

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА)

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ 2
З ТЕОРІЇ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН
для студентів усіх спеціальностей

СТРУКТУРНА КЛАСИФІКАЦІЯ ПЛОСКИХ МЕХАНІЗМІВ

Краматорськ
ДДМА
2021

УДК 620.01

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи 2 з теорії механізмів і машин, для студентів усіх спеціальностей. Структурна класифікація плоских механізмів / укладачі : Н. В. Чоста, В. О. Загудаєв. – Краматорськ : ДДМА, 2021. – 21 с.

Приведені основні поняття і визначення структурного аналізу механізмів. Розглянуто принцип створення механізмів Ассура-Артоболевського. Показані основні види структурних груп Ассура. Представлений опис порядку виконання роботи і оформлення звіту з неї.

Укладачі:

Н.В. Чоста, доц.,

В.О. Загудаєв, доц.

Відповідальний за випуск

С.Г. Карнаух, доц.

ЗМІСТ

1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ	4
2 ЗАМІНА ВИЩИХ КІНЕМАТИЧНИХ ПАР НИЖЧИМИ	5
3 СТРУКТУРНА КЛАСИФІКАЦІЯ ПЛОСКИХ МЕХАНІЗМІВ.....	8
4 ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ СТРУКТУРНОГО АНАЛІЗУ	13
5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	16
6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ	16
7 ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ З ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ	18
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	20

Мета роботи – ознайомитися з основними видами структурних груп Ассура, принципом створення механізмів за Ассуром-Артоболовським і навчитися виконувати структурний аналіз плоских механізмів.

1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ

Механізм - це кінематичний ланцюг з однією нерухомою ланкою, призначений для виконання цілком визначеного доцільного руху.

Плоским називають механізм, ланки якого рухаються в одній чи паралельних площинах. Серед плоских механізмів найбільшого розповсюдження здобули важільні механізми.

Важільний - це механізм, ланки якого утворюють тільки нижчі кінематичні пари: обертальні, поступальні, циліндричні і сферичні. Таким чином, плоский важільний механізм може складатися тільки з обертальних і поступальних пар.

Обертальна пара - це однорухома пара, що допускає тільки один обертальний рух однієї ланки відносно іншої.

Поступальна пара - це однорухома пара, що допускає тільки один поступальний рух однієї ланки відносно іншої.

Для вивчення механізмів користуються їх структурними і кінематичними схемами.

Структурна схема механізму - це умовне зображення механізму, яке виконується без урахування масштабу і показує, з яких ланок побудовано цей механізм і якими кінематичними парами з'єднані ланки.

Кінематична схема відрізняється від структурної тим, що виконується з урахуванням масштабу. При зображенні кінематичних і структурних схем механізмів треба користуватися умовними позначеннями пар і ланок.

Важливою характеристикою структурних властивостей механізму є його **ступінь рухомості** - число ступенів вільності механізму відносно нерухомої ланки (стояка). Ступінь рухомості показує число вхідних ланок механізму, тобто число необхідних приводів, які забезпечують повну визначеність руху усіх ланок механізму.

Ступінь рухомості плоских механізмів визначається за формулою П.Л. Чебишева:

$$W=3n-2p_5-p_4, \quad (1)$$

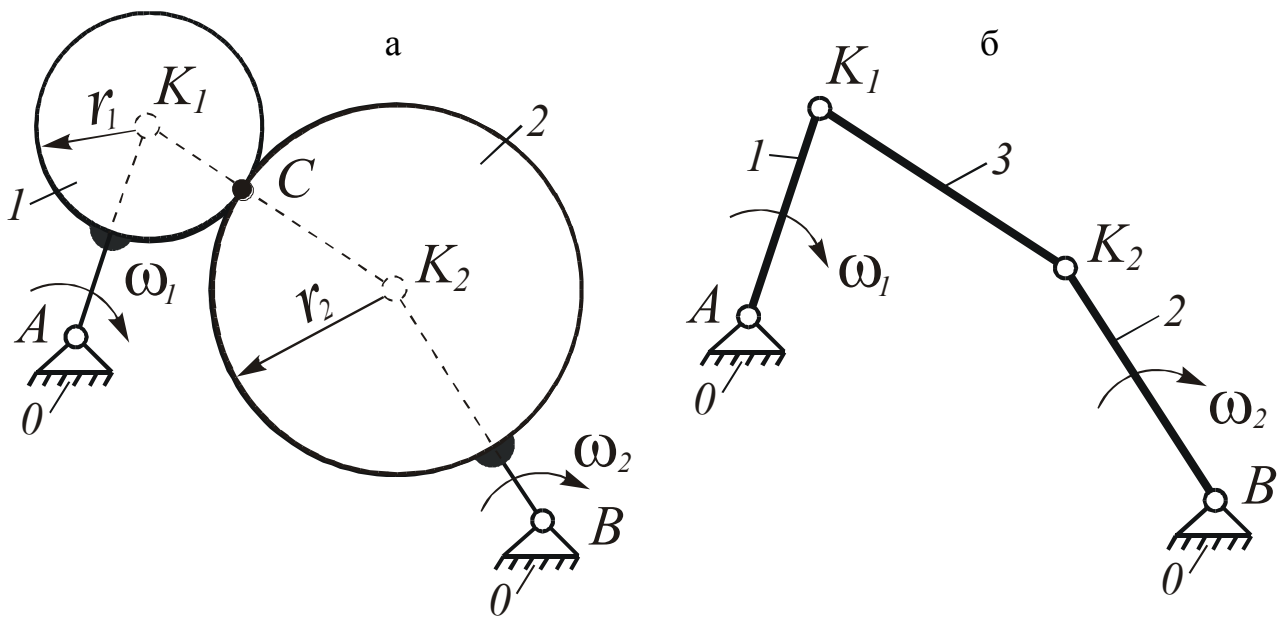
де n – кількість рухомих ланок;
 p_5 – кількість кінематичних пар V класу;
 p_4 – кількість кінематичних пар IV класу.

