



***О.П.Заховайко***

*Доцент кафедри динаміки і міцності машин  
та опору матеріалів*

*(Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”)*

# ***Теорія механізмів і машин***

***Курс лекцій для студентів спеціальності  
„Динаміка і міцність машин”***

***Київ-НТУУ “КПІ”-2015***

# Лекція №1

## Розділ I. ВСТУП

Як навчальній дисципліні теорії механізмів і машин належить одне з найважливіших місць серед фундаментальних загальноінженерних дисциплін, які лежать в основі фахової підготовки майбутніх інженерів-механіків. Вона базується на механіко-математичній підготовці, що забезпечується попередніми курсами: “Вища математика”, “Фізика”, “Нарисна геометрія та інженерна графіка”, “Теоретична механіка”, “Інформатика”.

1

Являючись основою або будучи тісно пов'язаною з такими загальноінженерними та спеціальними дисциплінами як “Деталі машин”, “Теорія коливань і стійкість руху”, “Основи робототехніки”, теорія механізмів і машин ставить перед майбутніми інженерами такі завдання:

- **знати** основні закони кінематики та динаміки механізмів та їх систем; принципи реалізації руху за допомогою механізмів, взаємодії механізмів у машині, які обумовлюють кінематичні та динамічні властивості механічної системи; загальні методи аналізу та синтезу різних типів механізмів;
- **вміти** на практиці реалізувати системні підходи до проектування машин і механізмів; знаходити кінематичні та динамічні характеристики механізмів за допомогою сучасних аналітичних та графоаналітичних методів; визначати оптимальні параметри механізмів за заданими умовами роботи;
- **набути навичок** використання вимірювальної апаратури та приладдя для визначення кінематичних та динамічних параметрів машин і механізмів; розробки алгоритмів програм розрахунків параметрів на ЕОМ, виконання конкретних розрахунків

**Історична довідка.** Розвиток людського суспільства тісно пов'язаний з використанням та удосконаленням механізмів: від простого важеля на зорі цивілізації до надскладних механічних систем сьогодення.

Найпростіші механізми (важільні, зубчасті) широко використовувались уже в древньому Єгипті та інших цивілізаціях античності.

Епоха Відродження в Європі ознаменувалась не тільки надзвичайними досягненнями в медицині, літературі, мистецтві, але й в технічній сфері. Варто згадати Леонардо да Вінчі, який залишив нащадкам креслення складних механізмів ткацьких та деревообробних верстатів, літальних апаратів і т. ін. На півстоліття пізніше творив знаменитий італійський лікар і

математик Д. Кардан, який досліджував роботу механізмів годинників та млинів.

У XVIII сторіччі почало формуватись машинобудування як галузь промисловості. Його подальший розвиток був неможливим без розробки наукових основ створення досконалих механізмів і машин. Значний внесок у розвиток механіки у XVIII сторіччі зробили французькі вчені Г. Амонтон і Ш. Кулон, які вивчали закони тертя. Видатний швейцарський математик і механік Л.Ейлер розв'язав ряд задач кінематики і динаміки, вивчав коливання пружних тіл. Він же запропонував евольвентний профіль для зубчастих коліс

Теорія механізмів і машин як наука почала формуватись на початку XIX сторіччя. Її подальші успіхи були пов'язані з іменами таких вчених як Ф. Грасгоф і Ф. Рело (Німеччина), С. Робертс і Р. Вілліс (Англія), Т. Олів'є (Франція), П.Л. Чебишев, М. Петров, В. Горячкін, М. Жуковський, В. Ассур, І. Артоболовський (Росія).

У XX столітті темпи науково-технічного прогресу були надзвичайно високими. Бурхливо розвивалось машинобудування. На зміну мануфактурам XIX століття прийшли автоматизовані виробництва, оснащені високоточними машинами-автоматами. З'явилися повністю автоматизовані підприємства. Настала ера робототехніки, високорентабельних комп'ютеризованих виробництв. Зросли, з одного боку, вимоги до якості створюваних машин і механізмів, а з іншого – з'явилися величезні можливості для розв'язання найскладніших задач синтезу і аналізу, які постають перед проектувальниками. Причому задач, які до впровадження потужних ЕОМ не могли бути розв'язаними. Удосконалювались методи розв'язку цих задач. Накопичувались нові знання в галузі теорії машин і механізмів.

