

УДК 621.0

**ОПТИМІЗАЦІЯ ФОРМУЛ БУДОВИ ПЛОСКИХ ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ**

В.О. ПИЩИКОВ, Б.В. ОРЛОВСЬКИЙ

Київський національний університет технологій та дизайну

*Проведено критичний аналіз складу та конфігурацій формул будови плоских важільних механізмів, які використовуються в сучасній літературі. Запропоновані доцільні зміни, доповнення та уніфікація формул будови механізмів згідно з структурною класифікацією Ассура-Артоболевського*

Структура та класифікація плоских важільних механізмів, що була розроблена Леонідом Володимировичем Ассуром (1878-1920) [1] та розвинута й суттєво змінена в царині класифікації структурних груп академіком Іваном Івановичем Артоболевським (1905-1977) [2] визнана найбільш раціональною й досконалою системою – своєрідною «таблицею елементів», що поєднала вчення про структуру й класифікацію з методами аналізу, синтезу та розрахунків плоских важільних механізмів [3].

Співавтор і біограф І.І. Артоболевського академик А.Н. Боголюбов у роботі [3] зауважив: «Чисельні розробки з структури і класифікації механізмів не були завершені І.І. Артоболевським, вони розвиваються та будуть і далі розвиватися».

Свідченням рівня розвитку кожної науки або її складової, є стан її термінології. Повнота та чіткість термінів безпосередньо й надійно свідчать про те, що понятійний апарат даної науки достатньо опрацьований. У свою чергу широка постановка будь-якої проблеми, в усіх випадках має спиратися на ретельно розроблений комплекс основних понять. В цьому сенсі структурна класифікація Ассура-Артоболевського не досягла необхідної сталості та завершеності.

**Об'єкти та методи дослідження**

У роботі [4] автори запропонували доцільні доповнення до структурної класифікації Ассура-Артоболевського, зокрема запровадження умовних позначень *видів* та доцільних відозмін (модифікацій) структурних груп II класу, довели необхідність визнання та використання двох рівнозначних варіантів (5a, 5b) п'ятого виду структурної групи II класу. Нижче розглянуто ще один аспект необхідних доповнень, спрямований на удосконалення та уніфікацію змісту та конфігурації так званих *формул будови* плоских важільних механізмів.

Структурна класифікація Ассура-Артоболевського передбачає визначення *класу* механізму по найвищому класу структурної групи, що входить до його складу. Так, механізм утворений приєднанням до ведучої ланки (механізму I класу), однієї або декількох груп Асура II класу відносять до *механізмів II класу*, а механізм у складі якого є структурна група III або IV класів, відносять, відповідно, до механізмів III і IV класів.

Таке визначення та відповідний запис, наприклад, «механізм II класу» містить замало необхідної інформації щодо будови механізму, його структурної сутності, кінематичних особливостей.

Вочевидь тому, С.І. Артоболевський – брат академіка І.І. Артоболевського, запропонував складати так звані *формули будови механізмів*, стверджуючи, що після визначення ступеня вільності механізму, класів його структурних груп, послідовності приєднання груп при утворенні механізму «... результати структурного аналізу в стислій, але досить повній і зручній для подальших досліджень формі можна записати склавши *формулу будови механізму*» [5].

Для складання формул будови механізмів С.І.Артоболевський, всупереч вже існуючим умовним позначенням класів структурних груп римськими цифрами (II, III, IV...), «закріпив» за групами Ассура відповідні арабські цифри 2,3,4, додаючи до них, у вигляді нижніх індексів, цифри 2,3,4..., що визначають порядок структурних груп, тобто показник кількості вільних (зовнішніх) елементів кінематичних пар, якими кожна структурна група приєднується до ланок механізму. Оскільки структурна група II класу, складається з двох ланок і має лише одне значення порядку, то для цієї групи автор запропонував відповідний індекс «2» у формулах будови не позначати. Розглядаючи можливі варіанти формул будови, автор для механізму III класу з двопарною ведучою ланкою (рис.1) запропонував у якості формули будови такий вираз:

$$I - [2,3] - [6, (5), 4, 7], \tag{1}$$

де цифрою *I* позначена ведуча ланка, тобто механізм I класу згідно з класифікацією І.І.Артоболевського; вираз [2,3] визначає структурну групу II класу, яка утворює ланки 2 і 3; вираз [6,(5),4,7] за кількістю ланок визначає структурну групу III класу з виділенням круглими дужками її базової ланки (5).

