

## План:

1. Утворення механізмів.
2. Структурні групи та їх класифікація.
3. Важільні чотириланкові механізми .
4. Заміна вищих кінематичних пар нижчими.
5. Порядок виконання структурного аналізу плоского важільного механізму.

## 1. Утворення механізмів

2

Одна ланка не може бути механізмом. Дві ланки, з яких одна нерухома (стояк), а друга рухома, утворюють найпростіші механізми (рис. 1). На рис. 1, а показаний найпростіший механізм, в якому стояк 0 і кривошип 1 з'єднані між собою обертальною кінематичною парою  $O_1$ . Ступінь рухомості цього механізму за формулою (2):

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_5 - p_4 = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 - 0 = 1.$$

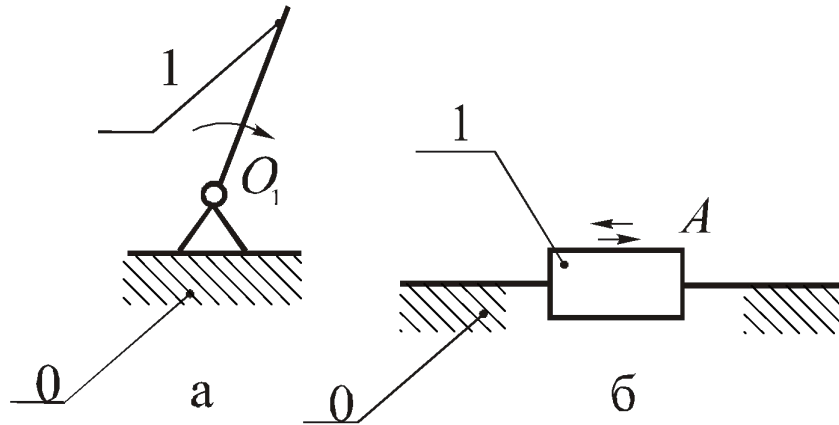
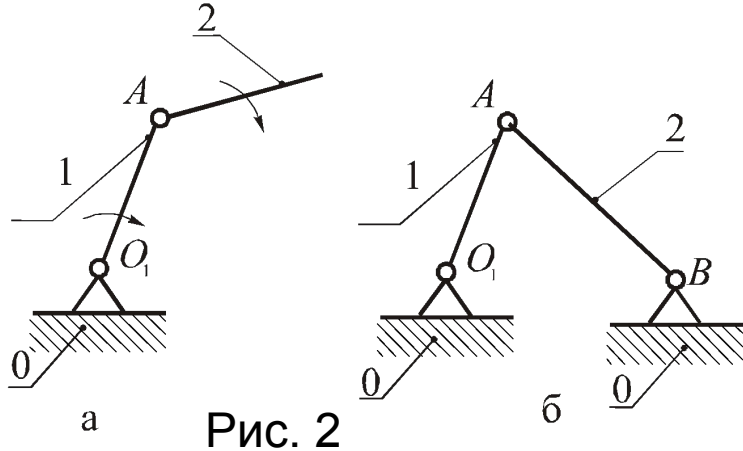


Рис. 1

Цей механізм називають початковим механізмом обертального руху. Прикладом такого механізму є статор (стояк 0) і ротор (ланка 1) електродвигуна. На рис. 1, б показано початковий механізм поступального руху, ступінь рухомості якого теж дорівнює одиниці. Прикладом такого механізму є механізм гідроциліндра. Найпростіші механізми належать до 1 класу за класифікацією Ассур-Артоболеського.

До ланки 1 початкового механізму обертального руху (рис. 2, а) за допомогою обертальної кінематичної пари  $A$  приєднаємо ще одну рухому ланку (рис. 2, а). Ступінь рухомості отриманого кінематичного ланцюга:



$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_5 - p_4 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 2 - 0 = 2$$

Щоб цей кінематичний ланцюг був механізмом, необхідно для двох ланок задати закон руху, тобто обидві ланки мають бути вхідними. Прикладом такого механізму є механізм маніпулятора, в якому точка  $B$  описує певну траєкторію.

Якщо точку  $B$  ланки 2 приєднати обертальною кінематичною парою до стояка (рис. 2, б), то отримуємо кінематичний ланцюг, ступінь рухомості якого дорівнює нулю:

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_5 - p_4 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 - 0 = 0$$

Отже, це не механізм, а статично визначена система тіл (ферма), яка не рухається. Кінематичний ланцюг, який після приєднання до стояка має нульовий ступінь рухомості, називають **структурною групою** або **групою Ассура**.

