

Міністерство освіти і науки України

**Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя**

*Кафедра технічної механіки та
сільськогосподарських машин*

ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН

**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК
до курсового проектування**

для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності
133 «Галузеве машинобудування»

Тернопіль
2018

УДК 621.01
Д 58

Автори:

А.Д. Довбуш, старший викладач кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин

Н.І. Хомик, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин

Т.А. Довбуш, кандидат технічних наук, асистент кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин

Рецензент

Петрикович Ю.Я., к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних технологій Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка

Розглянуто й затверджено на засіданні кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин протокол № 1 від 29.08.2018р.

Схвалено й рекомендовано до друку на засіданні методичної комісії факультету інженерії машин, споруд та технологій, протокол № 1 від 31.08.2018р.

Довбуш А.Д.

Д 58 Теорія механізмів і машин: навчально-методичний посібник до курсового проектування / Довбуш А.Д., Хомик Н.І., Довбуш Т.А. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2018. – 70 с.

Розроблено відповідно до навчальної програми і призначено для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

УДК 621.01

© Довбуш А.Д., Хомик Н. І.,
Довбуш Т.А.,
2018

ЗМІСТ

	стр.
ВСТУП.....	4
I. ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ.....	5
II. ОБ'ЄМ І ЗМІСТ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ.....	5
Аркуш 1. Структурний і кінематичний аналіз механізму.....	6
Аркуш 2. Силовий аналіз механізму.....	6
Аркуш 3. Синтез зубчастого і кулачкового механізмів.....	7
3.1. Зубчастий механізм.....	7
3.2. Кулачковий механізм.....	7
III. ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВИХ РОБІТ (ПРОЕКТІВ).....	8
IV. ЗМІСТ РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ.....	17
V. ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ (РОБОТИ).....	18
Аркуш 1. Структурний і кінематичний аналіз механізму.....	18
1.1. Структурний аналіз механізму.....	18
1.2. Визначення положень механізму.....	20
1.3. Побудова планів швидкостей.....	20
1.4. Визначення кутових швидкостей ланок.....	22
1.5. Побудова планів прискорень.....	23
1.6. Визначення кутових прискорень.....	25
1.7. Побудова кінематичних діаграм.....	26
1.8. Порівняння результатів.....	27
Аркуш 2. Силовий (кінетостатичний) аналіз механізму.....	28
2.1. Визначення сил ваги ланок.....	28
2.2. Визначення сил інерції ланок.....	28
2.3. Визначення моментів інерції ланок.....	29
2.4. Визначення моментів сил інерції.....	30
2.5. Зведення моментів інерції і сил інерції до сил інерції.....	30
2.6. Силовий розрахунок групи 4-5.....	31
2.7. Силовий розрахунок ланки 2-3.....	34
2.8. Силовий розрахунок ведучої ланки.....	35
2.9. Визначення зрівноважувальної сили методом Жуковського.....	37
2.10. Порівняння результатів.....	37
Аркуш 3. Синтез зубчастого і кулачкового механізмів.....	38
3.1. Зубчастий механізм.....	38
3.2. Кулачковий механізм.....	39
ЗАВДАННЯ.....	41
ДОДАТОК А.....	66
ДОДАТОК Б.....	67
ДОДАТОК В.....	68
Список використаної та рекомендованої літератури.....	69

ВСТУП

Теорія механізмів і машин разом із теоретичною механікою, опором матеріалів і деталями машин є однією з основних загальноінженерних дисциплін, що забезпечує необхідну теоретичну підготовку інженерів-механіків.

Теорія механізмів і машин – наука про загальні методи дослідження властивостей механізмів і машин та проектування їх схем.

Становлення теорії механізмів і машин як науки відбулося наприкінці XVIII століття, у час бурхливого розвитку промисловості в Англії, Франції, Нідерландах. До того часу вона була складовою механіки.

Варто відзначити, що з часів Леонардо да Вінчі в принципі були вже відомі всі основні типи механізмів. Завдяки праці вчених, інженерів, винахідників на середину 70-х років XX ст. створено понад 5 тисяч різних механізмів, що застосовуються в машино- і приладобудуванні, системах автоматизації. Ці механізми описано у довіднику «Механізми в сучасній техніці» під загальним редагуванням І.І. Артоболевського. Цікаво відзначити, що за понад 150 років кількість відомих людству механізмів зросла в 35 разів.

Починаючи з 80-х років XX ст., започатковано новий напрямок – біомеханіка. Продовжуються дослідження з теорії і принципів побудови роботів і маніпуляторів. В основі створення сучасних робототехнічних пристроїв лежать нові технології, що отримали розвиток тільки у другій половині XX ст., – обчислювальна техніка й інформатика. З 90-х років XX ст., вирішуються проблеми проектування, виготовлення та експлуатації гнучких виробничих систем (ГВС), які відзначаються високим рівнем автоматизації.

Курс ТММ поділяють на дві частини: теорію механізмів і теорію машин. Теорія механізмів вивчає будову, кінематику і динаміку механізмів та методи їх проектування.

У теорії машин розглядають загальні методи проектування схем машин як сукупності окремих механізмів, вивчають автоматичне керування і регулювання машин.

Найбільш дослідженою є теорія механізмів, у якій розглядають проблеми аналізу і синтезу.

Аналіз механізму полягає у дослідженні його структурних, кінематичних і динамічних властивостей; синтез механізму – в проектуванні схеми нового механізму за заданими його властивостями.

I. ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Курсове проектування з «Теорії механізмів і машин» (ТММ) – це практичне застосування отриманих теоретичних знань, перша самостійна робота студентів з комплексного проектування і дослідження взаємозв'язаних механізмів, що є складовими частинами машин і приладів.

Курсовий проект (робота) охоплює основні розділи курсу. В процесі його виконання у студентів виробляються навички проектування шарнірно-стержневих, кулачкових, зубчастих та інших механізмів. Проект знайомить з методикою вибору та оцінювання різних схем і основних параметрів механізмів, з їх кінематичними, динамічними і силовими розрахунками.

II. ОБ'ЄМ І ЗМІСТ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Курсовий проект складається з трьох аркушів (курсова робота з одного аркуша) формату А1 (594 мм x 841 мм), і розрахунково-пояснювальної записки об'ємом 25...30 сторінок формату А4.

Курсовий проект виконують у такій послідовності:

Аркуш 1. Структурний і кінематичний аналіз механізму.

Аркуш 2. Силовий аналіз механізму.

Аркуш 3. Синтез зубчастого і кулачкового механізмів.

Курсову роботу виконують на одному аркуші формату А1 (594 мм x 841 мм). Розрахунково-пояснювальна записка буде об'ємом 20...25 сторінок формату А4.

Аркуш 1. Структурний і кінематичний аналіз механізму

- 1.1. Виконати структурний аналіз заданої схеми механізму.
- 1.2. Визначити крайні положення веденої ланки, до якої прикладена сила виробничого опору F_{BO} . Визначити робочий і холостий ходи механізму.
- 1.3. Приймаючи одне із крайніх положень механізму за нульове (початок робочого ходу), побудувати n положень (кількість положень задає викладач).
- 1.5. Побудувати плани швидкостей і прискорень для двох вибраних положень механізму (робочого і холостого ходів).
- 1.6. Визначити кутові швидкості і кутові прискорення всіх ланок механізму для двох положень і показати їх напрями на кінематичній схемі механізму.
Методом діаграм дослідити кінематику точки ланки (побудувати графіки шляху, швидкості та прискорень), до якої прикладена сила виробничого опору.
- 1.7. Порівняти числові значення швидкостей і прискорень, отриманих методом планів і методом кінематичних діаграм, приймаючи за основу плани швидкостей та прискорень. Відносна похибка не повинна перевищувати 5%.
- 1.8. Результати обчислень звести в таблиці на кресленні.

Аркуш 2. Силовий аналіз механізму

- 2.1. Визначити сили ваги, сили інерції і моменти сил інерції всіх ланок для одного положення механізму (робочого ходу).
- 2.2. Методом планів сил виконати силовий розрахунок механізму для одного положення (робочого ходу).
- 2.3. Визначити реакції у всіх кінематичних парах механізму. Значення реакцій звести в таблиці на кресленні.
- 2.4. Визначити зрівноважувальну $F_{ЗР}$ силу з плану сил.
- 2.5. Методом «жорсткого важеля» Жуковського визначити зрівноважувальну силу для одного положення (робочого ходу) з врахуванням сил ваги, інерції і виробничого опору.
- 2.6. Порівняти значення зрівноважувальних сил, отриманих методом планів і методом Жуковського. Відносна похибка не повинна перевищувати 5%.

Аркуш 3. Синтез зубчастого і кулачкового механізмів

3.1. Зубчастий механізм

- 3.1.1. Мінімальне число зубів ведучого колеса прийняти $Z_1 = 17$.
- 3.1.2. Виконати кінематичний та геометричний розрахунки нормальної циліндричної зубчастої передачі.
- 3.1.3. Накреслити по три зуби кожного колеса, показавши теоретичну і робочі лінії зачеплення, робочі частини профілів зубів. Визначити коефіцієнт перекриття. Масштаб зубчастого механізму прийняти таким, щоб висота зуба на кресленні була не менше 40 мм.

3.2. Кулачковий механізм

- 3.2.1. За заданим законом прискорення або його аналога побудувати графіки швидкості і переміщення штовхача.
- 3.2.2. Мінімальний радіус основного кола кулачка прийняти

$$R_{\min} = (1,5 \dots 2,5) \cdot h_{ш},$$

де $h_{ш}$ – переміщення штовхача.

- 3.2.3. Побудувати теоретичний і робочий профілі кулачка.

III. ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВИХ РОБІТ І ПРОЕКТІВ

Курсову роботу (пояснювальну записку, надалі ПЗ) оформляють в одному примірнику згідно вимог ДСТУ 3008:2015 «Інформація та документація. Звіти у сфері науки та техніки. Структура та правила оформлення». Мова записки – державна, стиль – науковий, чіткий, без орфографічних і синтаксичних помилок, послідовність логічна.

Виконують ПЗ рукописним, машинописним або машинним (за допомогою комп'ютерної техніки) способом на одному боці аркушів білого паперу формату А4 (297 мм× 210 мм) з рамкою та основним написом (кутовим штампом, форми 2 і 2а) згідно з ГОСТ 2.104-2006. Дозволяється окремі частини записки виконувати різними способами – машинописним або ручним. Можна також представляти ілюстрації, таблиці та інші матеріали на аркушах формату А3.

Текст записки розміщувати на аркушах з дотриманням таких розмірів полів: з лівого боку – не менше 25 мм, з правого – не менше 15 мм, згори – не менше 25 мм, знизу – не менше 25 мм. Відстань від рамки (кутового штампа) форми 2 чи 2а до меж тексту на початку і в кінці рядків (зліва і справа) повинна бути не менша за 5 мм, згори від рамки – 10 мм, знизу від кутового штампа – 10 мм (рисунок 1).

При виконанні *текстового матеріалу рукописним способом* текст має бути виконаний креслярським шрифтом згідно з ГОСТ 2.304-81 з висотою букв і цифр не менше 2,5 мм. Цифри і букви необхідно писати чітко, виконати в *чорному кольорі*.

При оформленні тексту за допомогою комп'ютера (Текстовий редактор сумісний з Word for Windows версія 7.0 або пізніша) **потрібно дотримуватися таких загальних рекомендацій щодо форматування:**

- основний шрифт, включаючи заголовки, – Times New Roman, 14 пунктів, звичайний (без виділення жирним, курсивом і підкресленням), колір – тільки чорний, вирівнювання по ширині;

- основний міжрядковий інтервал – 1,5 (без застосування будь-яких інтервалів перед і після абзаців та пропусків рядків у тексті);

- в багаторядкових назвах пунктів (підпунктів), підрисункових написах і заголовках таблиць, всередині них – міжрядковий інтервал – 1,0;

- у підрисункових підписах та в текстах комп'ютерних програмах можна використовувати 12-й кегль та одинарний інтервал;

- всередині таблиць міжрядковий інтервал – 1,0, шрифт – будь-якого розміру (але не менше 7 пунктів);

- всередині рисунків (ілюстрацій) міжрядковий інтервал – 1,0; шрифт – будь-якого розміру, але не менше 7 пунктів);

- абзацний відступ впродовж усього тексту («новий рядок») однаковий – 1,25 см (п'ять символів).