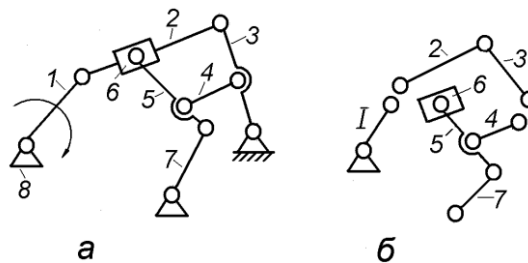


Рис.1. Восьмиланковий механізм III класу:  
*a* – схема механізму; *б* – розчленування механізму на структурні групи

Після деяких міркувань автор [5] на прикладі механізму III класу з трипарною ведучою ланкою (рис.2) склав завершений вид формули будови (2) для цього механізму, а саме:

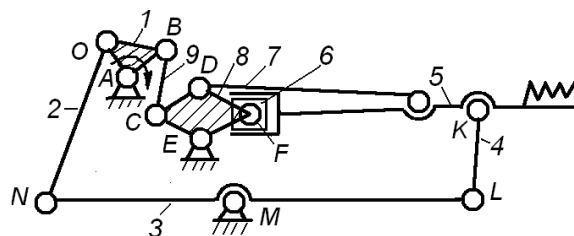


Рис.2. Важільний механізм зубчатої рейки швейної машини

$$\begin{array}{cc}
 I \rightarrow 2 & 1 \rightarrow [9, 8] \\
 \downarrow \quad \downarrow & \downarrow \\
 2 \rightarrow 3 & [2, 3] \rightarrow [7, 6, (5), 4]
 \end{array} \tag{2}$$

Формула складається з двох відокремлених частин та має дволінійну конфігурацію, що обумовлена трипарністю ведучої ланки-кривошипа. Ліворуч розташовані позначення ведучої ланки – механізму I класу та позначення, арабськими цифрами приєднаних до нього ассурових груп II і III класів. Праворуч – позначення (ще раз) механізму першого класу арабською цифрою та в квадратних дужках номери ланок відповідних класів ассурових груп. З метою відображення послідовності приєднання структурних груп, запроваджені стрілки, що, як пояснює автор, «... не тільки показують порядок приєднання структурним групам, а й відображають послідовність подальших кінематичного й силового

розрахунків за умови зміни напрямку стрілок на зворотній ». Таким чином формула будови механізму II класу з чотирипарною ведучою ланкою має вид (рис.3).

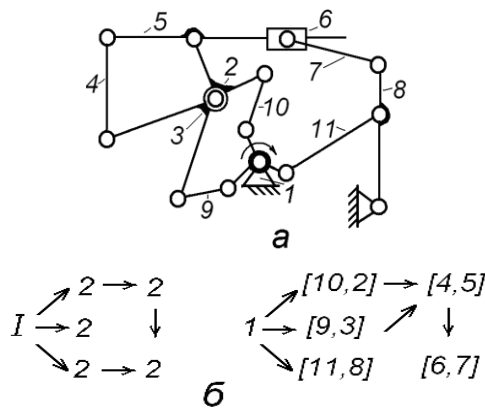


Рис. 3. Механізм II класу з чотирипарним кривошипом:  
*a* – схема механізму; *б* – структурна формула механізму

Ця формула будови має трилінійну конфігурацію, так само, як і формула (2), складається з двох відокремлених частин. Клас задіяних у механізмі ассурових груп, що позначені арабськими цифрами 2, наведений у лівій відокремленій частині формули, а їх відповідні ланки – праворуч. Позначення механізму I класу, без його ланок так само, як й у формулі (2), фігурують в обох частинах формули, для чого спершу використана римська, а праворуч - арабська цифра.

**Постановка завдання**

Сприймавши саму ідею складання формул будови механізмів з використанням структурної класифікації Ассура-Артоболевського, всі інші автори відзначили очевидні недоліки **ix** форми та змісту та вирішили задачу складання формул будови плоских механізмів кожен у свій спосіб. Викликає подив, що, навіть, в учбовому посібнику [6] співавтором якого є сам І.І.Артоболевський, в формулах будови механізмів класи груп Ассура позначені арабськими цифрами, а номери ланок подані у вигляді нижніх індексів, а саме:

$$I_1 \rightarrow 2_{2,3} \rightarrow 2_{4,5} \quad (4)$$

або

$$I_1 \rightarrow 3_{2,3,4,5} \quad (5)$$

Вкрай лаконічно подані формули будови механізмів в учбовому посібнику [7], наприклад:

$$1 \rightarrow 2-3 \rightarrow 4-5 \quad (5)$$

Тут навіть механізм I класу позначено арабською цифрою без будь-якої нумерації його ланок.