## Утворення механізмів

4

Приєднаємо такий кінематичний ланцюг з  $W=0$  до початкового механізму обертального руху (рис. 3). Отримаємо шарнірний чотириланковий механізм, ступінь рухомості якого дорівнює одиниці:

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_5 - p_4 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 - 0 = 1$$

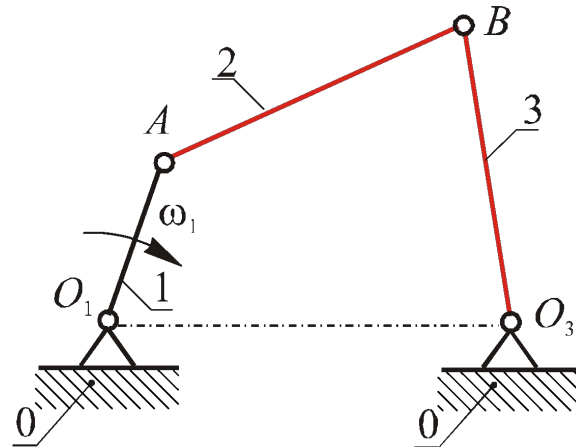


Рис. 3

Отже, щоб із найпростішого механізму утворити більш складний, потрібно до найпростішого механізму приєднати кінематичний ланцюг, ступінь рухомості, якого дорівнює нулю (структурну групу). Структурні групи можна приєднувати водночас до декількох початкових механізмів 1 класу. Ступінь рухомості отриманих механізмів дорівнюватиме кількості початкових механізмів 1 класу.

## 2. Структурні групи та їх класифікація

5

**Структурна група або група Ассура** – це найпростіший кінематичний ланцюг із нульовим ступенем рухомості, який не можна розділити на більш прості кінематичні ланцюги з  $W=0$  і який після приєднання його до інших кінематичних ланцюгів, не змінює їх ступеня рухомості.

Групу Ассура, яка складається з двох ланок і трьох обертальних кінематичних пар 5 класу, називають *діадою* (рис. 4). Групи Ассура, що складаються з двох ланок і трьох кінематичних пар 5 класу, є п'ять видів (рис. 5).

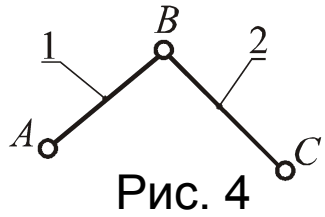
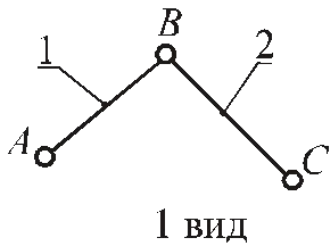
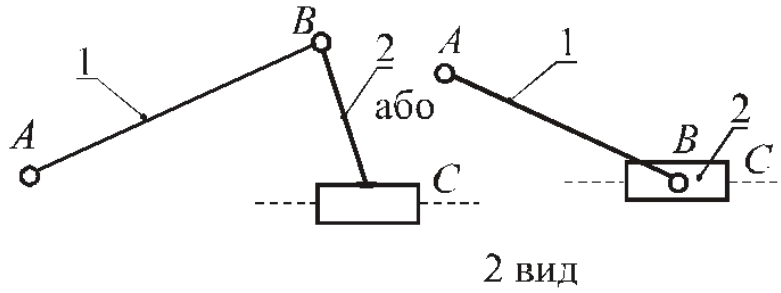


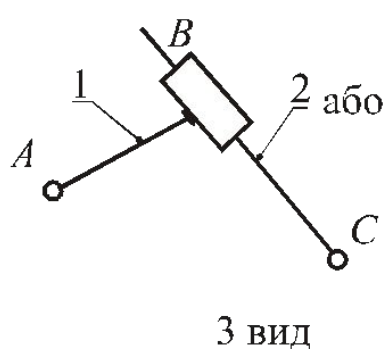
Рис. 4



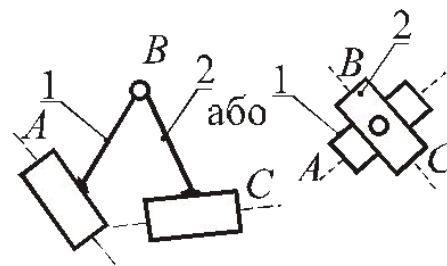
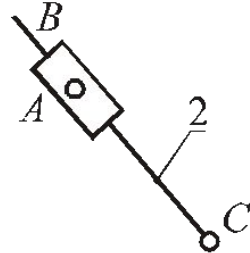
1 вид



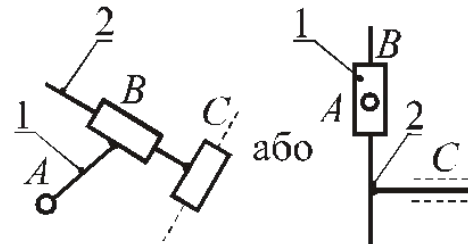
2 вид



3 вид



4 вид



5 вид

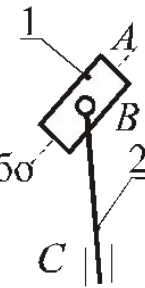


Рис. 5

Для групи Ассура  $W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_5 = 0$ .

