

Лекція №19

Розділ 10. КУЛАЧКОВІ МЕХАНІЗМИ

Для забезпечення робочого процесу багатьох машин часто потрібно вводити до їх складу механізми, рух вихідних ланок яких відбувається за строго заданими законами, узгодженими з законами руху інших механізмів. Дуже просто і надійно ця проблема вирішується за допомогою компактних *кулачкових механізмів*.



Вхідною ланкою в кулачковому механізмі, як правило, є *кулачок*, тобто ланка, якій належить елемент вищої кінематичної пари, виконаний у вигляді поверхні змінної кривизни.

Вихідні ланки можуть здійснювати зворотно-поступальний, зворотно-обертальний або просторовий рухи. Поступально рухома вихідна ланка називається *штовхачем*, а обертально рухома – *коромислом*.

Тема 10.1. ВИДИ КУЛАЧКОВИХ МЕХАНІЗМІВ

Розрізняють *плоскі* і *просторові* кулачкові механізми. Основна увага нами буде приділена плоским кулачковим механізмам, як найбільш розповсюдженим в техніці.

10.1.1. Плоскі кулачкові механізми

Як і в будь-якому іншому плоскому механізмі, в плоскому кулачковому механізмі всі його точки рухаються в паралельних площинах.

Класифікують плоскі кулачкові механізми за кінематичними та конструктивними ознаками:

а) За характером рухів, які здійснюють кулачок і штовхач:

- зворотно-поступальний рух кулачка перетворюється в зворотно-поступальний рух штовхача (рис. 10.1 а);
- зворотно-поступальний рух кулачка перетворюється в зворотно-обертальний рух штовхача (рис. 10.1 б);
- обертальний рух кулачка перетворюється в зворотно-поступальний рух штовхача. Цей тип механізмів буває центральним (рис. 10.1 в) і нецентральним або з ексцентриситетом (рис. 10.1 г);

- обертальний рух кулачка перетворюється в зворотно-обертальний рух штовхача (рис. 10.1 д).

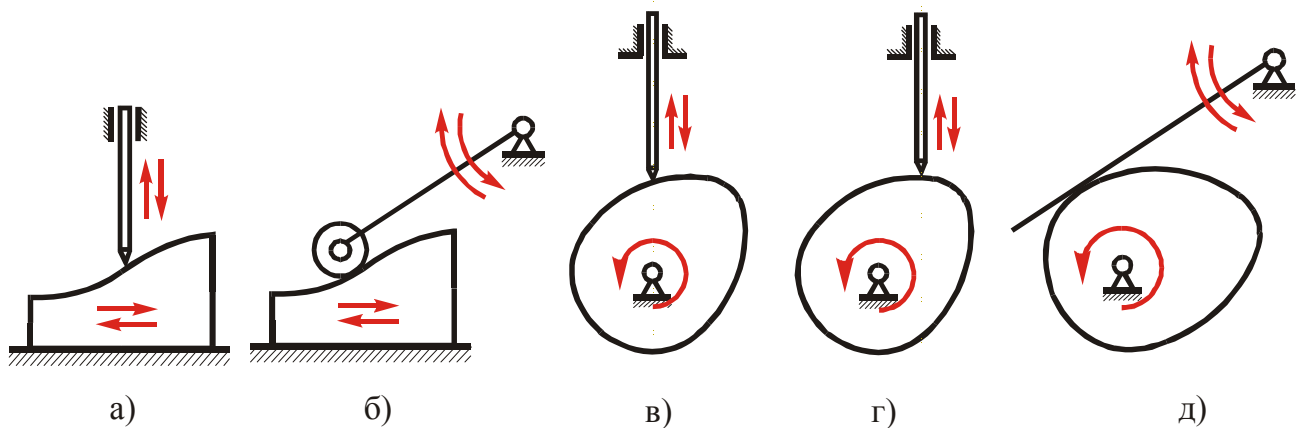


Рис. 10.1 Схеми кулачкових механізмів залежно від характеру рухів їх ланок: з поступально рухомим кулачком (а, б); з обертальним кулачком (в, г, д)

б) За типом штовхача:

- із загостреним штовхачем (рис. 10.1 а, в, г)
- зі штовхачем, спорядженим роликом (рис. 10.1 б та рис. 10.2 а)
- зі сферичним грибоподібним штовхачем (рис. 10.2 б)
- з плоским тарілчастим штовхачем (рис. 10.1 д; рис. 10.2 в)