Значний вклад в розвиток теорії механізмів і машин в XX столітті внесли українські вчені. Потужні школи механіків виникли в Києві, Харкові, Одесі, Дніпропетровську. Відомі далеко за межами нашої держави імена таких українських вчених в цій галузі, як С.Н. Кожевников, К.І. Заблонський, Б.І. Костецький, Ф.К. Іванченко та ін.

**Основні проблеми і завдання.** Досягнення теорії механізмів і машин є беззаперечними. Проте слід відзначити, що на сьогодні набагато більш розвиненою є теорія механізмів, на відміну від теорії машин.

В теорії механізмів вивчають такі методи дослідження властивостей механізмів та проектування схем (аналіз і синтез), які є загальними для всіх або для певних груп механізмів, незалежно від конкретного призначення машин, приладів, апаратів. Наприклад, один і той самий механізм, виконаний у вигляді пасової або зубчастої передачі, можна зустріти в автомобілях, верстатах, точних приладах.

Якість створюваних машин і механізмів багато в чому залежить від повноти розробки та застосування загальних методів проектування. Чим повніше будуть враховані вже на стадії проектування критерії

продуктивності, надійності, точності, економічності, тим досконалішими будуть створені конструкції.

Вміння застосовувати методи кінематичного і динамічного дослідження механізмів і машин абсолютно необхідне і при складанні розрахункових схем та моделюванні умов навантаження конструкцій і їх елементів для подальших розрахунків на міцність, жорсткість і стійкість, а також для коректної постановки експерименту.

## Розділ 2. СТРУКТУРА МЕХАНІЗМУ

Механізм є основою будь-якої машини. Коротко можна означити так:

2

Людство за свою історію створило безліч різноманітних механізмів. Тому, як і в будь-якій іншій природничій науці, в теорії механізмів і машин розроблені свої принципи (системи) класифікації. Їх на сьогодні існує кілька:

- за структурною ознакою;
- за способом передачі руху;
- за функціональною ознакою;
- за характером рухів ланок механізму;
- за конструктивною ознакою або типом механізму.

### Тема 2.1 . ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ТА ОЗНАЧЕННЯ

#### 2.1.1. Ланка, деталь

3

На рис.2.1 показане умовне зображення кривошипно-повзункового механізму. Більш загальне означення для таких механізмів – кривошипно-шатунні. Ланками його являються кривошип 1 – ланка, яка здійснює повний оберт за цикл руху механізму; шатун 2 – ланка, яка виконує плоско-паралельний рух; повзун або поршень 3 і стояк як нерухома ланка.

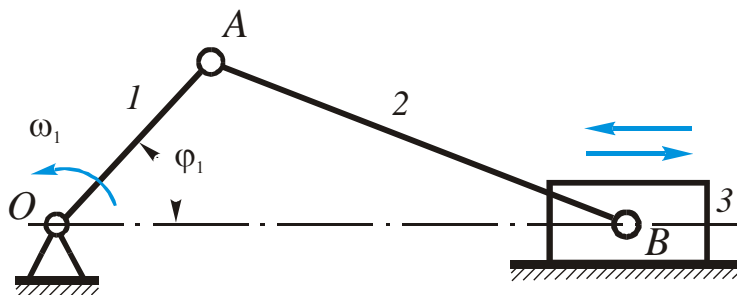


Рис.2.1 Кривошипно-повзунковий механізм

4

Між деталями у ланці немає відносних рухів.

На рис. 2.2 зображений шатун (ланка 2 на рис. 1.1). Тут 1, 2, 3, 4 – деталі ланки.

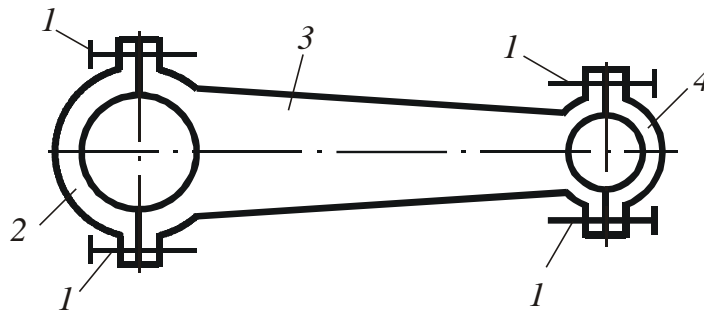


Рис. 2.2 Ланка та її деталі

### 2.1.2. Кінематична пара



На рис. 2.1 літерами *O*, *A* і *B* позначені кінематичні пари.