Тоді:

$$3 \cdot n = 2 \cdot p_5.$$

$n$	2	4	6	8
$p_5$	3	6	9	12

Оскільки кількість рухомих ланок  $n$  і кількість кінематичних пар 5 класу можуть бути тільки цілими числами, то цю умову задовольняє ряд чисел, наведений у таблиці. Щоб з діади отримати складнішу групу, застосовують метод розвитку повідка. Повідком називають ланку, яка має вільний елемент кінематичної пари, за допомогою якої структурну групу приєднують до інших ланок механізму. Групи на рис. 5 є двоповідковими. Метод розвитку повідка полягає в наступному: повідок замінюють базисною ланкою з двома повідками. Базисною називають ланку, що входить до трьох кінематичних пар (рис. 6). На рис. 7 показаний приклад застосування методу розвитку повідка. У діаді (рис. 7, а) повідок  $BC$  замінений базисною ланкою  $BCD$  з двома повідками  $CE$  і  $DF$  (рис. 7, б). Утворений кінематичний ланцюг є структурною групою, ступінь рухомості якої дорівнює нулю.

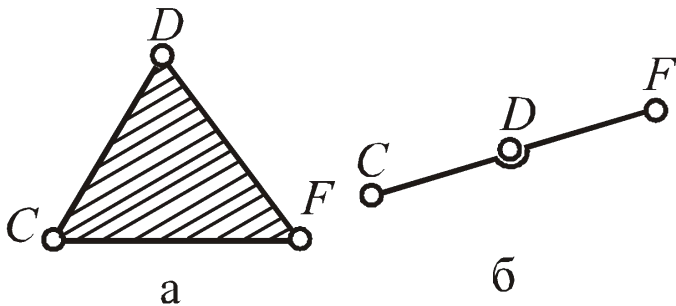


Рис. 6

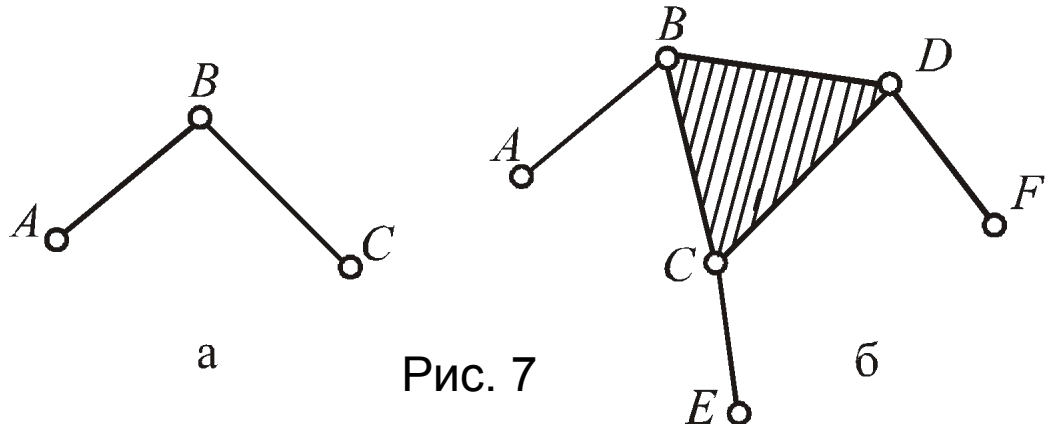


Рис. 7

Структурні групи (групи Ассура) розрізняють за класом і порядком. *Клас* групи Ассура визначають за кількістю кінематичних пар, які утворюють у групі найскладніший замкнутий контур. *Порядок* групи Ассура визначають за кількістю повідків, якими групу приєднують до інших ланок механізму. На рис. 8 показано приклади структурних груп 3 класу 3 порядку.

