

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА)

ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН

Методичні вказівки

до лабораторної роботи 1
**«Конструктивно-функціональна класифікація,
складання схем і вивчення структурних особливостей
механізмів»**

для студентів технічних спеціальностей

Краматорськ
ДДМА
2021

УДК 621.001

Теорія механізмів і машин : методичні вказівки до лабораторної роботи 1 «Конструктивно-функціональна класифікація, складання схем і вивчення структурних особливостей механізмів» : для студентів технічних спеціальностей / укладачі : Н. В. Чоста, В. О. Загудаєв. – Краматорськ : ДДМА, 2021. – 24 с.

Наведені основні поняття й визначення структурного аналізу механізмів, схеми найпростіших важільних механізмів та їхні основні модифікації. Показані умовні позначення ланок і кінематичних пар плоских механізмів. Представлено опис порядку виконання роботи й оформлення звіту до неї.

Укладачі: Н. В. Чоста, доц.,
В. О. Загудаєв, доц.

Відповідальний за випуск С. Г. Карнаух, доц.

ЗМІСТ

1 Загальні відомості про лабораторний практикум.....	4
2 Лабораторна робота 1 «Конструктивно-функціональна класифікація, складання схем і вивчення структурних особливостей механізмів»	5
2.1 Основні поняття й визначення	5
2.2 Основні типи найпростіших плоских важільних механізмів та їхнє схематичне зображення	13
2.3 Порядок виконання роботи.....	19
3 Контрольні питання	20
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	21
ДОДАТОК А. Приклад оформлення протоколу лабораторної роботи.....	22

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Мета лабораторного практикуму з дисципліни «Теорія механізмів і машин» – ознайомити студентів із різними методами вивчення властивостей механізмів і навчити їх прийомам експериментального дослідження кінематики й динаміки механізмів із використанням сучасної вимірювальної апаратури.

ПРАВИЛА ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

1. Лабораторні роботи виконуються за затвердженим кафедрою графіком в аудиторіях 1218 та 1244.

2. До виконання кожної лабораторної роботи допускаються студенти, які заздалегідь ознайомилися з її змістом за методичними вказівками до лабораторних робіт і вивчили відповідні розділи теоретичного курсу (за конспектами лекцій та підручниками).

На початку роботи викладач проводить перевірку підготовленості студентів до її виконання (усне опитування, наявність заготовки протоколу).

3. Напередодні проведення лабораторної роботи студент повинен підготувати протокол звіту з цієї роботи (накреслити необхідні схеми, форми таблиць і т. п.). Схеми, графіки, таблиці в протоколі акуратно виконуються олівцем або чорною пастою з використанням креслярських приладів. Елементи принципів електричних і кінематичних схем механізмів зображуються відповідно до діючих стандартів.

4. Після проведення роботи студенти заповнюють протокол і звітують перед викладачем. Якість оформлення протоколу впливає на оцінку при захисті лабораторної роботи.

ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

До роботи в лабораторних аудиторіях допускаються студенти, які пройшли інструктаж із техніки безпеки й дотримуються наступних правил:

1. Не включати в електричну мережу прилади без дозволу викладача.
2. Перед включенням у мережу приладів перевірити їхнє заземлення.
3. Не робити монтаж і демонтаж електросхем, підключених до електричної напруги.

4. Не спиратися на встаткування й прилади.

5. Не переходити з одного робочого місця на інше без дозволу викладача.

6. Після проведення лабораторної роботи відключити прилади від джерела живлення.

2 Лабораторна робота 1

КОНСТРУКТИВНО- ФУНКЦІОНАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ, СКЛАДАННЯ СХЕМ І ВИВЧЕННЯ СТРУКТУРНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ МЕХАНІЗМІВ

Мета роботи – ознайомитися з основними типами найпростіших механізмів, їхніми окремими елементами й умовними позначеннями ланок і кінематичних пар, навчитися складати структурні схеми механізмів.

2.1 Основні поняття й визначення

Теорія механізмів і машин (ТММ) – наука про загальні методи дослідження властивостей механізмів і машин та проектування їхніх схем.

Машина – штучно створений пристрій, що виконує механічні рухи для перетворення енергії, матеріалів і інформації з метою заміни або полегшення фізичної й розумової праці людини. Основною ознакою, що відрізняє машину від інших пристроїв, є виконання механічних рухів.

Механізм – система тіл, що призначена для перетворення заданого руху одного або декількох твердих тіл у необхідні рухи інших твердих тіл. Основною ознакою механізму є перетворення механічного руху відповідно до його функціонального призначення.

Не можна ототожнювати поняття «машина» і «механізм», оскільки крім механізмів у машині завжди є додаткові пристрої, пов'язані з керуванням механізмами.

Тверде тіло, що входить до складу механізму, називається **ланкою** механізму. Одним твердим тілом у механізмі вважається будь-яка сукупність деталей, що не мають між собою відносного руху.

Деталь – окремо виготовлене тіло, виконане без застосування складальних операцій. Таким чином, ланка механізму є більш широким поняттям, ніж деталь.

У кожному механізмі є **стояк** – нерухома ланка або ланка, прийнята за нерухому (рама, корпус, і т. п.). Серед рухомих ланок виділяють вхідні й вихідні ланки.

Вхідна ланка – ланка, якій надається заданий рух, що перетворюється механізмом у потрібні рухи інших ланок.

Вихідна ланка – ланка, що робить рух, для виконання якого й призначений механізм. Решту рухомих ланок механізму називають з'єднуючими або проміжними. Зазвичай у механізмі є одна вхідна ланка й одна вихідна. Вхідна ланка одержує рух від двигуна, а вихідна ланка з'єднується з робочим органом машини – деталлю, що безпосередньо діє на оброблюваний об'єкт.

Ланки в механізмі з'єднуються між собою рухомо. З'єднання двох дотичних ланок, що допускає їхній відносний рух, називається **кінематичною парою**.

Як відомо, у загальному випадку всяке абсолютно тверде тіло l (рис. 1), що вільно рухається в просторі, матиме шість ступенів вільності, тобто матиме шість видів незалежних можливих елементарних рухів щодо нерухомої системи координат XYZ : три обертові рухи навколо кожної з осей координат і три поступальні уздовж тих же осей.