При визначенні ступеня рухомості механізму та під час дослідження його структури можуть виявитися ступені вільності та умови зв'язку, що не впливають на характер руху всього механізму. Такі ступені вільності називають *зайвими*, а умови зв'язку – *пасивними*. Під час визначення W та проведення структурного, кінематичного дослідження механізмів усі пасивні умови зв'язку та зайві ступені вільності треба з механізму попередньо вилучити, умовно видаливши відповідні ланки.

2 ЗАМІНА ВИЩИХ КІНЕМАТИЧНИХ ПАР НИЖЧИМИ

Під час класифікації та вивчення структури і кінематики плоских механізмів з вищими парами в багатьох випадках зручно умовно замінювати вищі пари нижчими. При цьому має задовольнятися умова структурної еквівалентності, тобто щоб замінюючий механізм мав такий самий ступінь вільності і щоб характер миттєвого відносного руху всіх його ланок не змінився. На рис. 1,а зображено триланковий плоский механізм з двома обертальними парами (A і B) та однією вищою парою C . Профілями елементів, що утворюють вищу пару, є дві дуги кіл з центрами K_1 і K_2 . Точка C дотику профілів ланок 1 і 2 під час руху механізму змінює своє положення як на нерухомій площині, так і на самих профілях. Однак при цьому відстань

$$K_1K_2 = r_1 + r_2 = const .$$



а – триланковий плоский механізм з двома обертальними парами;

б – еквівалентний плоский шарнірний чотириланковик

Рисунок 1 – Заміна вищої кінематичної пари нижчими в механізмі з двома обертальними парами (А і В) та однією вищою парою С

Тому очевидно, що заданий механізм буде еквівалентний плоскому шарнірному чотириланковику (рис. 1,б), у якого довжина AK_1 , K_1K_2 і BK_2 така сама, як і на рис. 1,а. Замінюючий механізм AK_1K_2B еквівалентний заданому і за законами руху ланок.

Розглянутий спосіб заміни механізму можна узагальнити і тоді, коли профілями вищих пар є довільно задані криві, що мають, однак, спільну дотичну в точках спряження профілів (рис. 2). Можна довести, що в цьому разі кожному положенню механізму відповідає один еквівалентний «миттєвий» чотириланковик AK_1K_2B , у якого K_1 і K_2 є центри кривизни профілів, що відповідають точці С дотику.

Отже, вища пара в плоских механізмах еквівалентна одній умовній ланці, що входить до складу двох обертальних пар V класу, не лише за кількістю накладених умов зв'язку, але також і за кінематикою веденої ланки. Що стосується передачі сил, то замінюючий механізм також еквівалентний заданому.

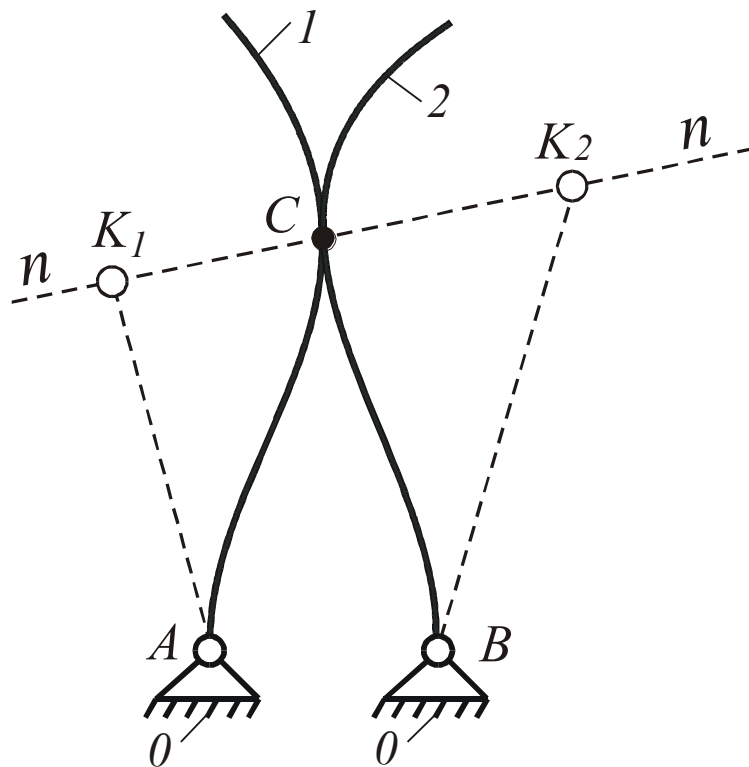


Рисунок 2 – Заміна вищої кінематичної пари нижчими, коли профілями вищої пари є довільно задані криві

Тому при класифікації плоских механізмів з вищими парами треба:

- а) замість вищої пари ввести умовну ланку, що входить до складу двох обертальних пар;
- б) центри цих пар помістити в центрах кривизни профілів, що утворюють вищу пару;
- в) заново введеними нижчими парами з'єднати умовну ланку з тими ланками, які входили до складу вищої пари.

