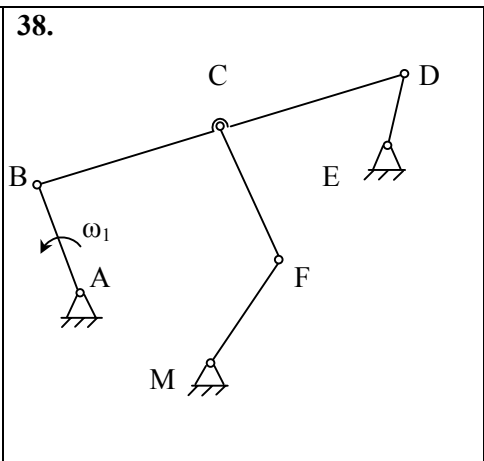
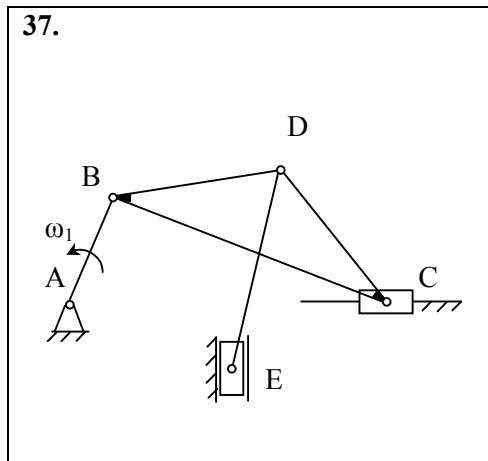


Рис.2 – План швидкостей та прискорень

<p>43. Механізм парової машини</p>	<p>44. Механізм подачі</p>
<p>45.</p>	<p>46. Механізм стругального верстата</p>
<p>47. Механізм поперечно-стругального верстата</p>	<p>48. Механізм човника машини</p>



РІШЕННЯ

1. Зображуємо план механізму у заданому положенні, для чого задаємося масштабним коефіцієнтом

$$\mu_1 = \frac{l_{AB}}{AB}, \text{ м/мм.}$$

2. Визначаємо ступінь рухомості механізму за формулою П.Л. Чебишова що до плоских механізмів:

$$W = 3n - 2p_1 - p_2 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 - 0 = 1,$$

де $n = 5$ - число рухомих ланок,

$p_1 = 7$ - кількість однорухомих кінематичних пар (1-6, 1-2, 2-3, 3-4, 3-6, 4-5, 5-6);

$p_2 = 0$ - кількість дворухомих кінематичних пар.

3. Формула будовання механізму поршневого насоса з початковим механізмом (1,6) – початкова ланка позначена на схемі суцільною круговою стрілкою – буде слідуючою:

$$I (1,6) \rightarrow II (2,3) \rightarrow II (4,5).$$

Маємо механізм II класу.

Кінематичне дослідження механізму робимо за порядком його утворення, починаючи з визначення кінематичних параметрів точок початкової ланки, а потім точок груп Ассур II класу 2,3 і 4,5.

4. Будування плану швидкостей починаємо з визначення вектора швидкості точки В, що належить кривошипу 1. Кривошип обертається навколо вісі, що проходить через точку А, лінійна швидкість якої $V_A = 0$.

Спрямовуємо вектор $\vec{V}_B \perp AB$ за напрямком обертання кривошипу, а його модуль обчислюємо за формулою:

$$|\vec{V}_B| = \omega_1 \cdot l_{AB}, \text{ м/с.}$$

На плані швидкостей зображуємо його відрізком $P_V b$ (рис.2а). Тоді масштабний коефіцієнт плану швидкостей буде дорівнювати:

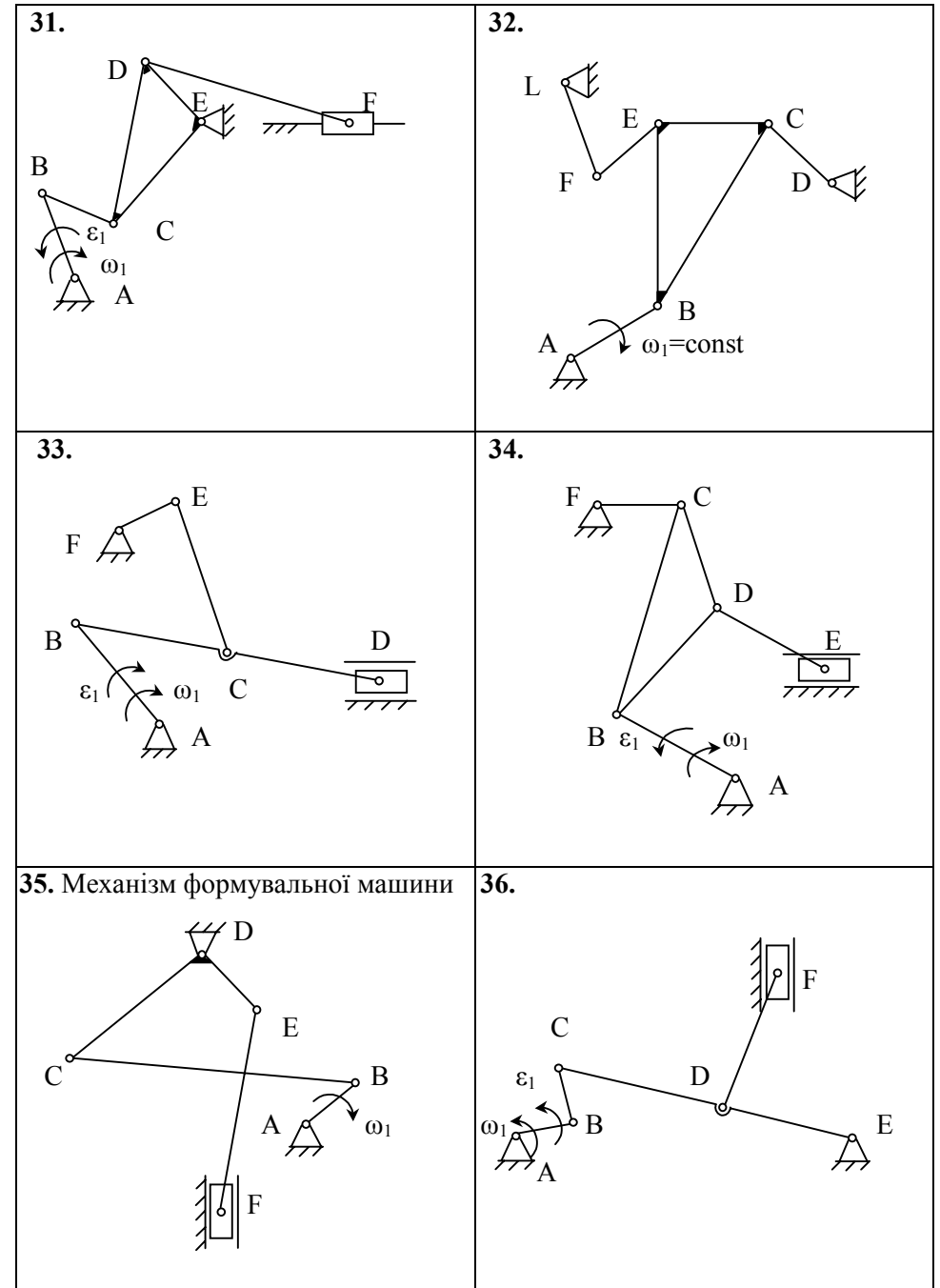
$$\mu_v = \frac{V_B}{P_V b}, \frac{\text{м/с}}{\text{мм}}.$$

Через точку В проходить геометрична вісь шарніра, яким приєднується до початкового механізму група Ассур II класу (2,3), тобто точка В одночасно належить двом ланкам – кривошипу 1 і шатунові 2, а точка С – шатунові 2 і коромислу 3.

