



Міністерство освіти і науки України

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені ПЕТРА ВАСИЛЕНКА**

**Навчально-науковий інститут
переробних і харчових виробництв**

Кафедра фізики і теоретичної механіки

ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН

Заняття № 13.

Синтез профілю шайби кулачка

**Методичні вказівки
до виконання практичних робіт**

**для студентів денної та заочної форм навчання
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, спеціальностей
133 Галузеве машинобудування
208 Агроінженерія
274 Автомобільний транспорт**

**Харків
2020**

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Навчально-науковий інститут переробних і харчових виробництв

Кафедра фізики і теоретичної механіки

ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН

Заняття № 13.

Синтез профілю шайби кулачка

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт

для студентів денної та заочної форм навчання
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, спеціальностей
133 Галузеве машинобудування
208 Агроінженерія
274 Автомобільний транспорт

Затверджено рішенням
Науково-методичної ради
ННІ ПХВ ХНТУСГ
Протокол №
від . . . 2020 р.

Харків
2020

Схвалено на засіданні кафедри фізики і теоретичної механіки

Протокол № _____ від _____ 2020 р.

Теорія механізмів і машин. Заняття № 13. Синтез профілю шайби кулачка: методичні вказівки до виконання практичних робіт для студентів денної та заочної форм навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, спеціальностей 133 Галузеве машинобудування, 208 Агроінженерія, 274 Автомобільний транспорт; Харків. нац. техн. у-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка ; уклад.: В. В. Бурлака, В. П. Ольшанський, М. В. Сліпченко. – Харків : [б. в.], 2020.–17 с.

Методичні вказівки призначені для отримання навичок при виконанні практичної роботи з навчальної дисципліни «Теорія механізмів і машин».

В роботі наведено теоретичні відомості та алгоритм побудови профілю кулачка. Розглянуто методику визначення початкового радіуса кулачка за допустимим кутом тиску. Наведено приклад синтезу профілю кулачка з загостреним штовхачем.

Методичні вказівки призначені для студентів вищих навчальних закладів технічних спеціальностей.

Рецензенти:

О. І. Завгородній, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри вищої математики Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка

М. Л. Шуляк, д-р техн. наук, доц., в. о. професора кафедри тракторів і автомобілей Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка

Відповідальний за випуск (зав. каф.): О. І. Спольнік, д-р фіз.-мат. наук, професор

ЗАНЯТТЯ 13

Синтез профілю шайби кулачка

Зміст

13.1. Профілювання шайби кулачка.

13.2. Визначення початкового радіусу шайби кулачка за допустимим кутом тиску.

13.3. Приклад синтезу профілю кулачка із загостреним та роликовим штовхачем.

13.1. Профілювання шайби кулачка

Профілювання шайби кулачка є задачею, зворотною до дослідження кулачкового механізму, тобто **треба побудувати профіль кулачка, який би забезпечив рух штовхача за заданим законом руху.**

Розглянемо профілювання центрального кулачка з поступальним рухом загостреного штовхача.

Для побудови профілю шайби кулачка треба мати наступні дані:

1. Фазові кути: віддалення φ_B , віддаленого вистою $\varphi_{B,B}$, наближення φ_H ;
2. Закон руху штовхача $S_2 = f(\varphi_1)$ в графічній або табличній формі.
3. Початковий радіус r_0 шайби кулачка.