Коли ж один із статичних елементів являє собою криву 1, а другий – прямою 2 (рис. 3,а), то центр кривизни другого профілю нескінченно віддалений. Умовна ланка 3 (рис. 3,б) при цьому входить в центрі кривизни K елемента 1 до складу обертальної пари V класу. Друга обертальна пара, до складу якої мусять входити ланка 2, має нескінченно віддалену вісь обертання і переходить у поступальну пару також V класу.

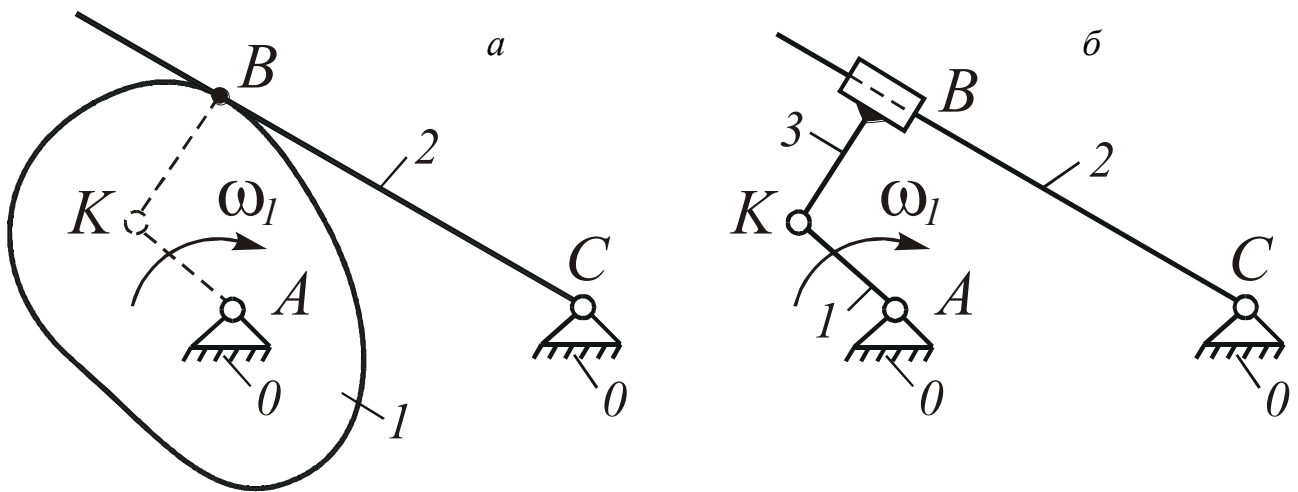


Рисунок 3 – Заміна вищої кінематичної пари нижчими, коли один із елементів являє собою криву, а другий – пряму

3 СТРУКТУРНА КЛАСИФІКАЦІЯ ПЛОСКИХ МЕХАНІЗМІВ

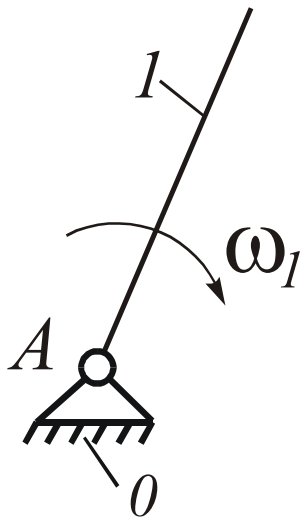
Відомо кілька класифікацій механізмів: за функціями, за характером руху веденої ланки тощо. Найраціональнішою класифікацією плоских важільних механізмів з парами V класу є класифікація *Ассура-Артоболевського*, що пов'язана з єдністю методів кінематичного та динамічного досліджень кінематичних ланцюгів, віднесених до одного класу.

Але спочатку розглянемо принцип створення плоских важільних механізмів з кінематичними парами V класу, запропонований *Л.В. Ассуром*. Будь-який плоский важільний механізм з парами V класу можна створити, послідовно приєднуючи до ведучої ланки і стояка статично визначених (нормальних за Ассуром) плоских кінематичних ланцюгів.

Пізніше ці статично визначені (нормальні) ланцюги були названі групами Ассура, а ведуча ланка і стояк – механізмом I класу. Отже, будь-який плоский механізм можна дістати послідовним приєднанням до механізму I класу груп Ассура.

На рис. 4 зображено механізми I класу, початкові ланки яких утворюють із стояком обертальну (рис. 4,а) або поступальну (рис. 4,б) пару.

a



б

$I(0,1)$

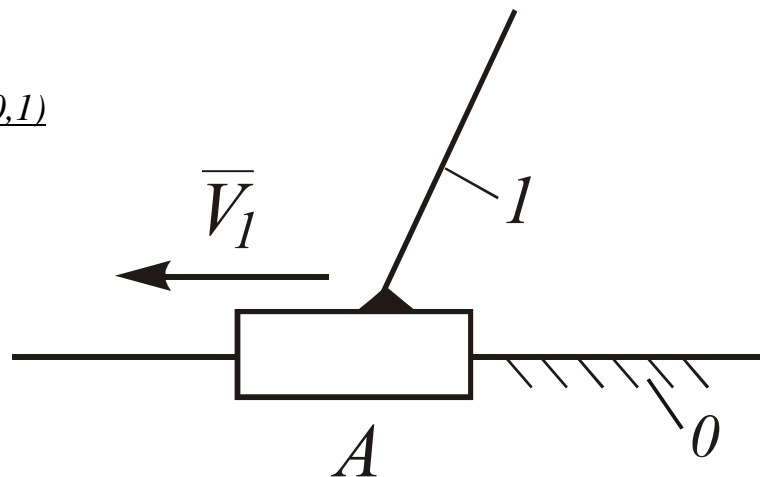


Рисунок 4 – Механізми I класу

Структурною групою Ассура називається кінематичний ланцюг з парами V класу, ступінь рухомості якого після умовного приєднання елементами зовнішніх кінематичних пар до стояка (механізму) дорівнює нулю, і який не можна поділити на простіші ланцюги, що мають нульовий ступінь рухомості.

