

*Лабораторна робота №8 (4 год.)*  
**КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ**  
**ПЛОСКОГО КУЛАЧКОВОГО МЕХАНІЗМУ**

**Мета роботи:** *ознайомлення з будовою, принципом дії кулачкового механізму та набуття практичних навичок дослідження закону руху веденої ланки кулачкових механізмів з застосуванням графічного методу.*

## **1.ВКАЗІВКИ З ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ**

### **1.1 Завдання з самостійної підготовки до роботи**

Ознайомтесь з призначенням і різними типами плоских кулачкових механізмів; їх основними параметрами; з різними законами руху штовхача: без ударних, з «м'якими» і «жорсткими» ударами. Детально розберіть порядок побудови закону руху штовхача,.

### **1.2 Рекомендована література**

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. М., 1975.; с. 462...485.
2. Артоболевский И.И., Эдельштейн Б.В. Сборник задач по теории механизмов и машин. М., 1975.; с.201...210.
3. Кореняко А.С. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин.. К.. 1970.; с. 42...349, 60...65.
4. Конспект лекцій.

## **2 ВКАЗІВКИ З ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ**

### **2.1 Програма роботи**

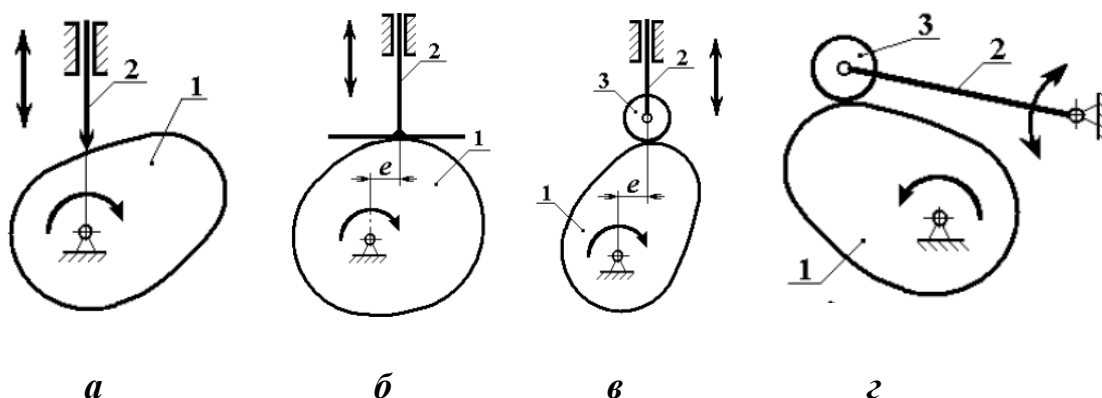
*Ознайомитися з будовою моделі кулачкового механізму з поступально рухомим штовхачем; скласти його структурну схему та визначити ступінь рухомості; побудувати закон руху штовхача: діаграму аналога прискорень (функцію положення механізму) та шляхом графічного інтегрування отримати діаграми аналогів швидкостей та переміщень; визначити масштаби діаграм закону руху штовхача.*

### **2.2 Стислі теоретичні відомості**

*Загальні означення.* Кулачкові механізми призначені для перетворення безперервного руху ведучої ланки (кулачка) з зворотно-поступальний або коливальний рух з зупинками веденої ланки (штовхача) за наперед заданим законом. Використовують ці механізми для узгодження законів руху різних механізмів, що входять до складу машини або агрегату.

Найпростіший кулачковий механізм складається з трьох ланок: кулачка (ведуча ланка), штовхача (ведена ланка) і стояка. Рухомі ланки утворюють зі стояком нижчі кінематичні пари, а одна з одною – вищу. *Кулачком* називається ведуча ланка, яка надає веденій ланці заданий рух, закон якого визначається профілем кулачка. *Профіль кулачка* – це крива, яка отримана в перерізі робочої поверхні кулачка з площиною, перпендикулярною до осі його обертання.

*Штовхач* – це ведена ланка, що взаємодіє з робочою поверхнею кулачка своїм наконечником, який за формою може бути гострокінцевим (рис.1.а), плоским (рис.1.б) або роликівим (рис.1.в). Штовхач, який рухається поступально, називається *штангою* (рис.1.а,б,в), коливально – *коромислом* (рис.1.г), складно – *шатуном*.



**Рис.1** Різновиди кулачкових механізмів: а – з гострим штовхачем;

б – з роликівим штовхачем; в - з плоским штовхачем; г – з коромисловим штовхачем.