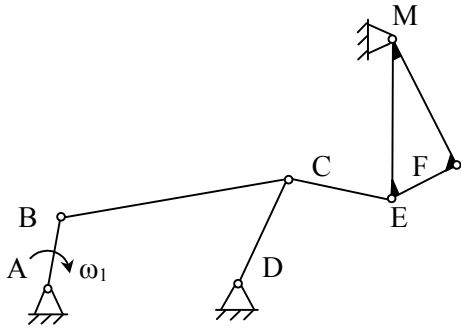
Тому, що шатун 2 рухається плоско-паралельно, маємо:

$$\vec{V}_C^{abc} = \vec{V}_C^{nep} + \vec{V}_C^{vid}$$

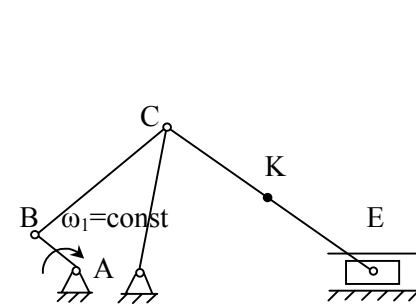
Розкладаємо плоский рух на переносний – поступальний рух разом із точкою В та відносний –



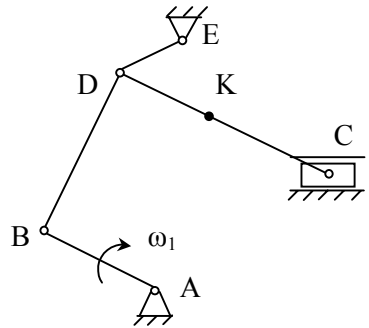
25. Механізм каменедробарки



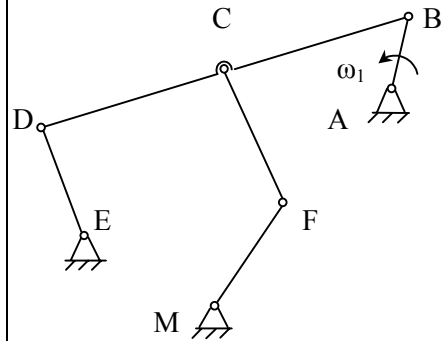
26. Механізм хитного конвеєра



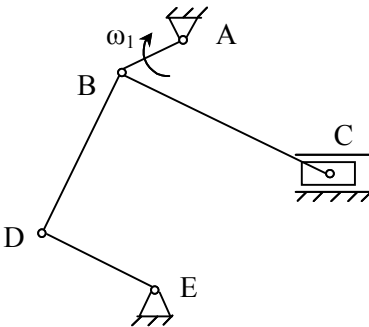
27.



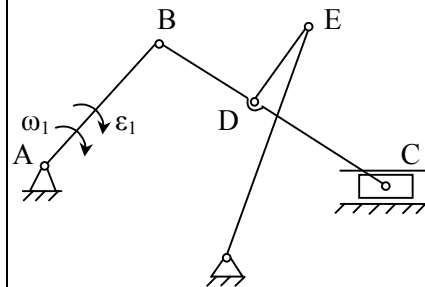
28.



29.



30.



обертальний рух ланки навколо вісі, що проходить через точку B .

$$\vec{V}_C^{nep} = \vec{V}_B, \quad \vec{V}_C^{oid} = \vec{V}_{C-B}.$$

Отже, рівняння для визначення швидкості точки C буде мати вид:

$$\vec{V}_{C \perp CD} = \vec{V}_B + \vec{V}_{C-B \perp CB} \quad (1)$$

Вектор відносної швидкості \vec{V}_{C-B} спрямовано вздовж дотичної до траєкторії руху точки C навколо точки B , якою буде дуга окружності радіусу CB , або $\perp CB$.

Вектор абсолютної швидкості точки C спрямований вздовж дотичної до траєкторії точки C у абсолютному русі ланки 3 – обертанні навколо вісі, що проходить через точку D , або $\perp CD$.

Тому що у векторному рівнянні (1) дві невідомі величини, його вирішуємо графічно: через точку b плану швидкостей проводимо лінію, яка перпендикулярна CB , а через полюс P_V – перпендикуляр до CD .

Точка перетинання цих ліній “ c ” буде кінцем векторів \vec{V}_C і \vec{V}_{C-B} .

Визначимо модулі цих векторів:

$$|\vec{V}_C| = (P_V c) \cdot \mu_V, \quad |\vec{V}_{C-B}| = (cb) \cdot \mu_V, \text{ м/с}$$

Швидкості точок A і D дорівнюють нулю, тому їхні зображення a і d знаходяться у полюсі плану P_V .

Швидкість точки E коромисла 3 визначимо за властивістю подоби: фігурі (ланці) CDE на плані механізму буде відповідати фігура подібна і східно розташована на плані швидкостей $cP_V e$.