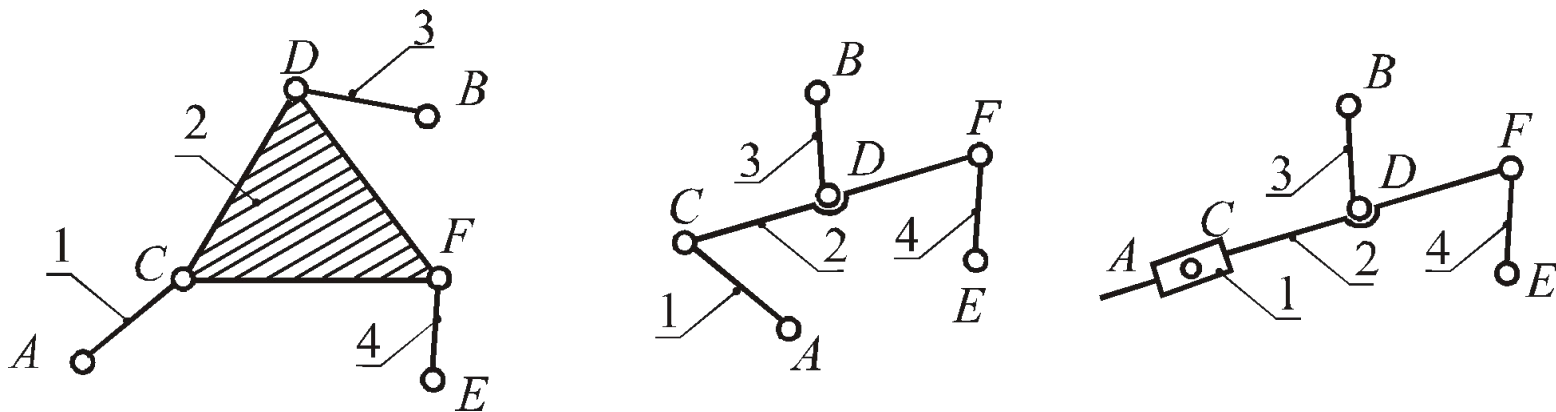


Рис. 8.

### 3. Важільні чотириланкові механізми

Розрізняють 5 видів структурних груп II класу 2 порядку. Група Ассура, яку складають дві ланки та три обертальні кінематичні пари (рис. 9, а) є групою II класу 2 порядку 1 виду.