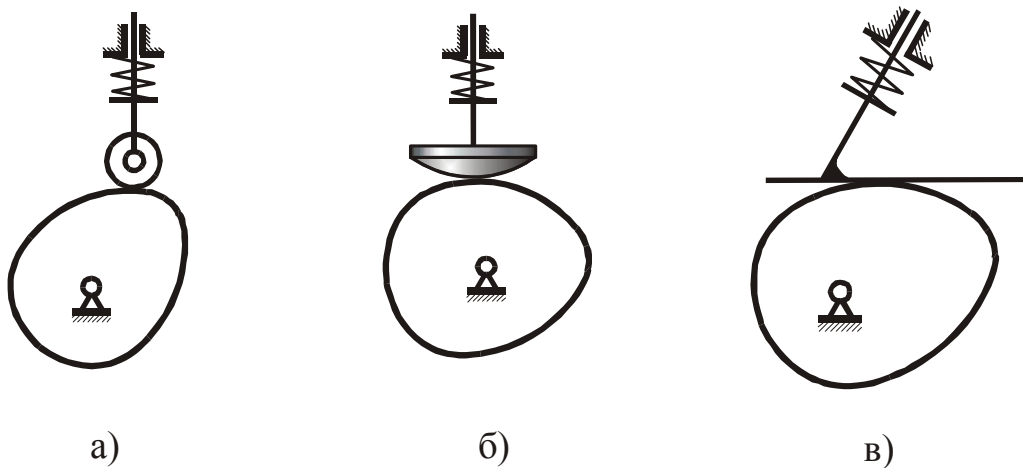


Рис. 10.2 Схеми кулачкових механізмів залежно від типу штовхача: а – зі штовхачем, спорядженим роликом; б – зі сферичним грибоподібним штовхачем; в – з плоским тарілчастим штовхачем

10.1.2. Просторові механізми

Існує безліч схем просторових кулачкових механізмів. Найчастіше зустрічаються такі їх конструкції:

- з циліндричним кулачком (рис. 10.3 а);
- з конічним кулачком (рис. 10.3 б);
- з гіперболоїдним кулачком (рис. 10.3 в);
- з коноїдним кулачком (рис. 10.3 г).