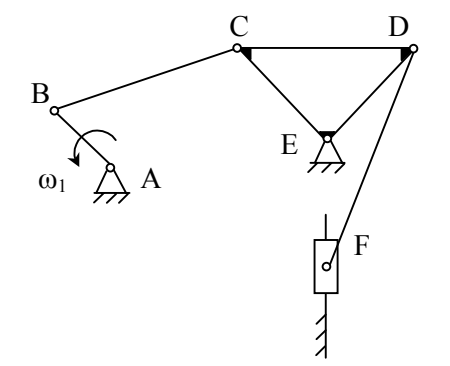
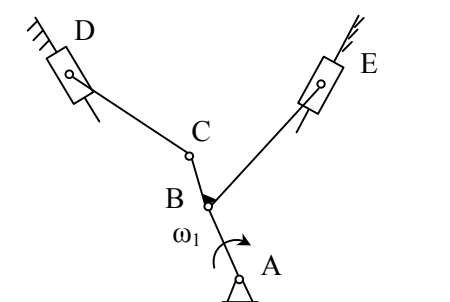
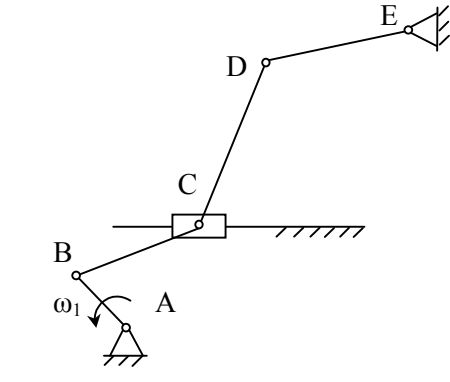
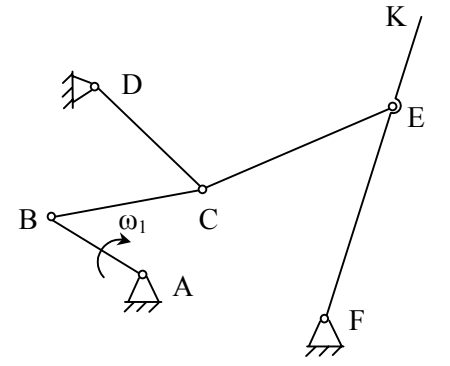
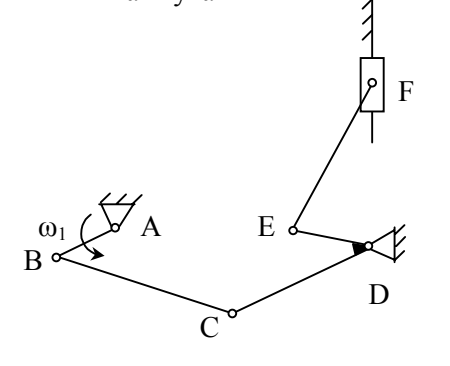
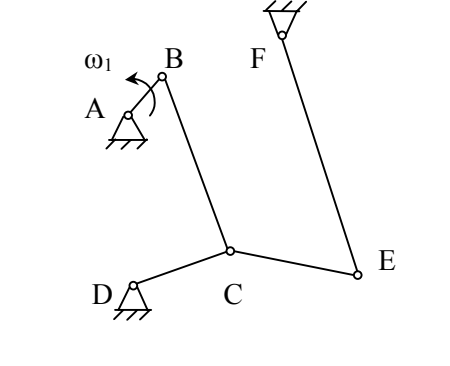
Отже,

$$\frac{CD}{DE} = \frac{cP_V}{P_V e}, \quad \text{звідки } P_V e = \frac{DE}{CD} P_V, \text{ мм.}$$

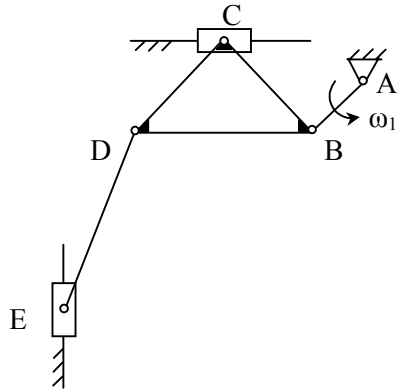
Величину $P_V e$ відкладаємо на продовженні відрізка cP_V . Модуль швидкості точки E :

$$|\vec{V}_E| = (P_V e) \cdot \mu_V, \text{ м/с.}$$

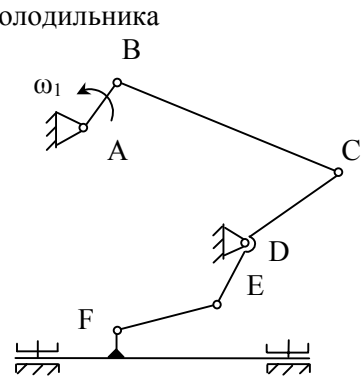
Точка F належить одночасно шатунові 4 і повзуну 5. Останній рухається зворотно-поступально у вертикальних напрямних, це визначає траєкторію точки F : вертикальну пряму лінію. Розкладаючи плоско-паралельний рух шатуна 4 на переносний – поступальний разом із точкою E та відносний – обертальний рух ланки навколо вісі, що проходить через точку E , отримуємо векторне рівняння:

<p>19. Механізм преса</p> 	<p>20. Механізм V-образного двигуна</p> 
<p>21. Механізм гуркоту</p> 	<p>22. Механізм каменедробарки</p> 
<p>23. Механізм автомата для штампування</p> 	<p>24. Механізм дробарки</p> 

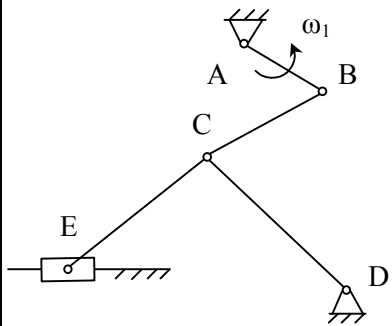
13. Механізм довбального верстата



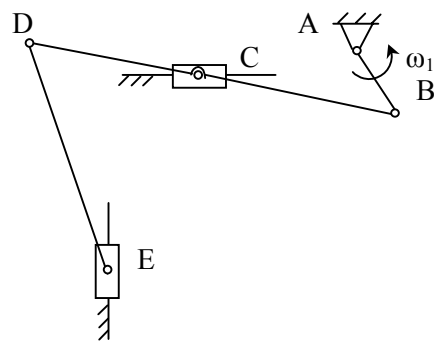
14. Механізм рейкового холодильника



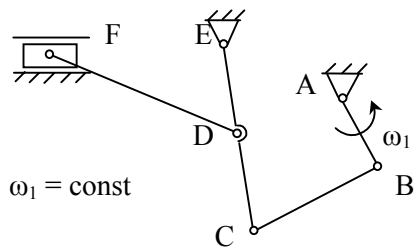
15. Механізм хитного конвеєра



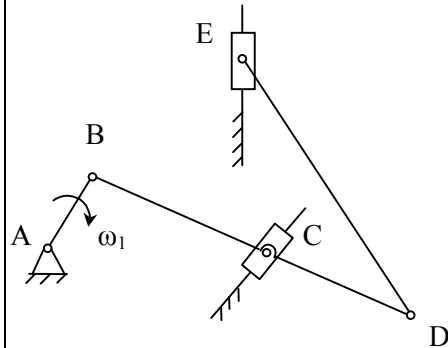
16. Механізм довбального верстата



17. Механізм гуркоту-конвеєра



18. Механізм довбального верстата



$$\vec{V}_{F_{\text{вертик.}}} = \vec{V}_E + \vec{V}_{F-E}_{\perp EF}, \quad (2)$$