Отже, першою ознакою групи Ассура є рівність її ступеня вільності нулю:

$$\begin{aligned} W &= 0; \\ 3n - 2p_5 &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

У формулі (2) немає пар IV класу – $p_4 = 0$ – кожна пара IV класу замінена ланкою і двома парами V класу.

Виходячи з формули (2) маємо

$$p_5 = \frac{3}{2}n. \quad (3)$$

Оскільки кількість кінематичних пар V класу завжди ціле число, то кількість рухомих ланок групи Ассура n – завжди парна (кратна двом). Отже ознакою групи Ассура є парність її ланок, тобто

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

Як видно з формули (3), найпростіша група Ассура складається з двох ланок і трьох кінематичних пар V класу. Оскільки пари V класу можуть бути обертальними та поступальними, то можливі такі варіанти їх сполучення. Якщо всі (три) кінематичні пари V класу обертальні, то маємо дволанкову групу Ассура II класу 2 порядку і I виду.

В табл. 1 зображено групи Ассура II класу 2 порядку 1, 2, 3, 4 і 5 видів.

Клас групи Ассура визначається кількістю кінематичних пар, які утворюють найбільш складний замкнутий контур. В табл. 2 зображено групи Ассура II , III , IV класу.

Порядок групи Ассура визначається кількістю вільних (зовнішніх) елементів кінематичних пар (повідків), якими група Ассура приєднується до стояка чи механізму.

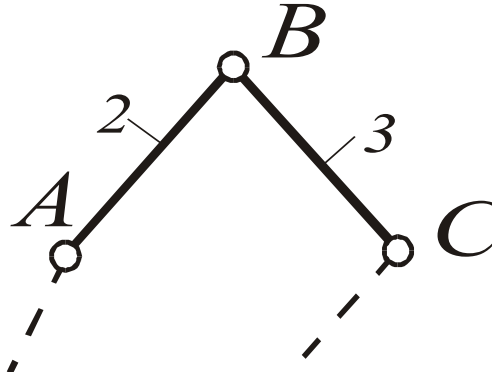
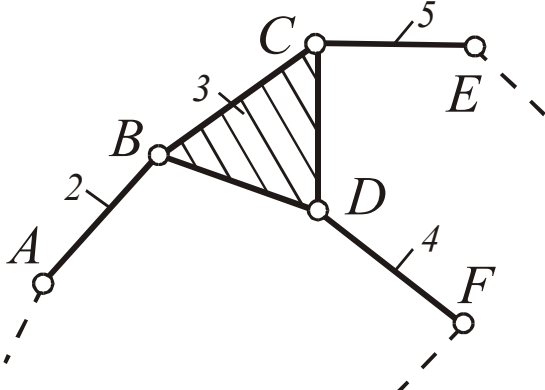
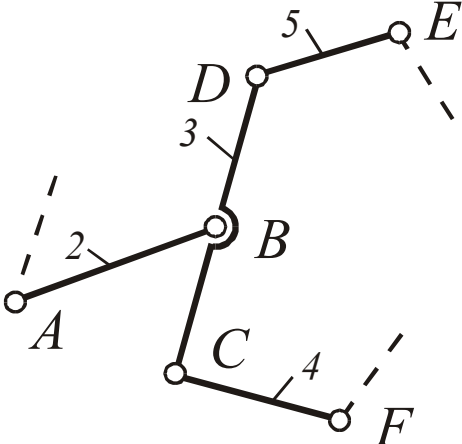
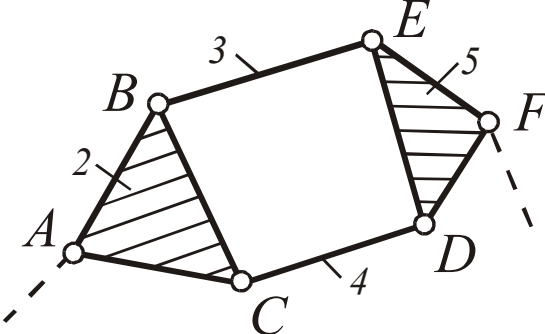
Вид групи Ассура залежить від кількості обертальних і поступальних кінематичних пар та їх розміщення. Модифікації з двох ланок і трьох поступальних пар створити не можливо, бо після приєднання цього ланцюга до стояка ступінь рухомості його не дорівнюватиме нулю, а отже, цей ланцюг не буде групою Ассура.

Якщо до складу механізму входять групи Ассура різних класів, то **клас механізму** в цілому визначається класом старшої групи Ассура.