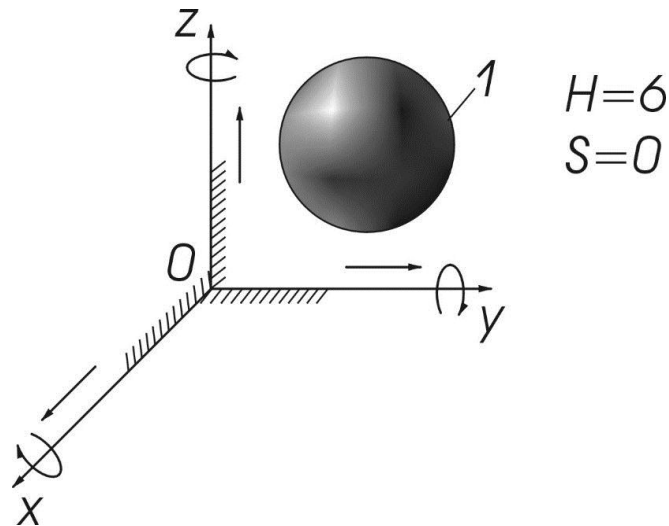


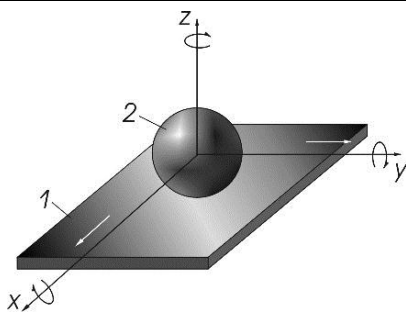
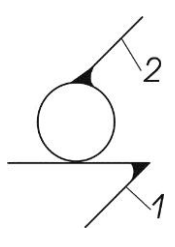
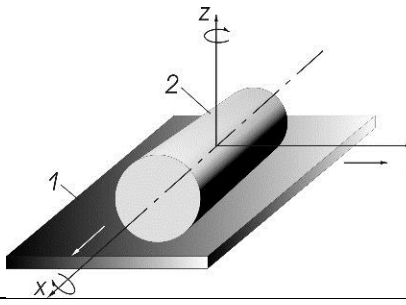
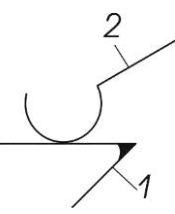
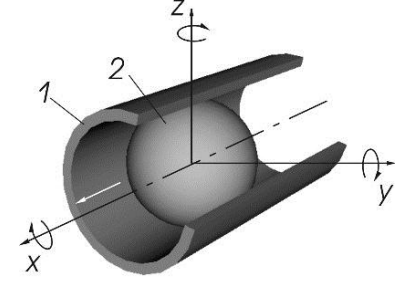
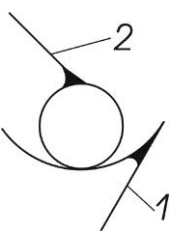
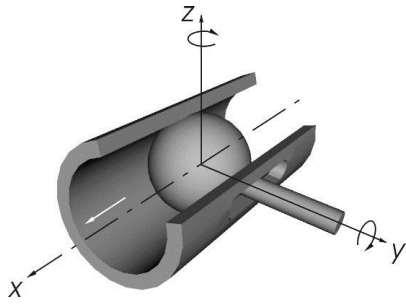
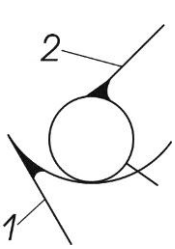
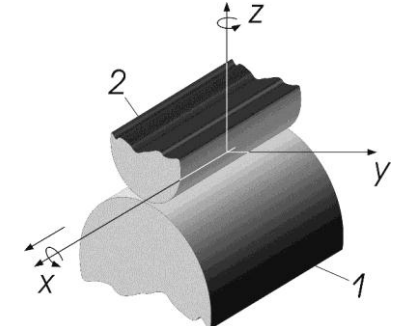
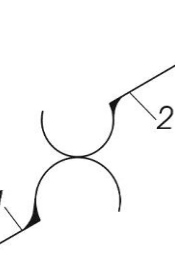
Рисунок 1 – Можливі ступені вільності тіла l у просторі

При з'єднанні ланок у кінематичні пари на їхній відносний рух накладаються деякі обмеження – умови зв'язку, які визначаються конструкцією цієї кінематичної пари. Очевидно, що кількість цих умов зв'язку може бути тільки цілим числом і меншим шести, бо в тому випадку, коли кількість умов зв'язку дорівнює шести, тіло втрачає відносну рухомість. Так само кількість умов зв'язку не може бути меншою за одиницю, бо в цьому випадку ланки не стикаються, тобто кінематична пара не існує, а маємо два тіла, що вільно рухаються в просторі. У залежності від кількості умов зв'язку S , які накладаються на відносний рух ланок кінематичної пари, розрізняють пари п'яти класів (класифікація І. І. Артоболевського), оскільки для реальних кінематичних пар число S може бути в межах від 1 до 5 ($1 \leq S \leq 5$).

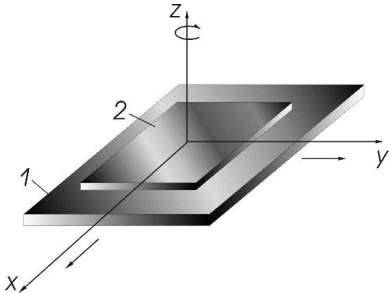
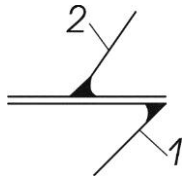
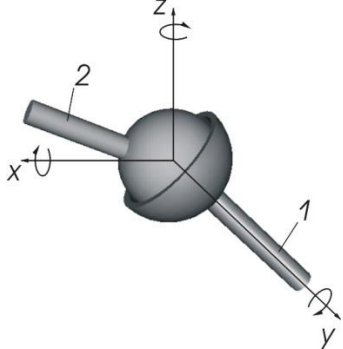

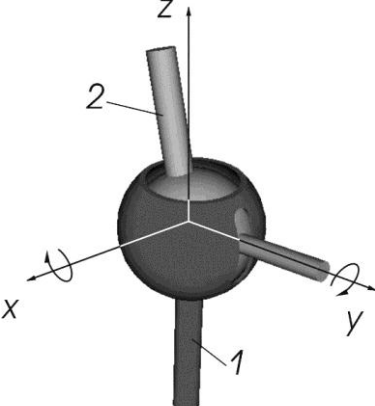

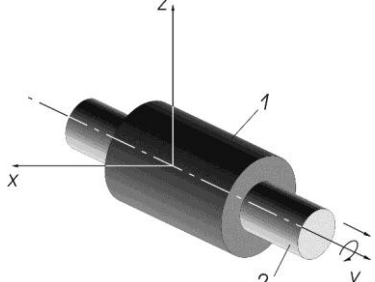
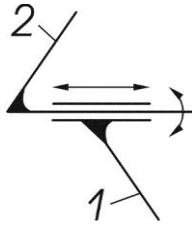
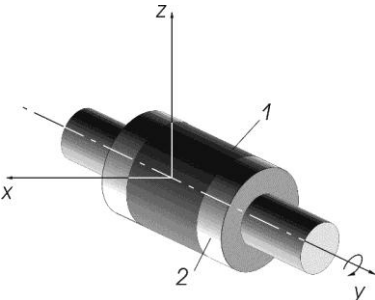
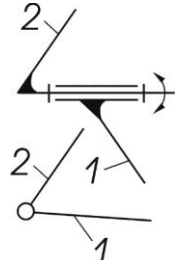
Клас кінематичної пари визначається числом S і позначається відповідною римською цифрою. Число ступенів вільності H , що залишилося, тобто кількість можливих елементарних відносних рухів ланок після їхнього з'єднання в кінематичну пару, визначається співвідношенням $H = 6 - S$, і навпаки: $S = 6 - H$.