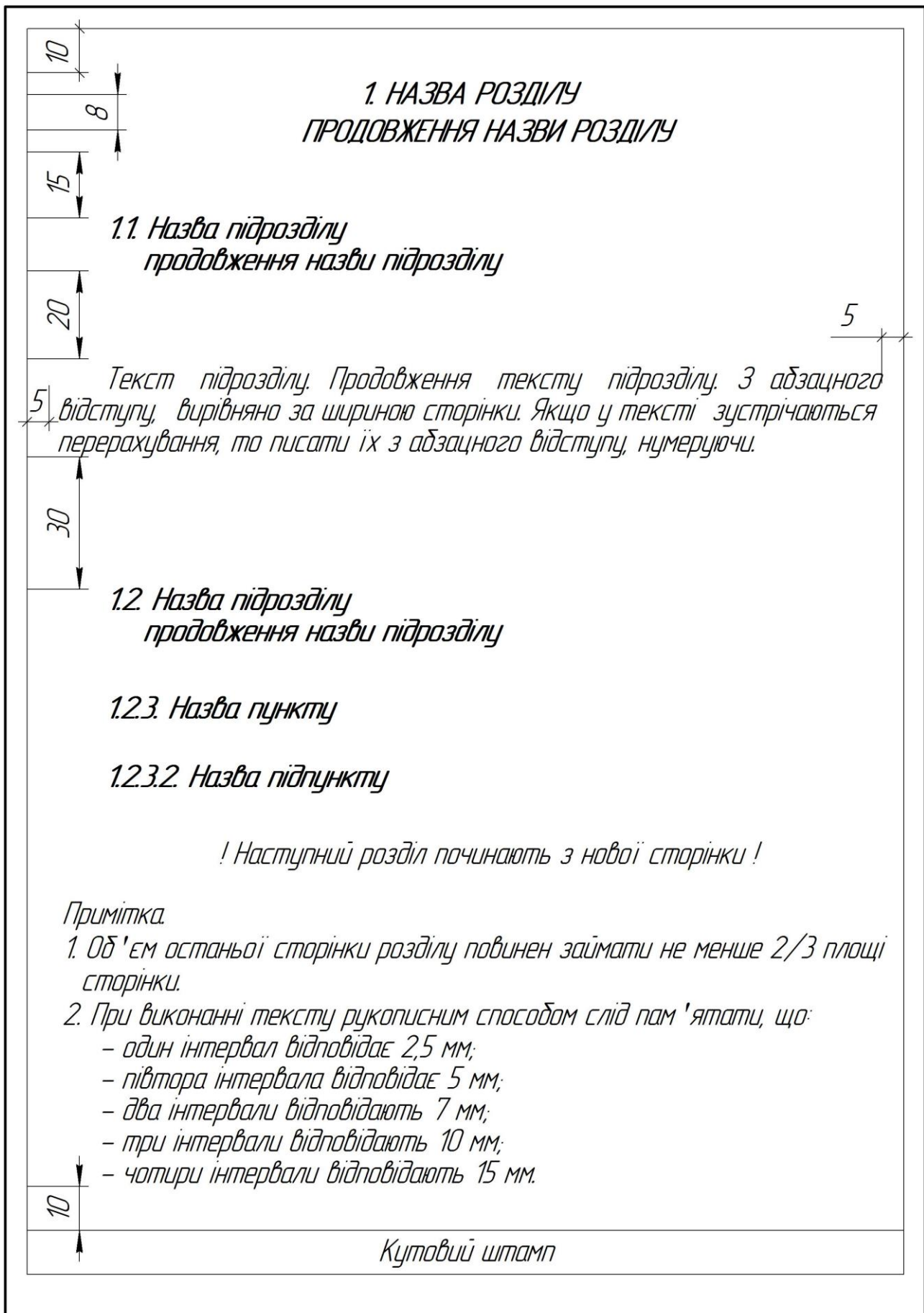


Рисунок 1 – Приклад розміщення тексту записки на сторінці

Помилки і графічні неточності допускається виправляти заклеюванням, підчищуванням або замальовуванням білою фарбою з наступним внесенням виправленого тексту. **Допускається не більше двох виправлень на одній сторінці.**

Пошкодження листів текстових документів, забруднення, неповністю знищені сліди попереднього тексту – **не допускається.**

При вписуванні слів, формул, знаків у надрукований текст вони мають бути чорного кольору; щільність вписаного тексту має максимально наближатися до щільності основного зображення.

Виправлення мають бути **чорного кольору.**

Деякі загальноприйняті правила написання тексту:

1. Латинські літери, які пояснюють фізико-математичні величини, пишуть курсивом.

2. Грецькі літери завжди пишуть у прямому накресленні.

3. Цифри пишуть у прямому накресленні, курсивом тільки тоді, коли вони щось означають (з точки 1 у точку 2, а також як позначення на рисунках, кресленнях, схемах), а не числами в прямому розумінні цього слова.

4. Функції (sin, cos, tg, lg і т.ін) завжди подають у прямому накресленні, щоб вони явно відрізнялися від аргументів.

5. Дужки і математичні знаки – завжди прямі.

6. При **наборі формул** потрібно правильно налагодити редактор формул Microsoft Equation. В меню «Стиль», пункт «Визначити», для грецьких літер і символів повинен бути заданий шрифт Symbol, для решти – основний шрифт, наприклад, Times New Roman. Нахилений формат символів (*курсив*) використовують лише для стилю «Змінна», а напівжирний – «Матриця – вектор».

7. При **написанні індексів можливі два варіанти.** Якщо індекси означають величину, яка може приймати числове значення, то його записують курсивом, у протилежному випадку – прямо. Наприклад, маса m з індексом i . Якщо « i » – це змінна, яка може набувати значень 1, 2 і т. д., то індекс « i » оформляють курсивом. Якщо « i » – це скорочення від слова «іон» і означає масу іона, то індекс « i » – це текст, а не змінна, і він повинен бути прямим.

8. **Числа з розмірністю необхідно писати цифрами, а без розмірності – словами**, наприклад: «Висота – 600 м», «... за другим варіантом ...».

Порядкові чисельники, які йдуть один за одним, можуть бути подані цифрами з відмінковим закінченням, яке ставлять лише при останній цифрі, наприклад: 1-е; 7, 8, 9-й тощо.

9. У поліграфічно грамотно підготовлених текстах можна зустріти мінуси, дефіси і два типи тире – коротке (– end-dash) і довге (— em-dash). Дефіс зазвичай використовують при вказуванні діапазону, наприклад «сторінки 13-32», а коротке тире – у контекстах.

Дефіси не мають пробілів з жодного боку. Те ж саме стосується довгого тире в англomовних текстах. При наборі текстів українською мовою, необхідно ставити пробіли з двох сторін довгого і короткого тире.

10. Стиль викладення тексту записки повинен бути коротким, чітким і без двоякого змісту. Прийнята у тексті *термінологія повинна відповідати встановленій у стандартах, а при відсутності такої – загальноприйнятій у науково-технічній літературі.*

У тексті пояснювальної записки не рекомендовано вживати звороти із займенниками першої особи, наприклад: «Я вважаю ...», «Ми вважаємо ...» тощо.

Рекомендовано вести виклад, не вживаючи займенників, наприклад: «Вважаємо ...», «... знаходимо ...» тощо.

При викладі обов'язкових вимог у тексті застосовують слова «повинен», «впливає», «необхідно», «потрібно, щоб...», «дозволяється лише», «не допускається», «забороняється», «не впливає». При викладі інших положень варто застосовувати слова «можуть бути», «як правило», «при необхідності», «може бути», «у випадку» і т.ін.

При цьому *допускається використовувати оповідальну форму викладу тексту ПЗ,* наприклад: «застосовують», «вказують» тощо.

11. **Текст основної частини** записки поділяють на розділи і підрозділи, пункти і підпункти (при потребі).

Кожен розділ (структурну частину) записки починають з нового аркуша (сторінки).

Назви розділів і підрозділів повинні бути короткими і відповідати змістові. **Назву розділу записують як заголовок прописними (великими) літерами** посередині рядка (*симетрично до тексту*), а **назву підрозділу – з абзацу стрічковими літерами** (перша – прописна).

У заголовках розділів і підрозділів перенесення слів не допускається. **Крапку в кінці заголовка не ставлять.** Якщо заголовок складається з двох речень, то їх розділяють крапкою. **Відстань між рядками у заголовках повинна становити один інтервал (5 мм).**

Відстань між назвою розділу і наступним (попереднім) текстом або назвою підрозділу при виконанні тексту машинописним і машинним способами становить 3...4 інтервали, а при рукописному – 15 мм.

Розділи в межах усієї записки повинні мати порядкові номери, позначені арабськими цифрами (1, 2, і т.д.).

Підрозділи повинні мати нумерацію в межах розділу, номер підрозділу складається з номера розділу і підрозділу, розділених крапкою, наприклад, 2.3 (*Це означає: третій підрозділ другого розділу*).

Підрозділи можуть мати пункти, їх нумерують у межах підрозділу. Номер пункту складається з номера розділу, підрозділу і пункту, розділених крапкою. Після номера ставлять крапку. Цифри, які вказують номери пунктів, не повинні виступати за межі абзацу. Пункти можуть бути розбиті на підпункти, їх нумерують у межах пункту.

Номер пункту вміщує номер розділу, підрозділу і пункту, які розділені крапками, наприклад, 3.2.1 (*перший пункт другого підрозділу третього розділу*).

В кінці назви розділу, підрозділу, пункту і підпункту крапку не ставлять.

12. Структурні елементи АНОТАЦІЯ (РЕФЕРАТ), ЗМІСТ, ВСТУП, ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ, ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ, ДОДАТКИ як розділи не нумерують.

13. **Не допускається розміщувати назву розділу, підрозділу, а також пункту й підпункту в нижній частині сторінки, якщо після неї розміщено тільки один рядок тексту.** Повинно бути хоча б три рядки тексту.

14. **Ілюстрації** (креслення, рисунки, графіки, схеми, діаграми, фотознімки) потрібно розміщувати у записці курсової роботи безпосередньо після тексту, де вони згадуються вперше, або на наступній сторінці.

Перед і після ілюстрацією залишають одну незаповнену текстом стрічку.

Кількість ілюстрацій повинна бути достатньою для пояснення тексту, що викладається.

Зміст ілюстрацій має доповнювати текст записки, поглиблювати розкриття суті явища, наочно ілюструвати думки автора. Тому в тексті на кожну з них **повинно бути посилання з коментарем.**

Якщо ілюстрації містяться на окремих сторінках роботи, їх включають до загальної нумерації сторінок. Ілюстративні або табличні матеріали, розміри яких є більші за формат А4, враховують як одну сторінку і розміщують у відповідних місцях після згадування в тексті або додатках.

Ілюстрації повинні мати назву, яку розміщують під ілюстрацією. За необхідності під ілюстрацією розміщують пояснювальні дані (підрисунковий текст). **Ілюстрацію позначають словом «Рисунок», яке разом з назвою ілюстрації розміщують після пояснювальних даних по центру сторінки,** наприклад, «Рисунок 2.1 – Технологічна схема

коренезбиральної машини». *Ілюстрації нумерують арабськими цифрами наскрізно або порядковою нумерацією в межах розділу, за винятком ілюстрацій, наведених у додатках. Номер ілюстрації складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, відокремлених крапкою.* Наприклад, рисунок 3.2 – другий рисунок третього розділу. Якщо ілюстрація не вміщається на одній сторінці, можна переносити її на інші сторінки, вміщуючи назву ілюстрації на першій сторінці, пояснювальні дані – на кожній сторінці і під ними позначати: «Рисунок_, аркуш_».

Ілюстрації у тексті виконують у графічному редакторі або тушшю чи олівцем (рукописний спосіб).

Допускається наскрізна нумерація рисунків, якщо їх небагато.

Слово «Рисунок» пишуть під самим рисунком (після пояснювальних даних, якщо такі є) і супроводжують тематичною назвою з розшифровкою всіх буквених і цифрових позначень, наприклад:

1 – камера, 2 – молоток, 3 – ротор, 4 – дека
Рисунок 5 – Принципова схема кормодробарки

Написи на рисунках виконують креслярським шрифтом з розміром букв і цифр, прийнятих у тексті.