Таблиця 1 – Двохланкові структурні групи Ассур п'ятьох видів

Вид групи	Схема групи	Еквівалентна схема групи
1		
2		
3		
4		
5		

Таблиця 2 – Структурні групи Ассура II, III і IV класу

Число ланок групи, n	Число кінематичних пар V класу, p_5	Схема групи	Клас групи	Порядок групи
2	3		II	2
4	6		III	3
4	6		III	3
4	6		IV	2

4 ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ СТРУКТУРНОГО АНАЛІЗУ

Структурний аналіз виконують у такій послідовності:

1 Визначають ступінь рухомості механізму.

2 Вилучають пасивні умови зв'язку.

3 Вилучають зайві ступені вільності.

4 Замінюють кожен вищу кінематичну пару *IV* класу двома нижчими кінематичними парами *V* класу і ланкою.

Після виконання п.п. 2 – 4 ступінь рухомості механізму має дорівнювати числу ведучих ланок.

5 Починаючи з найвіддаленішого від ведучої ланки, виділяють ланцюг з парним числом ланок. Оскільки в практиці найбільше груп Ассур *II* класу, то спочатку виділяють найпростішу двоповідкову групу. Ступінь рухомості її має дорівнювати нулю.

6 Перевіряють ступінь рухомості механізму, що залишився. Він має бути таким, як і в п. 4.

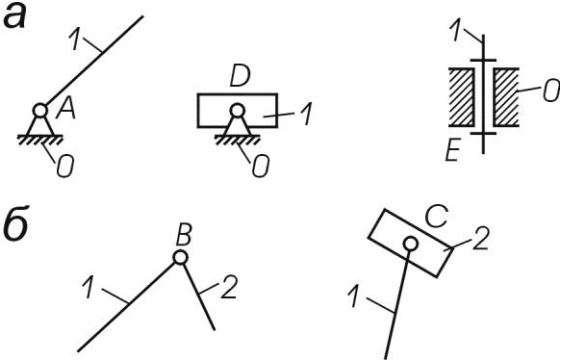
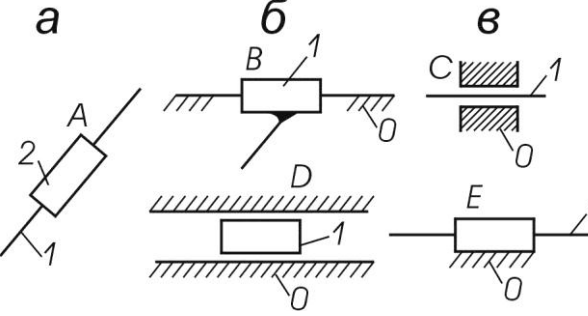
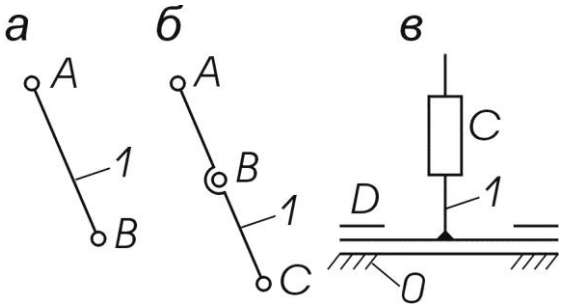
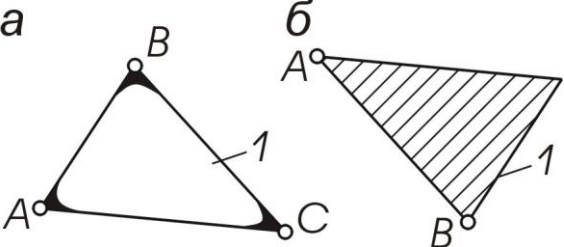
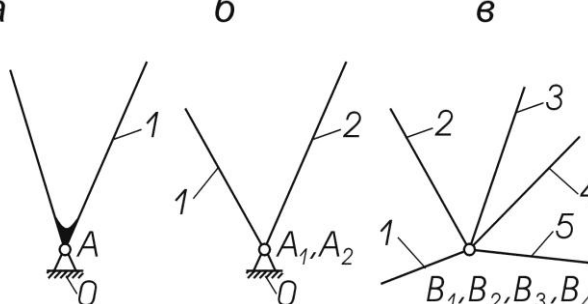
7 Визначають клас, порядок і вид виділеної групи Ассур.

8 Виділяють наступний кінематичний ланцюг, перевіряють ступінь рухомості механізму, що залишився. Установлюють клас, вид і порядок виділеної групи Ассур. Так поступають доти, доки не дійдуть до ведучої ланки.