У табл. 1 представлені найпоширеніші типи кінематичних пар і їхні умовні позначення, що використовуються при схематичному зображенні механізмів. На схемах прийнято ланки позначати арабськими цифрами, а кінематичні пари – великими літерами латинського алфавіту (зазвичай стояк позначають цифрою 0, яку часто не вказують).

Таблиця 1 – Класифікація кінематичних пар

Конструкція	Умовне позначення	Назва	<i>H</i>	<i>S</i>	Клас пари
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
		Куля – площина	5	1	<i>I</i>
		Циліндр – площина	4	2	<i>II</i>
		Куля – циліндр	4	2	<i>II</i>
		Циліндр – сфера з пальцем	3	3	<i>III</i>
		Циліндр – циліндр	3	3	<i>III</i>

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
		Площинна	3	3	III
		Сферична	3	3	III
		Сферична з пальцем	2	4	IV
		Циліндрична	2	4	IV
		Обертова	1	5	V

1	2	3	4	5	6
		Поступальна	1	5	V
		Гвинтова	1	5	V

Поверхні, лінії або точки ланки, по яких вона може стикатися з іншою ланкою, утворюючи кінематичну пару, називаються **елементами ланки**.

Кінематична пара, яка може бути виконана стиканням елементів її ланок тільки по лінії або в точках, називається **вищою кінематичною парою**. Прикладами таких пар є пари: куля – площина, циліндр – площина, куля – циліндр, циліндр – сфера з пальцем, циліндр – циліндр (див. табл. 1).

У механізмах прикладами цього виду пар є пари, що позначені на рисунку 2 літерою *C*: взаємодія кулачка 1 зі штовхачем 2 у кулачковому механізмі (рис. 2, *a*); зачеплення зубів коліс 1 і 2 у зубчастому механізмі (рис. 2, *б*).

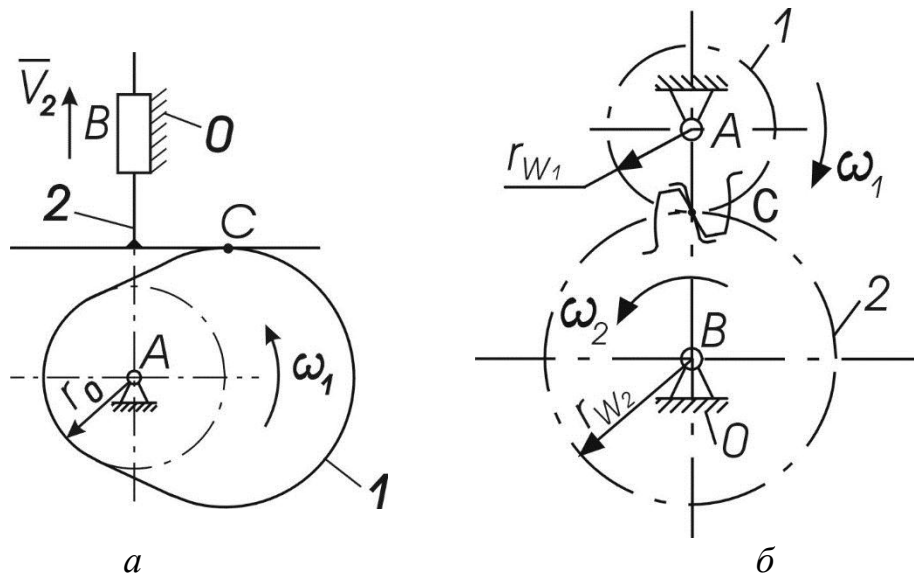
Кінематична пара, яка може бути виконана стиканням елементів її ланок тільки по поверхні, називається **нижчою кінематичною парою**. Прикладами таких пар є пари: площинна, сферична, сферична з пальцем, циліндрична, обертова, поступальна, гвинтова (див. табл. 1).

У механізмах прикладами цього виду пар є рухоме з'єднання осі або вала із втулкою, поршня із циліндром і т. п. На рисунку 2 такі пари позначені літерами *A* і *B*.

Найбільш поширені в механізмах нижчі обертові й поступальні кінематичні пари *V* класу, умовні позначення яких показані в таблиці 2. Ці кінематичні пари допускають тільки один відносний рух з'єднаних ланок. Вони називаються однорухомими й відносяться до нижчих кінематичних пар. Обертову кінематичну пару *V* класу часто називають циліндричним шарніром (скорочено – шарніром).

Досить широко застосовуються в механізмах кінематичні пари IV класу. Ці пари допускають одночасно два відносні рухи з'єднаних ланок і називаються дворухомими.

Кінематичні пари IV класу в плоских механізмах можуть бути тільки вищими (зворотне твердження невірне), а в просторових механізмах – нижчими (циліндричний шарнір, сферичний шарнір із пальцем). На рис. 2 показано приклади таких кінематичних пар C у плоских механізмах.



a – кулачковий механізм: 1 – кулачок; 2 – штовхач;

б – зубчастий механізм: 1 – шестірня; 2 – колесо

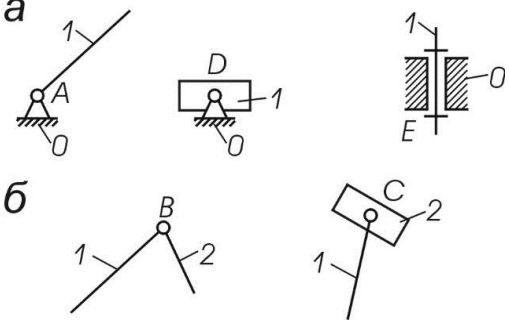
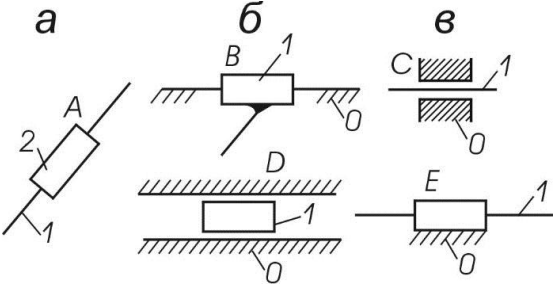
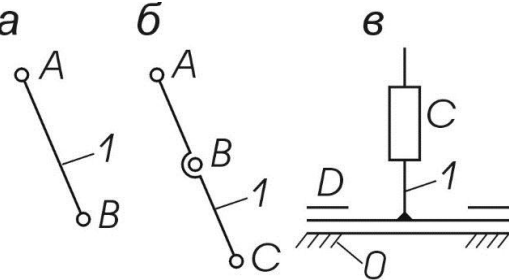
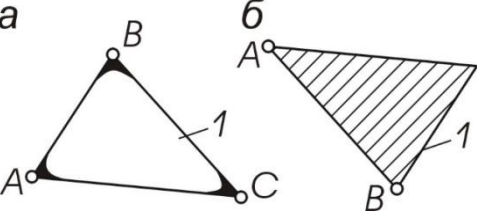
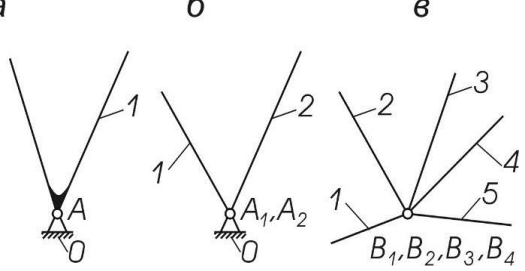
Рисунок 2 – Схеми механізмів із вищими кінематичними парами