Кулачкові механізми бувають просторові і плоскі. Кулачкові механізми називають *центральною* (рис.1.а), якщо вісь штовхача проходить через центр обертання кулачка, і *дезаксіальні* (позацентрові) – якщо вісь штовхача зміщена відносно центра обертання кулачка (рис.1.б,в).

Ступінь рухомості плоского кулачкового механізму визначається за формулою Чебишева і дорівнює одиниці.

$$W = 3n - 2P_5 - P_4$$

де **n** – кількість рухомих ланок (ланка в зубчастому зачепленні – це зубчасте колесо і вал, на якому воно закріплено; на схемі механізму зручно рахувати по кількості рухомих осей зубчастих коліс);

$P_5, P_4$  – кількість кінематичних пар п'ятого (типа «вальниця-вал») та четвертого (типа «кулачок-штовхач») класів відповідно.

*Особливості конструкції.* Кулачкові механізми – це компактні малогабаритні механізми, які досить просто проектуються, і дозволяють з високою точністю відтворювати задані закони руху ланок від циклу до циклу. Особливості конструкції всіх типів кулачкових механізмів визначаються наявністю вищої кінематичної пари. Високий тиск в цій парі є причиною інтенсивного зносу елементів ланок, які її утворюють. А звідси виникає необхідність у зміцненні контактних поверхонь та заміні тертя ковзання тертям кочення, тобто постановці ролика на штовхач. Крім того необхідність примусового замикання вищої кінематичної пари ускладнює конструкцію. Способи замикання поділяються на силові та геометричні. Силовий спосіб, як правило, реалізується постановкою пружного елемента (пружини), який діє на штовхач. А геометричні способи пов'язані з накладанням додаткових геометричних в'язей на ланки, що утворюють вищу кінематичну пару. Застосовують, наприклад, пазові, дводискові кулачки, рамкові механізми і т. ін.

Основні положення геометрії та кінематики кулачкового механізму розглянемо на прикладі центрального механізму (рис.2).

*Основні елементи кулачкового механізму.* Переріз циліндричної поверхні кулачка площиною, паралельною площині руху механізму, дає криву, яка називається *дійсним (практичним) профілем кулачка*, який характеризується наступними елементами (рис.2.а):

$r_0 (R_{min})$  – мінімальний радіус дійсного профілю кулачка (або радіус основної шайби) - коло мінімального радіуса, центр якого співпадає з центром обертання кулачка;

$s$  – хід штовхача ( $\psi$  кут коливання коромисла для коромислових кулачкових механізмів) - шлях  $S_{max}$ , пройдений вістрям штовхача або центром ролика, із одного крайнього положення в інше. Для коромислових механізмів існує поняття *кутового ходу*  $\psi_{max}$ , що являє собою максимальний кут розмаху коромисла;

$e$  – ексцентриситет (дезаксіал) - це відстань осі руху штовхача від осі обертання кулачка;

*Фази руху штовхача.* Для всіх кулачкових механізмів, незалежно від конструкції, характерними є такі фази руху вихідної ланки, які визначають геометрію кулачка (рис. 1):

Рух штовхача за один оберт кулачка в загальному випадку має чотири фази; кути повороту кулачка, відповідні цим фазам, називають *фазовими кутами* (рис.2):

$\phi_b$  – фазовий кут віддалення штовхача - кут повороту кулачка, коли штовхач віддаляється від самого близького до центру кулачка положення до самого далекого;

$\varphi_{д.в.}$  – фазовий кут далекого вистою (верхньої зупинки) штовхача – кут обертання кулачка, коли штовхач стоїть у верхньому далекому від центру кулачка положенні;

$\varphi_{н.}$  – фазовий кут наближення (повернення) штовхача – кут повороту кулачка, під час якого штовхач повертається в саме близьке положення до центру кулачка;

$\varphi_{б.в.}$  – фазовий кут ближнього вистою (нижньої зупинки) штовхача – кулачок обертається, а штовхач стоїть нерухомо в самому близькому положенню до центра кулачка.