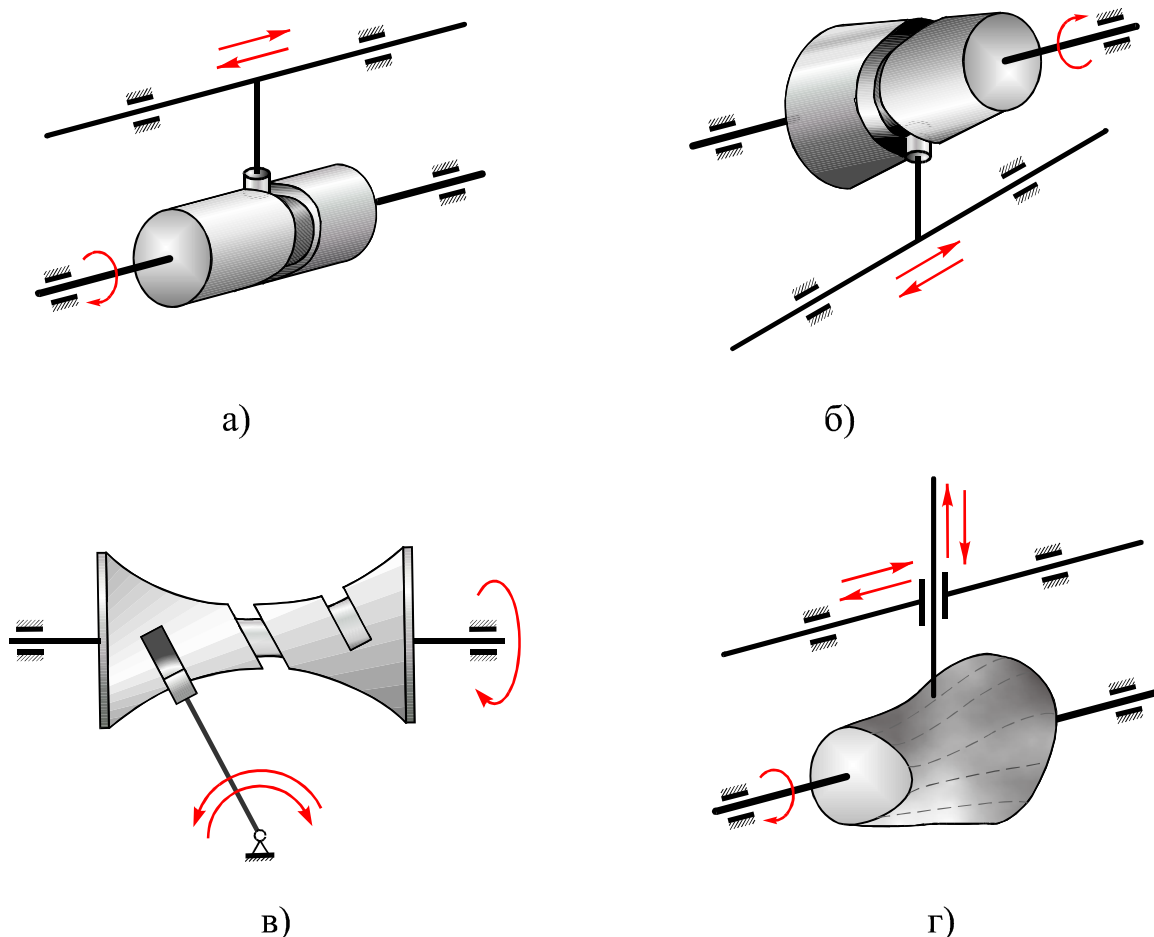


Рис. 10.3 Просторові кулачкові механізми: а – з циліндричним кулачком; б – з конічним кулачком; в – з гіперболоїдним кулачком; г – з коноїдним кулачком

Тема 10.2. СПОСОБИ ЗАМИКАННЯ КУЛАЧКА І ШТОВХАЧА

Теоретично замикання у вищій кінематичній парі може здійснюватись і під власною вагою штовхача. Але такий метод замикання ненадійний, враховуючи, що на штовхач діють сили інерції, які можуть відривати штовхач від кулачка, а це неприпустимо.

В кулачкових механізмах застосовується примусове замикання: силове та геометричне (див. лекцію №1, п. 1.1.2).

10.2.1. Силове замикання.

До речі, використання власної ваги штовхача теж слід віднести до силових методів замикання вищої пари в кулачковому механізмі. У разі примусового силового замикання застосовують пружини, тиск рідини або газу. На рис. 10.2 та рис. 10.4 а) показані схеми застосування пружин для силового замикання вищих кінематичних пар у різних типах кулачкових механізмів.

Як відзначалось, на штовхач діють сили інерції, які можуть спричинювати відрив штовхача від кулачка, а значить порушуватимуть заданий закон руху. Щоб унеможливити розмикання вищої кінематичної пари, характеристика пружини має добиратись такою, щоб максимально можлива сила інерції, яка діє на штовхач, не перевищувала мінімального пружного зусилля в пружині (рис. 10.4 б):