Розрізняють такі види кінематичних пар:

- 1) плоскі та просторові;
- 2) обертальні (рис. 2.3 а) та поступальні (рис. 2.3 б) пари;
- 3) нижчі (рис. 2.3) та вищі (рис. 2.4).

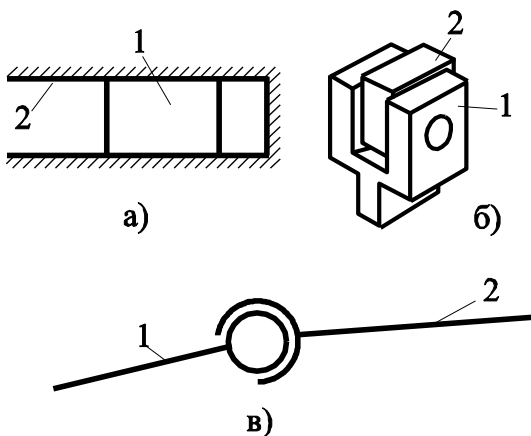


Рис. 2.3 Нижчі пари: а – поступальна пара; б – обертальна пара; 3 – сферичний шарнір

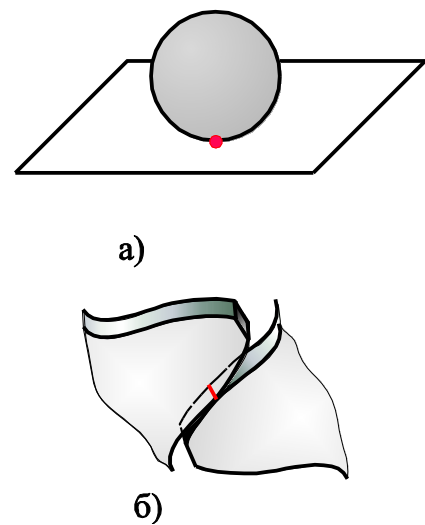
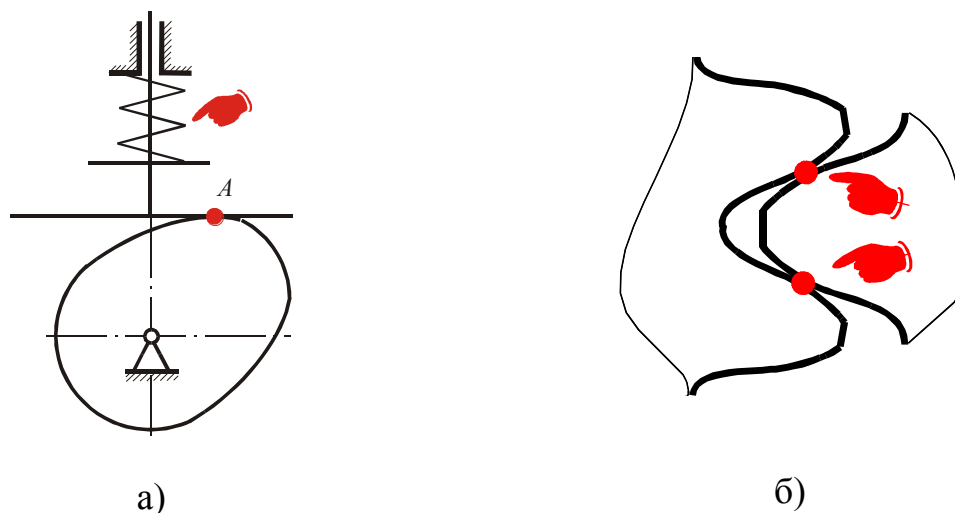


Рис. 2.4 Вищі пари: а – контакт у точці; б – контакт по лінії

У нижчих парах контакт між ланками відбувається по поверхні; а у вищих – по лінії або в точці.