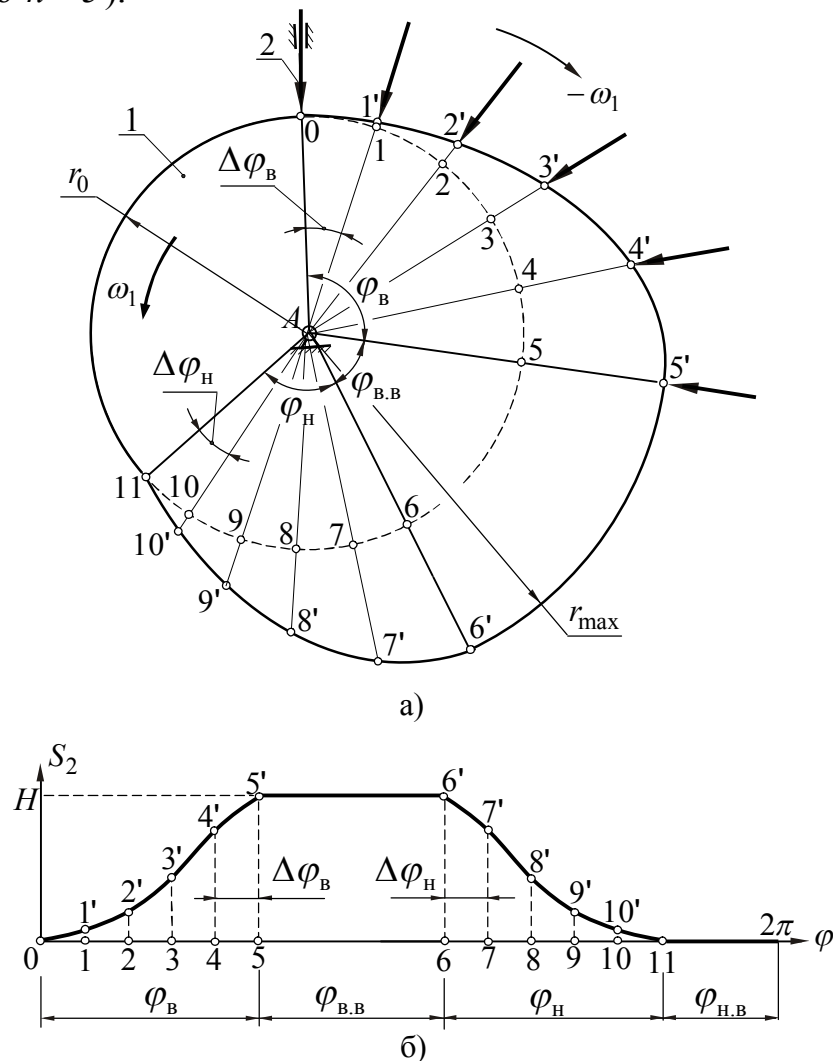
При побудові профілю шайби кулачка використовується метод обернення руху, для чого кулачку 1 і штовхачу 2 надається загальна кутова швидкість $(-\omega_1)$, тобто рівна ω_1 , але спрямована протилежно кутовій швидкості кулачка (рис. 13.1,а). При цьому кулачок стає нерухомим, а стійка разом зі штовхачем починають обертатися навколо кулачка в напрямі протилежному його обертанню (протилежно напрямку ω_1).

Побудова профілю шайби кулачка виконується в такій послідовності:

1. Із центру обертання кулачка A проводимо початкове коло радіуса r_0 (рис. 13.1,а).

2. Від довільно проведеного променя $A0$, в напрямі протилежному кутовій швидкості ω_1 , відкладаємо фазові кути: віддалення φ_B , віддаленого вистою $\varphi_{B.B}$ та наближення φ_H ;

3. Фази віддалення φ_B та наближення φ_H діаграми переміщення штовхача (рис. 13.1,б) розбиваємо на n рівних частин. Ординати $11'$, $22'$, $33'$ и т.д. визначають віддалення вістря штовхача від початкового кола у відповідних положеннях кулачкового механізму. У залежності від необхідної точності побудови профілю шайби кулачка число частин n обирають від 8 до 20. (На рис. 13.1,б $n = 5$).



4. Кути φ_B і φ_H фаз віддалення та наближення (рис. 13.1,а) ділимо на n частин (промені $A1$, $A2$, $A3$ і т.д.). Кут між променями на фазі віддалення

дорівнює $\Delta\varphi_B = \varphi_B/n$, а на фазі наближення – $\Delta\varphi_H = \varphi_H/n$, тобто розбивка кутів фаз віддалення і наближення повинна відповідати розбивці цих фаз на діаграмі $S_2 = f(\varphi_1)$. Проведені промені $A1$, $A2$, $A3$ і т.д. в оберненому русі визначають положення осі штовхача у відповідних положеннях кулачкового механізму.

5. Відклавши уздовж відповідних променів ($A1$, $A2$, $A3$ і т.д.) від початкового кола переміщення штовхача ($11'$, $22'$, $33'$ і т.д.) з діаграми $S_2 = f(\varphi_1)$, знаходимо положення вістря штовхача в оберненому русі (точки $1'$, $2'$, $3'$ і т.д. на рис. 13.1,а).