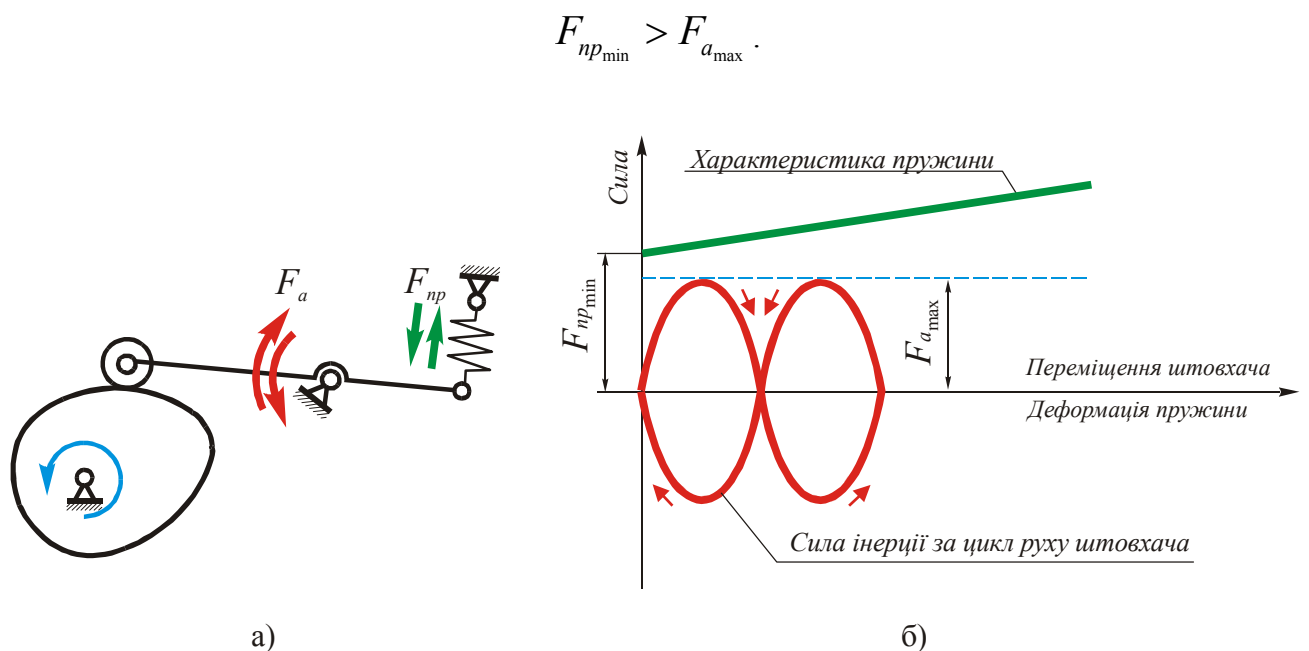


Рис. 10.4 Силове замикання: а – схема кулачкового механізму; б – характеристики сил, що діють на штовхач

10.2.2. Геометричне замикання

При геометричному замиканні можливість відриву однієї ланки від другої усувається введенням до схеми механізму надлишкової в'язі. Ця в'язь має бути пасивною, тобто не змінювати ступеня рухливості механізму.

Одним із найбільш розповсюджених способів геометричного замикання є застосування *пазового кулачка* (рис. 10.5 а)

Складність точного виготовлення паза та наявність ударів ролика об паз привели до появи *дводискових кулачків* (рис. 10.5 б). В цих механізмах вихідна ланка взаємодіє з двома дисковими кулачками, жорстко з'єднаними між собою.

Замість дводискових кулачків використовують *діаметральний кулачок* (рис. 10.5 в), в якому довільний профіль можна виконати тільки на частини контуру