Не розглядаючи тут чисельні недоліки та недоречності формул будови механізмів, які застосовують деякі автори, можна констатувати існування в літературних джерелах ряду загально-прийнятих рішень що до конфігурації та змісту формул будови механізмів, а саме:

- використання позначення ведучої ланки як механізму I класу з обома номерами його ланок;
- позначення ассурових груп (II,III) з номерами відповідних ланок у круглих дужках;
- використання стрілок що визначають порядок приєднання ас сурових груп;

– однолінійна або дволінійна конфігурація формул у разі використання, відповідно, двопарної або трипарної ведучої ланки<sup>†</sup>.

В усіх випадках не використовують поділення формули будови механізму на дві відокремлені частини. Прикладом досить коректного вирішення цієї задачі можуть слугувати однолінійні формули будови, наведені в навчальному посібнику [8] Олександра Степановича Кореняки – відомого українського вченого та педагога, який багато років був завідувачем кафедрою ТММ у Київському технологічному інституті легкої промисловості (тепер КНУТД). У якості прикладу у вказаному виданні наведено дві формули будови механізму (рис.4).

Якщо за ведучу ланку вважати кривошип 2, то формула будови має наступний вигляд:

$$I \ 1,2 \rightarrow II \ 3,7 \rightarrow II \ 4,8 \rightarrow II \ 5,6 \quad (6)$$

Якщо ведучою ланкою вважати поршень 6, то механізм стає механізмом III класу, а формула його будови набуває такого вигляду:

$$I \ 1,6 \rightarrow II \ 5,4 \rightarrow III \left( \frac{3}{2,7,8} \right) \quad (7)$$

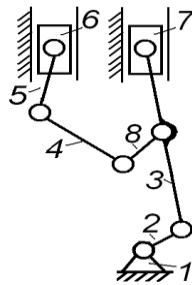


Рис. 4. Восьмиланковий важільний механізм

У формулі будови (7) використано особливий запис складу структурної групи III класу третього порядку з виділенням базової трипарної ланки 3. При цьому три її поводка (2,7,8) кількісно свідчать про третій порядок цієї структурної групи що виключає необхідність запису порядку групи цифрою 3. Зауважимо, що в деяких виданнях з ТММ, автори не вважалося за доцільне дотримуватися порядку нумерації ланок на структурних схемах механізмів. За звичай ведучій ланці надають номер (позицію) 1, проміжним і вихідній ланці 2,3...n-1, стояку – останній номер n [10].

Нажаль, у деяких виданнях, автори не додержуються цих правил – стоякам та ведучим ланкам надають, відповідно, позиції 1,2 [2,6,8] та ін.. Іноді стояк позначають цифрою 0 (нуль). Часто порушується закономірний порядок згідно з послідовністю їх приєднання до механізму. Прикладом може бути наведений в статті рис.2 та відповідна формула будови (3). В цьому випадку навіть ланки самих структурних груп не одержали послідовної нумерації. Це негативно відбивається на формулах будови механізмів, ускладнює ототожнення (ідентифікацію) ланок механізму з відповідними структурними групами, не сприяє уніфікації формул будови механізмів.

#### **Результати та їх обговорення**

Формули будови механізмів за умови їх уніфікації істотно доповнюють систему структурної класифікації Ассура-Артоболевського але, нажаль, в існуючому вигляді вони мають органічний недолік,

<sup>†</sup> Трилінійні формули будови механізму в літературних джерелах, окрім [5] не відображені

обумовлений недосконалістю самої концепції щодо складу та змісту формул будови механізмів, закладеної С.І.Артоболевським. Склалося так, що сучасні формули будови в усіх випадках визначають та фіксують лише *класи ассуричних груп*, що свідчить про кількість їх ланок, але не визначає головного – структури ассуричних груп, тобто *класів* його кінематичних пар, їх взаємного розташування тобто визначають лише *види* та модифікації видів структурних груп, зокрема, II класу [2,4]. Саме *види, модифікації видів* визначають конкретну структуру ассуричної групи II класу, її склад, кінематичну сутність, імовірну функцію та вірогідну назву ланок, що були утворені з її поводків.

В залежності від числа й розташування обертальних пар структурна група II класу була поділена І.І.Артоболевським на п'ять *видів*: «перший вид групи II класу... другий..., третій..., четвертий... п'ятий вид другого класу» [2]. В роботі [4] автори цієї публікації запропонували надати видам ассуричної групи II класу відповідні умовні позначення 1, 2, 3, 4, 5a, 5b, а їх *модифікаціям* (видозмінам, доцільним перетворенням) відповідно, позначення 2<sub>1</sub>, 3<sub>1</sub>, 4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub>, 5<sub>a1</sub>, 5<sub>b1</sub> (рис.5).