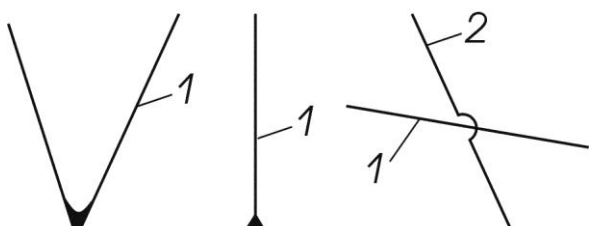
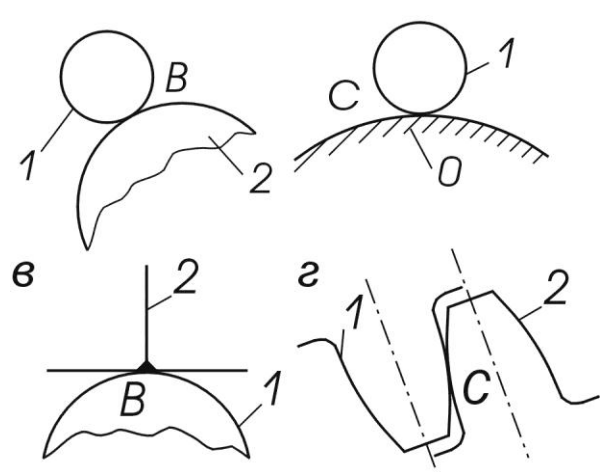
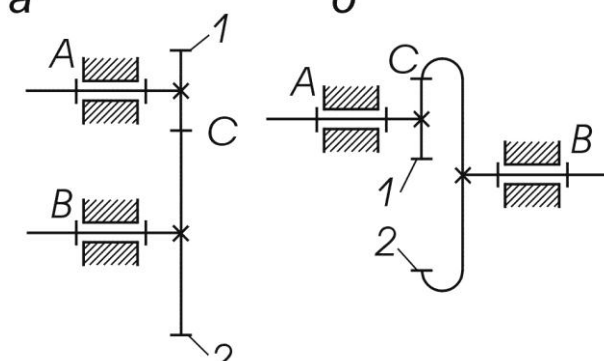
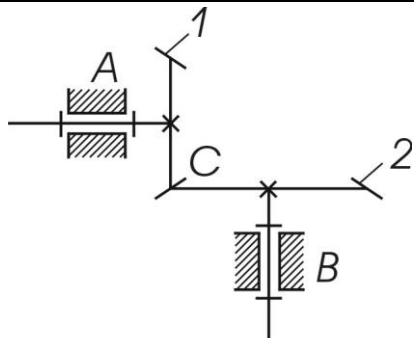
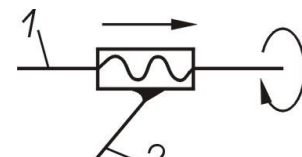
9 За класом старшої групи Ассур визначають клас механізму в цілому, вказавши, при якій ведучій ланці виконано структурний аналіз.

10 Записують структурну формулу механізму.

Таблиця 3 – Умовне зображення ланок і кінематичних пар плоских механізмів

Умовне зображення	Що позначає	Клас пари
1	2	3
	<p>Обертальні пари, які утворені:</p> <p>а – рухомою ланкою 1 і стоячком 0;</p> <p>б – двома рухомими ланками 1 і 2</p>	V
	<p>Поступальні пари, які утворені:</p> <p>а - двома рухомими ланками (кулісою 1 і каменем 2);</p> <p>б - рухомим повзуном 1 і нерухомою напрямною 0;</p> <p>в - рухомою штангою (штоком) 1 і нерухомою напрямною 0</p>	V
	<p>Ланка 1:</p> <p>а - з двома шарнірами;</p> <p>б - з трьома шарнірами;</p> <p>в - з двома поступальними парами</p>	V
	<p>Ланка, яка утворює жорсткий контур:</p> <p>а - з трьома шарнірами;</p> <p>б - з двома шарнірами</p>	V
	<p>З'єднання n ланок, що утворять $(n-1)$ обертальних кінематичних пар:</p> <p>а - одну пару;</p> <p>б - дві пари;</p> <p>в - чотири пари</p>	V

Продовження таблиці 3

1	2	3
<p style="text-align: center;">а б</p> 	<p>Одна або дві ланки: а - ланка, що утворює жорсткий кут; б - перехресні ланки, не з'єднані між собою</p>	<p style="text-align: center;">—</p>
<p style="text-align: center;">а б</p> 	<p>Дві взаємодіючі ланки у вигляді: а - двох рухомих криволінійних профілів; б - рухомого і нерухомого профілів; в - криволінійного 1 і плоского 2 профілів; г - зубів зубчастих коліс, які знаходяться в зачепленні</p>	<p style="text-align: center;">IV</p>
<p style="text-align: center;">а б</p> 	<p>Циліндрична зубчаста передача: а - зовнішнього зачеплення; б - внутрішнього зачеплення</p>	<p style="text-align: center;">IV i V</p>
	<p>Конічна зубчаста передача</p>	<p style="text-align: center;">IV i V</p>
	<p>Гвинтова пара</p>	<p style="text-align: center;">V</p>

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1 Вивчити теоретичні відомості, які викладено в п.п. 1 – 4.

2 Одержати у викладача діючу модель механізму.

3 Обертаючи за допомогою рукоятки вхідну ланку механізму, вивчити характер руху усіх його ланок, визначити їх число і дати їм назву, установити тип механізму і його функціональне призначення.

4 Спостерігаючи за відносним рухом ланок, визначити види і класи кінематичних пар, які з'єднують ланки.

5 Зупинивши механізм у найбільш наочному положенні, накреслити його структурну схему, додержуючись співвідношення розмірів його ланок (табл. 3).

6 Проставити номери ланок і позначити буквами кінематичні пари. При цьому, якщо в одній точці механізму розташовано декілька кінематичних пар, їх можна позначити або різними буквами, або однаковими буквами з різними індексами (наприклад A_1, A_2, A_3). Треба мати на увазі, якщо в одній точці з'єднано n ланок, вони утворюють $(n-1)$ кінематичних пар.

7 Виконати структурний аналіз згідно з п. 4.

8 Зробити висновок про клас механізму.

9 Оформити звіт з лабораторної роботи.

6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1 Дати визначення механізму.

2 Що називають ланкою, кінематичною парою?

3 Чим розрізняються вищі та нижчі кінематичні пари?

4 Чим визначається клас кінематичної пари?

5 Дати визначення структурної схеми механізму і назвати основну відмінність її від кінематичної.