кулачка. Друга частина контуру знаходиться з умови забезпечення дотикання кулачка до другої площини (для утворення пасивної в'язі). Найпростішим та чи не найпоширенішим серед такого типу механізмів є механізм, в якому діаметральний кулачок є звичайним ексцентриком.

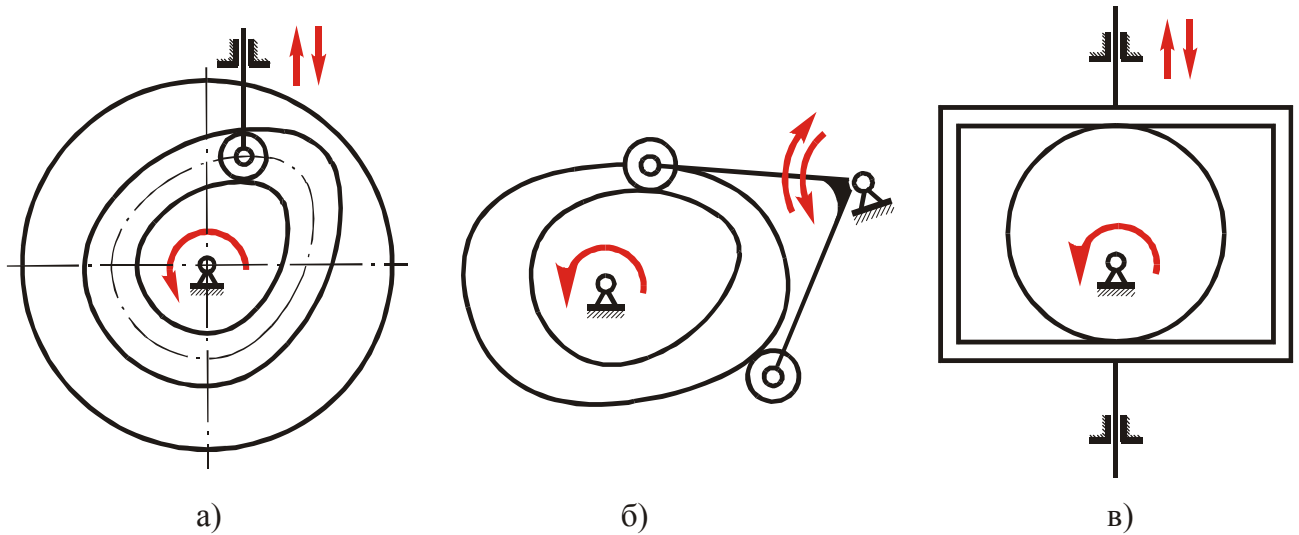


Рис. 10.5 Геометричне замикання: а – пазовий кулачок; б – дводисковий кулачок; в – діаметральний кулачок

Тема 10.3. ОСНОВНІ ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ КУЛАЧКОВИХ МЕХАНІЗМІВ

а) Переваги кулачкових механізмів:

б) Недоліки кулачкових механізмів:

Тема 10.4. ГЕОМЕТРІЯ КУЛАЧКА

Розглянемо її на прикладі регулювання руху впускного клапана поршневого двигуна (рис. 10.6). Протягом одного оберту кулачка маємо чотири фази роботи клапана.