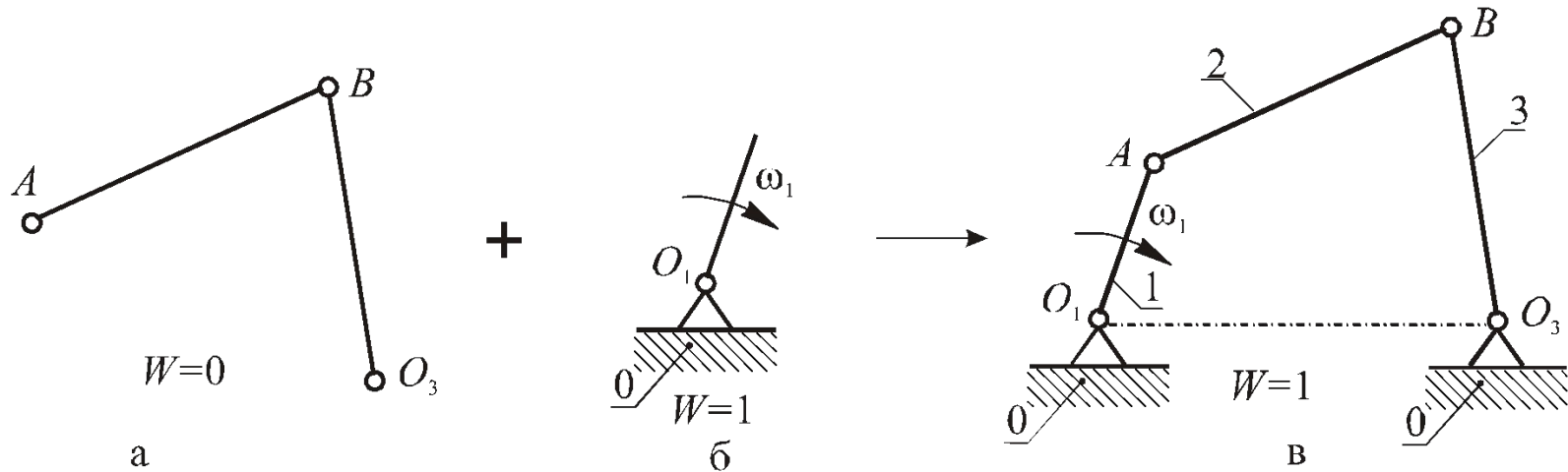


Рис. 9

Кінематична пара  $B$ , яка з'єднує ланки групи між собою, є внутрішньою кінематичною парою структурної групи. Кінематичні пари  $A$  та  $C$ , вільними елементами яких групу можна приєднувати до інших ланок механізму, називають зовнішніми кінематичними парами. Якщо всі три кінематичні пари структурної групи є обертальними, то це група 1 виду. Якщо зовнішньою кінематичною парою  $A$  групу Ассура приєднати до початкового механізму обертального руху I класу (рис. 9, б), а другою зовнішньою кінематичною парою  $C$  групу приєднати до стояка, то отримаємо **шарнірний чотириланковий механізм** (рис. 9, в).



Якщо одну з зовнішніх пар структурної групи II класу 2 порядку 1 виду з обертальної замінити на поступальну (рис. 10, а), то отримуємо структурну групу II класу 2 порядку 2 виду. На рис. 10, а показано два конструктивні виконання цієї структурної групи. У першому випадку ланка  $BC$  стержнева з приєднаним жорстко повзуном, у другому – стержень відсутній, а обертальна кінематична пара  $B$  розміщена безпосередньо на повзуні.

Коли таку групу приєднати обертальною кінематичною парою  $A$  до початкового механізму та поступальною кінематичною парою  $C$  до стояка, то отримуємо **кривошипно-повзунний** механізм (рис. 10, б).

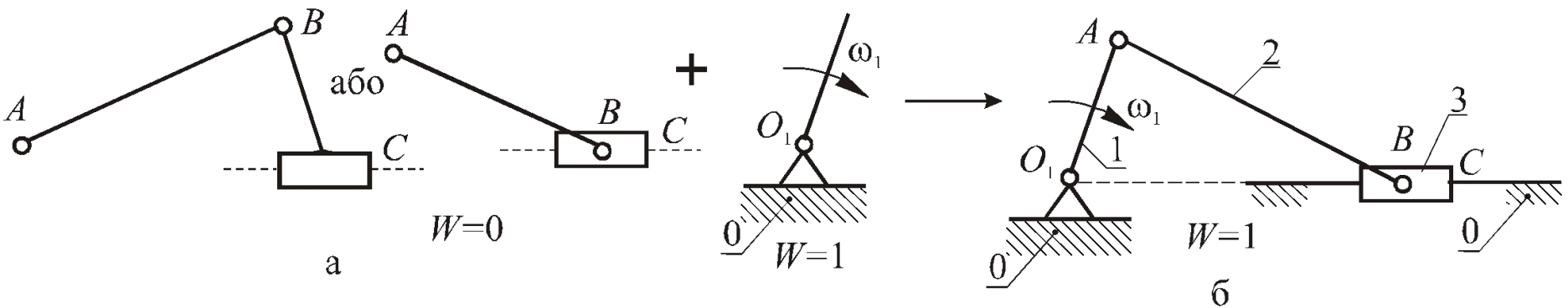
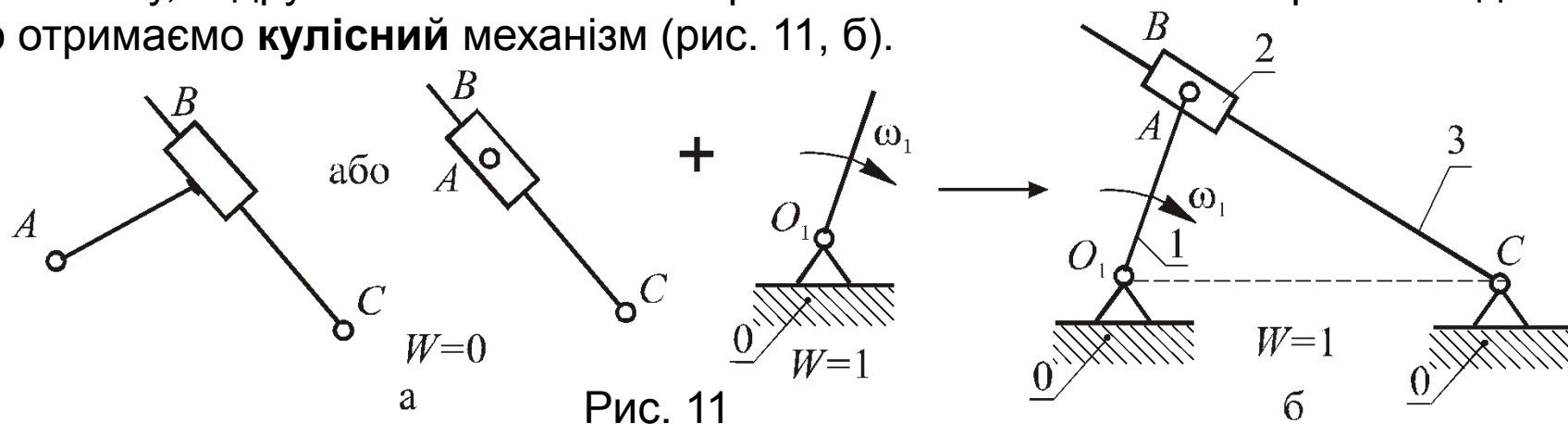
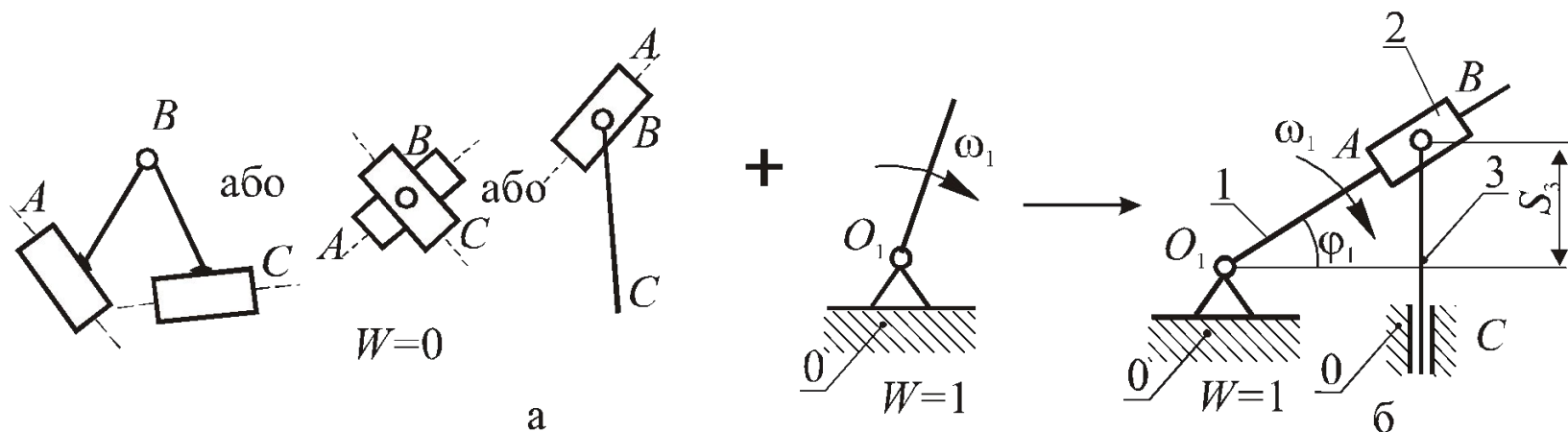