6 Що називають ступенем рухомості?

- 7 Записати формулу П.Л. Чебишева і назвати величини, які до неї входять.
- 8 Що називають пасивними умовами зв'язку і зайвими ступенями вільності?
- 9 Як можна замінити вищі кінематичні пари нижчими?
- 10 У чому полягає принцип створення плоских механізмів Ассура-Артоболевського?
- 11 Що називають механізмом I класу? Привести приклад.
- 12 Який кінематичний ланцюг називають структурною групою Ассура?
- 13 Чому дорівнює ступінь рухомості структурної групи відносно тих ланок, до яких вона приєднується?
- 14 Яка існує залежність між кількістю ланок і кінематичних пар групи Ассура?
- 15 Чим визначається клас, порядок і вид структурної групи?
- 16 Привести приклади найпростіших структурних груп II класу.
- 17 Чим визначається клас механізму?
- 18 Назвати основні етапи структурного аналізу механізму.

7 ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ З ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

ДДМА, кафедра ОКММ

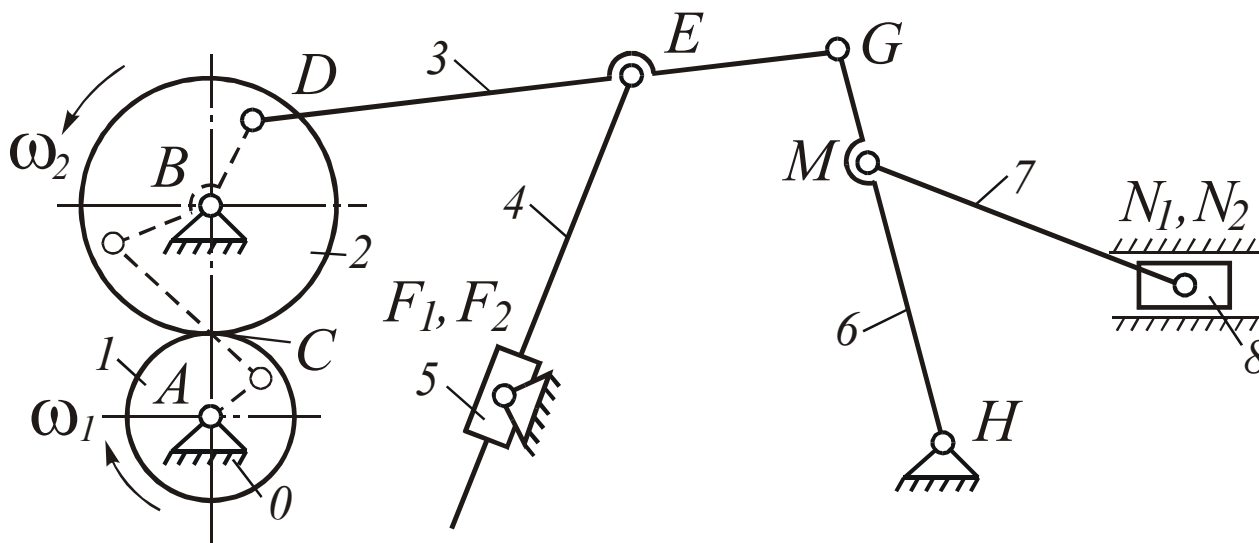
група _____ студент _____

(П.І.Б.)

Звіт з лабораторних робіт № 1, 2

СТРУКТУРНА КЛАСИФІКАЦІЯ ПЛОСКИХ МЕХАНІЗМІВ

1 Структурна схема механізму (модель № 51)



2 Ланки механізму

№ ланки	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Характер руху ланки	Нерухома	Обертальний	Обертальний	Плоский	Плоский	Обертальний	Обертальний	Плоский	Поступальний
Назва ланки	Стояк	Зубчасте колесо	Зубчасте колесо (кривошип)	Шатун	Куліса	Камінь	Коромисло	Шатун	Повзун

3 Кінематичні пари

Позначення кінематичної пари	A	B	C	D	E	F ₁	F ₂	G	H	M	N ₁	N ₂
Номера ланок, що утворюють пару	0-1	0-2	1-2	2-3	3-4	4-5	0-5	3-6	0-6	6-7	7-8	0-8
Назва пари	ОКП	ОКП	Вища	ОКП	ОКП	ПКП	ОКП	ОКП	ОКП	ОКП	ОКП	ПКП
Клас пари	V	V	IV	V	V	V	V	V	V	V	V	V

4 Ступінь рухомості

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

де $n=8$ - кількість рухомих ланок механізму;

$p_5=11$ - кількість кінематичних пар V класу;

$p_4=1$ - кількість кінематичних пар IV класу.