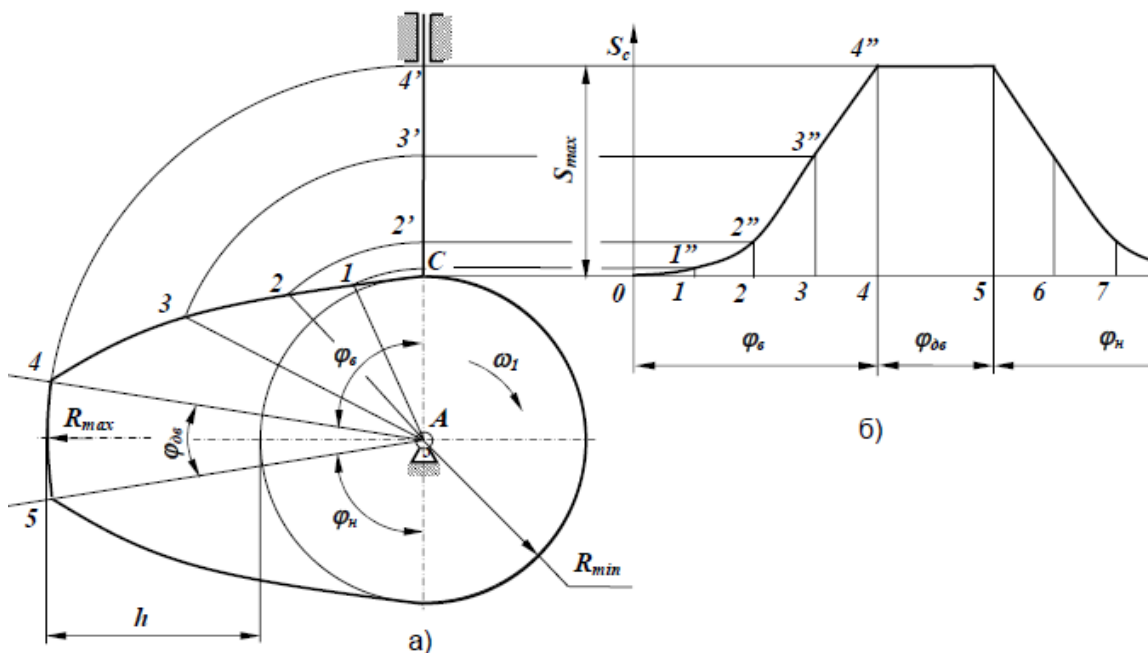
Інколи один або два фазові кути стояння можуть бути відсутніми.

Повний цикл руху штовхача такого механізму у загальному випадку складається із чотирьох фаз:

$$\varphi_{від} + \varphi_{д.с.} + \varphi_{наб.} + \varphi_{б.с.} = 2\pi = 360^\circ$$

Частину профілю кулачка, що складається із ділянок віддалення, дальнього стояння і наближення, називають *робочим профілем* кулачка. Кут, що відповідає цій частині профілю, називають *кутом робочого профілю* кулачка.

$$\varphi_p = \varphi_{від} + \varphi_{д.с.} + \varphi_{наб.}$$



**Рис.1** Профіль кулачка з основними параметрами (а) та типова діаграма переміщення штовхача (б).

*Закони руху веденої ланки (штовхача).* Під законом руху вихідної ланки кулачкового механізму розуміють залежність переміщення, швидкості і прискорення від часу (або кута повороту кулачка). Закони руху вихідних ланок задаються, переважно, або аналітично у вигляді рівнянь, або графічно - у

вигляді відповідних графіків. Оскільки рух кулачка в більшості випадків, що зустрічаються на практиці, відповідає рівномірному обертанню, то зручніше користуватися графіками.

Розрізняють закони руху вихідної ланки кулачкових механізмів трьох видів: *безударні*, з «м'якими» та «жорсткими» ударами. Закони руху, в яких прискорення вихідної ланки змінюються миттєво на скінчену величину, викликають «м'які» удари. Закони руху, в яких прискорення вихідної ланки змінюються миттєво на нескінчену величину, викликають «жорсткі» удари. Закони руху, в яких прискорення вихідної ланки змінюються поступово (без стрибків), є безударними.

Найбільше використання мають кулачки, які забезпечують плавну зміну прискорення штовхача.

*Кінематичне дослідження кулачкових механізмів.* Задачею кінематичного аналізу кулачкових механізмів є визначення закону руху штовхача за заданим законом руху кулачка, тобто визначення переміщень, швидкостей та прискорень веденої ланки – штовхача. Існують аналітичні і графічні методи аналізу. Графічний метод відрізняється простотою та наочністю але поступається аналітичному методу точністю розрахунків. В даній роботі застосовується саме графічний метод, який базується на побудові і обробці кінематичних діаграм руху штовхача.

Закон руху вихідної ланки визначається профілем кулачка і є основною характеристикою механізму. Якщо закон руху кулачка не заданий, то визначають кінематичні характеристики штовхача у функції узагальненої координати механізму – кута повороту кулачка. Тобто визначають його функцію положення  $S = S(\varphi)$  і аналоги швидкостей  $\frac{dS}{d\varphi} = \frac{dS}{d\varphi}(\varphi)$  та прискорень  $\frac{d^2S}{d\varphi^2} = \frac{d^2S}{d\varphi^2}(\varphi)$ .