Рис. 10

Щоб отримати групу Ассура II класу 2 порядку 3 виду, внутрішню кінематичну пару структурної групи 1 виду з обертальною замінимо на поступальну (рис. 11, а). Якщо таку групу зовнішньою кінематичною парою А приєднати до початкового механізму, а другою зовнішньою обертальною кінематичною парою С – до стояка, то отримаємо **кулісний** механізм (рис. 11, б).



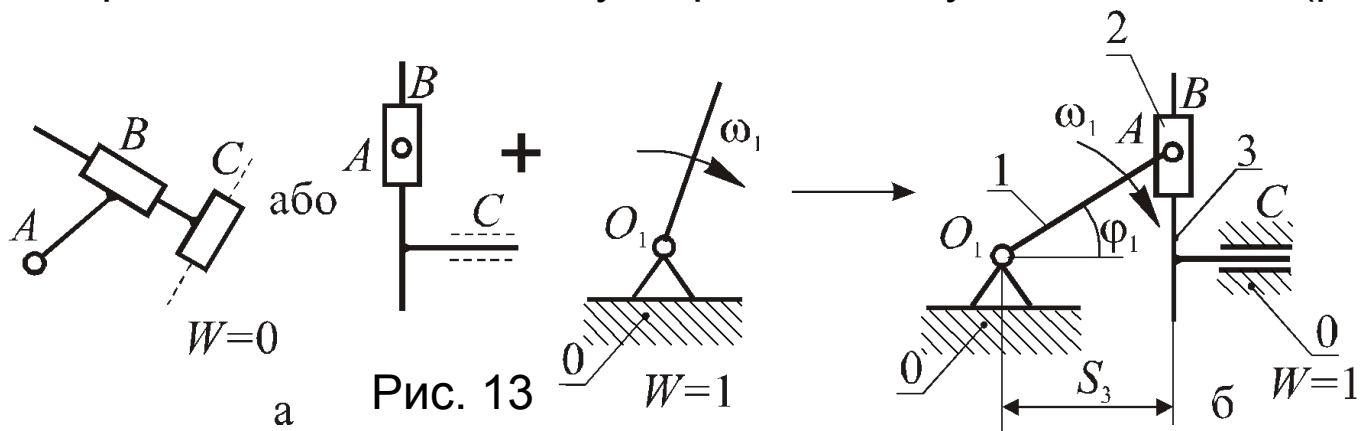
Для отримання групи Ассура II класу 2 порядку 4 виду дві зовнішні обертальні кінематичні пари в структурній групі 1 виду замінимо на поступальні (рис. 12, а).