6. З'єднавши точки 0 , $1'$, $2'$, $3'$ і т.д. плавною кривою, дістанемо *теоретичний профіль* кулачка на фазах віддалення та наближення.

7. Фази наближеного і віддаленого вистою окреслюються дугами кіл радіусом r_0 і $r_{\max} = r_0 + H$ відповідно.

Побудований профіль шайби кулачка є *робочим (конструктивним)* для кулачкового механізму із загостреним штовхачем та *центровим*, по якому рухається центр ролика, для кулачкового механізму з роликівим штовхачем.

13.2. Визначення початкового радіусу шайби кулачка за допустимим кутом тиску

Як видно із побудови, одним із параметрів, що визначають профіль шайби кулачка, є початковий радіус r_0 .

В кулачкових механізмах з роликовою та загостреною вихідною ланкою величина початкового радіуса r_0 залежить від допустимого *кута тиску*.

На рис.13.2 показаний напрям зусилля \bar{P} від кулачка на штовхач. Якщо не враховувати силу тертя між кулачком і штовхачем, то сила \bar{P} спрямована по нормалі до профілю кулачка в точці дотику штовхача.

Кут δ між спільною нормаллю $n-n$ до профілю кулачка і поверхнею штовхача в точці їх дотику та напрямом руху (напрямом швидкості) штовхача називається *кутом тиску*.

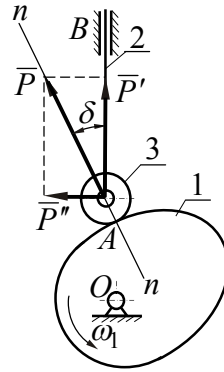


Рис. 13.2

Якщо розкласти силу \bar{P} на дві складові, то отримаємо силу $P' = P \cdot \cos \delta$, спрямовану по лінії руху штовхача 2, і силу $P'' = P \cdot \sin \delta$, спрямовану перпендикулярно до цієї лінії.

Складова \bar{P}' є корисною силою, яка спрямована на подолання сил корисного опору, а \bar{P}'' є шкідливою складовою, яка викликає перекіс штовхача, викликає сили тертя в напрямних поступальної кінематичної пари B штовхача та зменшує коефіцієнт корисної дії механізму. Якщо ця складова досягне певної величини, то відбудеться заклинювання штовхача і поломка кулачкового механізму.

Таким чином, складову P'' необхідно зменшувати, а, відповідно, треба зменшувати кут тиску δ . Однак, з іншого боку, зменшення кута тиску δ призводить до зростання розмірів шайби кулачка, а, відповідно, до зростання розмірів кулачкового механізму. Тому кут тиску не може бути досить малим.

Враховуючи це, на практиці встановлюють **допустиме значення кута тиску** $\delta_{дон}$, тобто для будь якого положення кулачкового механізму повинна виконуватися умова:

$$\delta \leq \delta_{дон}. \quad (13.1)$$

Якщо не обмежуються габарити кулачкового механізму, то на практиці при поступальному русі штовхача приймають величину допустимого кута тиску $\delta_{дон} = 20 \dots 30^\circ$.

Визначення кута тиску в кулачковому механізмі з обертальним рухом штовхача показано на рис. 13.3. Необхідно відзначити, що кулачкові механізми з обертальним рухом штовхача не піддані заклинюванню і для таких механізмів допустимий кут тиску беруть більшим $\delta_{don} = 45^\circ$.

Найкращими з точки зору кута тиски є механізми з тарілчастими штовхачами (рис. 13.4), у яких кут тиску δ дорівнює нулю.

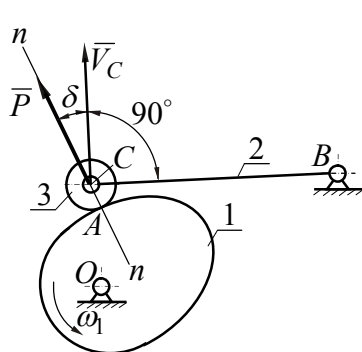


Рис. 13.3

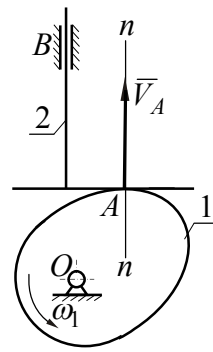


Рис. 13.4

В кулачкових механізмах з роликівим та загостреним штовхачем [1] кут тиску δ визначається початковим радіусом r_0 шайби кулачка, аналогом швидкості штовхача $dS_2 / d\varphi_1$ та переміщенням штовхача S_2 :