Фотознімки розміру меншого за формат А4 мають бути наклеєні на аркуші білого паперу формату А4.

Посилання на ілюстрації подають так: «на рисунку 3.1», «згідно з рис. 3.2», повторно «див. рис. 3.1».

15. Цифровий матеріал, як правило, оформляють у вигляді таблиць. Їх розмір вибирають довільно. Горизонтальні лінії у таблиці наводити не рекомендують. Діагональний поділ головки таблиці *не допускається*. Горизонтальні та вертикальні лінії, які розмежовують рядки таблиці, а також лінії зліва, справа і знизу, що обмежують таблицю, можна не проводити, якщо їх відсутність не утруднює користування таблицею.

Заголовки і підзаголовки граф таблиці виконують стрічковими літерами, крім першої прописної. Якщо підзаголовок складає одне речення зі заголовком, то його починають з стрічкової літери. В кінці заголовків і підзаголовків крапку не ставлять.

Таблицю розташовують безпосередньо після тексту, в якому вона згадується вперше, або на наступній сторінці.

На всі таблиці мають бути посилання в тексті записки. *Посилання на таблицю* має вигляд: «У таблиці 3.2 наведено..., відповідно до таблиці 3.5», повторно «див. табл. 3.2».

Таблиці нумерують арабськими цифрами наскрізно або порядковою нумерацією в межах розділу. Номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці, відокремлених крапкою, наприклад: Таблиця 3.1 – перша таблиця третього розділу.

Таблиця має назву, яку друкують рядковими (малими) літерами крім першої прописної (великої) і розміщують над таблицею. Назва має бути стислою і відображати зміст таблиці. **Назву записують після номера таблиці через тире.** Переносячи частину таблиці на наступну сторінку, повторюють у кожній частині таблиці її заголовок і боковик.

При поділі таблиці на частини допускається її заголовок або боковик замінювати відповідно номерами граф чи рядків, нумеруючи їх арабськими цифрами у першій частині таблиці.

Слово «Таблиця» подають лише один раз зліва з абзацу над першою частиною таблиці. **При перенесенні таблиці** на наступну сторінку головку і боковик повторюють, **над іншими частинами таблиці з абзацного відступу друкують:** «Продовження таблиці...» або «Кінець таблиці...» з зазначенням її номера, але без повторення її назви.

Колонки «Номер за порядком» та «Одиниці вимірювання» у таблицю не вводять.

Допускається наскрізна нумерація таблиць, якщо їх не багато.

Вище і нижче кожної таблиці залишають один вільний рядок.

16. Формули та рівняння розташовують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються. Записують їх посередині сторінки з нової стрічки у загальному вигляді.

Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів, що входять до формули чи рівняння, наводять безпосередньо під формулою у тій послідовності, в якій вони наведені у формулі чи рівнянні.

Пояснення значення кожного символу та числового коефіцієнта наводять з нового рядка. з зазначенням розмірності. Перший рядок пояснення починають без абзацу словом «де» без двокрапки. Після цього наводять формулу з підставленими значеннями і кінцевим результатом.

Вище й нижче кожної формули або рівняння повинно бути залишено не менше одного вільного рядка.

Формули і рівняння у записці (за винятком формул і рівнянь, наведених у додатках) **нумерують порядковою нумерацією в межах розділу.** Номер формули або рівняння складається з номера розділу і порядкового номера формули або рівняння, відокремлених крапкою, наприклад, (2.3) – третя формула другого розділу.

Номер формули або рівняння зазначають на рівні формули або рівняння в дужках у крайньому правому положенні на рядку.

Якщо рівняння не вміщається в одній стрічці, то його переносять після відповідного знаку: (=), (+), (-), (x). Якщо підряд іде декілька рівнянь, формул, то в кінці кожного з них ставлять крапку з комою, а після останнього – крапку.

Допускається наскрізна нумерація формул у межах всієї записки.

Написання формул, цифр, заголовків розділів і підрозділів, заповнення таблиць виконують тільки шрифтом (при оформленні рукописним способом).

17. У записці **забороняється** використовувати ксерокопії рисунків, схем, планів, таблиць тощо.

18. **Висновки та пропозиції** повинні містити короткий текст за результатами виконаної роботи. В кінці висновків студент ставить дату оформлення та свій підпис.

19. **Перелік посилань (перелік джерел інформації)** повинен містити перелік літературних та інших джерел, використаних при написанні записки, на які є посилання в тексті звіту. Оформляють його згідно з рекомендаціями ГОСТ 7.1:2006 (Додаток 11).

Перелік посилань вимагає розміщення всіх використаних джерел інформації у такій послідовності:

- а) закони України (у хронологічній послідовності);
- б) укази Президента, постанови уряду (у хронологічній послідовності);
- в) директивні матеріали міністерств (у хронологічній послідовності);
- г) монографії, брошури, підручники (абетковий порядок);
- д) статті з журналів (абетковий порядок);
- є) інструктивні, нормативні та інші матеріали, що використовуються підприємством (абетковий порядок);
- ж) іншомовні джерела;
- з) електронні джерела.

Роботи іноземних авторів подавати в переліку в оригінальній транскрипції.

20. У тексті записки у квадратних дужках **обов'язково наводять посилання на ті літературні джерела, з яких взято формули, коефіцієнти та інші довідкові дані.** У дужках записують порядковий номер джерела відповідно до його появи у тексті, а саме джерело під цим номером заносять у список використаних джерел, який наводять в кінці записки. Допускається список використаних джерел наводити у алфавітному порядку. Дані про літературне джерело повинні включати прізвище та ініціали автора (авторів), назву книги, місце видання, видавництво, рік видання, кількість сторінок.

21. *Документи, розміщення яких в основному тексті недоцільне* (зібрані первинні документи, креслення, схеми, ескізи, інструкції, програми розрахунків на ПК, великі таблиці і т. ін.), *повинні бути оформлені у вигляді додатків* до записки, які розміщують в кінці записки після списку використаних джерел.

Кожен додаток починають з нової сторінки з написом симетрично до тексту (посередній сторінки), наприклад, «ДОДАТОК Б».

В основному тексті потрібно вказати посилання на додатки.

Додатки до ПЗ можуть бути подані як:

- продовження тексту основної частини ПЗ;
- відокремлену самостійну частину ПЗ;
- окремий том.

Якщо додатки є продовженням тесту основної частини ПЗ, нумерація сторінок додатків – це продовження нумерації сторінок ПЗ, тобто *додатки мають наскрізну нумерацію з запискою*.

Кожний додаток повинен мати заголовок, надрукований угорі рядковими (малими) літерами з першою прописною (великою) симетрично відносно тексту сторінки.

Над заголовком, симетрично до тексту, прописними (великими) літерами друкують або пишуть слово «ДОДАТОК» і велику літеру (або цифру, як виняток), що позначає додаток. Додатки необхідно позначати послідовно прописними літерами української абетки, за винятком літер Г, Є, З, І, ї, Й, О, Ч, Ь, наприклад, ДОДАТОК А, ДОДАТОК Б і т. д.

Один додаток позначають як ДОДАТОК А.

Текст кожного додатка починають з наступної сторінки.

Якщо у ПЗ *як додаток наводять документ, що має самостійне значення* (наприклад, патентні дослідження, технічні умови, технологічний регламент, атестовану методику проведення досліджень, стандарт тощо) та оформлений згідно з вимогами до цього документа, *то в додатку вміщують його копію без будь-яких змін*. На копії цього документа праворуч у верхньому куті проставляють нумерацію сторінок ПЗ, як належить у разі нумерування сторінок додатка, а знизу зберігають нумерацію сторінок документа (або навпаки, залежно від вихідної нумерації сторінок документа).

У такому випадку на окремому аркуші друкують великими літерами слово «ДОДАТОК», відповідну велику літеру української абетки, що позначає документ, а під ним, симетрично відносно сторінки, друкують назву документа малими літерами, починаючи з першої великої. Аркуш з цією інформацією також нумерують.

IV. ЗМІСТ РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Розрахункова частина записки повинна включати:

1. Аркуш 1. Структурний і кінематичний аналіз механізму

- 1.1. Структурний аналіз механізму.
- 1.2. Визначення положень механізму.
- 1.3. Побудова планів швидкостей для двох заданих положень механізмів.
- 1.4. Визначення кутових швидкостей ланок.
- 1.5. Побудова планів прискорень для двох заданих положень механізмів.
- 1.6. Визначення кутових прискорень ланок.
- 1.7. Побудова кінематичних діаграм.
- 1.8. Порівняння результатів.

2. Аркуш 2. Силовий аналіз механізму

- 2.1. Визначення сил ваги ланок.
- 2.2. Визначення сил інерції ланок.
- 2.3. Визначення моментів інерції ланок.
- 2.4. Визначення моментів сил інерції ланок.
- 2.5. Зведення сил і моментів сил інерції ланок до сил інерції.
- 2.6. Силовий розрахунок групи 4-5.
- 2.7. Силовий розрахунок групи 2-3.
- 2.8. Силовий розрахунок ведучої ланки. Визначення зрівноважувальної сили.
- 2.9. Визначення значення реакцій.
- 2.10. Визначення зрівноважувальної сили методом Жуковського.
- 2.11. Порівняння результатів.

3. Аркуш 3. Синтез зубчастого і кулачкового механізму

3.1. Зубчастий механізм

- 3.1.1. Геометричний розрахунок зубчастих коліс.
- 3.1.2. Визначення коефіцієнта перекриття.

3.2. Кулачковий механізм

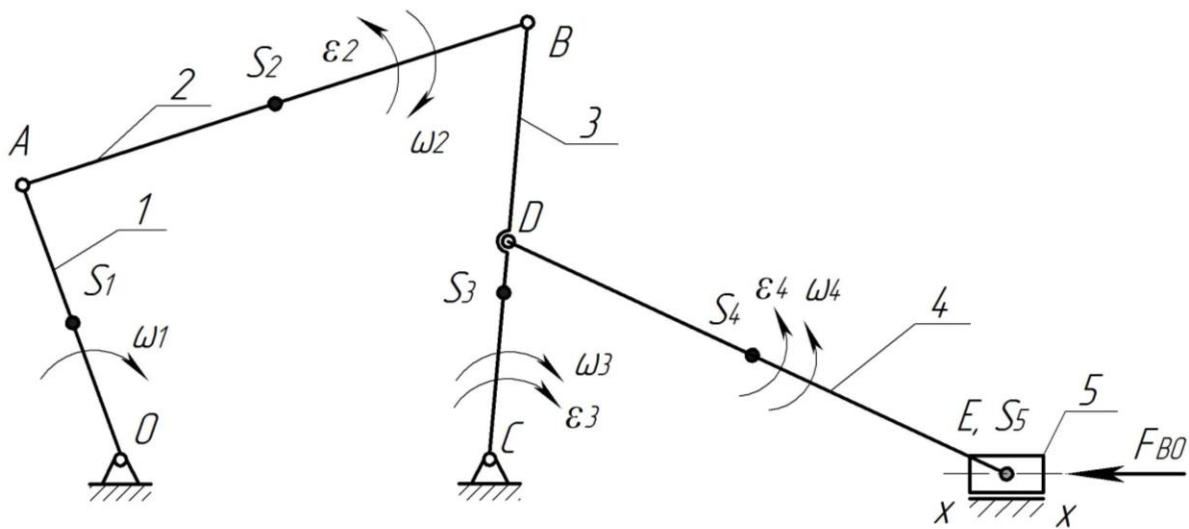
- 3.2.1. Побудова кінематичних діаграм.
- 3.2.2. Визначення мінімального радіуса кулачка.
- 3.2.3. Побудова профілю кулачка.

У. ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ (РОБОТИ)

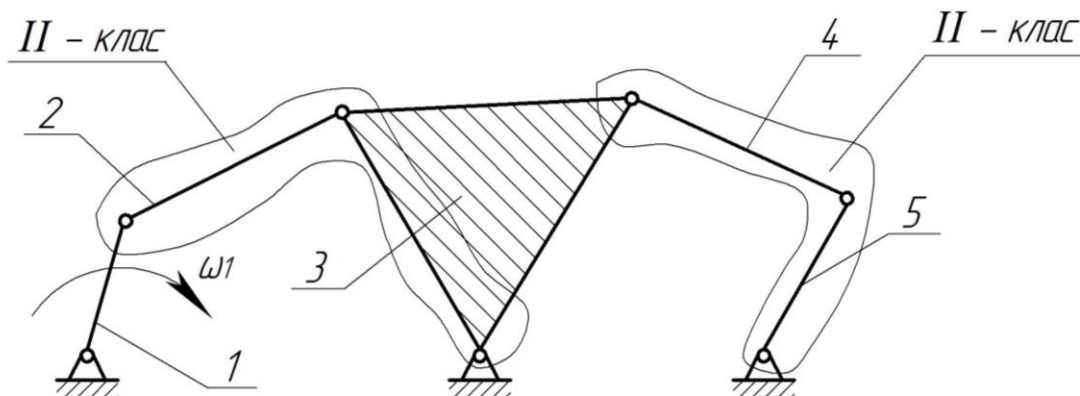
АРКУШ 1 СТРУКТУРНИЙ І КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ МЕХАНІЗМУ

1.1. Структурний аналіз механізму

Для заданого механізму (рисунок 2а) вивчаємо принцип його роботи, встановлюємо види руху кожної ланки та їх відносний рух. Позначаємо цифрами ланки механізму, ведучу ланку механізму позначаємо цифрою 1 (рисунок 2а).



а) кінематична схема механізму



б) структурна схема механізму

Рисунок 2 – Кінематична та структурна схеми механізму

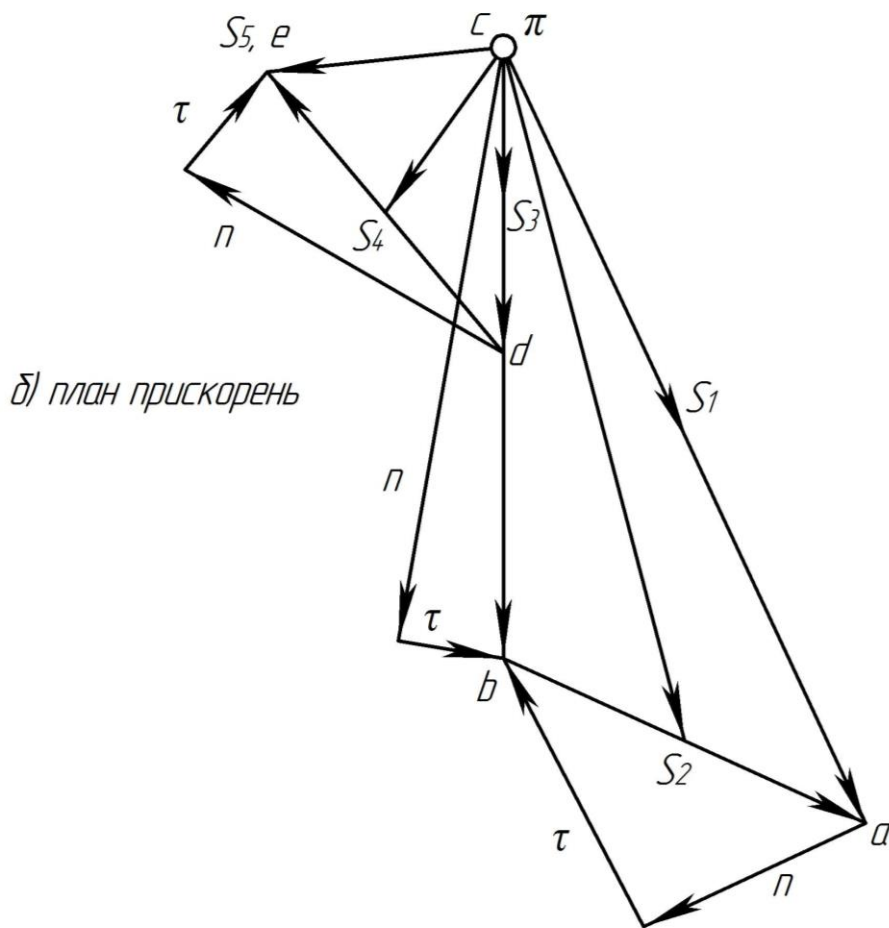
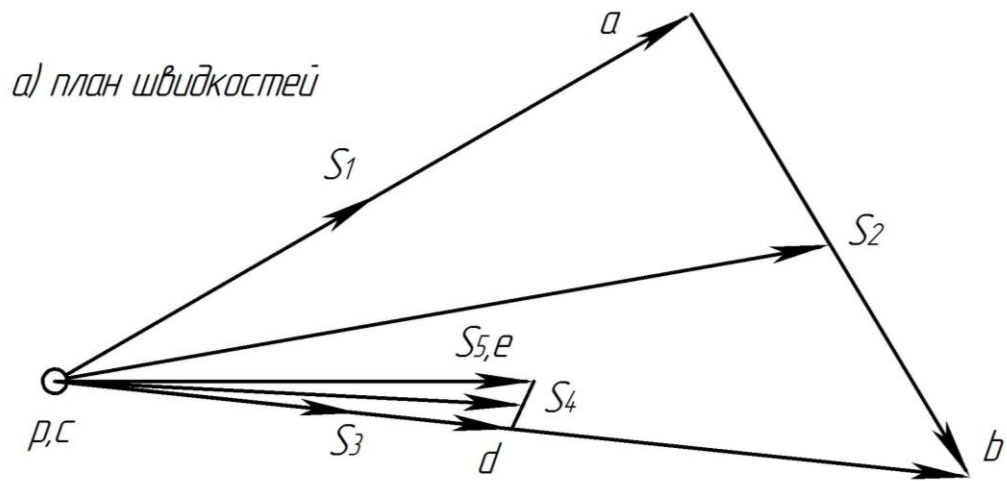


Рисунок 3 – Плани швидкостей та прискорень для одного із положень механізму

За формулою Чебишева визначаємо ступінь рухомості механізму

$$W = 3n - 2p_5 - p_4, \quad (1)$$

де n – кількість рухомих ланок (рисунок 2б);

p_5 – кількість кінематичних пар п'ятого класу (рисунок 2б);

p_4 – кількість кінематичних пар четвертого класу.

Для заданого механізму:

$$n = 5; p_5 = 7; p_4 = 0.$$

Тоді

$$W = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 - 0 = 1.$$

Структурна схема механізму побудована на рисунку 2б.

Механізм складається із 2-ох груп Ассура II класу і вихідного механізму I класу. Загалом механізм відноситься до другого класу.

1.2. Визначення положень механізму

Кінематичну схему механізму виконують для n положень (кількість положень кривошипа задає викладач, який веде курсове проектування). За нульове положення прийнято крайнє ліве положення веденої ланки (точка E повзунка 5). Для дослідження механізму приймаємо одне положення з робочого ходу механізму, друге – з холостого ходу

Масштаб кінематичної схеми механізму, μ_l , м/мм, визначаємо як відношення довжини ланки l_{OA} в метрах до довжини відрізка OA в мм, що позначає цю ланку на кресленні:

$$\mu_l = \frac{l_{OA}}{OA}. \quad (2)$$

1.3. Побудова планів швидкостей

Кутову швидкість кривошипа, ω_1 , визначаємо за формулою:

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30}, \quad (3)$$

де n_1 – частота обертання кривошипа (ведучої ланки), об/хв, задано завданням на проектування.

Швидкість точки A , м/с, кривошипа визначаємо за формулою:

$$V_A = \omega_1 \cdot l_{OA}. \quad (4)$$

Вибираємо масштаб планів швидкостей, μ_V , $\frac{\text{м/с}}{\text{мм}}$, за формулою:

$$\mu_V = \frac{V_A}{pa}, \quad (5)$$

де pa – відрізок плану швидкостей, мм, який відповідає вектору швидкості точки A .

Довжина вектора pa повинна бути не меншою 100...150 мм. Із полюса p проводимо вектор швидкості точки A перпендикулярно до кривошипа OA (рисунок 3а).

Швидкість точки B визначаємо із векторних рівнянь:

$$\begin{cases} \bar{V}_B = \bar{V}_A + \bar{V}_{BA}; \\ \bar{V}_B = \bar{V}_C + \bar{V}_{BC}. \end{cases}$$

Вектор відносної швидкості \bar{V}_{BA} проводимо перпендикулярно ланці AB з точки a . Швидкість точки C дорівнює нулю, на плані швидкостей співпадає з полюсом p . Вектор швидкості \bar{V}_{BC} направляємо перпендикулярно ланці BC з точки C (відрізки ab і bc на плані швидкостей, див. рис. 3а). На перетині цих відрізків отримуємо точку b .

Швидкість точки D визначаємо за теоремою подібності

$$\frac{pd}{pb} = \frac{CD}{CB},$$

звідки

$$pd = pb \frac{CD}{CB},$$

де pd , pb – відрізки в мм з плану швидкостей;
 CD , CB – відрізки в мм з кінематичної схеми.

Швидкість точки E визначаємо з векторних рівнянь:

$$\begin{cases} \bar{V}_E = \bar{V}_D + \bar{V}_{ED}; \\ \bar{V}_E = \bar{V}_X + \bar{V}_{EX}. \end{cases}$$

Вектор відносної швидкості \bar{V}_{ED} проводимо перпендикулярно ланці ED з точки d . Швидкість направляючих $x-x$ дорівнює нулю, $V_X = 0$, співпадає з полюсом p . Вектор швидкості \bar{V}_{EX} відкладаємо паралельно направляючим $x-x$ з полюса p . На перетині векторів \bar{V}_{ED} і \bar{V}_{EX} отримуємо точку e . Швидкість точки E – це вектор pe (див. рис. 3а).

Швидкості точок центрів мас ланок S_1, S_2, S_3, S_4 і точки D визначаємо методом геометричної подібності.

План швидкостей зображений на рисунку 3а.

Величини абсолютних та відносних швидкостей точок механізму, м/с, визначаємо за формулою:

$$V_i = l_{Vi} \cdot \mu_V, \quad (6)$$

де l_{Vi} – відрізок плану швидкості в мм, що відповідає шуканій швидкості;

μ_V – масштаб плану швидкостей.

Значення швидкостей всіх точок механізму заносимо в таблицю на аркуші 1 (графічна частина проекту чи роботи, додаток А).

1.4. Визначення кутових швидкостей ланок

Кутові швидкості ланок механізму, c^{-1} , визначаємо за формулою:

$$\omega = \frac{V_{відн}}{l_{ланки}}, \quad (7)$$

де $V_{відн}$ – відносні швидкості точок ланок механізму, м/с;

$l_{ланки}$ – довжина ланок механізму, м.

Для заданого механізму:

$$\omega_2 = \frac{V_{BA}}{l_{BA}}; \quad \omega_3 = \frac{V_{BC}}{l_{BC}}; \quad \omega_4 = \frac{V_{ED}}{l_{ED}}.$$

Напрями векторів кутових швидкостей залежать від напрямів векторів відносних лінійних швидкостей.

На кінематичній схемі механізму (див. рис. 2а та аркуш 1, додаток А) вказуємо напрями кутових швидкостей.

1.5. Побудова планів прискорень

Прискорення точки А кривошипа (ведучої ланки), м/с², визначаємо за формулою:

$$a_A = a_A^n = \omega_1^2 \cdot l_{OA} . \quad (8)$$

Масштаб плану прискорень, μ_a , $\frac{\text{м/с}^2}{\text{мм}}$, визначаємо за формулою:

$$\mu_a = \frac{a_A}{\pi a} , \quad (9)$$

де πa – відрізок плану прискорень, що відповідає прискоренню точки А, $\pi a \approx 100 \dots 200$ мм (рисунок 3б).

Відкладаємо на плані прискорень відрізок πa , який відповідає прискоренню a_A . Вектор прискорення a_A направляємо до центра обертання (центра кривошипа) (див. рис. 3б).