## **2.3 Оснащення робочого місця.**

Моделі кулачкових механізмів, креслярські принади.

## **2.4 Рекомендації щодо виконання роботи і оформлення звіту**

### **2.4.1 Порядок виконання роботи**

- 1 Скласти структурну схему механізму.
- 2 Визначити степінь рухомості даного кулачкового механізму за формулою Чебишева.
- 3 Визначити максимальний хід штовхача  $S_{\max}$ , мм, , а також фазові кути: віддалення  $\varphi_v$  і повертання  $\varphi_n$  (для лабораторної роботи  $\varphi_v = \varphi_n$ ), дальнього стояння  $\varphi_{д.с.}$  та близького стояння  $\varphi_{б.с.}$

- 4 Побудувати діаграму аналога прискорень штовхача в функції кута повороту кулачка  $\frac{d^2S}{d\varphi^2} = \frac{d^2S}{d\varphi^2}(\varphi)$  в довільному масштабі для кута віддалення  $\varphi_B$ , який поділити на 8 рівних частин.
- 5 Побудувати діаграму аналога прискорень швидкостей в функції кута повороту кулачка  $\frac{dS}{d\varphi} = \frac{dS}{d\varphi}(\varphi)$  шляхом графічного інтегрування діаграми  $\frac{d^2S}{d\varphi^2} = \frac{d^2S}{d\varphi^2}(\varphi)$ .
- 6 Побудувати діаграму переміщень штовхача в функції кута повороту кулачка  $S = S(\varphi)$  шляхом графічного інтегрування діаграми  $\frac{dS}{d\varphi} = \frac{dS}{d\varphi}(\varphi)$ .
- 6 Визначити масштабні коефіцієнти діаграм закону руху штовхача за формулами:
- $$\mu_\varphi = \frac{\pi\varphi_0}{180^\circ x}, 1/\text{мм}; \quad \mu_\varphi = \frac{S_{\max}}{y_{\max}}, \frac{\text{м}}{\text{мм}};$$
- $$\mu_{ds/d\varphi} = \frac{\mu_S}{H_1\mu_\varphi}, \frac{\text{м}}{\text{мм}}; \quad \mu_{d^2s/d\varphi^2} = \frac{\mu_{ds/d\varphi}}{H_2\mu_\varphi}, \frac{\text{м}}{\text{мм}}$$
- де  $x$  – довжина відрізка по осі абсцис, що зображує кут віддалення, мм;  
 $y_{\max}$  – максимальна ордината графіка пересічення штовхача, мм;  
 $H_1, H_2$  – полюсні відстані інтегрування, мм.
- 7 Провести аналіз побудованих діаграм.