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{dS_2 / d\varphi_1}{r_0 + S_2} = \frac{\tilde{V}_2}{r_0 + S_2}. \quad (13.2)$$

З урахуванням (13.1) рівняння (13.2) можна записати у наступному вигляді:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\tilde{V}_2}{r_0 + S_2} \leq \operatorname{tg} \delta_{don} \quad (13.3)$$

Враховуючи, що $\tilde{V}_2 = dS_2 / d\varphi_1$ і S_2 визначаються законом руху штовхача, то нерівність (13.3) дозволяє визначити величину *початкового радіусу шайби кулачка* r_0 .

Розглянемо *графічне розв'язування* нерівності (13.3).

При графічному розв'язуванні будується графічна залежність $S_2 = f(\tilde{V}_2)$ (рис. 13.5). У [1] показано, що коли кут віддалення φ_B дорівнює куту

наближення φ_H та закон зміни аналогу прискорення $\tilde{a}_2 = d^2 S_2 / d\varphi_1^2$ однаковий на цих фазах, то достатньо побудувати графічну залежність між S_2 і \tilde{V}_2 тільки для фази віддалення.

Якщо провести дотичну $\tau - \tau$ до графіку $S_2 = f(\tilde{V}_2)$ під кутом $\delta_{дон}$ до осі $0 - S_2$, то відрізок $0A$, який відсікає дотична $\tau - \tau$ на осі $0 - S_2$, буде визначати мінімальний початковий радіус r_0 шайби кулачка.

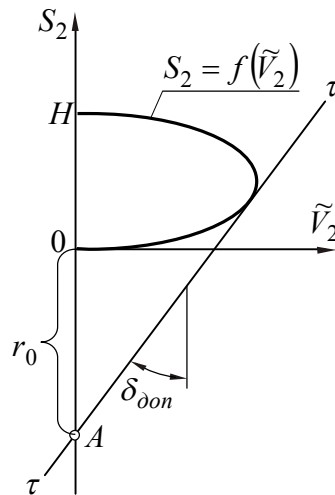


Рис. 13.5

Нерівність (13.3) можна розв'язати і аналітично.

При аналітичному розв'язуванні нерівність (14.3) розв'язують відносно радіуса шайби кулачка:

$$r_0 \geq \frac{dS_2/d\varphi_1}{\text{tg} \delta_{дон}} - S_2. \quad (13.4)$$

Враховуючи, що аналог швидкості $dS_2/d\varphi_1$ і переміщення S_2 штовхача на фазі віддалення змінюються зі зміною кута повороту φ_1 кулачка, то необхідно знайти такий кут повороту, при якому r_0 , визначений за формулою (13.4), буде мати максимальне значення. Максимальне значення r_0 і приймається за початковий радіус шайби кулачка.

Для більшості законів руху з невеликою похибкою можна прийняти, що максимальне значення r_0 буде, коли аналог швидкості досягає максимуму:

$$dS_2/d\varphi_1 = (dS_2/d\varphi_1)_{\max}.$$

Переміщення штовхача S_2 в цьому положенні кулачка дорівнює $H/2$, тобто:

$$r_0 = \frac{(dS_2/d\varphi_1)_{\max}}{\operatorname{tg}\delta_{\text{дон}}} - \frac{H}{2}. \quad (13.5)$$

14.3. Приклад синтезу профілю кулачка із загостреним та роликковим штовхачем

Вихідні дані для синтезу:

– схема механізму: центральний кулачковий механізм з роликковим штовхачем;

– фазові кути: $\varphi_B = 120^\circ$, $\varphi_{B.B} = 30^\circ$, $\varphi_H = 120^\circ$;

– хід штовхача: $H = 28$ мм;

– закон руху штовхача: прискорення штовхача на фазах віддалення і наближення змінюється за лінійним законом

$$\tilde{a}_2 = A \left(1 - 2 \frac{\varphi}{\varphi_B} \right);$$

– допустимий кут тиску: $\delta_{\text{дон}} = 25^\circ$.

1. Визначення початкового радіуса шайби кулачка.