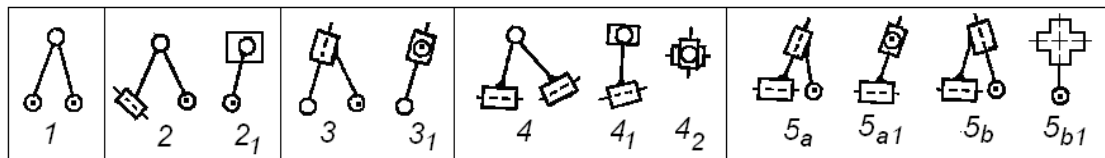


Рис. 5. Умовні позначення видів та модифікацій видів структурних груп II класу

Відомо [2], що переважна більшість існуючих механізмів утворена шляхом приєднання до ведучої ланки механізму I класу, однієї або декількох ассуричних груп II класу. Так, наприклад, усі чотириланкові механізми схеми яких наведені на рис.5, відносяться до механізмів II класу та мають однакову формулу будови, а саме:

$$I \ 1,4 \rightarrow II \ 2,3 \tag{8}$$

Ця формула будови механізму засвідчує лише про те, що до ведучої ланки – механізму I класу, що складається з ланок 1,4, приєднана ассурична група II класу, яка утворена ланками 2 та 3.

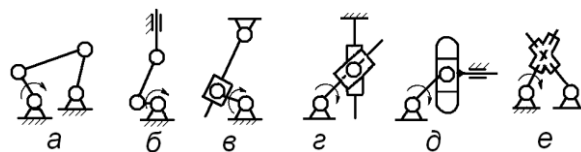


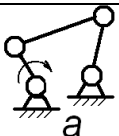

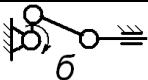

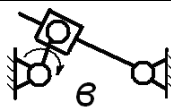

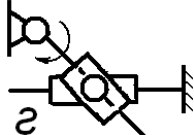

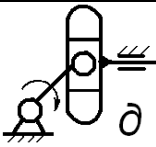
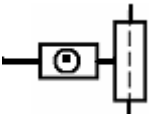
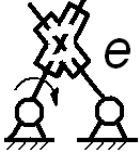

Рис. 6. Типові чотириланкові механізми II класу:

*a* – кривошипно-коромисловий механізм; *б* – кривошипно-повзунний механізм; *в* – кривошипно-кулісний механізм; *г* – двоповзунний (тангенсний) механізм; *д* – кривошипно-кулісний (синусний) механізм; *е* – двокулісний механізм (муфта Ольдгейна)

Ніякої конкретної інформації стосовно дійсної структури цих суттєво різних у структурному й кінематичному сенсі механізмів, ця сучасна формула будови механізмів II класу не надає. Такою формулою будови механізму неможливо скористуватися для подальшого дослідження та розрахунків. Подібна формула будови вимагає обов'язкового звертання до відповідної структурної або кінематичної

схеми з метою визначення *видів* та *модифікацій видів* групи II класу. Саме *види* та *модифікації видів* ассурових груп слугують відокремленими об'єктами кінематичних досліджень та різноманітних розрахунків. Тому включення в формулу будови механізмів II класу позначень відповідних *видів* або оптимальних їх видозмін, модифікацій, є вкрай необхідним. Формули будови механізмів, структурні схеми яких наведені на рис.6, при включенні в них відповідних позначень *видів* або їх *модифікацій*, набувають необхідної структурної визначеності, отримують поглиблену інформаційну довершеність (табл.1).

Таблиця 1. Формули будови типових чотири ланкових механізмів з включенням позначень виду або модифікації виду структурної групи II класу

Механізм (згідно з рис.5)	Вид, модифікація групи II класу		Формула будови механізму
	Схема	Позначка	
		1	I 1,4 → II.1 2,3 або I 1,4 → 1 2,3
		2 <sub>1</sub>	I 1,4 → II.2 <sub>1</sub> 2,3 або I 1,4 → 2 <sub>1</sub> 2,3
		3 <sub>1</sub>	I 1,4 → II.3 <sub>1</sub> 2,3 або I 1,4 → 3 <sub>1</sub> 2,3
		4 <sub>2</sub>	I 1,4 → II.4 <sub>2</sub> 2,3 або I 1,4 → 4 <sub>2</sub> 2,3
		5 <sub>a1</sub>	I 1,4 → II.5 <sub>a1</sub> 2,3 або I 1,4 → 5 <sub>a1</sub> 2,3
		5 <sub>b1</sub>	I 1,4 → II.5 <sub>b1</sub> 2,3 або I 1,4 → 5 <sub>b1</sub> 2,3