Фаза 1 – відкриття клапана 3 для впуску робочого тіла в камеру згорання двигуна. При цьому кулачок 1 повертається на кут $\varphi_{\text{вд}}$, а точка контакту штовхача (коромисла) 2 з кулачком переміщується по дузі a_0a_1 .

Фаза 2 – клапан повністю відкритий і знаходиться в нерухомому і найбільш віддаленому від осі обертання штовхача положенні. Точка контакту переміщується вздовж профілю кулачка по дузі кола a_1a_2 радіусом R_{max} , яка опирається на центральний кут $\varphi_{\text{д}}$.

Фаза 3 – закривання клапана. Під дією пружини 4 клапан повертається у вихідне положення, при цьому точка контакту між штовхачем і кулачком переміщується по дузі a_2a_3 , а кулачок повертається на кут $\varphi_{\text{пв}}$.

Фаза 4 – клапан закритий і знаходиться в найближчому до осі обертання кулачка положенні. Кулачок повертається на кут $\varphi_{\text{з}}$, а точка контакту ковзає по дузі кола a_3a_0 радіусом R_{min} , і штовхач зупиняється. При подальшому обертанні кулачка, коли точка контакту досягає точки a_0 , цикл повторюється.

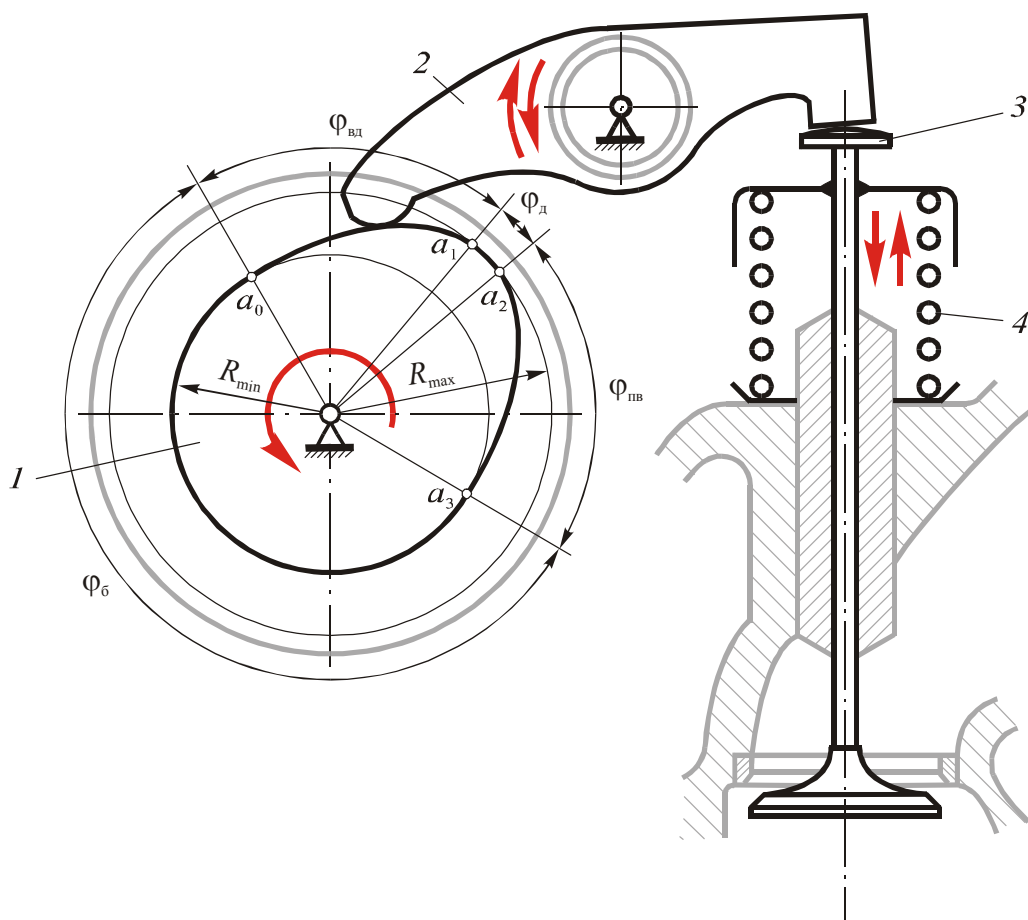


Рис. 10.6 Механізм регулювання руху впускного клапана поршневого двигуна

Перелічені кути повороту називаються *фазовими кутами кулачка*: $\varphi_{\text{вд}}$ – кут віддалення; $\varphi_{\text{д}}$ – кут дальнього стояння; $\varphi_{\text{пв}}$ – кут повернення; $\varphi_{\text{б}}$ – кут ближнього стояння.

Повний кут повороту кулачка за цикл складає 2π . Тобто

$$\varphi_{\text{вд}} + \varphi_{\text{д}} + \varphi_{\text{пв}} + \varphi_{\text{б}} = 2\pi. \quad (10.1)$$

Робочий кут:

$$\varphi_p = \varphi_{\text{вд}} + \varphi_{\text{д}} + \varphi_{\text{пв}}. \quad (10.2)$$

В окремих випадках кути дальнього стояння $\varphi_{\text{д}}$ і ближнього стояння $\varphi_{\text{б}}$ можуть бути відсутніми.

Тема 10.5. КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ КУЛАЧКОВИХ МЕХАНІЗМІВ

Як і для інших плоских механізмів, для кулачкових механізмів застосовують аналітичні і графоаналітичні методи кінематичного аналізу.

Розглянемо приклади кінематичного аналізу деяких кулачкових механізмів графоаналітичним методом.

Приклад 10.1. Визначити переміщення точки A штовхача кулачкового механізму з центральним поступально рухомим штовхачем при повороті кулачка на кут φ з кутовою швидкістю ω_1 (рис. 10.7).

Застосуємо принцип оберненості руху. Надамо всьому механізму кутову швидкість $-\omega_1$. Тоді кулачок 1 зупиниться, а штовхач 2 зі стоячком обертатиметься навколо осі O з кутовою швидкістю $-\omega_1$ і одночасно переміщуватиметься вздовж осі $x-x$.

Повернемо стояк з штовхачем у напрямку кутової швидкості $-\omega_1$ на кут φ_{01} . Точка A штовхача займе положення \overline{A}_1 . Величину лінійного переміщення штовхача знайдемо, провівши радіусом $r = O\overline{A}_1$ дугу до перетину з віссю $x-x$ в точці A_1 . Відрізок A_0A_1 – шукане переміщення штовхача.

Отримане переміщення відкладемо на графіку $S_2 = S_2(\varphi)$ у вигляді відрізка $1-1' = \frac{\mu_l \cdot A_0 A_1}{\mu_s}$ (рис. 10.8), де μ_s – масштабний коефіцієнт для осі переміщень.