Система ланок, що зв'язані між собою кінематичними парами, називається **кінематичним ланцюгом**. Усі кінематичні ланцюги поділяються на прості й складні. **Простим** ланцюгом називається такий ланцюг, у якому кожна ланка входить не більше як до двох кінематичних пар. **Складним** ланцюгом називається такий ланцюг, у якому є хоч одна ланка, що входить більше ніж до двох кінематичних пар.

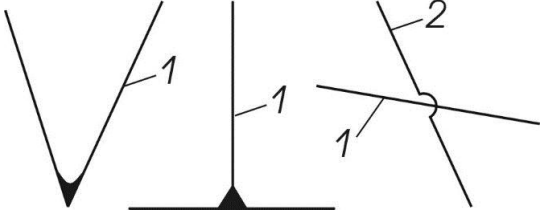
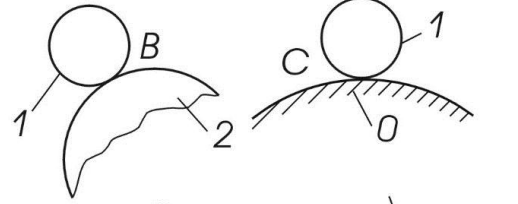
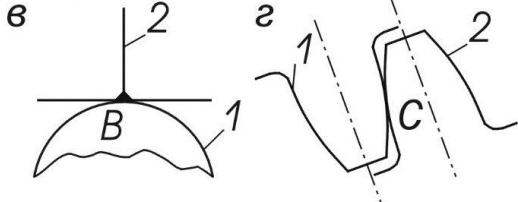
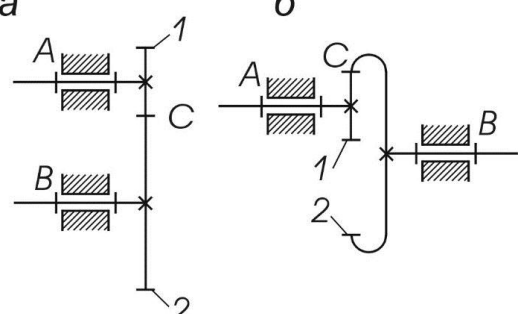
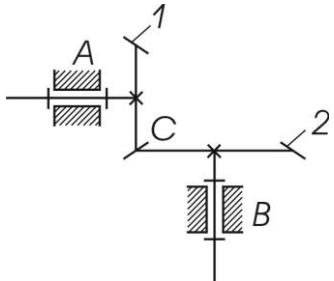
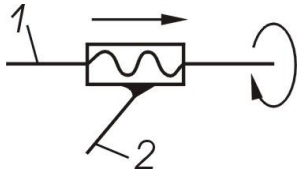
У свою чергу, прості й складні ланцюги поділяються на замкнуті й незамкнуті. У **незамкнутому** кінематичному ланцюгу є хоч одна ланка, що входить тільки в одну кінематичну пару, у **замкнутому** ланцюгу кожна ланка входить не менше як у дві кінематичні пари.

Залежно від форми руху ланок, кінематичні ланцюги поділяються на плоскі й просторові. **Плоским** кінематичним ланцюгом називається ланцюг, у якому при закріпленні однієї з ланок усі інші виконують плоский рух в одній або паралельних площинах. **Просторовим** кінематичним ланцюгом називається такий ланцюг, ланки якого можуть рухатися в просторі довільним чином. Просторові кінематичні ланцюги широко використовуються при проектуванні різних механізмів, зокрема маніпуляторів і роботів.

Таблиця 2 – Умовні зображення ланок і кінематичних пар плоских механізмів

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

Продовження таблиці 2

1	2	3
<p style="text-align: center;">а б</p> 	<p>Одна або дві ланки: а – одна ланка, що утворює жорсткий кут; б – дві перехресні ланки, не з'єднані між собою</p>	<p style="text-align: center;">–</p>
<p style="text-align: center;">а б</p>  <p style="text-align: center;">в г</p> 	<p>Вищі плоскі пари, утворені двома взаємодіючими ланками у вигляді: а – двох рухомих криволінійних профілів 1 і 2; б – рухомого 1 і нерухомого 0 профілів; в – криволінійного 1 і плоского 2 профілів; г – зубів зубчастих коліс, що перебувають у 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 і V</p>
	<p>Конічна зубчаста передача</p>	<p style="text-align: center;">IV і V</p>
	<p>Гвинтова пара: 1 – гвинт; 2 – гайка</p>	<p style="text-align: center;">V</p>

2.2 Основні типи найпростіших плоских важільних механізмів і їхнє схематичне зображення

Кожний механізм являє собою деякий кінематичний ланцюг, але не всякий кінематичний ланцюг є механізмом. **Механізмом** називається такий кінематичний ланцюг, у якому при завданні руху одній ланці або декільком ланкам усі інші ланки виконують однозначно визначені рухи відповідно до функціонального призначення цього механізму.

Плоским називається механізм, усі рухомі ланки якого здійснюють плоский рух в одній або в паралельних площинах.

Ланки, до яких прикладені сили, що приводять механізм у рух, називають **ведучими**. Усі інші ланки є **веденими**. Ведуча ланка найчастіше одночасно є і вхідною ланкою (скорочено – входом), а серед ведених ланок є вихідна ланка (скорочено – вихід). Як правило, у механізмі є один вхід і один вихід.

При схематичному зображенні механізму на кресленнях замість конструктивного зображення кінематичних пар і ланок зручно ввести умовні їхні зображення й представити механізм у вигляді кінематичної або структурної схеми.

Кінематична схема механізму – умовне зображення механізму, побудоване в певному масштабі з точним дотриманням усіх розмірів і форм, від яких залежить взаємний відносний рух ланок. Головна відмінність кінематичної схеми механізму від структурної схеми полягає в тому, що вона виконується в масштабі.

Структурна схема механізму – умовне зображення механізму, що показує стояк, рухомі ланки, види кінематичних пар і їхнє взаємне розташування.

При зображенні кінематичних схем механізмів необхідно користуватися умовними позначеннями кінематичних пар і ланок відповідно до діючих стандартів.