Включення в формули будови механізмів II класу позначень виду або модифікації виду забезпечує безпосереднє адресне посилання на відповідні методи та алгоритми досліджень, розрахунків, що наведені майже в усіх підручниках, навчальних посібниках та інших літературних джерелах [2.10.11]

і т.д. Наприклад, у підручнику [9] докладно розглянуті методи та алгоритми кінематичних та силових розрахунків усіх видів структурних груп II класу з використанням ЕОМ. Оскільки формули будови механізмів II класу містять умовні позначення ассуричних груп (цифри II), а в дужках наведені позначення двох її ланок, що кількісно свідчить про приналежність структурної групи до другого класу, то з метою спрощення формул будови механізмів, досягнення більшої лаконічності, обсягу її інформації, позначення класу ассуричних груп II класу перед дужками можна не застосовувати. В цьому разі формули будови, наприклад механізмів а,б(табл. 1), набувають відповідно такого вигляду:

$$I\ 1,4 \rightarrow 1\ 2,3 ; \quad I\ 1,4 \rightarrow 2_1\ 2,3 , \quad (9)$$

де 1 та 2<sub>1</sub>, перед дужками, відповідно, вид 1 та модифікація 1 виду 2.

Уніфікована формула будови механізму на рис.2 після упорядкування нумерації ланок та використання позначень класу та видів відповідних груп набуває такого вигляду:

$$I(1,12) \begin{cases} \nearrow II.1(2,3) \rightarrow II.1(4,5) \\ \rightarrow II.1(6,7) \xrightarrow{\quad} \nearrow \\ \searrow II.1(8,9) \rightarrow II.2_1(10,11) \end{cases} \quad (10)$$

### Висновки

При розробці формул будови плоских важільних механізмів доцільно використовувати одно- або трилінійні конфігурації формул будови, відповідно для механізмів з двопарними, трипарними, чотиріпарними ведучими ланками.

Формулу будови починають з позначення ведучої ланки як механізму I класу з наданням у круглих дужках, номерів (позицій) ланок.

Згідно з визначенням або прийнятим (послідовним, паралельним, паралельно-послідовним) порядком приєднання (нашарування) структурних груп, розташовують умовні позначення класів структурних груп римськими цифрами (II,III ...) та, після крапки, відповідні позначення видів або оптимальних модифікацій видів структурної групи II класу.

До кожного позначення класу та виду (модифікації виду) у круглих дужках надають номери ланок що складають відповідну структурну групу.

Для структурних груп III класу доцільно використовувати однолінійний запис ланок у квадратних дужках з виділенням базової ланки круглими дужками.

У формулах будови механізмів використовують умовні позначки у вигляді стрілок, що визначають послідовність приєднання структурних груп та кінематичних зв'язок між структурними групами та ланками різних структурних груп що входять у кінематичні пари.

Формули будови механізмів передбачають використання унормованого порядку нумерації ланок механізмів, згідно з яким ведучим та проміжним ланкам надають порядкові номери (позиції) 1...(n-1), а стояку – останній номер n.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Ассур Л. М. Исследование плоских стержневых механизмов с низшими парами с точки зрения их структуры и классификации – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – с. 592.
2. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин. – М.: 1975. – с. 638.

3. Пищиков В.О., Орловський Б.В. Доцільні доповнення до структурної класифікації Ассура – Артоболевского. – К.: Вісник КНУТД, – 2009. №4.
4. Артоболевский С. И. Машины – автоматы. – М.: – 1949. – с. 250.
5. Артоболевский И.И., Эдельштейн Б.В. Сборник задач по теории механизмов и машин. – М.: 1975. – с. 266.
6. Юдин В.А. Проектирование кинематических схем механизмов. М.: – 1963. – с. 245.
7. Кореняко О.С. Теорія механізмів і машин. – К.: «Вища школа». – 1987. – с. 205.
8. Заблонский К.И., Белоконев И. М., Щекин Б.М. Теория механизмов и машин. – К.: «Вища школа». – 1989. – с. 375.
9. Фролов К.В. И др., Теория механизмов и машин. – М.: «Высшая школа» . – 1987. – с. 495.
10. Гавриленко В.А. Теория механизмов и машин. – М.: – 1973. – с. 510.
11. Костюк Д.И., Голдаева О.И., Яковлев Ю.В. Руководство к курсовому проектированию по теории механизмов и машин. – Харьков: – 1961. – с. 265.

Надійшла 03.11.2009