Прискорення точки В визначаємо з векторних рівнянь:

$$\begin{cases} \overline{a_B} = \overline{a_A} + \overline{a_{BA}^n} + \overline{a_{BA}^\tau}; \\ \overline{a_B} = \overline{a_C} + \overline{a_{DC}^n} + \overline{a_{BC}^\tau}. \end{cases}$$

Прискорення $a_C = 0$. Значення нормальних складових a_{BA}^n і a_{DC}^n прискорень визначаємо за формулами:

$$a_{BA}^n = \frac{V_{BA}^2}{l_{BA}}; \quad a_{BC}^n = \frac{V_{BC}^n}{l_{BC}}.$$

Визначаємо величини відрізків $|a_{BA}^n|$ та $|a_{BC}^n|$, мм, що відповідають нормальним складовим прискорень:

$$\left| a_{BA}^n \right| = \frac{a_{BA}^n}{\mu_a}; \quad \left| a_{BC}^n \right| = \frac{a_{BC}^n}{\mu_a}.$$

Вектор нормального складового прискорення $\overline{a_{BA}^n}$ відкладаємо на плані прискорень з точки a , паралельно ланці AB і направляємо до центра обертання, тобто від т. B до т. A (див. рис. 3б).

Вектор нормального прискорення $\overline{a_{BC}^n}$ відкладаємо на плані прискорення з полюса, точки p , паралельно ланці BC і направляємо до центра обертання, тобто від т. B до т. C (див. рис. 3б).

Вектори дотичних складових прискорень $\overline{a_{BA}^\tau}$ та $\overline{a_{BC}^\tau}$ проводимо перпендикулярно з кінця векторів $\overline{a_{BA}^n}$, $\overline{a_{BC}^n}$.

Прискорення точки B отримуємо на перетині векторів $\overline{a_{BA}^\tau}$, $\overline{a_{BC}^\tau}$.

Прискорення т. D визначаємо з теореми подібності (див. рис. 2а і рис. 3б):

$$\frac{\pi d}{\pi b} = \frac{CD}{CB},$$

звідки

$$\pi d = \frac{CD}{CB} \cdot \pi b,$$

де CD , CB – відрізки кінематичної схеми (довжини ланок механізму);
 πb , πd – відрізки плану прискорень, мм.

Прискорення точки E визначаємо з векторних рівнянь:

$$\begin{cases} \overline{a_E} = \overline{a_D} + \overline{a_{ED}^n} + \overline{a_{ED}^\tau}; \\ \overline{a_E} = \overline{a_X} + \overline{a_{EX}^r}, \end{cases}$$

де a_{EX}^r – відносна складова прискорення т. E відносно направляючої $x-x$.

$a_X = 0$ – абсолютне прискорення направляючих.

Вектор прискорення $\overline{a_{EX}^r}$ на плані прискорень направляємо паралельно $x-x$.

Значення нормальної складової прискорення a_{CD}^n та його відрізка визначаємо аналогічно як для т. B :

$$a_{ED}^n = \frac{V_{ED}^2}{l_{ED}}; \quad |a_{ED}^n| = \frac{a_{ED}^n}{\mu_a}.$$

Прискорення центрів мас ланок (рис. 2а) точок S_1, S_2, S_3, S_4 визначаємо методом геометричної подібності.

План прискорень для одного із положень механізму зображено на рисунку 3б.

Значення прискорень кожної точки механізму, a_i , м/с², визначаємо з плану прискорень за формулою:

$$a_i = l_{ai} \cdot \mu_a, \quad (10)$$

де l_{ai} – відрізок плану прискорень в мм, що відповідає шуканому прискоренню;

μ_a – масштаб плану прискорень.

Результати обчислень прискорень всіх точок та дотичних складових заносять в таблиці на кресленні (Аркуш 1, Додаток А).

1.6. Визначення кутових прискорень

Кутові прискорення ланок механізму, 1/с², визначаємо за формулою:

$$\varepsilon = \frac{a_{відн}^\tau}{l_{ланки}}, \quad (11)$$

де $a_{відн}^\tau$ – дотична складова прискорень;

$l_{ланки}$ – довжина ланки.

Для заданого механізму:

$$\varepsilon_1 = 0; \quad \varepsilon_2 = \frac{a_{BA}^\tau}{l_{BA}}; \quad \varepsilon_3 = \frac{a_{BC}^\tau}{l_{BC}}; \quad \varepsilon_4 = \frac{a_{ED}^\tau}{l_{ED}}.$$

Напрямок векторів кутових прискорень залежить від напрямків векторів дотичних складових прискорень.

На кінематичній схемі механізму вказуємо напрями кутових прискорень (див. рис. 2а, аркуш 1, додаток А).

1.7. Побудова кінематичних діаграм

Кінематичні діаграми (графіки) використовують для визначення швидкості і прискорення однієї з точок механізму (точки E) за повний оберт кривошипа.

Будуємо графік переміщення веденої ланки $S_E = S_E(t)$, (рисунок 4а), до якої прикладена сила виробничого опору F_{BO} .

Відрізки 1–1', 2–2', 3–3' і т.д. (див. рис. 4а) відображають переміщення повзуна E від крайньої (нульової) точки. З'єднавши точки 0–1'–2'–3' і т.д. отримаємо графік переміщення т. E (див. рис. 4а).

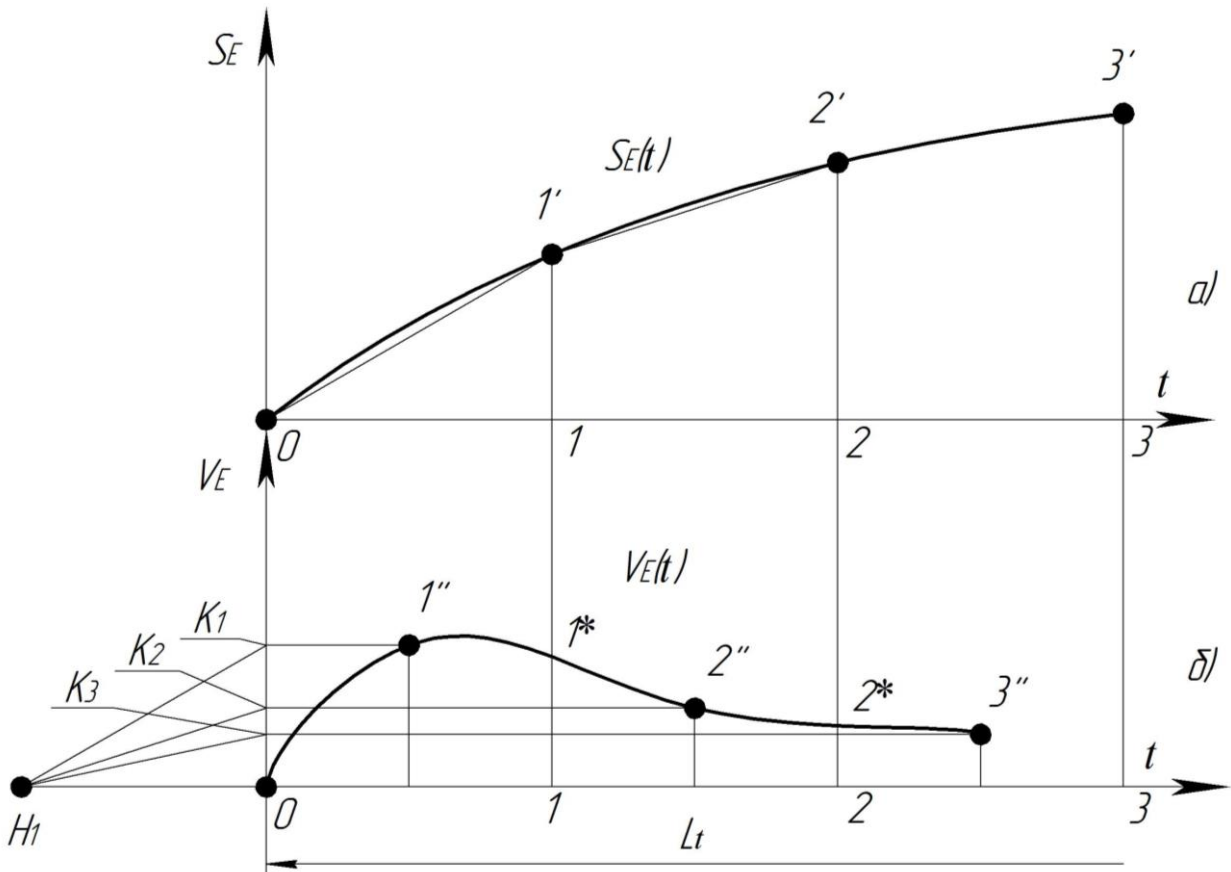


Рисунок 4 – Графік переміщення т. E та побудова графіку швидкості
Побудову графіка швидкості т. E виконують у такій послідовності:

- використовуємо графік переміщень т. E : $S_E = S_E(t)$, який побудований у масштабі $\mu_s = \mu_l$;
- з'єднуємо прямими лініями точки 0–1'; 1'–2'; 2'–3' і т.д.;
- відкладаємо полюсну відстань OH_1 (приймають 30...50 мм);
- із полюса H_1 проводимо пряму H_1K_1 паралельно прямій $01'$; із точки K_1 проводимо горизонтальну пряму K_11'' до середини інтервалу 01 ; аналогічно, провівши пряму H_1K_2 паралельно $1'2'$, знаходимо точку $2''$ на середині інтервалу $1-2$;

д) з'єднавши плавною кривою точки 0, 1'', 2'', 3'' і т.д. отримаємо графік швидкості $V_E = V_E(t)$.

Аналогічно будемо графік прискорень точки E , графічно продиференціювавши графік швидкості.

Масштаби кінематичних діаграм визначають за формулами:

– масштаб часу, с/мм;

$$\mu_t = \frac{60}{n_1 \cdot L_t},$$

де n_1 – кількість обертів кривошипа за хвилину;

L_t – довжина відрізка в мм, що означає час;

– масштаб швидкості, $\frac{\text{м/с}}{\text{мм}}$;

$$\mu_V^{\partial z} = \frac{\mu_S}{\mu_t \cdot OH_1},$$

де OH_1 – полюсна відстань у мм, (приймають 30...50 мм);

– масштаб прискорення, $\frac{\text{м/с}^2}{\text{мм}}$;

$$\mu_a^{\partial z} = \frac{\mu_V}{\mu_t \cdot OH_2},$$

де OH_2 – полюсна відстань у мм, (приймають 30...50 мм).

Швидкість т. E , для будь-якого положення механізму, визначають, використовуючи діаграму швидкостей (див. рис.4б). Величину швидкості визначають за формулою:

$$V_E = |1 - 1^*| \cdot \mu_V^{\partial z},$$

де $|1 - 1^*|$ – відрізок діаграми швидкостей для 1-го положення в мм (див. рис. 4).

1.8. Порівняння результатів

Відносні похибки швидкостей і прискорень точки E для досліджуваних положень, отриманих методами планів і діаграм визначають за формулами:

$$\Delta_V = \frac{V_{nl} - V_{\partial z}}{V_{nl}} \cdot 100\%; \quad (12)$$

$$\Delta_a = \frac{a_{nl} - a_{\partial z}}{a_{2p}} \cdot 100\%. \quad (13)$$

Відносна похибка не повинна перевищувати 5 %.

АРКУШ 2. СИЛОВИЙ (КІНЕТОСТАТИЧНИЙ) АНАЛІЗ МЕХАНІЗМУ

Силовий розрахунок механізму виконують для визначення реакцій у кінематичних парах, а також зрівноважувальної сили.

При розв'язуванні задач кінетостатики механізмів враховують такі сили:

- ваги кожної ланки G_i ;
- сили інерції кожної ланки $F_{IH.i}$;
- силу виробничого опору F_{BO} .

Сили тертя в кінематичних парах не враховують.

Силовий розрахунок виконують окремо для кожної групи Ассура. Розрахунок починають з групи, що приєднана останньою в процесі утворення механізму, закінчують розрахунком ведучої ланки.

2.1. Визначення сил ваги ланок

Силу ваги G_i , Н, кожної ланки визначають за формулою:

$$G_i = m_i \cdot g, \quad (14)$$

де m_i – маса i -ої ланки, кг;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Прикладаємо сили ваги ланок на кінематичній схемі механізму (рисунок 5).

2.2. Визначення сил інерції ланок

Сили інерції ланок $F_{IH.i}$, Н, визначають за формулою:

$$\overline{F}_{IH.i} = -m_i \cdot \overline{a}_{si}, \quad (15)$$

де m_i – маса i -ої ланки, кг;

a_{si} – прискорення центра мас цієї ланки, м/с^2 .