Вищі пари мають ряд особливостей:

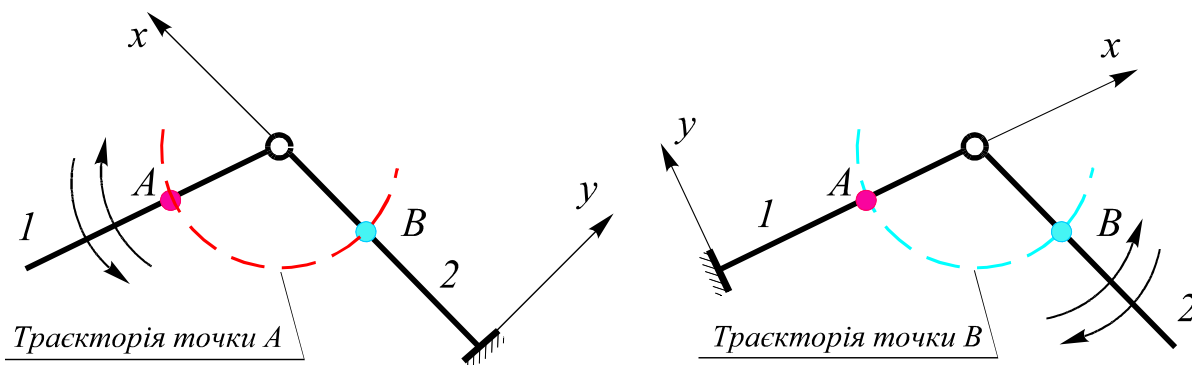
- вони вимагають примусового замикання: силового (рис. 2.5 а) або геометричного (рис. 2.5 б);



**Рис. 2.5 Способи примусового замикання вищих кінематичних пар: а – силове замикання; б – геометричне замикання**

- питомий тиск у зоні контакту в них вищий, ніж в нижчих кінематичних парах
- вони, на відміну від нижчих кінематичних пар, не мають властивості оберненості, що проявляється у залежності закону відносного руху ланок від вибору системи координат.

На рис. 2.6 показана нижча кінематична пара. З рисунка видно, що, незалежно від того, з якою з ланок зв'язати систему координат, точки цих ланок у відносному русі переміщуватимуться по однакових траєкторіях. У вищій же парі, яку утворюють коло і пряма (рис. 2.7 а) і б)), при перекочуванні кола по прямій (система координат пов'язана з прямою) кожна точка кола описує циклоїду (рис. 2.7 а). А якщо систему координат зв'язати з колом, тобто перекочувати пряму по колу, її точки описуватимуть евольвенти (рис. 2.7 б).



**Рис. 2.6 Реалізація принципу оберненості руху в нижчій кінематичній парі**

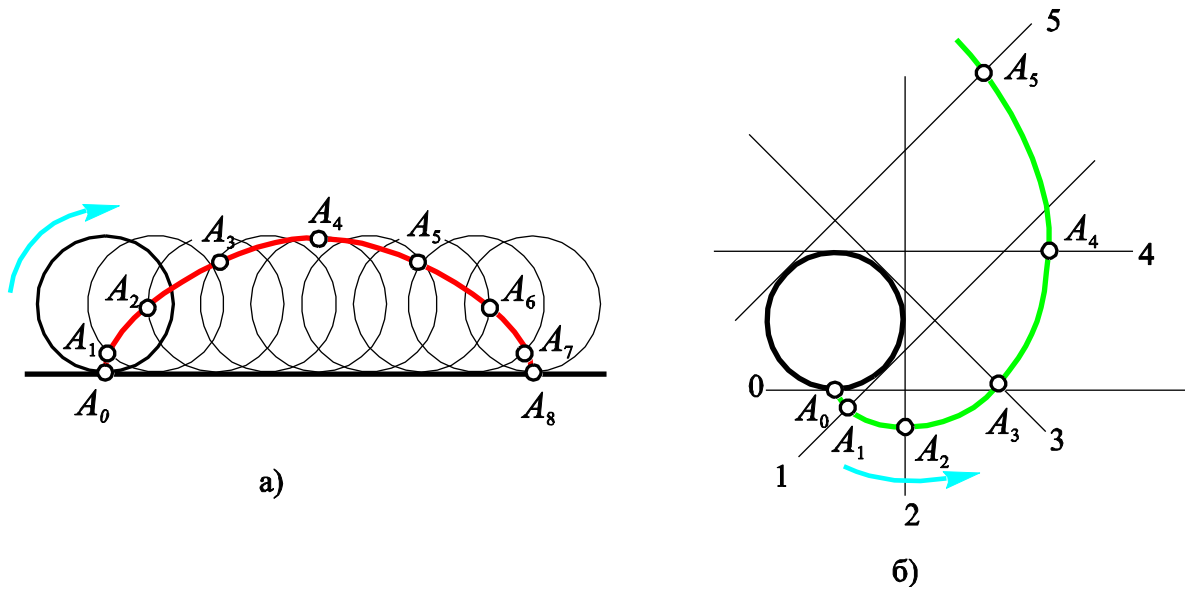


Рис. 2.7 Циклоїда (а) та евольвента (б)

Кінематичні пари класифікуються за числом в'язей, які накладаються їх елементами на відносний рух ланок (рис. 2.8).