Для систематизованого вивчення всього різноманіття механізмів, що використовуються в сучасних машинах і приладах, існує конструктивно-функціональна класифікація, яка враховує основні кінематичні властивості й конструктивні особливості механізмів, а також їхнє функціональне призначення. Згідно із цією класифікацією механізми можна поділити на наступні основні види: важільні, кулачкові, зубчасті, фрикційні, із гнучкими ланками, гідравлічні, пневматичні, електромеханічні та ін.

На практиці часто використовуються різні комбінації з перерахованих типів механізмів, наприклад зубчато-важільні, кулачково-важільні, кулачково-зубчасті тощо.

Усі механізми, складені тільки з твердих тіл, поділяються на дві великі групи: механізми з нижчими кінематичними парами, які називаються

важільними або *стрижневими*, і механізми з вищими парами (зубчасті, кулачкові та ін.).

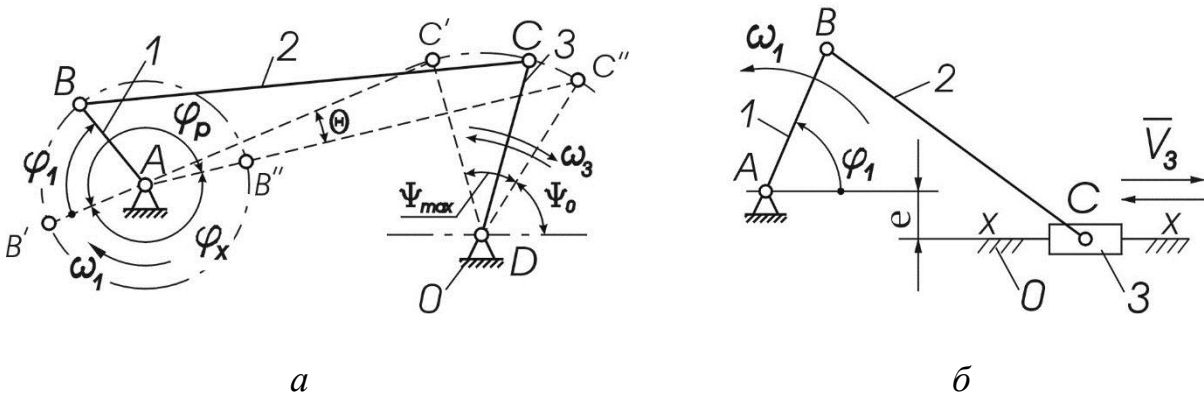
Серед важільних механізмів найбільш поширені плоскі *кривошипно-шатунні* й *кривошипно-кулісні* механізми.

На рис. 3 показані схеми двох різновидів кривошипно-шатунних механізмів: *а* – кривошипно-коромисловий механізм (шарнірний чотириланковик); *б* – кривошипно-повзунний механізм.

Шарнірний чотириланковик (рис. 3, *а*) має чотири ланки: стояк 0, ланки 1 і 3, що обертаються, і ланку 2, що здійснює плоский рух і називається шатуном.

Шатун – ланка, яка утворює обертові кінематичні пари тільки з рухомими ланками.

Ланка 1, що утворює обертову пару зі стояком і здійснює повний оберт навколо нерухомої осі, називається **кривошипом**. Як правило, кривошип є вхідною ланкою механізму.



а – кривошипно-коромисловий механізм;
б – кривошипно-повзунний механізм

Рисунок 3 – Схеми кривошипно-шатунних механізмів

Ланка 3, що утворює обертову пару зі стояком і здійснює коливальний рух навколо нерухомої осі, називається **коромислом** або **балансиром**. Тому цей механізм і називають **кривошипно-коромисловим** (або кривошипно-балансирним). Він слугує для перетворення обертового руху кривошипа 1 у зворотно-обертовий рух коромисла 3, причому, якщо кутова швидкість кривошипа $\omega_1 = const$, то кутова швидкість коромисла $\omega_3 \neq const$.

Призначення **кривошипно-повзунного механізму** (рис. 3, *б*) – перетворення обертового руху кривошипа 1 у зворотно-поступальний прямолінійний рух ланки 3, або навпаки. Ланка 3, що утворює зі стояком поступальну кінематичну пару й здійснює прямолінійний поступальний рух, називається **повзуном**.

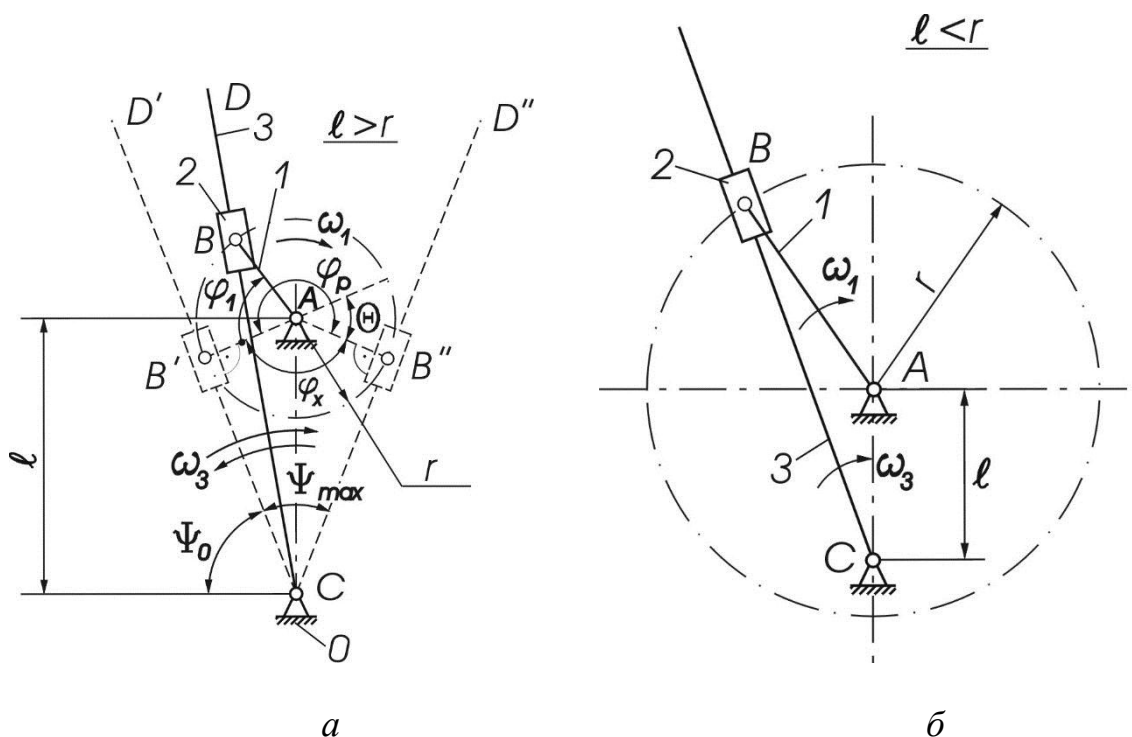
Якщо лінія *x-x* руху повзуна 3 проходить через центр *A* обертання кривошипа 1 ($e = 0$), то механізм називають **центральним**, або **аксіальним**, а якщо не проходить, то називають **дезаксіальним** (див. рис. 3, *б*).