яке також розв'язуємо графічно: через точку e плану проводимо лінію, перпендикулярну EF , а через P_V - вертикальну пряму. Їхнє перетинання позначимо точкою f , що відповідно до рівняння (2) буде кінцем векторів \vec{V}_{F-E} і \vec{V}_F . Їхні модулі:

$$|\vec{V}_F| = (P_V f) \cdot \mu_V \quad \text{і} \quad |\vec{V}_{F-E}| = (ef) \cdot \mu_V, \text{ м/с.}$$

5. Будування плану прискорень починаємо з визначення прискорення точки A і B кривошипу. Прискорення точки A $a_A = 0$, тому що точка A нерухома. Траєкторія точки B кривошипу – це окружність радіуса AB , тому абсолютне прискорення точки B буде дорівнювати:

$$\vec{a}_B = \vec{a}_{B \rightarrow A}^n + \vec{a}_{B \rightarrow A}^\tau,$$

де \vec{a}_B^n - нормальне прискорення точки, спрямоване від точки B до точки A ($\parallel AB$),

\vec{a}_B^τ - тангенціальне прискорення точки B , спрямоване вздовж дотичної до траєкторії чи $\perp AB$.

$$\text{Їх модулі: } |\vec{a}_B^n| = \omega_1^2 \cdot l_{AB}, \text{ м/с}^2;$$

$$\left| \vec{a}_B^\tau \right| = \varepsilon_1 \cdot l_{AB} = 0, \quad \text{тому, що кутове прискорення}$$

кривошипа $\varepsilon_1 = \frac{d\omega_1}{dt} = 0$ (задане рівномірне обертання початкової ланки, тобто $\omega_1 = const$).

Зобразимо на плані прискорень \vec{a}_B (рис.2б) відрізком $P_a b$, мм.

Визначимо масштабний коефіцієнт плану прискорень

$$\mu_a = \frac{\left| \vec{a}_B \right|}{P_a b}, \frac{м/с^2}{мм}.$$

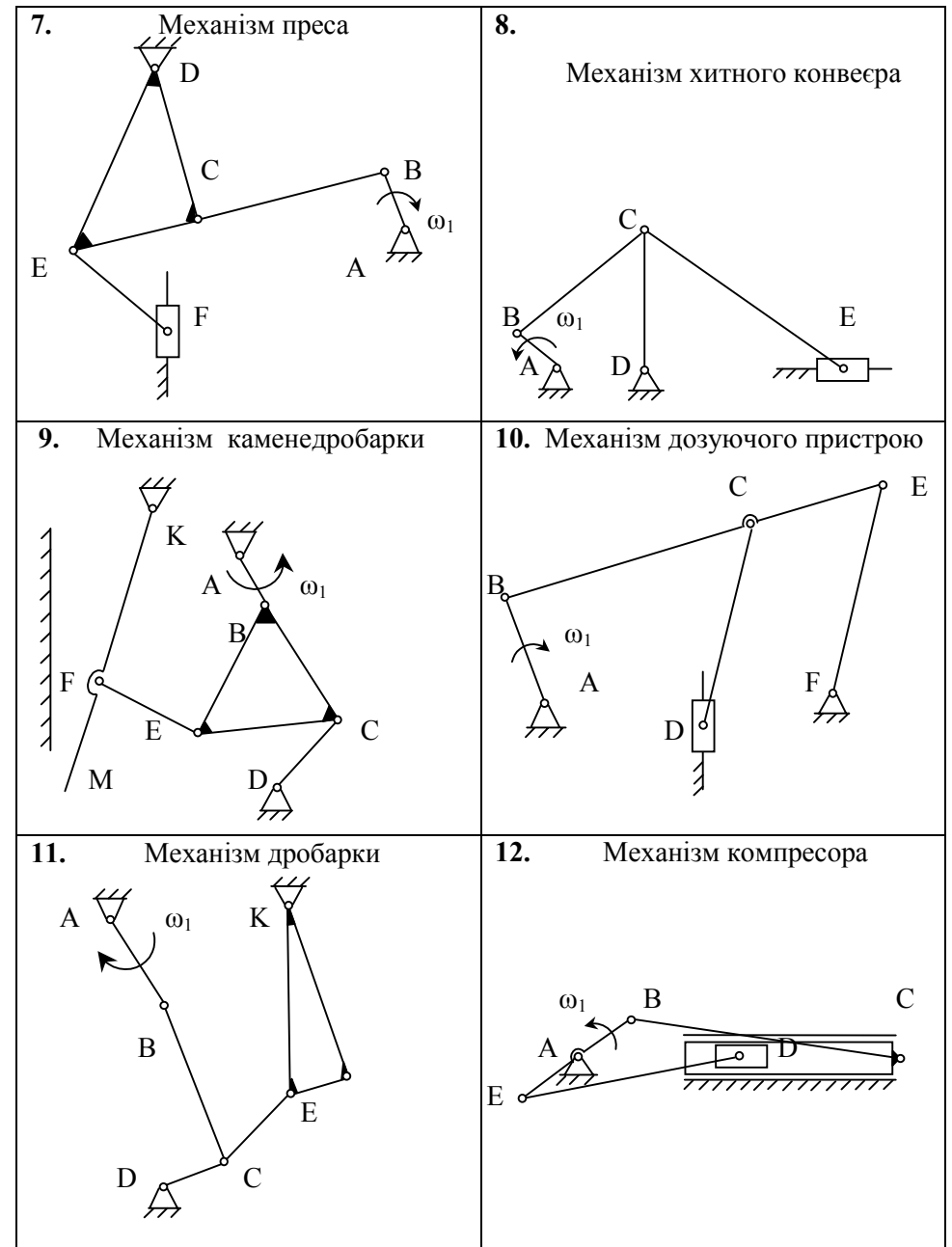
Для визначення прискорення точки C скористаємося вищерозглянутим розкладанням плоско-паралельного руху шатуна 2, получимо:

$$\vec{a}_C^{abc} = \vec{a}_C^{nep} + \vec{a}_C^{vid} + \vec{a}_C^{kop}, \quad (3)$$