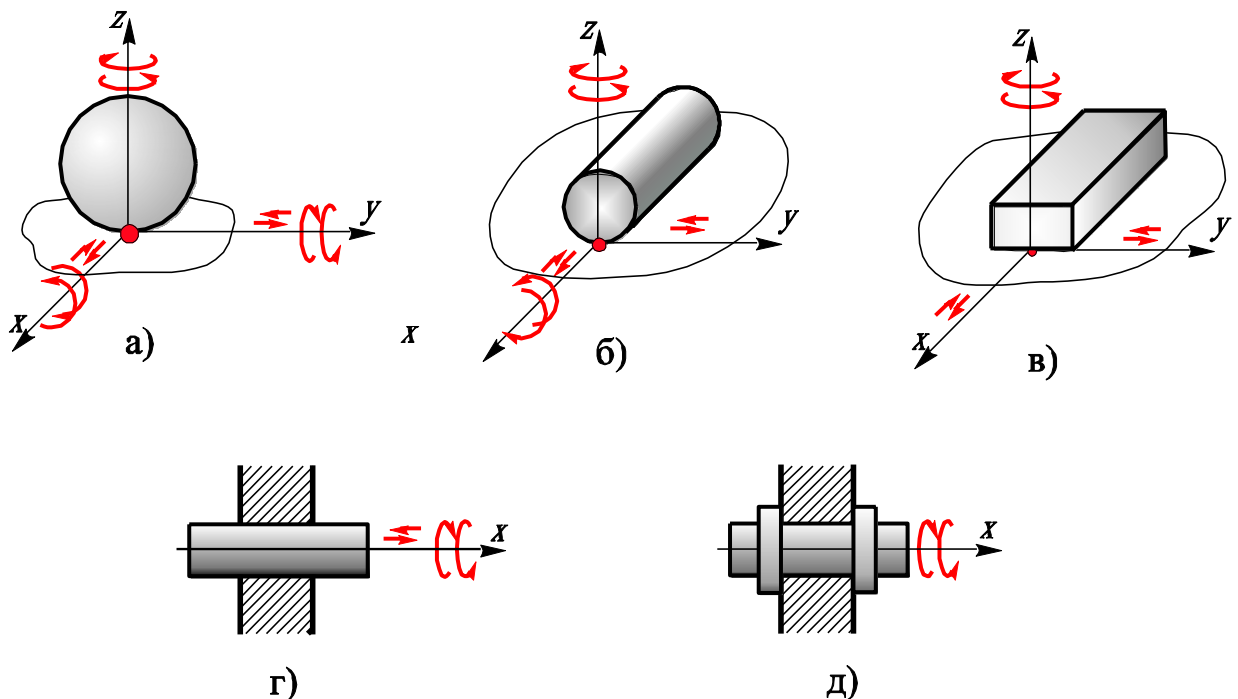


Рис. 2.8 Приклади кінематичних пар: а – 1-го класу; б – 2-го класу; в – 3-го класу; г – 4-го класу; д – 5-го класу

Під *в'язями* в механіці розуміють обмеження, що накладаються на положення і швидкості точок механічної системи, які виконуються за будь-яких діючих на систему сил.



Координати точок механічної системи і їх швидкості задовольняють рівнянням в'язей.

Розрізняють в'язі геометричні, диференціальні, голономні та неголономні. У теорії механізмів розглядаються *геометричні ідеальні в'язі*. Під *ідеальними* розуміють такі в'язі, для яких сума робіт всіх реакцій на можливих переміщеннях системи дорівнює нулю.

6

На рис. 2.8 наведені приклади пар різних класів. Тут стрілочками показані можливі рухи, що допускаються парою.