Напрямок сили інерції $\overline{F}_{IH.i}$ протилежний напрямку вектора прискорення a_{si} . (див. рис. 3б, рис. 5).

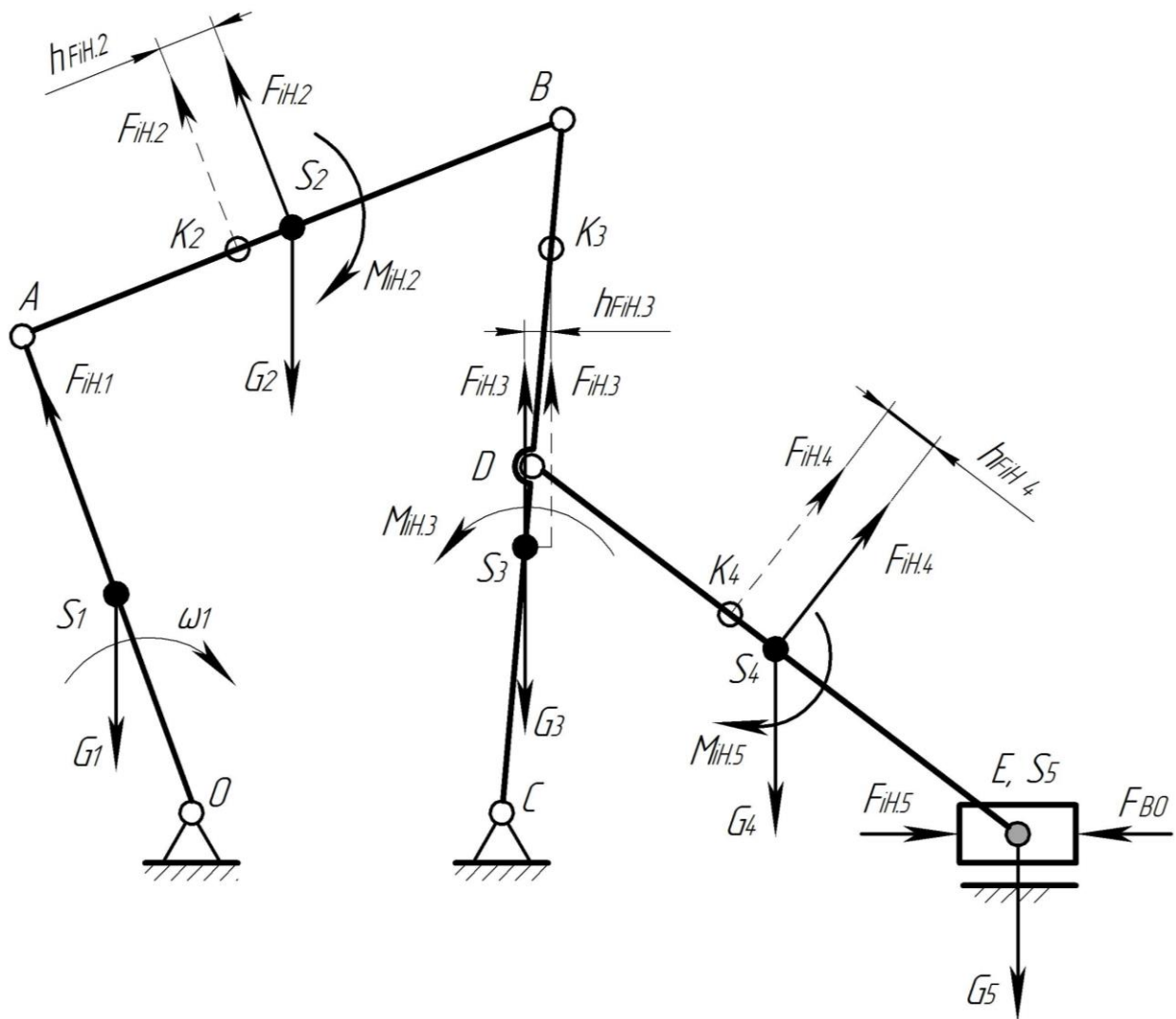


Рисунок 5 – Схематизація силових факторів, прикладених до ланок механізму

2.3. Визначення моментів інерції ланок

Масові моменти інерції ланок J_{si} , $\text{кг} \cdot \text{м}^2$, відносно центра мас, визначають за формулою:

$$J_{si} = k \cdot m_i \cdot l_i^2, \quad (16)$$

де m_i – маса i -ої ланки механізму, кг;

l_i – довжина i -ої ланки механізму, м;

k – коефіцієнт, який залежить від розміщення центра мас ланки.

При розміщенні центра мас:

– на середині довжини ланки, $k = 1/12$;

– на третині довжини ланки, $k = 0,175$.

2.4. Визначення моментів сил інерції

Моменти сил інерції, $\overline{M}_{IH.i}$, Нм, визначають за формулою:

$$\overline{M}_{IH.i} = -J_{si} \cdot \overline{\varepsilon}_i, \quad (17)$$

де J_{si} – момент інерції i -ої ланки відносно центра мас, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;
 $\overline{\varepsilon}_i$ – вектор кутового прискорення ланки, (див. аркуш 1).

Напрямок моменту сил інерції $\overline{M}_{IH.i}$, протилежний напрямку вектора відповідного кутового прискорення ланки (див. рис. 5).

2.5. Зведення моментів інерції і сил інерції до сил інерції

При силовому розрахунку зручно моменти сил інерції M_{IH} , а також сили інерції F_{IH} , зводити до сил інерції.

Плечі приведення, м, визначають за формулою:

$$h_{F_{IH.i}} = \frac{M_{IH.i}}{F_{IH.i}}, \quad (18)$$

де $M_{IH.i}$ – момент сили інерції i -ої ланки, Нм;

$F_{IH.i}$ – сила інерції i -ої ланки, Н.

Плечі приведення, які відкладають на кінематичній схемі механізму, переводять у відрізки масштабу кінематичної схеми, тобто, в мм, (див. рис. 5):

$$\left| h_{F_{IH.i}} \right| = \frac{h_{F_{IH.i}}}{\mu_l}, \quad (19)$$

де μ_l – масштаб кінематичної схеми, м/мм.

Зведення моментів сил інерції до сил інерції проводять так:

– визначають плечі приведення за формулами (18) і (19);

– силу інерції $F_{IH.i}$ i -ої ланки зміщують від центра мас на відстань $h_{F_{IH.i}}$ так, щоб ця сила відносно центра мас створювала момент сил інерції $M_{IH.i}$ (рисунки 5, 6).

В наступних силових розрахунках груп Ассура моменти сил інерції ланок замінені силами інерції ланок зміщеними від центрів мас на відрізки $h_{F_{IH.i}}$ (див. рис. 5, 6).

2.6. Силовий розрахунок групи 4-5

Викреслюємо окремо групу Ассура 4-5 з прикладеними до неї силами: ваги G_4 , інерції $F_{IH.4}$ і виробничого (корисного) опору F_{BO} (рисунок 6).

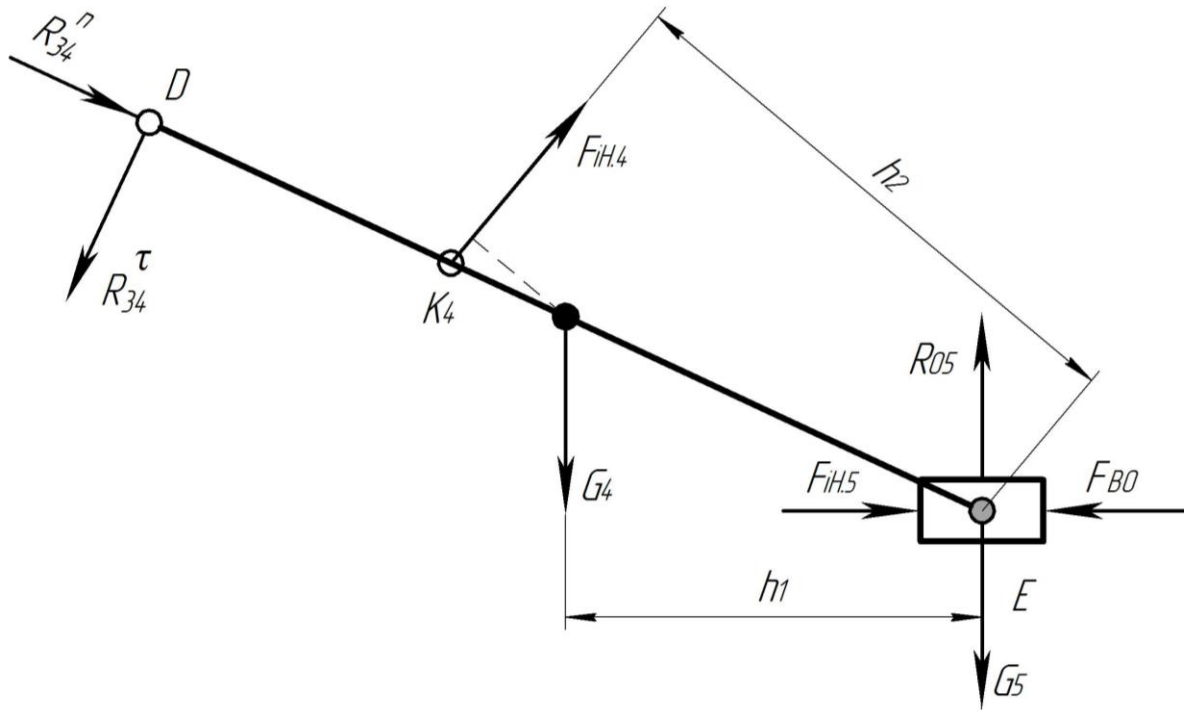


Рисунок 6 – Силовий розрахунок групи Ассура 4-5

У шарнірі D виникає сила реакції R_{34} , яку розкладаємо на дві складові: нормальну R_{34}^n , направлену вздовж ланки 4 і тангенціальну R_{34}^τ , направлену перпендикулярно до ланки 4.

Тангенціальну складову реакції R_{34}^τ визначаємо, використовуючи рівняння статки

$$\sum M_E = 0; \quad G_4 \cdot h_1 - F_{IH.4} \cdot h_2 + R_{34}^\tau \cdot ED = 0,$$

звідки

$$R_{34}^\tau = \frac{F_{IH.4} \cdot h_2 - G_4 \cdot h_1}{ED}.$$

Тут h_1 – плече сили ваги G_4 відносно точки E .

h_2 – плече сили інерції $F_{IH.4}$ відносно точки E .

Якщо R_{34}^τ отримаємо із знаком мінус «-», то напрям її необхідно змінити на протилежний.

Для побудови плану сил вибираємо масштаб, μ_F , Н/мм, за формулою:

$$\mu_F = \frac{F_{BO}}{|F_{BO}|}, \quad (20)$$

де F_{BO} – величина сили виробничого опору, Н;
 $|F_{BO}|$ – відрізок плану сил, мм, який відображає силу виробничого опору. Рекомендовано приймати:

$$|F_{BO}| = (150 \dots 300) \text{ мм.}$$

Для визначення величин та напрямів R_{34}^n і R_{05} будуємо план сил. Векторне рівняння сил починаємо записувати з невідомої за величиною сили R_{34}^n прикладеної до ланки 4. Записуємо всі відомі сили, які відносять до групи Ассура 4-5. Закінчуємо побудову плану сил невідомою за величиною силою R_{05} .

$$\overline{R_{34}^n} + \overline{R_{34}^r} + \overline{F_{IH.4}} + \overline{G_4} + \overline{F_{IH.5}} + \overline{G_5} + \overline{F_{BO}} + \overline{R_{05}} = 0,$$

де $\overline{R_{34}^n}$, $\overline{R_{05}}$ – вектори сил, відомі лише за напрямом.

План сил групи Ассура 4-5 (рисунок 7) будуємо в такій послідовності:

– визначаємо відрізки кожної відомої сили в мм за формулою

$$|h_{F.i}| = \frac{F_i}{\mu_F};$$

– вибравши початок координат т. O (див. рис. 7) відкладаємо відомі величини сил у відрізках, які співпадають з їхніми векторами;

– замикаємо силовий багатокутник у т. P (план сил, див. рис. 7) провівши відрізки невідомих за величиною, але відомих за напрямом сил до їх перетину.