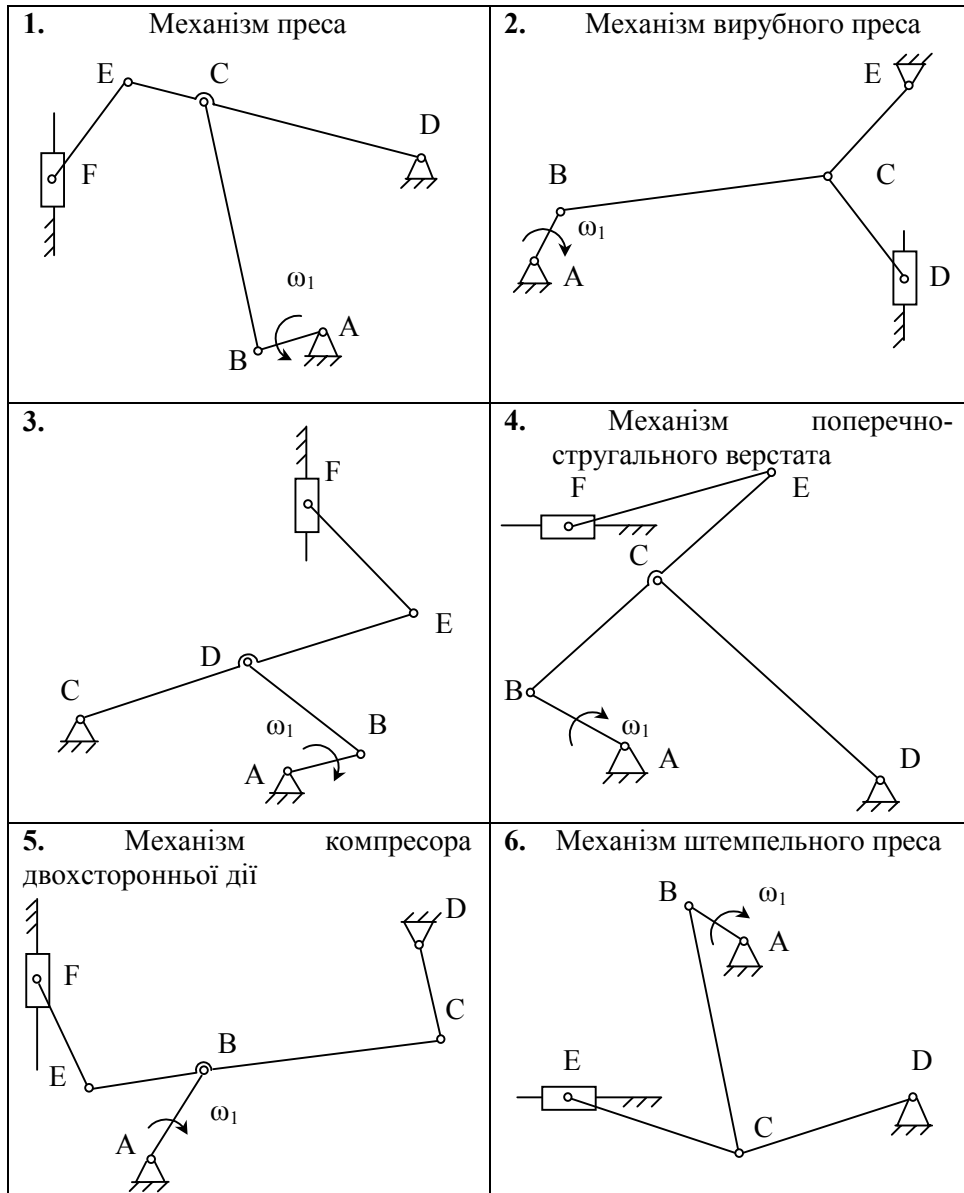
де $\vec{a}_C^{nep} = \vec{a}_B$.

Тому, що відносний рух – це обертання ланки навколо вісі, яка проходить через точку B , що обумовлює криволінійну траєкторію точки, матимемо:

$$\vec{a}_C^{vid} = \vec{a}_{C-B} = \underbrace{\vec{a}_{C-B}^n}_{C \rightarrow B} + \underbrace{\vec{a}_{C-B}^\tau}_{\perp CB}, \quad (4)$$



Побудувати плани швидкостей та прискорень механізмів



де модуль нормальної складової $\left| \vec{a}_{C-B}^n \right| = \frac{V_{C-B}^2}{l_{CB}}, \text{ м/с}^2$,

спрямований вектор від точки C вздовж ланки BC ($\parallel BC$), вектор тангенціального прискорення спрямований перпендикулярно CB , модуль його невідомий.

$\vec{a}_C^{\text{кор}}$ - вектор прискорення Кориоліса точки, що визначається за формулою: $\vec{a}_C^{\text{кор}} = 2 \left(\vec{\omega}^{\text{пер}} \times \vec{V}^{\text{від}} \right) = 0$, тому що $\vec{\omega}^{\text{пер}} = 0$ - маємо поступальний характер переносного руху.

Абсолютне прискорення точки C представимо у виді геометричної суми нормального і тангенціального прискорень точки, тому що точка C належить також коромислу 3. Коромисло обертається навколо вісі, що проходить через нерухому точку D , це обумовлює траєкторію руху точки C - дугу окружності радіуса CD :

$$\vec{a}_C = \underbrace{\vec{a}_{C \rightarrow D}^n}_{\parallel CD} + \underbrace{\vec{a}_{C \rightarrow D}^{\tau}}_{\perp CD}, \quad (5)$$

де величина нормального прискорення визначається за формулою $\left| \vec{a}_C^n \right| = \frac{V_C^2}{l_{CD}}, \text{ м/с}^2$, спрямований вектор $\vec{a}_C^n \parallel CD$ - від точки C до точки D ,

\vec{a}_C^τ - вектор тангенціального прискорення відомий за напрямком - $\perp CD$.

Використовуючи рівняння (3), (4), (5), складаємо систему векторних рівнянь для визначення прискорення точки C :

$$\begin{cases} \vec{a}_C = \vec{a}_B + \frac{\vec{a}_{C-B}^n}{C \rightarrow B} + \frac{\vec{a}_{C-B}^\tau}{\perp CB}; \\ \vec{a}_C = \frac{\vec{a}_C^n}{C \rightarrow D} + \frac{\vec{a}_C^\tau}{\perp CD}. \end{cases} \quad (6)$$

В системі рівнянь (6) маємо 4 невідомих параметри, тому її можна розв'язати графічно.

Визначимо величину відрізка $bn_1 = \frac{a_{C-B}^n}{\mu_a},_{MM}$, що

зображує на плані \vec{a}_{C-B}^n , і відкладаємо його від точки b

паралельно CB униз. Через точку n_1 проведемо лінію,

перпендикулярну CB . Вектор $P_a n_2 = \frac{a_C^n}{\mu_a},_{MM}$ відкладемо від

полюса P_a паралельно CD . Через його кінець – точку n_2 - проведемо лінію перпендикулярну до CD до перетинання з лінією, яка $\perp CB$. На їх перетині одержимо точку c , що і буде рішенням системи (6). У точці c плану прискорень зйдуться кінці векторів абсолютного і тангенціального прискорень

Лінію, яка паралельна вісі xx , проводимо через полюс P_a - початок підсумкового вектора \vec{a}_{c_4} , а перпендикуляр до xx – через $c_{3,4}$ - кінець вектора \vec{a}_{c_4} . На їхньому перетинанні одержуємо точку c_5 . Кінці шуканих векторів \vec{a}_{c_5} і $\vec{a}_{c_4-c_5}$ спрямовані до точок C_5 , $C_{3,4}$. Їхні абсолютні величини визначаємо за формулами:

$$|\vec{a}_{c_5}| = (P_a c_5) \cdot \mu_{a, M} / c^2; \quad |\vec{a}_{c_4-c_5}| = (c_{3,4} c_5) \cdot \mu_{a, M} / c^2.$$

6. Кутове прискорення куліси 3 визначимо за формулою:

$$\epsilon_3 = \frac{|\vec{a}_{B_3}^\tau|}{l_{DB}}, \text{ рад} / c^2.$$

Напрямок покажемо на ланці 3 (рис.3) стрілкою, якщо попередньо уявимо вектор $\vec{a}_{B_3}^\tau$ на плані механізму у точці B : він “намагається повернути” ланку згідно з рухом годинної стрілки. Тому, що напрямки ω_3 і ϵ_3 протилежні – куліса в даний момент часу рухається уповільнено. Кутове прискорення кулісного каменю 2 таке ж, як і куліси, тому що при розкладанні плоского руху кулісного каменю не переносний і відносний за переносний приймався обертальний рух куліси: $\vec{\epsilon}_2 = \vec{\epsilon}_3$.