Основна мета введення дезаксіала (зміщення e) – зменшення тиску на напрямну повзуна.

На рис. 3, *a* пунктиром показані **крайні положення** кривошипно-коромислового механізму. Крайними називаються такі положення механізму, із яких його вихідна ланка може рухатися тільки в одному напрямку. Механізми, що показані на рис. 3, займають крайні положення тоді, коли кривошип *1* і шатун *2* зливаються в одну лінію.

На рис. 4 показані схеми двох типів кривошипно-кулісних механізмів, які часто називають просто **кулісними** механізмами: *a* – із хитною кулісою, *б* – із обертовою кулісою.

Ланка *3*, що утворює з іншою рухомою ланкою *2* поступальну пару, називається **кулісою**, а ланка *2* – **кулісним каменем**. Куліса завжди являє собою рухому напрямну для каменя й у загальному випадку, крім обертового, може здійснювати як поступальний, так і плоский рух. Якщо в кулісному механізмі довжина стояка $AC = l$ більше довжини кривошипа $AB = r$ (рис. 4, *a*), то обертовий рух кривошипа *1* перетвориться у зворотно-обертовий (коливальний) рух ланки *3* із кутом розмаху Ψ_{max} . Якщо ж $l < r$, то одержимо механізм з обертовою кулісою (рис. 4, *б*).

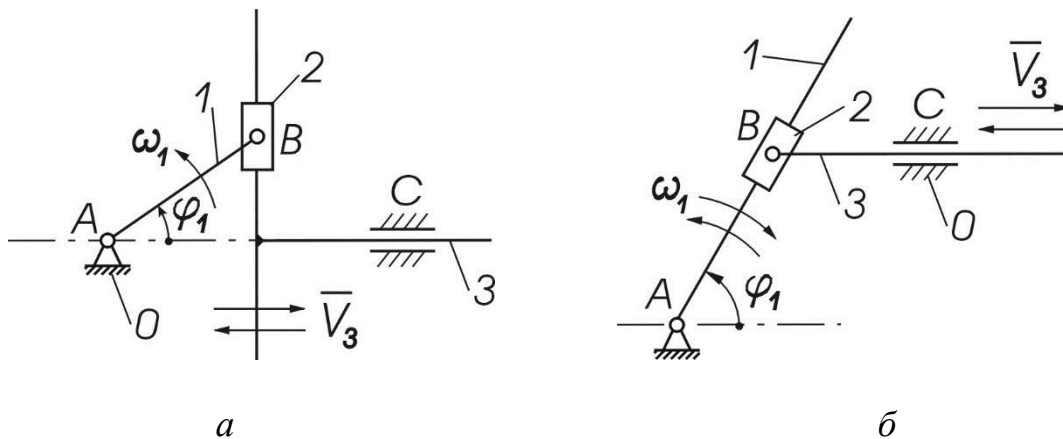


a – кривошипно-кулісний механізм із хитною кулісою;
б – кривошипно-кулісний механізм з обертовою кулісою
 Рисунок 4 – Схеми кривошипно-кулісних механізмів

Однією з головних особливостей кулісного механізму є те, що в цьому механізмі при рівномірному обертанні кривошипа *1* ($\omega_1 = const$) куліса *3* обертається зі змінною кутовою швидкістю ($\omega_3 \neq const$). На рис. 4, *a*

пунктиром показані **крайні положення** кулісного механізму, відповідні до положень куліси CD' і CD'' . Для розглянутого механізму це буде мати місце в тих випадках, коли кривошип займає положення, перпендикулярні кулісі, тобто $AB' \perp CD'$ і $AB'' \perp CD''$. При переході з одного крайнього положення в інше куліса CD повертається на один й той самий кут Ψ_{max} , а кривошип AB – на різні кути φ_p і φ_x (φ_p відповідає робочому ходу механізму, а φ_x – холостому ходу). Тому при постійній швидкості обертання кривошипа I час переходу куліси 3 з одного крайнього положення в інше виявляється різним і залежить від напрямку обертання кривошипа. Наведені на рис. 4, *a* позначення справедливі для випадку $\varphi_p > \varphi_x$, коли холостий хід повинен бути менш тривалим, ніж робочий, тобто $t_p > t_x$. Відповідно, різною виявляється й середня кутова швидкість куліси на робочому й холостому ходах. Аналогічні міркування можна було б привести й для характеристики руху коромисла в кривошипно-коромисловому механізмі.

На рис. 5 показані схеми кулісних механізмів, що застосовуються в керуючих пристроях і системах, що стежать. У цих механізмах лінійне переміщення вихідної ланки 3 пропорційно відповідним тригонометричним функціям кута φ_1 повороту вхідної ланки 1 .



a – кулісний механізм із веденою кулісою 3 , що поступально рухається (синусний механізм); *б* – кулісний механізм із хитною ведучою кулісою 1 (тангенсний механізм)

Рисунок 5 – Схеми кулісних механізмів

Важливою характеристикою властивостей механізму є його **рухомість** – число ступенів вільності механізму відносно стояка.

Рухомість W просторових механізмів визначається за формулою Сомова – Малишева:

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1,$$

де n – число рухомих ланок;
 p_5, p_4, p_3, p_2, p_1 – число кінематичних пар V, IV, III, II, I класів відповідно.

Рухомість плоских механізмів, які розглядаються в цій роботі, визначається за формулою Чебишева:

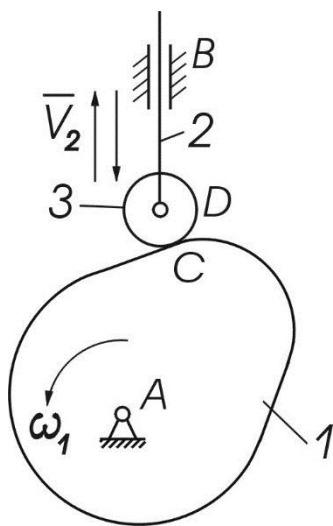
$$W = 3n - 2p_5 - p_4.$$

Рухомість механізму вказує необхідну кількість вхідних ланок (тобто необхідну кількість приводів), що забезпечують повну визначеність руху всіх його ланок.

Щоб уникнути помилок при визначенні рухомості плоских механізмів, необхідно знати, що крім ступенів вільності ланок і умов зв'язку, що активно впливають на характер руху механізмів, у них можуть зустрічатися також ступені вільності й умови зв'язку, які не чинять ніякого впливу на характер руху механізму в цілому.