Оскільки фазові кути віддалення і наближення рівні $\varphi_B = \varphi_H$ та закони руху штовхача на цих фазах однакові, то будемо розглядати тільки фазу віддалення.

Для побудови залежності $S_2 = f(\tilde{V}_2)$, за допомогою якої графічно визначається мінімальний радіус шайби кулачка r_0 , необхідно із графіків $\tilde{V}_2 = f_2(\varphi_1)$ (рис. 13.6,б) і $S_2 = f_3(\varphi_1)$ (рис. 13.6,в) виключити загальний

параметр φ_1 . (Графічні залежності $\tilde{V}_2 = f_2(\varphi_1)$ (рис. 12.8,б) і $S_2 = f_3(\varphi_1)$ (рис. 12.8,в) були побудовані на занятті 12).

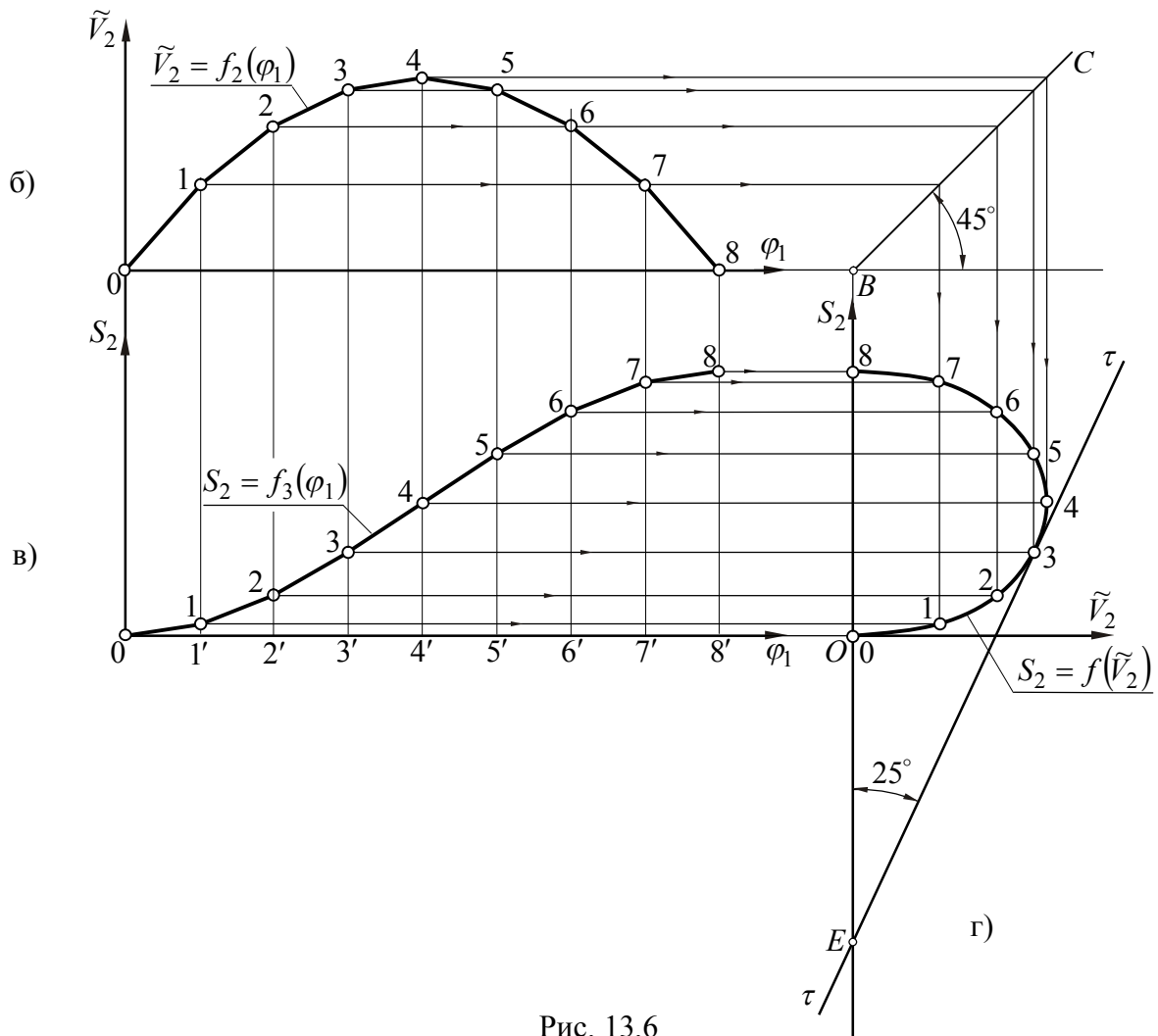


Рис. 13.6

При побудові ординату S_2 із графіку $S_2 = f_3(\varphi_1)$ переносять на графік $S_2 = f(\tilde{V}_2)$ горизонтальними лініями, а ординати \tilde{V}_2 із графіку $\tilde{V}_2 = f_1(\varphi_1)$ повертають на 90° . Для цього із точки B , що лежить на продовженні осі $0 - \varphi_1$ (рис.13.6,б) проводять пряму лінію BC під кутом 45° до цієї осі. Ординати \tilde{V}_2 до лінії BC зносять горизонтальними лініями, а потім дзеркально відбивають вертикальними лініями (усі додаткові побудови показані на рис. 13.6, г). Точки 1, 2, 3,....8 перетину допоміжних ліній відповідають функціям S_2 і \tilde{V}_2 при одних значеннях кута φ_1 .

З'єднавши отримані точки плавною кривою, одержимо діаграму переміщення штовхача у функції аналога швидкості $S_2 = f_3(\tilde{V}_2)$.

До отриманої кривої під кутом $\delta_{дон} = 25^\circ$ до осі OS_2 проводимо дотичну $\tau - \tau$. Точка перетинання дотичної (точка E) з віссю OS_2 визначає положення осі обертання кулачка при його мінімальному початковому радіусі, а відрізок (OE) є мінімальним початковим радіусом r_0 профілю кулачка в масштабі μ_S осі S_2 .

Помірявши відрізок (OE) на кресленні, визначаємо мінімальний початковий радіус шайби кулачка:

$$(OE) = 41,6 \text{ мм}; \quad r_0 = (OE) \cdot \mu_S = 41,6 \cdot 0,778 = 32,36 \text{ мм},$$

де $\mu_S = 0,778 \frac{\text{мм}}{\text{мм}}$ - масштабний коефіцієнт осі S_2 (заняття 12).

Визначимо початковий радіус шайби кулачка аналітично. Для цього скористаємося формулою (13.5). З огляду на те, що $\tilde{V}_{2\max} = 20,06 \text{ мм/рад}$ (таблиця 12.1 заняття 12), а при цьому $S_2 = 14 \text{ мм}$, то:

$$r_0 \geq \frac{\tilde{V}_{2\max}}{\text{tg} \delta_{\text{доп}}} - S_2 = \frac{20,06}{\text{tg} 25^\circ} - 14 = 30,2 \text{ мм}.$$

Приймаємо: $r_0 = 35 \text{ мм}$.

2. Побудова профілю кулачка.

При побудові профілю кулачка використовується метод обернення руху, тобто шайбу кулачка уважаємо нерухомим, а штовхач разом зі стійкою обертається навколо шайби кулачка із кутовою швидкістю $(-\omega_1)$.

Побудову профілю шайби кулачка будемо виконувати з масштабним коефіцієнтом осі S_2 діаграми $S_2 = f_3(\varphi_1)$, тобто:

$$\mu_\ell = \mu_S = 0,778 \frac{\text{мм}}{\text{мм}}.$$

Будуємо профіль шайби кулачка у наступній послідовності.

1. Із довільно обраного центру обертання кулачка – точки O проводимо початкове коло радіусом \bar{r}_0 та максимальне коло радіусом R_{\max} (на рис. 13.7 штрих пунктирними лініями).

З урахуванням масштабного коефіцієнта побудови на кресленні радіуси цих кіл будуть рівними:

$$\bar{r}_0 = \frac{r_0}{\mu_\ell} = \frac{35}{0,778} = 45 \text{ мм};$$

$$\bar{R}_{\max} = \bar{r}_0 + (8'8) = 45 + 36 = 81 \text{ мм}.$$

Між цими колами буде лежати центровий профіль шайби кулачка.

2. Із центру O проводимо довільний промінь OD та обираємо напрям обертання шайби кулачка (напрямок кутової швидкості ω_1).

3. Від променя OD у напрямі, протилежному обертанню шайби кулачка, відкладаємо один за другим задані фазові кути: $\varphi_B = 120^\circ$, $\varphi_{B,B} = 30^\circ$ та $\varphi_H = 120^\circ$ (промені OE , OK та ON).