З плану сил (див. рис. 7) визначаємо реакції в кінематичних парах R_{05} , R_{34}^n і R_{34} . Реакція в кінематичній парі D позначена R_{34} . Це сила тиску ланки 3 на ланку 4.

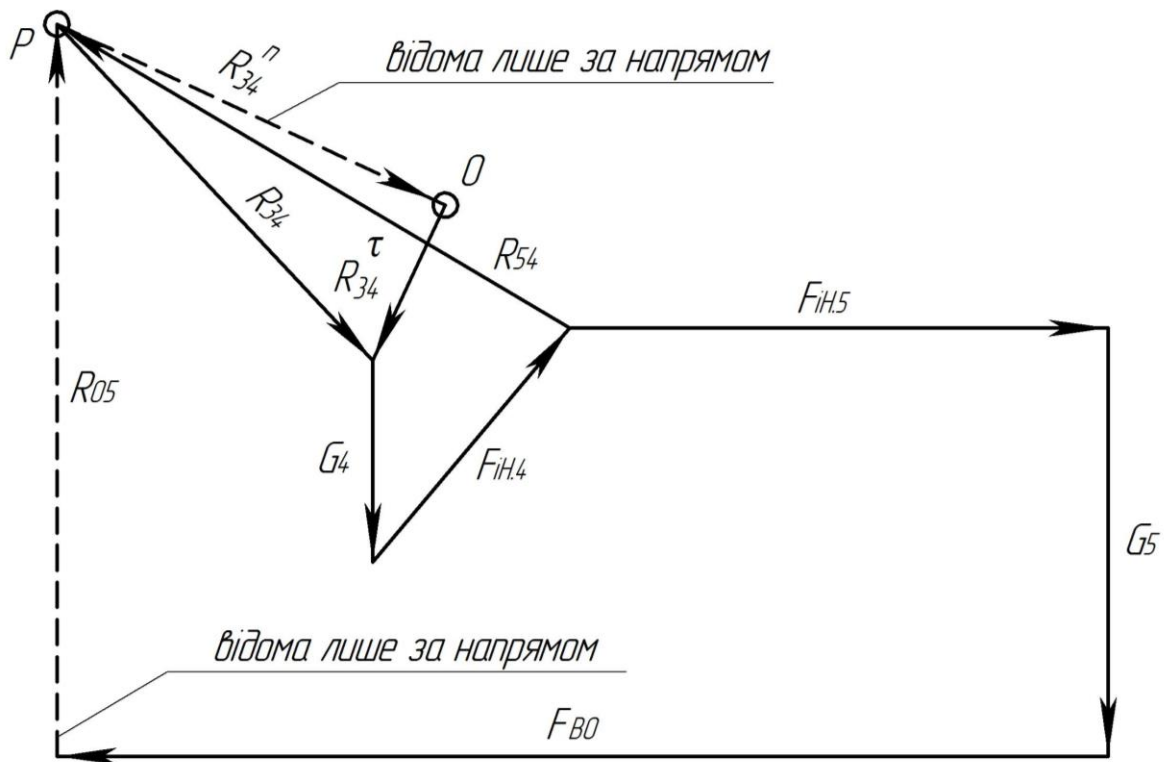


Рисунок 7 – План сил групи Ассура 4-5

Для визначення реакції R_{54} в кінематичній парі між 4 і 5 ланками, використаємо план сил (див. рис. 7).

Розглядаючи рівновагу однієї ланки, наприклад ланки 4, можемо записати:

$$\overline{R_{34}^n} + \overline{R_{34}^\tau} + \overline{G_4} + \overline{F_{IH.4}} + \overline{R_{54}} = 0;$$

звідки визначаємо R_{54} .

Величини сил реакції в Н визначаємо за формулою:

$$R_i = |R_i| \cdot \mu_F,$$

де $|R_i|$ – відрізок плану сил в мм, що відповідає шуканій силі.

2.7. Силовий розрахунок ланки 2-3

Силовий розрахунок групи Ассура 2-3 (рисунок 8) виконаємо аналогічно розрахунку групи Ассура 4-5.

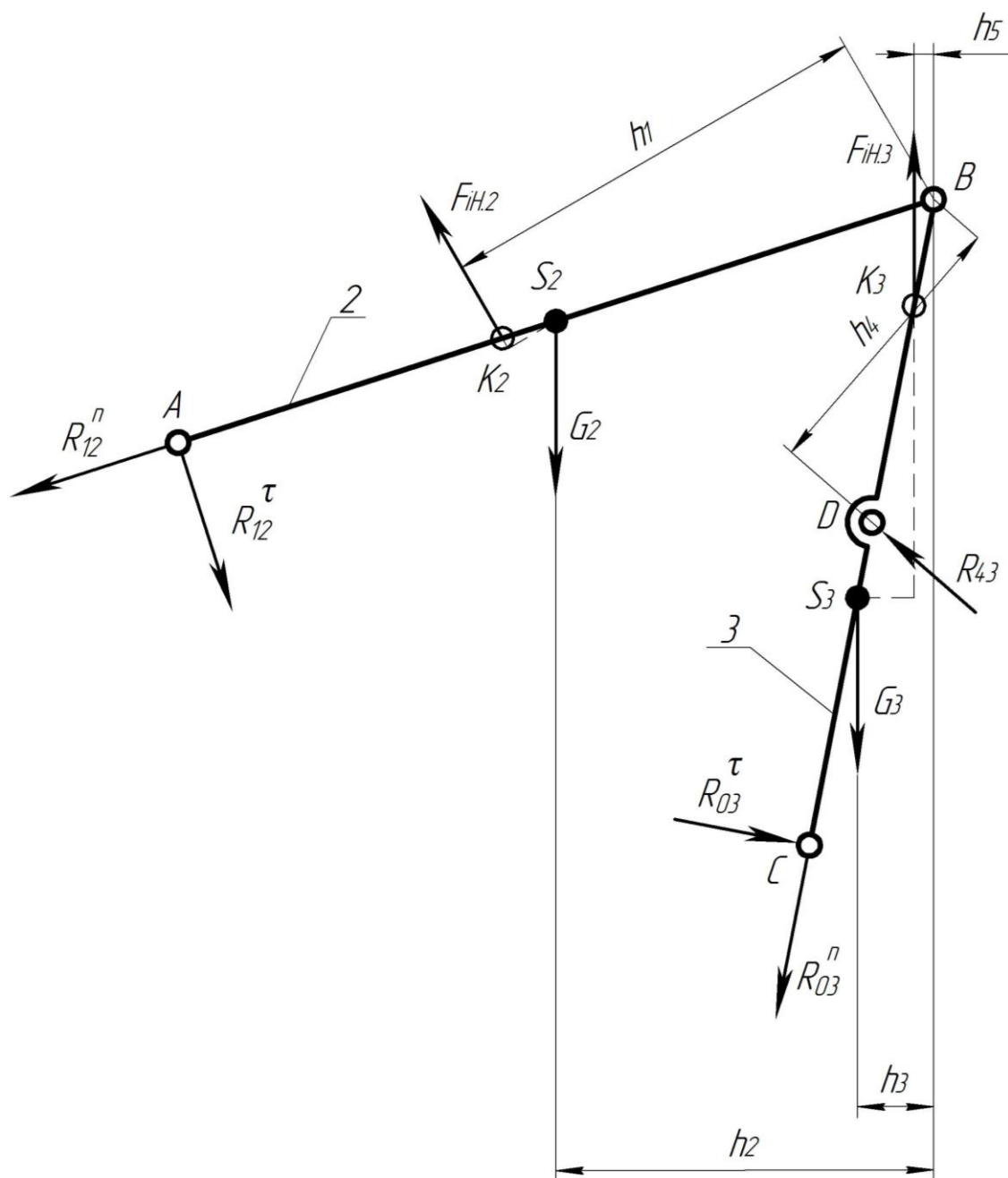


Рисунок 8 – Силовий розрахунок групи Ассура 2-3

До ланок 2 і 3 прикладаємо:

- сили ваги G_2 і G_3 ;
- сили інерції $F_{IH.2}$ і $F_{IH.3}$;
- силу реакції ланки 4 на ланку 3 – R_{43} .

Величину сили R_{43} приймаємо з розрахунку групи Ассура 4-5, це сила R_{34} . Напрямок сили реакції R_{43} протилежний напрямку R_{34} .

В кінематичних парах A і C виникають сили реакції R_{12} (шарнір A), R_{03} (шарнір C). Сили реакції R_{12} і R_{03} розкладаємо на дві складові:

- нормальні R_{12}^n, R_{03}^n (направлені вздовж ланок 2 і 3);
- дотичні R_{12}^τ, R_{03}^τ (направлені перпендикулярно ланкам 2 і 3).

Складові реакцій R_{12}^τ і R_{03}^τ визначаємо із рівнянь рівноваги:

$$\sum M_B = 0, \quad R_{12}^\tau \cdot AB - F_{IH.2} \cdot h_1 + G_2 \cdot h_2 = 0;$$

$$\sum M_B = 0, \quad R_{03}^\tau \cdot CB + G_3 \cdot h_3 - R_{43} \cdot h_4 - F_{IH.3} \cdot h_5 = 0.$$

План сил групи Ассура 2-3 будуємо аналогічно плану сил групи Ассура 4-5.

Складові сил реакцій R_{12}^n і R_{03}^n визначаємо із плану сил, використовуючи рівняння рівноваги сил групи Ассура 2-3:

$$\overline{R_{12}^n} + \overline{R_{12}^\tau} + \overline{F_{IH.2}} + \overline{G_2} + \overline{F_{IH.3}} + \overline{G_3} + \overline{R_{43}} + \overline{R_{03}^\tau} + \overline{R_{03}^n} = 0.$$

де R_{12}^n, R_{03}^n – вектори сил, відомі лише за напрямком.

Величину реакції R_{23} визначаємо аналогічно реакції R_{45} .

2.8. Силовий розрахунок ведучої ланки

Викреслюємо ведучу ланку OA (рисунок 9), прикладаємо:

- силу ваги G_1 ;
- силу інерції $F_{IH.1}$, направлену вздовж ланки 1;
- силу реакції R_{21} (взяту з плану сил Ассура 2-3);
- зрівноважувальну силу $F_{3P.nl}$, прикладену в т. A , перпендикулярно до ланки OA .

Зрівноважувальну силу, $F_{3P.nl}$, визначаємо із рівняння:

$$\sum M_O = 0; \quad F_{3P.nl} \cdot OA - R_{21} \cdot h_1 - G_1 \cdot h_2 = 0,$$

де h_1 – плече сили реакції R_{21} відносно точки O ;

h_2 – плече сили ваги G відносно точки O .