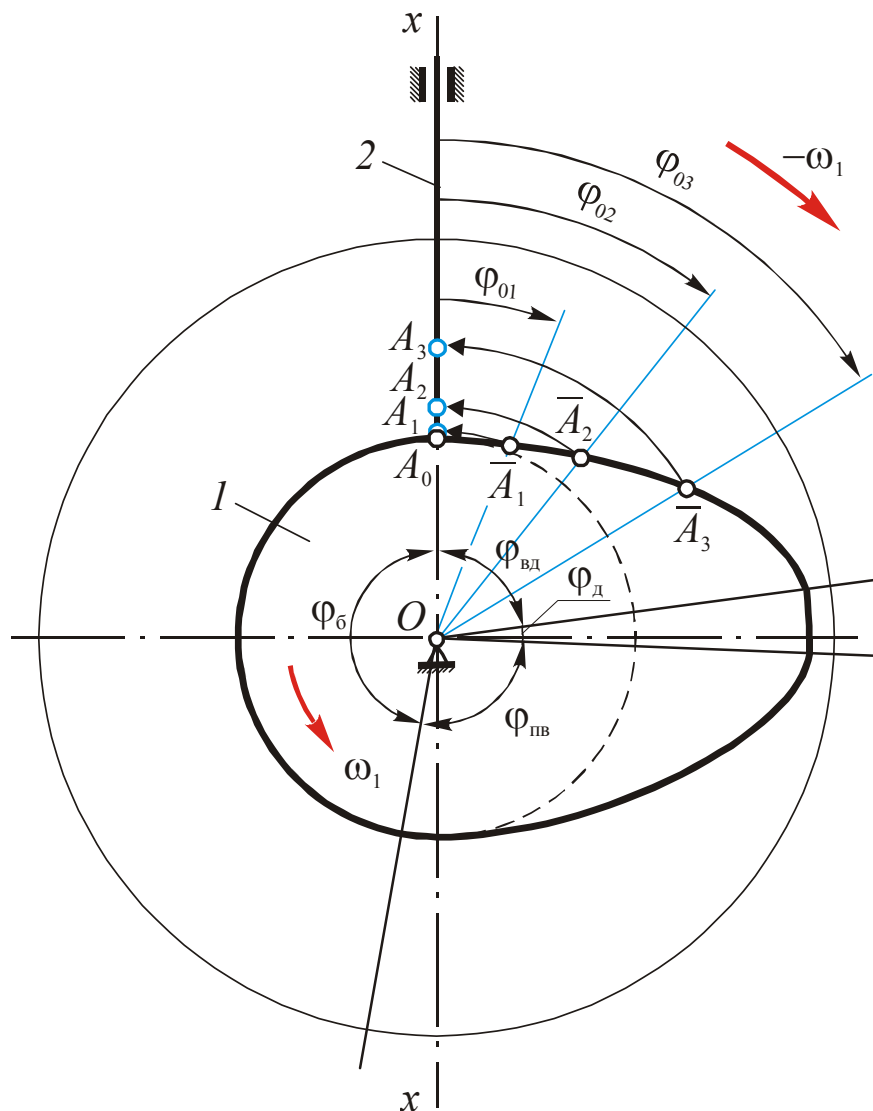


Рис. 10.7 Кулачковий механізм з поступально рухомим центральним штовхачем

Повертаючи стояк зі штовхачем навколо точки O , отримаємо послідовні його положення \bar{A}_2, \bar{A}_3 і т.д., які відповідають кутам $\varphi_{02}, \varphi_{03}$ і т.д.

Відкладаючи в масштабі μ_s отримані переміщення на графіку $S_2 = S_2(\varphi_1)$, отримаємо *діаграму переміщень штовхача за цикл* (рис. 10.8). Вона є графіком функції положення штовхача.

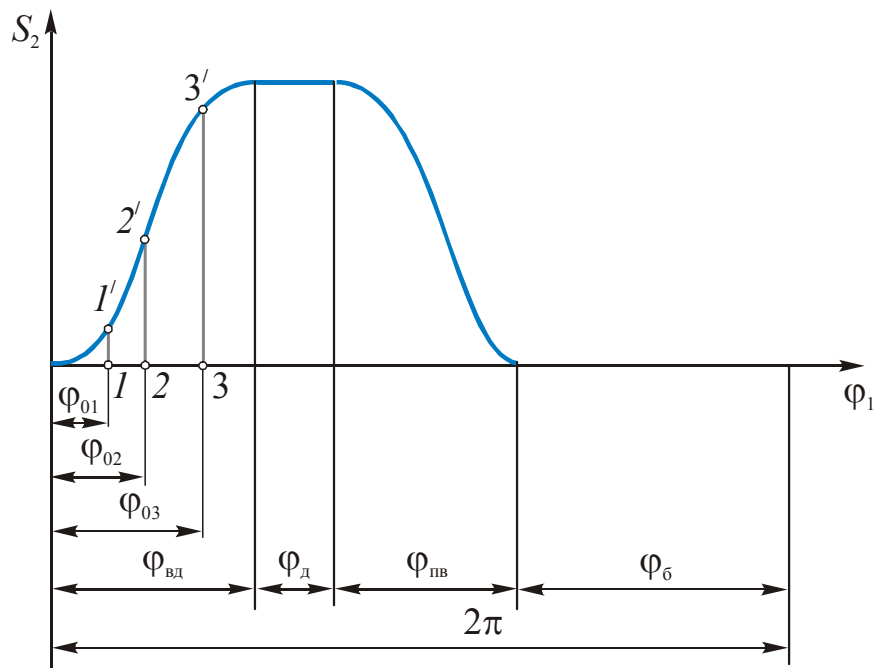
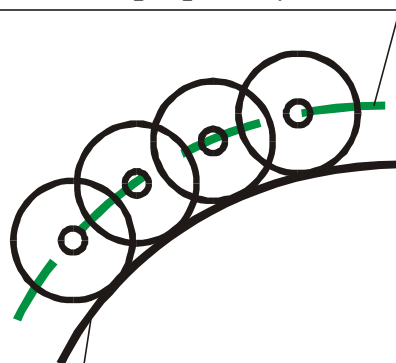


Рис. 10.8 Графік функції положення штовхача

Якщо штовхач кулачкового механізму споряджений роликом, то аналіз зводиться до попереднього, коли врахувати, що центр ролика описує криву, рівновіддалену (еквідистантну) від робочого профілю кулачка (рис. 10.9). Ця крива утворює *теоретичний профіль кулачка*. Саме для теоретичного профілю і виконують всі необхідні побудови.