Тоді

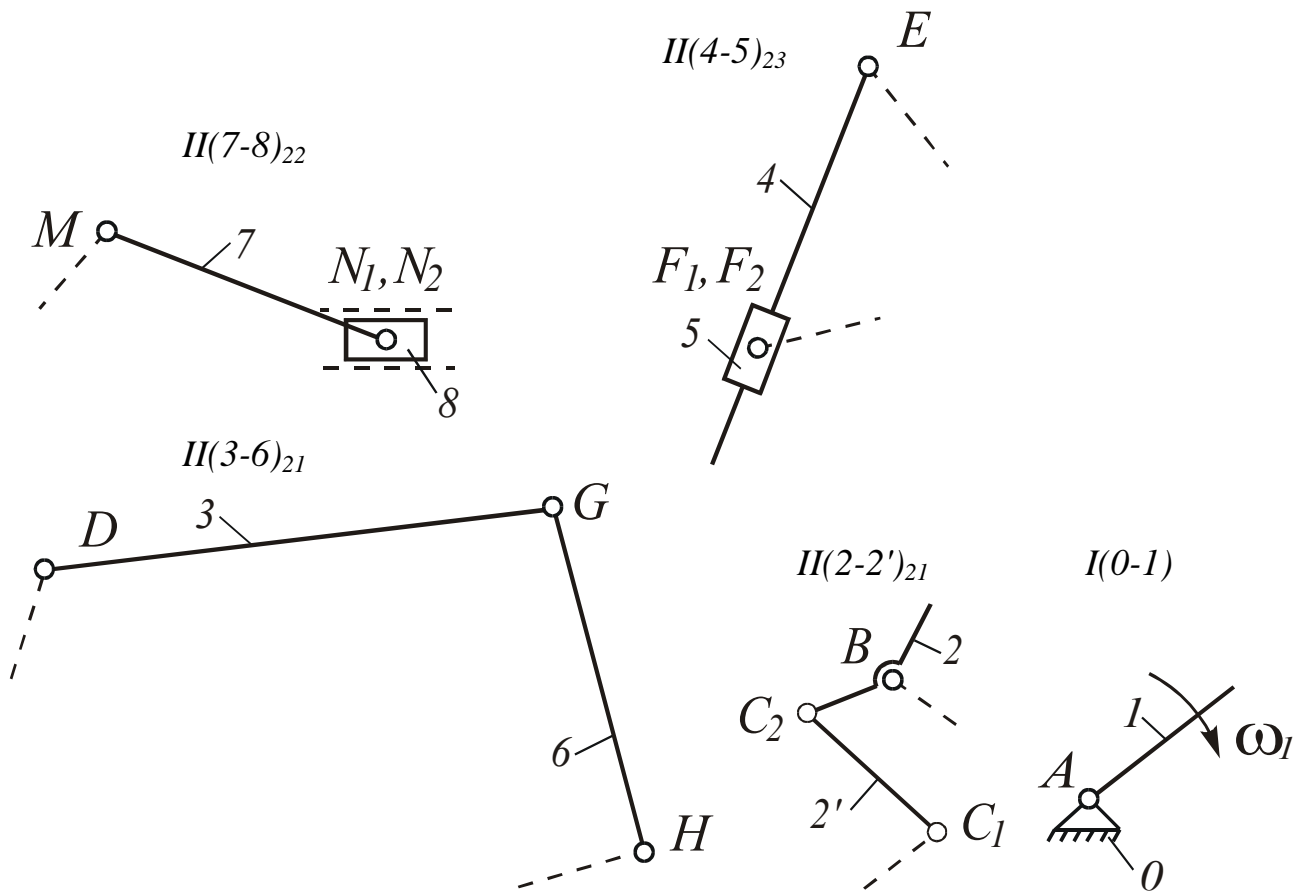
$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 8 - 2 \cdot 11 - 1 = 1.$$

Висновок: механізм має одну вхідну ланку.

5 Заміна вищих кінематичних пар нижчими парами V класу. Вищу пару C замінюємо умовною ланкою і двома нижчими парами V класу (показано пунктиром). Ступінь рухомості замінюючого механізму

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 9 - 2 \cdot 13 - 1 = 1.$$

6 Розбирання механізму на механізм I класу і структурні групи Ассура



7 Формула будови механізму

$$I(0-1) \rightarrow II(2-2')_{21} \rightarrow II(3-6)_{21} \rightarrow II(4-5)_{23} \rightarrow II(7-8)_{22}.$$

Висновок: механізм являє собою механізм другого класу.

Роботу виконав _____
(підпис)

Роботу прийняв _____
(підпис)

Дата _____

Дата _____

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. **Кіницький, Я. Т.** Теорія механізмів і машин / Я. Т. Кіницький. – К. : Наукова думка, 2002. – 660 с.
2. **Кіницький, Я. Т.** Короткий курс теорії механізмів і машин / Я. Т. Кіницький. – Львів : Афіша, 2004. – 272 с.
3. **Кореняко, О. С.** Теорія механізмів і машин / О. С. Кореняко. – К. : Вища школа, 1987. – 206 с.
4. **Артоболовський, И. И.** Теория механизмов и машин / И. И. Артоболовский. – М. : Наука, 1988. – 640 с.
5. Теория механизмов и механика машин / под ред. К. В. Фролова. – М. : Высшая школа, 2001. – 496 с.
6. **Заблонский, К. И.** Теория механизмов и машин / К. И. Заблонский, И. М. Белоконев, Б. М. Щекин. – К. : Вища школа, 1989. – 376 с.
7. **Левитский, Н. И.** Теория механизмов и машин / Н. И. Левитский. – М. : Наука, 1990. – 592 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ 2
З ТЕОРІЇ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН
для студентів усіх спеціальностей

СТРУКТУРНА КЛАСИФІКАЦІЯ ПЛОСКИХ МЕХАНІЗМІВ

Укладачі: ЧОСТА Наталія Вікторівна,
ЗАГУДАЄВ Віктор Олексійович

Редагування О. М. Болкова

18/2021. Формат 60 x 84/16. Умовн. друк. арк. 1,23.
Обл.-вид. арк. 0,95. Тираж ___ прим. Зам. № ___

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №1633 від 24.12.2003