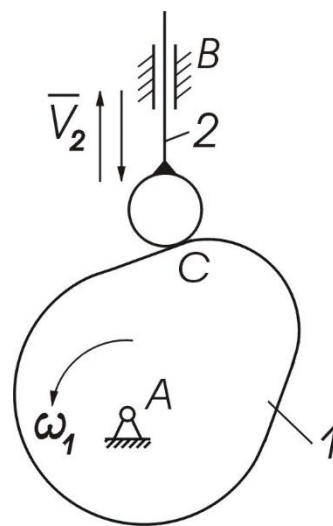
Видалення з механізмів ланок і кінематичних пар, яким ці ступені вільності й умови зв'язку належать, може бути зроблене без зміни характеру руху механізму в цілому. Такі ступені вільності називаються *зайвими ступенями вільності*, або *місцевими рухомостями*, а зв'язки – *надлишковими*, або *пасивними зв'язками*.

Прикладом однорухомого механізму із зайвим ступенем вільності може слугувати плоский *кулачковий механізм із роликівим штовхачем* (рис. 6, а). До складу цього механізму входять стояк і три рухомі ланки: 1 – кулачок, 2 – штовхач, 3 – ролик. Стояк і кулачок утворюють обертову кінематичну пару V класу, штовхач і стояк – поступальну пару V класу, штовхач і ролик – обертову пару V класу, кулачок і ролик – пару IV класу.



$$W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 3 - 1 = 2?$$

а



$$W = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 2 - 1 = 1$$

б

а – кулачковий механізм із зайвим ступенем вільності;

б – кулачковий механізм без зайвого ступеня вільності

Рисунок 6 – Схеми кулачкових механізмів

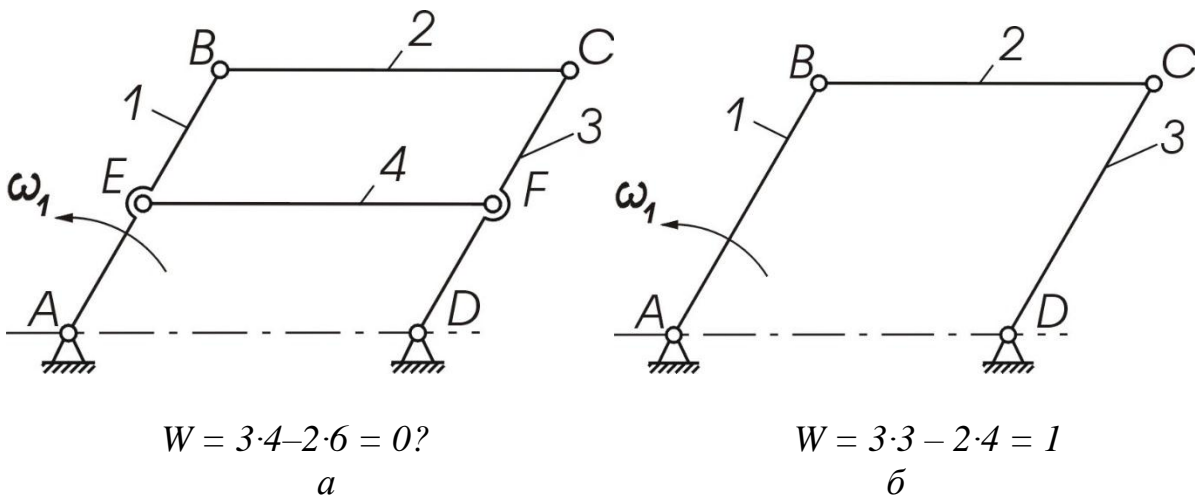
Тоді, виходячи з кількості рухомих ланок і кінематичних пар, рухомість механізму за формулою Чебишева

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

Проте очевидно, що в цьому механізмі досить знати положення одного кулачка, щоб однозначно визначити положення штовхача, тобто рухомість дорівнює одиниці, а не двом. Неважко переконатися, що ролик 3 створює зайвий ступінь вільності, він може перекочуватися й ковзати відносно кулачка, що не впливає на характер руху всього механізму. Ролик є конструктивним елементом, який введено для заміни тертя ковзання тертям кочення, тобто для зменшення сил тертя й зношення ланок

Для правильного підрахунку рухомості цього механізму й без усякого порушення характеру його руху необхідно вилучити зайву ступінь вільності (кінематичну пару D) і жорстко з'єднати штовхач із роликом (рис. 6, б). Таким чином, кулачок 1 і штовхач 2 будуть безпосередньо з'єднані кінематичною парою IV класу.

Як приклад однорухомого механізму з пасивними зв'язками можна привести *механізм спарника* (паралельних кривошипів) (рис. 7, а), розміри ланок якого повинні задовольняти умовам: $AB = CD$, $AD = BC = EF$, $AE = BE$, $DF = CF$.



а – механізм спарника з пасивними зв'язками;
б – механізм спарника без пасивних зв'язків
 Рисунок 7 – Схеми механізму спарника

Таким чином, при русі цього механізму фігура $ABCD$ – завжди паралелограм, і без усякого порушення характеру його руху можна ланку 4 (або ланку 2) вилучити (рис. 7, б), оскільки ця ланка, що входить у дві обертові кінематичні пари E і F , накладає на рух механізму умови зв'язку, що є надлишковими (пасивними), і якщо цього не враховувати, то це призводить до помилки при визначенні рухомості ($W = 0$), нібито механізм являє

собою жорстку нерухому ферму, а насправді він еквівалентний механізму шарнірного чотириланковика. Пасивні зв'язки вводять у механізм із метою підвищення жорсткості й навантажувальної здатності окремих вузлів механізмів.

З урахуванням сказаного, формула Чебишева може бути записана в наступному вигляді:

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 - W_3 + q_n,$$

де W_3 – кількість зайвих ступенів вільності в механізмі;

q_n – кількість пасивних зв'язків.

2.3 Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні відомості, викладені в пп. 2.1 і 2.2.
2. Одержати від викладача діючу модель механізму.
3. Повертаючи за допомогою рукоятки вхідну ланку механізму, вивчити характер руху всіх його ланок, визначити їхню кількість й дати їм назви, установити тип механізму та його функціональне призначення.
4. Спостерігаючи за відносним рухом ланок, визначити види й класи кінематичних пар, що з'єднують ланки.
5. Зупинивши механізм у найбільш наочному положенні (щоб ланки по можливості не перекривали одна одну), накреслити його структурну схему, приблизно дотримуючись співвідношення розмірів ланок. При кресленні структурної схеми механізму слід користуватися умовними позначеннями кінематичних пар і ланок (див. табл. 2).
6. Пронумерувати ланки й позначити буквами кінематичні пари. При цьому, якщо в одній точці механізму розташовано кілька кінематичних пар, їх можна позначити або різними буквами, або однаковими буквами з різними індексами (наприклад, A_1, A_2, A_3 і т. д.). Слід мати на увазі, що якщо в одній точці шарнірно з'єднані n ланок, то вони утворюють $(n - 1)$ кінематичних пар.
7. Заповнити таблиці 1 і 2 протоколу (зразок протоколу див. у додатку А).
8. Визначити рухомість механізму.
9. Зробити висновок про кількість вхідних ланок і тип досліджуваного механізму.
10. Оформити протокол лабораторної роботи й підготуватися до її захисту.