4. Фази віддалення і наближення ділимо на 8 рівних частин (кут між сусідніми променями 15°) у відповідності з поділом осі абсцис діаграми $S_2 = f_3(\varphi_1)$. Проводимо промені $O1$, $O2$, $O3$ і т.д. Нумерація променів на фазі віддалення у напрямі, протилежному обертанню шайби кулачка, а на фазі наближення – за напрямом обертання шайби кулачка.

Проведені промені в оберненому русі визначають положення осей штовхача у відповідних положеннях кулачкового механізму.

5. Відклавши вздовж відповідних променів $O1$, $O2$, $O3$ і т.д. від початкового кола віддалення штовхача $11'$, $22'$, $33'$ і т.д., які заміряємо на діаграмі $S_2 = f_3(\varphi_1)$ (рис. 13.6,в), отримуємо точки дотику вістря штовхача до шайби кулачка в його оберненому русі (точки $1'$, $2'$, $3'$ і т.д.).

6. З'єднуємо отримані точки 1', 2', 3'...8' лекальною кривою і отримуємо теоретичний (центровий) профіль шайби кулачка на фазах віддалення та наближення.

Профіль кулачка на фазах віддаленого і наближеного вистою, окреслюємо дугами кіл радіусами \bar{R}_{\max} і \bar{r}_0 відповідно.

Побудований профіль шайби кулачка є **робочим** (конструктивним) для кулачкового механізму із загостреним штовхачем та **центровим**, по якому рухається центр ролика, для кулачкового механізму з роликівим штовхачем.

8. Обираємо радіус ролика:

$$r_p = 0,4 \cdot r_0 = 0,4 \cdot 35 = 14 \text{ мм.}$$

З урахуванням масштабного коефіцієнту μ_ℓ радіус ролика на кресленні дорівнює:

$$\bar{r}_p = \frac{r_p}{\mu_\ell} = \frac{14}{0,778} = 18 \text{ мм.}$$

9. Будуємо робочий профіль шайби кулачка в кулачковому механізмі з роликівим штовхачем. Оскільки центр ролика C знаходиться від дійсного профілю шайби кулачка на відстані рівній радіусу ролика r_p , то центровий і дійсний (робочий) профілі шайби кулачка будуть **еквідістантними** (рівновіддаленими) кривими.

Робочий профіль шайби кулачка будуються наступним чином. Із різних точок центрального профілю шайби кулачка (чим більше точок, тим більш точним буде профіль) на фазах віддалення і наближення проводять дуги кола радіусом ролика r_p . Ці дуги показують положення ролика в оберненому русі.

Провівши дотичну криву, що огинає усі положення ролика в оберненому русі по центровому профілю, отримаємо робочий профіль шайби кулачка на цих фазах.