Приєднавши зовнішньою поступальною кінематичною парою  $A$  таку групу до початкового механізму, а поступальною кінематичною парою  $C$  – до стояка, утворимо тангенсний механізм (рис. 12, б). Тангенсним механізм називають тому, що хід вихідної ланки (повзуна 3) залежить від тангенса кута повороту кривошипа 1:

$$S_3 = a \cdot \operatorname{tg} \varphi_1$$

Для отримання групи Ассура II класу 2 порядку 5 виду в структурній групі 1 виду слід замінити одну зовнішню та внутрішню кінематичні пари з обертальних на поступальні (рис. 13, а). Якщо зовнішньою обертальною кінематичною парою  $A$  групу приєднати до початкового механізму та зовнішньою поступальною кінематичною парою  $C$  – до стояка, то утворимо косинусний механізм (рис. 13, б).



Така назва механізму зумовлена тим, що хід вихідної ланки 3 залежить від косинуса кута повороту кривошипа 1:

$$S_3 = l_1 \cdot \cos \varphi_1$$

Якщо плоский кінематичний ланцюг містить вищі кінематичні пари 4 класу, то для проведення структурного аналізу їх необхідно замінити нижчими кінематичними парами 5 класу. Така заміна зумовлена тим, що структурні групи за класифікацією Ассур – Артоболовського містять кінематичні пари лише 5 класу. Одну кінематичну пару 4 класу замінюють однією фіктивною ланкою та двома кінематичними парами 5 класу. Розглянемо таку заміну на прикладі кулачкового механізму (рис. 14). За формулою П. Л. Чебишева визначаємо ступінь рухомості:

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 2 - 1 = 1$$

Механізм містить: дві рухомі ланки (1 – кулачок, 2 – штовхач); дві нижчі кінематичні пари 5 класу (обертальну  $O_1$  утворену стояком і кулачком; поступальну  $A$ , утворену стояком і штовхачем); одну вищу кінематичну пару  $C$  між кулачком і штовхачем, елементом якої є лінія. Якщо розділити механізм на структурні одиниці, то виділити групу Ассур II класу 2 порядку неможливо, оскільки одна ланка (штовхач) не буде структурною групою. Тому вищу кінематичну пару  $C$  потрібно замінити.