3 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що є предметом вивчення теорії механізмів і машин?
2. Дайте визначення машини й механізму.
3. Які ланки механізму є вхідними й вихідними?
4. Що називається кінематичною парою?
5. Як визначається клас кінематичної пари?
6. Назвіть основні ознаки вищої і нижчої кінематичних пар, приведіть приклади.
7. Назвіть основні види просторових кінематичних пар, покажіть їхні умовні позначення.
8. Наведіть приклади однорухомих кінематичних пар і покажіть їхні умовні позначення.
9. Наведіть приклади плоских дворухомих кінематичних пар та їхні умовні позначення.
10. Що називається кінематичним ланцюгом?
11. Наведіть класифікацію кінематичних ланцюгів.
12. Чи є будь який кінематичний ланцюг механізмом і навпаки?
13. Які механізми називаються плоскими?
14. Які ланки механізму є ведучими?
15. Дайте визначення кінематичної схеми механізму.
16. Укажіть основну відмінність структурної схеми механізму від кінематичної.
17. На які групи поділяють механізми за конструктивно-функціональною ознакою?
18. Які механізми називаються важільними? Наведіть приклади.
19. Назвіть характерні ознаки кривошипа, шатуна, коромисла, повзуна, штанги, напрямної, куліси, кулачка, зубчастого колеса.
20. Накресліть структурні схеми кривошипно-коромислового, кривошипно-повзунного, кривошипно-кулісного механізмів.
21. Які положення важільних механізмів називаються крайніми?
22. Яким параметром визначається кількість вхідних ланок механізму?
23. Що називається рухомістю механізму?
24. Запишіть формулу Сомова – Малишева й назвіть величини, що входять до неї.
25. Запишіть формулу Чебишева й назвіть величини, що входять до неї.
26. Дайте поняття зайвих ступенів вільності у механізмах. До чого може призвести їхнє неврахування?
27. Дайте поняття пасивних зв'язків у механізмах. З якою метою їх вводять?

СПИСОК 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. **Артоболевский, И. И.** Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – 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.

ДОДАТОК А

ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ПРОТОКОЛУ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

ДДМА

Кафедра ОПМ

Факультет машинобудування, група ПТМ-19-1

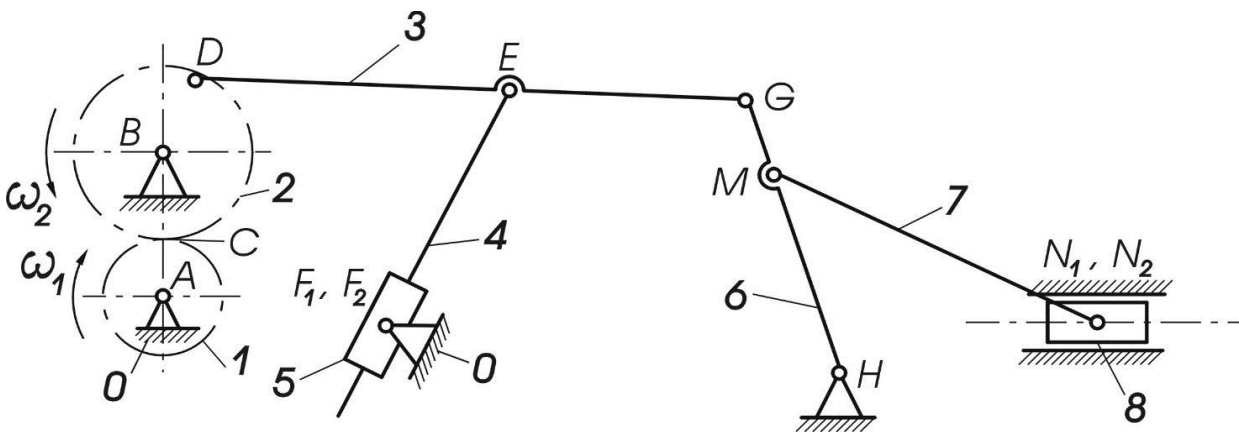
Студент Скрипка П.І.

Дисципліна «Теорія механізмів і машин»

Протокол лабораторної роботи № 1

КОНСТРУКТИВНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ, СКЛАДАННЯ СХЕМ І ВИВЧЕННЯ СТРУКТУРНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ МЕХАНІЗМІВ

1. Структурна схема механізму (модель № 51)



2. Ланки механізму

Номер ланки	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Характер руху ланки	нерухомо	обертотвий	обертотвий	плоский	плоский	коливальний	коливальний	плоский	поступальний
Назва ланки	стояк	зубчасте колесо	зубчасте колесо	шатун	куліса	кулісний камінь	коромисло	шатун	повзун

3. Кінематичні пари

Літерне позначення кінематичної пари	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F₁</i>	<i>F₂</i>	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>M</i>	<i>N₁</i>	<i>N₂</i>
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	<i>обертальна</i>	<i>обертальна</i>	<i>вища</i>	<i>обертальна</i>	<i>обертальна</i>	<i>поступальна</i>	<i>обертальна</i>	<i>обертальна</i>	<i>обертальна</i>	<i>обертальна</i>	<i>обертальна</i>	<i>поступальна</i>
Клас пари	V	V	IV	V	V	V	V	V	V	V	V	V

4. Рухомість механізму визначаємо за формулою Чебишева:

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 - W_3 + q_n,$$

де $n = 8$ – кількість рухомих ланок;

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

$p_4 = 1$ – кількість кінематичних пар IV класу;

$W_3 = 0$ – кількість зайвих ступенів вільності;

$q_n = 0$ – кількість пасивних зв'язків.

Тоді: $W = 3 \cdot 8 - 2 \cdot 11 - 1 = 1$.

5. **Висновок:** досліджуваний механізм є плоским зубчасто-важільним механізмом, що має одну вхідну ланку і слугує для перетворення обертового руху зубчастого колеса 1 у зворотно-поступальний рух повзуна 8 і в коливальний рух кулісного каменя 5.

Роботу виконав: _____
(підпис)

Роботу прийняв: _____
(підпис)

Дата: _____

Дата: _____

Навчальне видання

ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН

Методичні вказівки

до лабораторної роботи 1
**«Конструктивно-функціональна класифікація,
складання схем і вивчення структурних особливостей
механізмів»**

для студентів технічних спеціальностей

Укладачі: ЧОСТА Наталія Вікторівна,
ЗАГУДАЄВ Віктор Олексійович

Редагування О. О. Дудченко

16/2020. Формат 60 x 84/16. Умовн. друк. арк. 1,4.
Обл.-вид. арк. 1,09. 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