Прискорення точки C_3 куліси визначаємо за теоремою подібності:

$$\frac{DB}{P_a b_3} = \frac{DC}{P_a c_3},$$

$$P_a c_3 = \frac{DC}{DB} \cdot (P_a b_3)_{.мм.}$$

Отже, прискорення точки C_3 : $|\vec{a}_{C_3}| = (P_a c_3) \cdot \mu_{a,м/c^2}$.

Прискорення точки C_4 $\vec{a}_{C_4} = \vec{a}_{C_3}$, тому що траєкторії цих точок збігаються. Прискорення точки C_5 , яка належить кулісі 5, що рухається поступально, визначимо якщо використаємо раніше прийняте розкладення плоского руху ланки 4, з якого випливає наступне рішення:

$$\vec{a}_{C_4} = \vec{a}_{C_4}^{\rightarrow{пер}} + \vec{a}_{C_4}^{\rightarrow{від}} + \vec{a}_{C_4}^{\rightarrow{кор}}, \text{ де}$$

$$\vec{a}_{C_4}^{\rightarrow{пер}} = \vec{a}_{C_5}, \quad \vec{a}_{C_4}^{\rightarrow{від}} = \vec{a}_{C_4-C_5}, \quad \left| \vec{a}_{C_4}^{\rightarrow{кор}} \right| = 2\omega^{пер} \cdot V^{від} \cdot \sin(\omega^{пер} \Delta V^{від}) = 0,$$

тому що переносний рух - поступальний разом з кулісою 5, тобто $\omega^{пер} = 0$.

Отже:

$$\underline{\underline{\vec{a}_{C_4}}} = \underline{\underline{\vec{a}_{C_5}}} + \underline{\underline{\vec{a}_{C_4-C_5}}} \quad (12)$$

точки C і відносного прискорення точки C у обертальному русі шатуна 2 навколо точки B . Визначаємо модулі невідомих прискорень:

$$\left| \vec{a}_C \right| = (P_a c) \cdot \mu_a; \quad \left| \vec{a}_{C-B} \right| = (cb) \cdot \mu_{a,м/c^2};$$

$$\left| \vec{a}_C^n \right| = (n_2 c) \cdot \mu_a; \quad \left| \vec{a}_{C-B}^\tau \right| = (n_1 c) \cdot \mu_{a,м/c^2}.$$

Прискорення точок A і D дорівнюють 0, тому їхні зображення знаходяться у полюсі плану прискорень P_a .

Прискорення точки E визначимо аналогічно швидкості цієї точки, виходячи з теореми подібності. З відношення $\frac{CD}{DE} = \frac{P_a c}{P_a e}$ знайдемо $P_a e = \frac{DE}{CD} \cdot P_a c_{,мм.}$ Абсолютну величину прискорення точки E можна визначити: $|\vec{a}_E| = (P_a e) \cdot \mu_{a,м/c^2}$.

На плані прискорень відкладаємо відрізок $P_a e$ на продовженні cP_a з огляду на східність розташування подібних фігур.

Для визначення лінійного прискорення точки F використовуємо теорему складання прискорень точок шатуна 4, який рухається плоско-паралельно, відповідно до якої:

$$\vec{a}_F^{\rightarrow{abc}} = \vec{a}_F^{\rightarrow{пер}} + \vec{a}_F^{\rightarrow{від}} + \vec{a}_F^{\rightarrow{кор}},$$

де $\vec{a}_F^{nep} = \vec{a}_E$; $\vec{a}_F^{vid} = \vec{a}_{E-E}$; $\vec{a}_F^{kop} = 0$, тому що переносний рух має поступальний характер ($\omega^{nep} = 0$).

Отже, получимо векторне рівняння:

$$\vec{a}_F^{вертик} = \vec{a}_E + \vec{a}_{F-E}^n + \vec{a}_{F-E}^\tau, \quad (7)$$

де модуль нормального прискорення точки F у відносному русі ланки – обертанні навколо точки E – визначається за формулою:

$$\left| \vec{a}_{F-E}^n \right| = \frac{V_{F-E}^2}{l_{EF}}, \text{ м / с}^2,$$

а його зображення на плані прискорень $em = \frac{a_{F-E}^n}{\mu_a}$, мм.

Відкладаємо величину em на лінії, яку проведено $\parallel EF$, а через точку m проводимо лінію, яка перпендикулярна EF , до перетину з вертикаллю, яка проводиться через полюс P_a (тому що точка F належить також повзуну 5, який рухається поступально у вертикальних напрямках, що й обумовлює напрямок \vec{a}_F). Рішенням векторного рівняння (7) є точка f , у якій сходяться кінці векторів \vec{a}_F і \vec{a}_{F-E}^τ . Невідомі абсолютні величини визначимо за формулами:

$$\left| \vec{a}_F \right| = (P_a f) \cdot \mu_a; \quad \left| \vec{a}_{F-E}^\tau \right| = (mf) \cdot \mu_a; \quad \left| \vec{a}_{F-E} \right| = (ef) \cdot \mu_a, \text{ м / с}^2.$$

тому що $\vec{V}_{B_2-B_3}$ лежить у площині креслення, а $\vec{\omega}_3$ спрямований по вісі обертання куліси 3, то напрямок $a_{B_2}^{kop}$ визначимо, повернувши $\vec{V}_{B_2-B_3}$ на 90° у напрямку обертання куліси 3 (рис.4в).