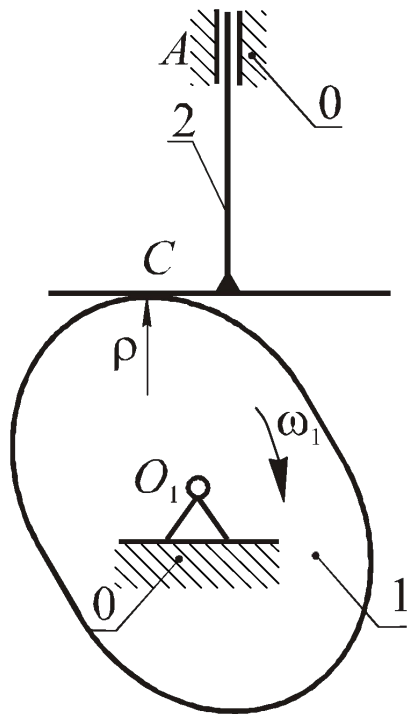


Рис. 14

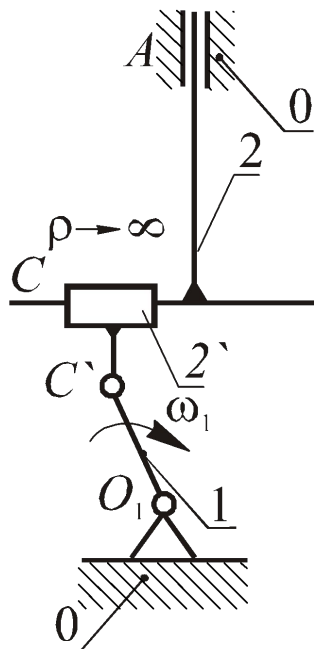


Рис. 15

Для заміни вищої кінематичної пари в точці дотику ланок визначають радіуси кривизни поверхонь двох ланок, які цю пару утворюють. У центрах кривизни поверхонь розміщують дві нижчі кінематичні пари 5 класу, які з'єднують додатковою ланкою. Цю ланку називають фіктивною, тому що насправді вона не існує. Показана на рис. 15 ланка 2' є фіктивною. Залежно від положення механізму довжина фіктивної ланки змінюється, оскільки змінюються радіуси кривизни поверхонь, що є елементами вищої кінематичної пари. Щодо розміщення нижчих кінематичних пар у центрах кривизни слід пам'ятати наступне: якщо радіус кривизни поверхні ланки в місці утворення кінематичної пари дорівнює нулю ( $\rho=0$ ) або має скінчену величину, то в центрі кривизни розміщують обертальну кінематичну пару; якщо радіус  $\rho \rightarrow \infty$ , то в центрі кривизни розміщують поступальну кінематичну пару (рис. 15).

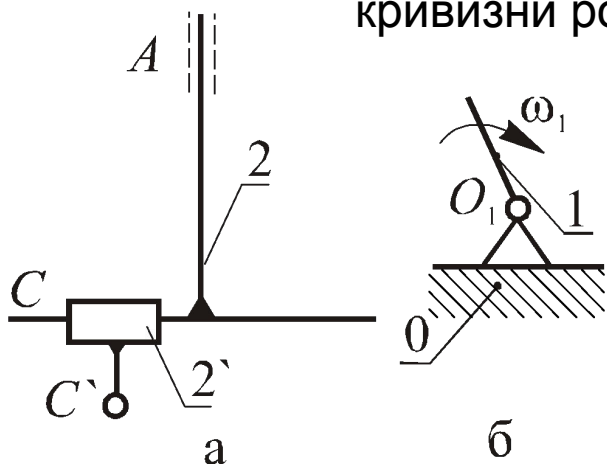


Рис. 16

Після заміни вищої кінематичної пари в кулачковому механізмі проводимо розділення на структурні одиниці. На рис. 16, а показано група Ассура II класу 2 порядку 5 виду, ступінь рухомості якої  $W=0$ , на рис. 16, б - початковий механізм обертального руху 1 класу зі ступенем рухомості  $W=1$ .

## 5. Порядок виконання структурного аналізу плоского важільного механізму

*Основним завданням структурного аналізу механізмів є визначення класу механізму. Клас механізму визначають за найвищим класом групи Ассура, що входить до складу механізму. Отже, щоб визначити клас механізму, його слід розділити на структурні одиниці – групи Ассура та початковий механізм. Виокремлення груп Ассура починають зі структурної групи, до складу якої входить вихідна ланка механізму. Під час розділення на структурні групи слід першочергово виокремлювати групи II класу. Якщо це не вдається, то потрібно виділяти структурні групи вищих класів. Виокремлюючи групи Ассура слід пам'ятати про те, що кінематичний ланцюг, який залишається після виокремлення групи, має бути механізмом з  $W=1$ . Якщо на схемі механізму не задана вхідна ланка, то за вхідну приймають одну з ланок, що утворює кінематичну пару зі стояком.*

Структурний аналіз плоских механізмів виконують у такому *порядку*:

1. Креслять принципову схему механізму. Позначають на схемі всі ланки та кінематичні пари. Дані про кінематичні пари доцільно звести в таблицю.
2. За формулою П. Л. Чебишева визначають ступінь рухомості механізму.
3. Якщо ступінь рухомості механізму не збігається з кількістю вхідних ланок, то шукають і вилучають ланку, яка вносить надлишкові в'язі.
4. За наявності вищих кінематичних пар їх замінюють фіктивною ланкою з двома нижчими кінематичними парами та знову за формулою П. Л. Чебишева перевіряють ступінь рухомості.
5. Розділяють механізм на структурні одиниці – групи Ассура та початкові механізми. Для кожної групи Ассура визначають клас та порядок. Для груп II класу 2 порядку визначають ще вид.
6. За найвищим класом групи Ассура, що входить до складу механізму, визначають клас механізму.
7. Записують формулу будови механізму, яка відображає порядок приєднання структурних груп до початкового механізму.