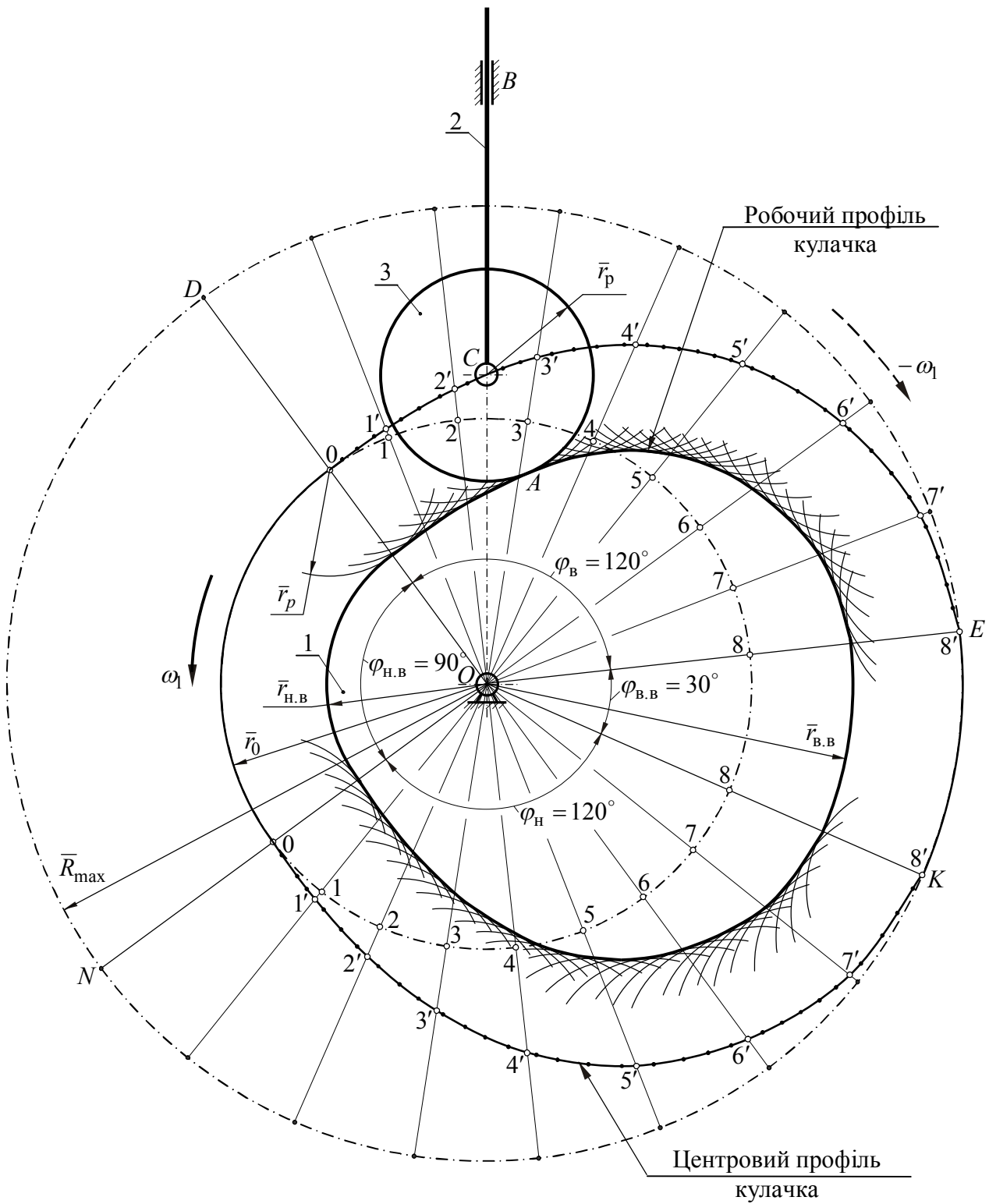


Рис. 13.7

На фазах віддаленого і наближеного вистою профіль кулачка окреслений дугами кіл, радіуси яких на кресленні дорівнюють:

$$\bar{r}_{B.B} = \bar{r}_{\max} - \bar{r}_p = 81 - 18 = 63 \text{ мм};$$

$$\bar{r}_{H.B} = \bar{r}_0 - \bar{r}_p = 45 - 18 = 27 \text{ мм}.$$

У дійсності радіуси цих кіл профілю кулачка рівні:

$$r_{\text{в.в}} = r_0 + H - r_p = 35 + 28 - 14 = 49 \text{ мм};$$

$$r_{\text{н.в}} = r_0 - r_p = 35 - 14 = 21 \text{ мм}.$$

Список додаткової літератури до практичного заняття

1. Бурлака В.В. Основи теорії механізмів і машин. Курс лекцій. / В.В. Бурлака, С.І. Кучеренко, Д.І. Мазоренко, Л.М. Тіщенко. – Харків: 2009, – 340 с.

2. Бурлака В.В. Учебное пособие. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин. Механизм долбежного станка. / В.В. Бурлака, С.И. Кучеренко, О.Н. Малец, В.П. Ольшанский – Харьков: 2011. – 265 с.

3. Бурлака В.В., Учебное пособие. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин. Кулисный механизм поршневого компрессора. / В.В. Бурлака, О.Н. Малец, М.В. Слипченко – Харьков: 2013. – 287 с.

Навчальне видання

ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН

Заняття № 13.

Синтез профілю шайби кулачка

Методичні вказівки

до виконання практичних робіт

Укладачі

БУРЛАКА Володимир Васильович,
ОЛЬШАНСЬКИЙ Василь Павлович,
СЛІПЧЕНКО Максим Володимирович

Формат 60x84\16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. 1,06

Наклад 30 пр.

Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44