На плані прискорень $a_{B_2}^{kop}$ зображений відрізком

$$kb_{1,2} = \frac{\left| \vec{a}_{B_2}^{kop} \right|}{\mu_a}, \text{ мм. Його кінець збігається з точкою } b_{1,2} \text{ - кінцем}$$

підсумкового вектора, а з точкою k збіжиться кінець вектора $\vec{a}_{B_2-B_3}$ (див. Рівняння 11), тому через неї проводимо лінію, яка паралельна DB , до перетинання з перпендикуляром до DB . Одержимо точку b_3 , а прискорення точки B_3 визначимо:

$$\left| \vec{a}_{B_3} \right| = (P_a b_3) \mu_a, \text{ м / с}^2.$$

Стрілки розставимо згідно з рівнянням (11): кінець перпендикулярного вектора збігається з початком наступного вектора, що складається, невідомі модулі визначаємо за допомогою μ_a :

$$\left| \vec{a}_{B_3}^\tau \right| = (nb_3) \cdot \mu_a, \text{ м / с}^2,$$

$$\left| \vec{a}_{B_2-B_3} \right| = (b_3 k) \mu_a, \text{ м / с}^2.$$

Задаємося коефіцієнтом плану прискорень $\mu_a, \frac{m/c^2}{mm}$,

відкладаємо з полюсу P_a відрізок $P_a b_1 = \frac{|\vec{a}_{B_1}|}{\mu_a},_{mm}$ (рис.4б).

Точка b_2 на плані прискорень збігається з точкою b_1 , тому що $\vec{a}_{B_2} = \vec{a}_{B_1}$.

Абсолютне лінійне прискорення точки B_3 визначимо, якщо використаємо раніше прийняте розкладення плоско-паралельного руху кулісного каменя 2:

$$\vec{a}_{B_2} = \vec{a}_{B_2}^{nep} + \vec{a}_{B_2}^{vid} + \vec{a}_{B_2}^{kop}$$

де $\vec{a}_{B_2}^{nep} = \vec{a}_{B_3} = \vec{a}_{B_3}^n + \vec{a}_{B_3}^\tau$, тому що переносний рух – це обертання разом з кулісою 3, $\vec{a}_{B_2}^{vid} = \vec{a}_{B_2-B_3}$.

$$\text{Отже } \vec{a}_{B_2} = \vec{a}_{B_3}^n + \vec{a}_{B_3}^\tau + \vec{a}_{B_2-B_3} + \vec{a}_{B_2}^{kop} \quad (11)$$

Модуль нормального прискорення точки B_3 :

$$|\vec{a}_{B_3}^n| = \frac{V_{b_3}^2}{l_{DB}}, m/c^2, \text{ його зображення на плані } P_a n = \frac{|\vec{a}_{B_3}^n|}{\mu_a},_{mm}, \text{ а}$$

перпендикуляр до DB проводимо через точку n .

Величина кориолісова прискорення точки B_2 :

$$a_{B_2}^{kop} = 2\omega^{nep} \cdot V^{vid} \cdot \sin(\vec{\omega}^{nep} \wedge \vec{V}^{vid}) = 2\omega_3 \cdot V_{B_2-B_3} \cdot \sin 90^\circ.$$

6. Визначимо кутові швидкості руху шатунів 2 і 4, для чого відносну швидкість між двома точками ланки розділимо на відстань між ними: $\omega_2 = \frac{V_{C-B}}{l_{CB}}, rad/c$; $\omega_4 = \frac{V_{F-E}}{l_{EF}}, rad/c$.

Напрямки ω_2 й ω_4 визначимо, якщо вектори відносних швидкостей \vec{V}_{C-B} і \vec{V}_{F-E} перенесемо відповідно до точок C і F відповідно ланок 2 і 4 і побачимо, що вони намагаються повернути шатуни у напрямку годинникової стрілки.

Кутова швидкість коромисла 3 може бути визначена за формулами: $\omega_3 = \frac{V_C}{l_{CD}}$ чи $\omega_3 = \frac{V_E}{l_{ED}}, rad/c$.

Напрямок обертання визначаємо приклавши вектор \vec{V}_C чи \vec{V}_E у відповідні точки плану механізму.

7. Кутові прискорення шатунів визначаються за формулами:

$$\varepsilon_2 = \frac{a_{C-B}^\tau}{l_{CB}}, rad/c^2 \text{ і } \varepsilon_4 = \frac{a_{F-E}^\tau}{l_{EF}}, rad/c^2.$$

Напрямки ε_2 і ε_4 визначимо аналогічно напрямкам ω_2 і ω_4 , якщо перенесемо у думці вектори тангенціальних відносних прискорень точок C і F у відповідні точки плану механізму.

Кутове прискорення ланки 3:

$$\varepsilon_3 = \frac{a_c^\tau}{l_{CD}}, \text{ рад/с}^2.$$

Зіставивши напрямки кутових швидкостей і прискорень ланок, можна визначити, що характер руху в даний момент часу шатунів 2 і 4 – уповільнений, тому що швидкість і прискорення мають протилежні напрямки, а характер руху коромисла – прискорений, тому що напрямки ω_3 і ε_3 співпадають.

ПРИКЛАД 2.

Для заданого положення механізму поперечно-стругального верстата (рис.3) за методом планів визначити величини і напрямки лінійних швидкостей і прискорень зазначених точок, а також кутові швидкості і прискорення ланок. Вважаємо відомими закон зміни кутової швидкості початкової ланки $\omega_1 = const$, довжини ланок і відстань між шарнірами A і D .

ПРИМІТКА: задачу вирішити у загальному виді (див. Приклад 1).

РІШЕННЯ

1. Будуємо план механізму у заданому положенні, для чого обираємо масштабний коефіцієнт $\mu_l = \frac{l_{AB}}{AB}, \text{ м/мм.}$

Величину кутової швидкості куліси 3 і кулісного каменю 2 визначимо за формулою: $\omega_3 = \frac{V_{B_3}}{l_{DB}} \text{ рад/с}; \quad \omega_2 = \omega_3.$

Напрямок обертання ланок 2, 3 визначимо, якщо уявимо вектор \vec{V}_{B_3} у точці B плану механізму, і покажемо пунктирною стрілкою (рис.3).

5. Будування плану прискорень зробимо в тій же послідовності: визначимо абсолютне прискорення точки B_1 кривошипа, що робить обертальний рух, тому:

$$\vec{a}_{B_1} = \underbrace{\vec{a}_{B_1}^n}_{B \rightarrow A} + \vec{a}_{B_1}^\tau, \quad (10)$$

де $\vec{a}_{B_1}^n$ - нормальне прискорення точки B_1 , яка має напрямки вздовж радіуса BA до центра обертання ланки ($B \rightarrow A$),

$\vec{a}_{B_1}^\tau$ - тангенціальне прискорення, модуль якого

$|\vec{a}_{B_1}^\tau| = \varepsilon_1 \cdot l_{BA} = 0$, тому що кутове прискорення ланки

$$\varepsilon_1 = \frac{d\omega_1}{dt} = 0 \quad (\omega_1 = const).$$

Лінійну швидкість точки C_3 куліси визначимо згідно з теоремою подібності: незмінній фігурі – ланці DBC – на плані швидкостей відповідає подібно розташована фігура $P_V b_3 c_3$.