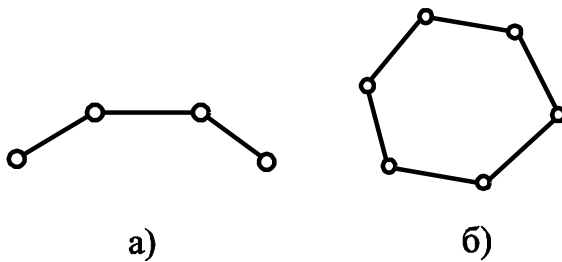
### 2.1.3. Кінематичний ланцюг

7

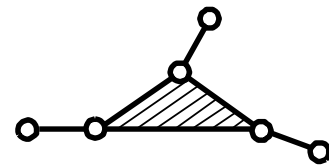
Розрізняють кінематичні ланцюги:

- 1) відкриті (рис. 2.9 а) та замкнені (рис. 2.9 б)
- 2) прості (рис. 2.9) та складні (рис. 2.10), які містять базисні ланки, тобто ланки, що утворюють більш ніж дві кінематичні пари;
- 3) просторові та плоскі.

У плоскому ланцюзі ланки рухаються в паралельних площинах.



**Рис. 2.9 Прості кінематичні ланцюги: а – відкритий; б – замкнений**



**Рис. 2.10 Складний кінематичний ланцюг**

Механізм теж є кінематичним ланцюгом. Можна сформулювати таке означення.

8

9

10

#### 2.1.4. Рухливість кінематичного ланцюга

**Узагальнені координати.** Як відомо, положення тіла в просторі визначається шістьма незалежними координатами: три координати точки початку рухомої системи осей, пов'язаної з тілом, відносно нерухомих осей і три кути Ейлера, які визначають поворот цієї системи відносно нерухомої.

Координати, які повністю визначають положення механічної системи в просторі, називаються *узагальненими координатами*.

Для кривошипно-шатунного механізму (див. рис. 2.1) як узагальнену координату можна розглядати кут повороту кривошипа. Тобто тут усього одна узагальнена координата.

**Початкові ланки.** Це ланки, з яких починають визначати положення всього механізму.

11

Початкові та вхідні ланки не обов'язково збігаються. В принципі початковою може бути будь-яка ланка механізму, в тому числі і вихідна, і проміжна, якщо це спрощує аналіз механізму. Тобто вибирають початкову ланку, керуючись доцільністю.

Кількість початкових ланок механізму дорівнює кількості узагальнених координат.

**Число ступенів свободи механізму.** Кожна ланка поза кінематичним ланцюгом має шість ступенів свободи. Якщо ми маємо  $m$  ланок, то загальний ступінь свободи дорівнює  $6m$ , а значить і  $6m$  узагальнених координат.

Якщо ми говоримо про кінематичний ланцюг, то, оскільки в'язі в кінематичних парах геометричні, тобто накладають обмеження лише на переміщення точок ланок, число ступенів свободи ланцюга збігається з числом узагальнених координат.

Якщо нерухому систему координат пов'язати з однією з ланок, то говорять про *ступінь рухливості кінематичного ланцюга* відносно цієї ланки. Оскільки у механізмі є нерухома ланка – стояк, то саме з ним пов'язують систему координат і кажуть про *ступінь рухливості механізму відносно стояка*.

При геометричних в'язях ступінь рухливості можна визначити за різницею між загальним числом узагальнених координат рухомих ланок та числом рівнянь в'язей, якщо ці рівняння незалежні, тобто жодне з них не можна отримати як наслідок інших.

Позначимо  $5p_5$  – кількість обмежень, що накладаються на ланки механізму парами 5-го класу ( $p_5$  – число пар 5 класу);  $4p_4$  – число обмежень, накладених парами 4 класу ( $p_4$  – число пар 4-го класу) і т.д.

Можлива кількість узагальнених координат –  $6n$ , де  $n = t - 1$  – кількість рухомих ланок механізму.

Тоді ступінь рухливості механізму можна знайти за формулою:

(2.1)

Це формула Сомова-Малишева для просторового механізму.

Для плоского механізму, де площина автоматично накладає три обмеження на можливі рухи ланок, а значить можливі лише два типи кінематичних пар – 5-го (нижчі) і 4-го (вищі) класів, Формула (1.1) набуде вигляду

(2.2)

Рівняння (1.1), (1.2) називаються структурними рівняннями механізмів.