## 2.4.2 Зміст звіту

*Лабораторна робота № 8.*

*Тема: Кінематичний аналіз плоского кулачкового механізму*

*Мета роботи:*

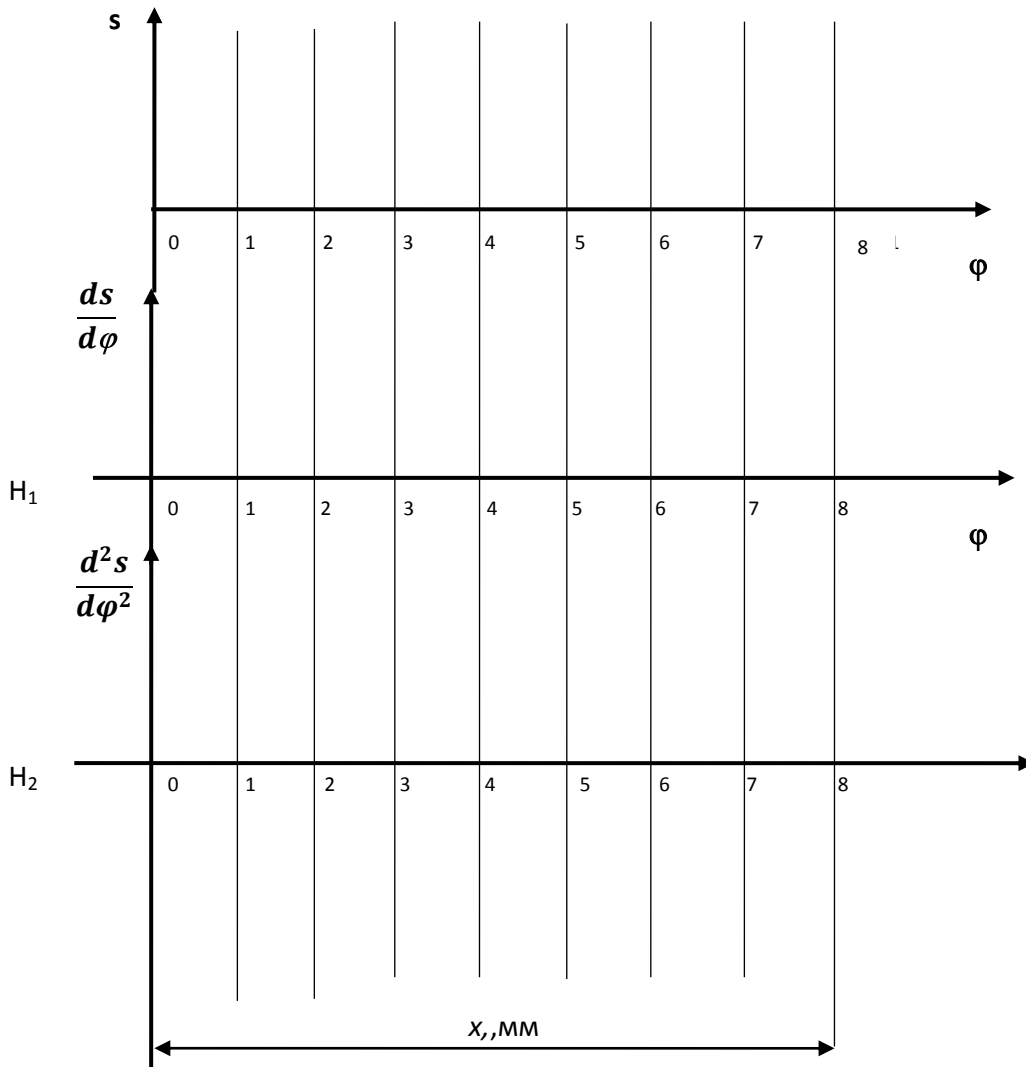
- 1 Схема механізму:
- 2 Ступінь рухомості механізму (заву ступінь рухомості, яку вносить ролик разом з кінематичною парою, що він утворює зі штовхачем вилучаємо) визначаємо за формулою Чебишева:  

$$W = 3n - 2P_5 - P_4$$
- 3 Графічна залежність аналога прискорень  $\frac{d^2S}{d\varphi^2} = \frac{d^2S}{d\varphi^2}(\varphi)$ :

4 Вихідні дані:

- фазові кути кулачка, град :  $\varphi_{\text{в}} = \varphi_{\text{д.с.}} = \varphi_{\text{п}} =$  ,  $\varphi_{\text{б.с.}} =$  ;
- максимальний хід штовхача  $S_{\text{max}} =$  мм.

5 Закон руху штовхача:



6 Масштаби закону руху штовхача:

*Висновки:* заданий кулачковий механізм має ступінь рухомості  $W=1$  (при наявності зайвого ступеня рухомості – ролика); у відповідності заданого аналога прискорень побудовано кінематичні діаграми закону руху штовхача (зробити висновки щодо наявності ударів у вищій кінематичній парі “кулачок-штовхач” та їх характеру (“м’які”, “жорсткі”), користуючись діаграмою аналога прискорень штовхача).

Роботу виконав \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

Підпис викладача \_\_\_\_\_

## **2.5 Питання для самоконтролю**

- 1 Які механізми називаються кулачковими?
- 2 Назвіть типи кулачкових механізмів.
- 3 Назвіть основні сфери застосування кулачкових механізмів.
- 4 Назвіть особливості конструкції, притаманні всім кулачковим механізмам.
- 5 Перелічіть основні переваги і недоліки кулачкових механізмів.
- 6 Які є способи замикання кінематичної пари між кулачком та штовхачем?
- 7 Чому дорівнює ступінь вільності плоского кулачкового механізму?
- 8 Які фази руху штовхача містить повний цикл у загальному випадку?
- 9 Які кути повороту кулачка складають повний його оберт?
- 10 Яка частина профілю кулачка називається його робочим профілем?
- 11 Що називається ходом штовхача?
- 12 Які засоби застосовуються в кулачкових механізмах для зменшення тертя?
- 13 Що називається законом руху веденої ланки кулачкового механізму.
- 14 Назвіть основні три види законів руху кулачкового механізму.
- 15 Що називається жорстким та м'яким ударом у вищій кінематичній парі?
- 16 Як уникнути ударів у кулачкових механізмах?