$$\text{Отже, } \frac{DB}{DC} = \frac{P_V b_3}{P_V c_3}, \quad P_V c_3 = \frac{DC}{DB} (P_V b_3), \text{ мм.}$$

$$\text{Абсолютна величина } |\vec{V}_{C_3}| = (P_V c_3) \cdot \mu_V, \text{ м/с.}$$

Швидкість точки C_4 кулісного каменя 4 $\vec{V}_{C_4} = \vec{V}_{C_3}$, тому що траєкторії цих точок співпадають, а швидкість точки C_5 , що належить кулісі 5, яка рухається поступально, можна визначити, якщо розкласти плоско-паралельний рух кулісного каменя 4 на переносний – поступальний рух разом з кулісою 5 і відносний – поступальний рух вздовж куліси. Отже:

$$\vec{V}_{C_4} = \vec{V}_{C_5} + \vec{V}_{C_4-C_5} \quad (9)$$

$\parallel X-X$ $\perp X-X$

Крапка c_5 на плані швидкостей знаходиться на перетині двох ліній: паралельної вісі $x-x$, що проходить через P_V і перпендикулярної до осі $x-x$, що проходить через крапку $c_{3,4}$.

$$\text{Тоді } |\vec{V}_{C_5}| = (P_V c_5) \cdot \mu_V; \quad |\vec{V}_{C_4=C_5}| = (c_5 c_{3,4}) \cdot \mu_V, \text{ м/с.}$$

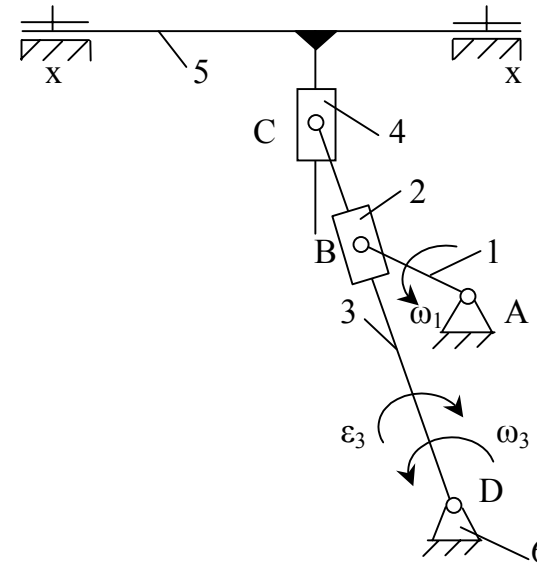


Рис. 3 – План механізму поперечно-строгального верстата в заданому положенні

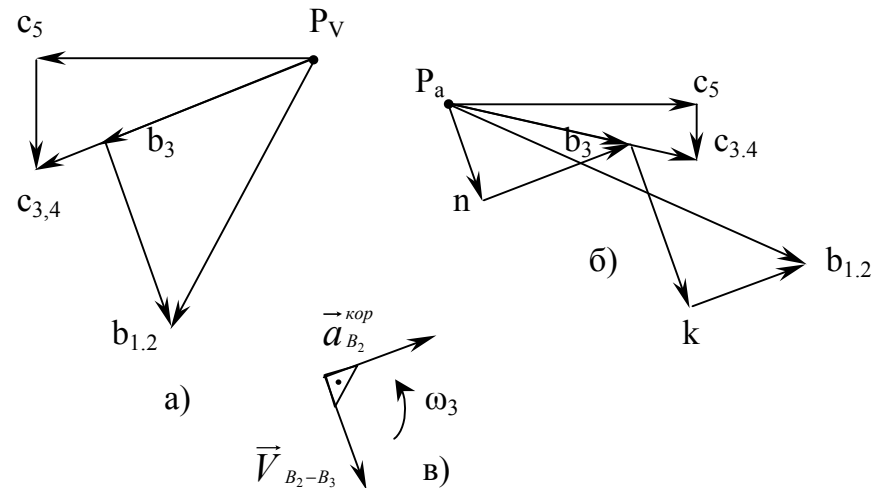


Рис.4 – План швидкостей та прискорень

2. Визначаємо ступінь рухомості механізму за формулою П.Л. Чебишова:

$$W = 3n - 2p_1 - p_2 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 - 0 = 1,$$

де $n = 5$ – число рухомих ланок,

$p_1 = 7$ - кількість однорухомих кінематичних пар (1-6, 1-2, 2-3, 3-6, 3-4, 4-5, 5-6),

$p_2 = 0$ - число дворухомих кінематичних пар.

3. Формула будовання механізму стругального верстата з початковим механізмом (1,6) має вид:

$$I(1,6) \rightarrow II(2,3) \rightarrow II(4,5).$$

Механізм II класу.

4. Будовання плану швидкостей починаємо із зображення вектора лінійної швидкості точки В, що належить початковій ланці 1:

$$P_V b_1 = \frac{|\vec{V}_{B_1}|}{\mu_V}, \text{ мм (рис.4а), де } |\vec{V}_{B_1}| = \omega_1 \cdot l_{AB}, \text{ м/с.}$$

Спрямовано вектор $\vec{V}_{B_1} \perp AB$ згідно з напрямком обертання кривошипа 1. μ_V – масштабний коефіцієнт плану швидкостей.

На плані механізму точкою В позначені три точки: B_1 , що належить кривошипу 1, B_2 - кулісному каменю 2 і точка

B_3 , що належить кулісі 3, з якою у даний момент часу співпадають точки B_1 і B_2 . Швидкість точки B_2 , яка належить кулісному каменю 2: $\vec{V}_{B_2} = \vec{V}_{B_1}$, тому що траєкторія точок B_1 і B_2 збігаються. Точки b_1 і b_2 на плані швидкостей теж співпадають. Для визначення швидкості точки B_3 , що належить кулісі 3, розкладемо плоско-паралельний рух кулісного каменю 2 на переносний – обертальний рух разом із кулісою 3 та відносний – поступальний рух ланки 2 вздовж куліси 3.

Отже, векторне рівняння для визначення \vec{V}_{B_3} має вид:

$$\underline{\underline{\vec{V}_{B_2}}} = \frac{\vec{V}_{B_3}}{\perp DB} + \frac{\vec{V}_{B_2-B_3}}{\parallel DB}. \quad (8)$$

Вирішуємо його графічно: тому що на плані зображений вектор \vec{V}_{B_2} - підсумковий, лінію перпендикулярну DB , проводимо з його початку – полюсу P_V , а лінію, яка паралельна DB – через точку b_2 . На їх перетині буде точка b_3 . А невідомі модулі векторів визначимо, вимірявши відрізки $P_V b_3$ і $b_2 b_3$:

$$|\vec{V}_{B_3}| = (P_V b_3) \cdot \mu_V; \quad |\vec{V}_{B_2-B_3}| = (b_2 b_3) \cdot \mu_V, \text{ м/с.}$$

Напрямки $|\vec{V}_{B_3}|$ і $|\vec{V}_{B_2-B_3}|$ відповідають рівнянню (8).