Теоретичний профіль кулачка



Робочий профіль кулачка

Рис. 10.9 Формування робочого профілю кулачка

Приклад 11.2. Провести кінематичне дослідження кулачкового механізму з обертальним плоским штовхачем (рис. 10.10).

Почнемо кінематичний аналіз кулачкового механізму від положення, яке відповідає початку фази віддалення штовхача (коромисла). В цьому положенні коромисло 2 дотикається до профілю кулачка 1 в точці A_0 (див. рис. 10.10). Відрізок OO_1 вважаємо таким, що належить стояку.

Для аналізу, як і в попередньому прикладі, скористаємось принципом оберненості руху. Повернемо стійку на деякий кут φ_{01} у напрямку $-\omega_1$. При цьому відрізок OO_1 займе положення OO_1' . Положення коромисла знайдемо, провівши з точки O_1' відрізок, що дотикається до профілю кулачка в точці A_1 .

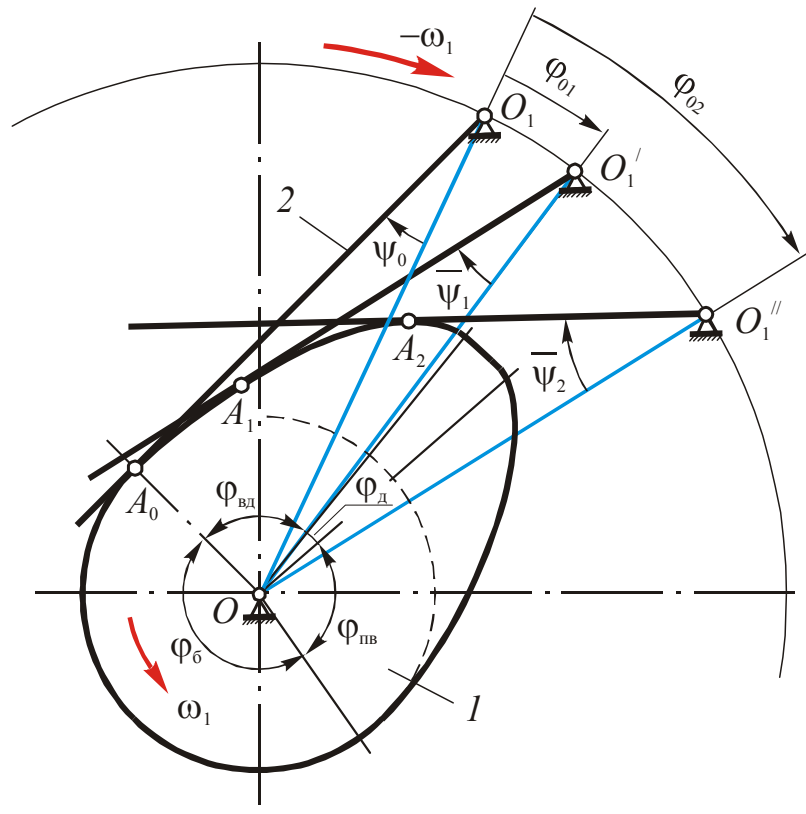


Рис. 10.10 Кулачковий механізм з плоским обертальним штовхачем

Величина переміщення коромисла в цьому положенні визначатиметься зміною кута ψ між відрізками OO_1 та O_1A_0 :

$$\psi_1 = \bar{\psi}_1 - \psi_0.$$

Для другого положення відповідно матимемо:

$$\psi_2 = \bar{\psi}_2 - \psi_0.$$

Провівши аналогічні побудови для ряду послідовних положень механізму, та визначивши в кожному з них величину переміщення коромисла, можемо побудувати діаграму переміщень за цикл руху механізму в координатах $\psi - \varphi_1$,

аналогічну тій, що зображена на рис. 10.8 для кулачкового механізму з поступально рухомим штовхачем.

Як для першого прикладу, так і для другого, діаграми аналогів швидкостей та прискорень штовхача можна отримати, продиференціювавши графіки переміщень штовхача.