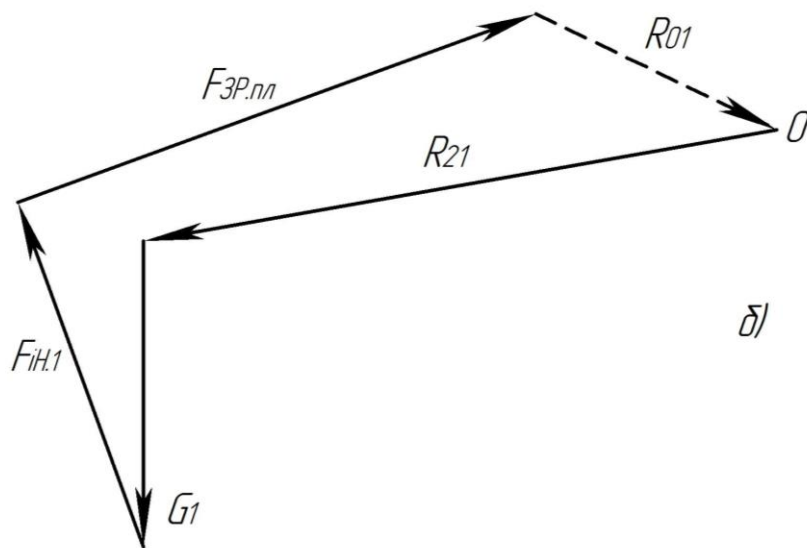
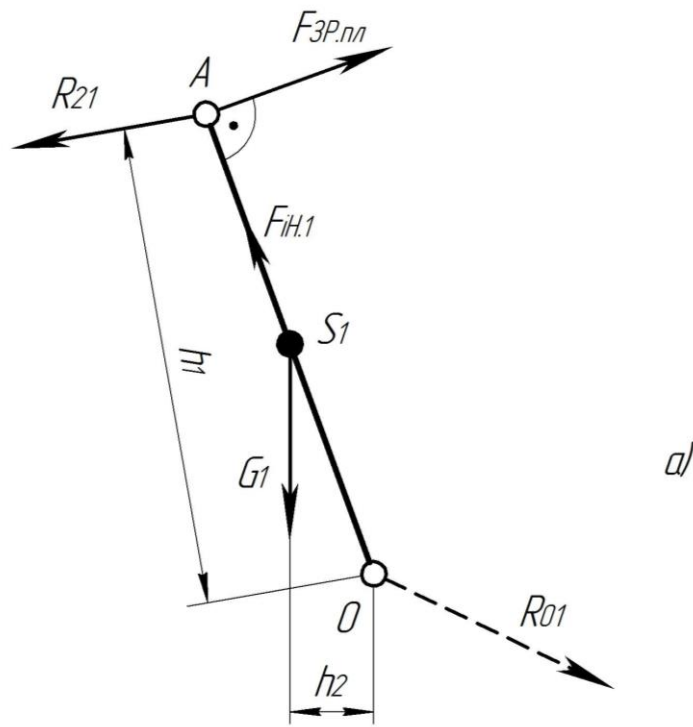


Рисунок 9 – Силевий розрахунок ведучої ланки

Реакцію у кінематичній парі O визначаємо з плану сил (рисунок 9б), використовуючи векторне рівняння рівноваги:

$$\overline{G_1} + \overline{F_{И.1}} + \overline{R_{21}} + \overline{F_{3P.nl}} + \overline{R_{01}} = 0.$$

Звідки знаходимо величину та напрям сили реакції $\overline{R_{01}}$.

2.9. Визначення зрівноважувальної сили методом

«жорсткого важеля» М.Є. Жуковського

Для визначення зрівноважувальної сили, $F_{ЗР.Ж}$, методом «жорсткого важеля» М.Є. Жуковського будуюмо повернутий на 90° план швидкості (рисунок 10), до якого прикладаємо:

- сили ваги G_i в точках S_i ;
- сили інерції $F_{IH.i}$ в точках K_i ;
- силу виробничого опору $F_{ВО}$ в точці її прикладання, точка e ;
- зрівноважувальну силу, $F_{ЗР.Ж}$, в точці a перпендикулярно до pa .

Складаємо рівняння рівноваги моментів відносно полюса p (див. рис. 10).

$$\begin{aligned} \Sigma M_p = 0; \quad & F_{ЗР.Ж} \cdot pa - G_1 \cdot h_1 - G_2 \cdot h_2 + G_3 \cdot h_3 + G_4 \cdot h_4 - \\ & - F_{IH.2} \cdot h_6 - F_{IH.3} \cdot h_7 + F_{IH.4} \cdot h_8 + F_{IH.5} \cdot h_5 - F_{ВО} \cdot h_5 = 0. \end{aligned}$$

Звідки визначаємо величину $F_{ЗР.Ж}$ (Аркуш 2, Додаток Б).

2.10. Порівняння результатів

Порівнюємо значення зрівноважувальних сил, отриманих методом силового розрахунку планів сил і методом «жорсткого важеля» М.Є. Жуковського.

Відносну похибку визначаємо за формулою

$$\Delta_F = \frac{F_{ЗР.Ж} - F_{ЗР.пл.}}{F_{ЗР.Ж}} \cdot 100\% . \quad (21)$$

Похибка не повинна перевищувати 5 %.

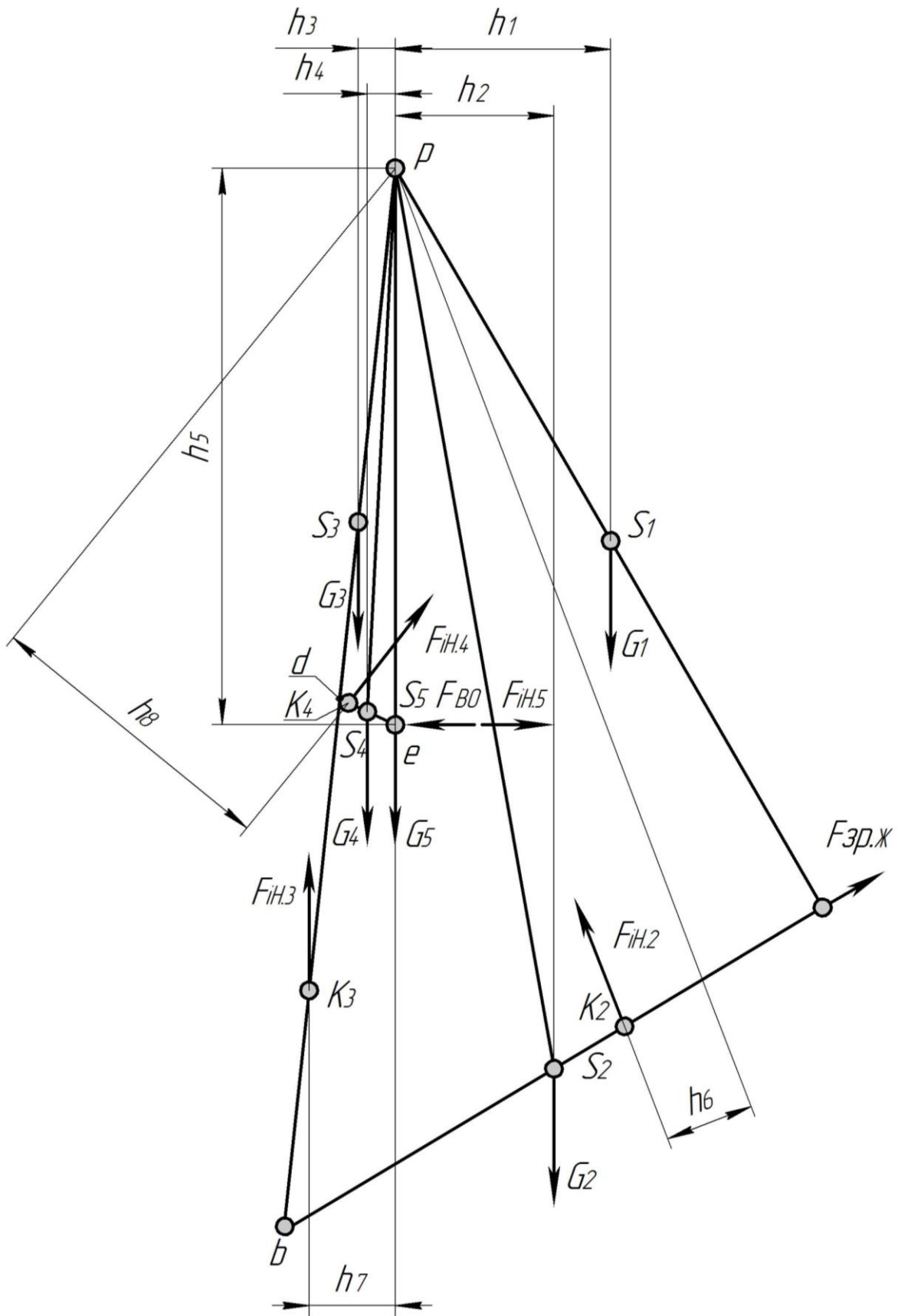


Рисунок 10 – «Жорсткий важіль» М.С. Жуковського

АРКУШ 3

СИНТЕЗ ЗУБЧАСТОГО І КУЛАЧКОВОГО МЕХАНІЗМІВ

3.1. Зубчастий механізм

Вихідні дані для розрахунку: передаточне відношення U_{12} ; модуль зчеплення m ; кут зчеплення $\alpha = 20^\circ$; число зубів ведучого колеса $Z_{\min} = Z_1 = 17$.

Визначаємо число зубів веденого колеса за формулою:

$$Z_2 = Z_1 \cdot U_{12}. \quad (22)$$

Отриманий результат заокруглюємо до цілого числа.

Виконуємо геометричний розрахунок зубчастого зачеплення.

Радіуси початкових кіл визначаємо за формулами (рисунок 10):

$$r_{w1} = \frac{m \cdot z_1}{2}, \quad r_{w2} = \frac{m \cdot z_2}{2}. \quad (23)$$

Міжосьову відстань визначаємо за формулою:

$$a_w = \frac{m}{2} \cdot (z_1 + z_2). \quad (24)$$

Висота головки зуба $h_a = m$; висота ніжки зуба $h_f = 1,25m$; висота зуба $h = R_a + R_f = m + 1,25m = 2,25m$.

Радіуси кіл вершин (головок) зубів визначають за формулами:

$$r_{a1} = r_{w1} + h_a = \frac{m}{2} \cdot (z_1 + 2); \quad (25)$$

$$r_{a2} = r_{w2} + h_a = \frac{m}{2} \cdot (z_2 + 2). \quad (26)$$

Радіуси кіл западин зубів визначають за формулами:

$$r_{f1} = r_{w1} - h_f = \frac{m}{2} \cdot (z_1 - 2,5); \quad (27)$$

$$r_{f_2} = r_{w_2} - h_f = \frac{m}{2} \cdot (z_2 - 2,5). \quad (28)$$

Крок зубів по початковому колу:

$$p_w = \pi \cdot m. \quad (29)$$

Товщину зуба S_w і ширину западини e_w визначають за формулою:

$$S_w = e_w = \frac{p_w}{2} = \frac{\pi \cdot m}{2}. \quad (30)$$

Після визначення всіх геометричних параметрів зубчастих коліс викреслюють зубчасте евольвентне зачеплення. Для цього викреслюємо по три зуби кожного з коліс (побудова показана у графічній частині, Аркуш 3, Додаток В). Показуємо теоретичну і робочу лінії зачеплення, робочі ділянки профілів зубів і визначаємо графо-аналітично коефіцієнт перекриття за формулою:

$$\varepsilon = \frac{a \cdot b}{p_w \cdot \cos \alpha}, \quad (31)$$

де $a \cdot b$ – робоча лінія зачеплення.

3.2. Кулачковий механізм

Вихідні дані: тип кулачкового механізму; закон зміни аналога прискорення штовхача; фазові кути φ_b , φ_d , φ_μ ; хід штовхача $h_{ш}$ для першого і другого типу і кут коливання ψ_0 для третього типу кулачкового механізму приймають згідно варіанту завдання і рисунка; довжина коромисла L_K , мм, для третього типу кулачкового механізму $L_K = 120...150$.

Розв'язування виконуємо у такій послідовності:

1. Приймаємо висоту $h' = 60...80$ мм, визначаємо $h'' = h' \cdot \frac{\varphi_B^2}{\varphi_M^2}$.

2. Методом графічного інтегрування діаграми аналога прискорення штовхача $\frac{d^2h}{d\varphi^2}$ (для третього типу $\frac{d^2\psi}{d\varphi^2}$) будуємо діаграму аналога швидкості штовхача $\frac{ds}{d\varphi}$ (для третього типу $\frac{d\psi}{d\varphi}$).

3. Методом графічного інтегрування діаграми аналога швидкості штовхача $\frac{dh}{d\varphi} \left(\frac{d\psi}{d\varphi} \right)$, будуємо діаграму переміщень штовхача.

4. Визначаємо масштаби.

Для 1 і 2 типів кулачкового механізму.
Масштаб переміщення, м/мм, визначаємо за формулою:

$$\mu_h = \frac{h_{ш}}{[h_{\max}]}, \quad (32)$$

де $h_{ш}$ – переміщення штовхача в м. (задано);

$[h_{\max}]$ – максимальна ордината діаграми переміщення, виміряна на кресленні.

Масштаб кутів повороту кулачка визначаємо за формулою:

$$\mu_{\varphi} = \frac{\overset{\circ}{\varphi}_B + \overset{\circ}{\varphi}_g + \overset{\circ}{\varphi}_H}{l}, \quad (33)$$

де l – відрізок абсциси, що відповідає куту повороту кулачка $(\overset{\circ}{\varphi}_B + \overset{\circ}{\varphi}_g + \overset{\circ}{\varphi}_H)$.

5. Мінімальний радіус основного кола кулачка визначаємо за формулою:

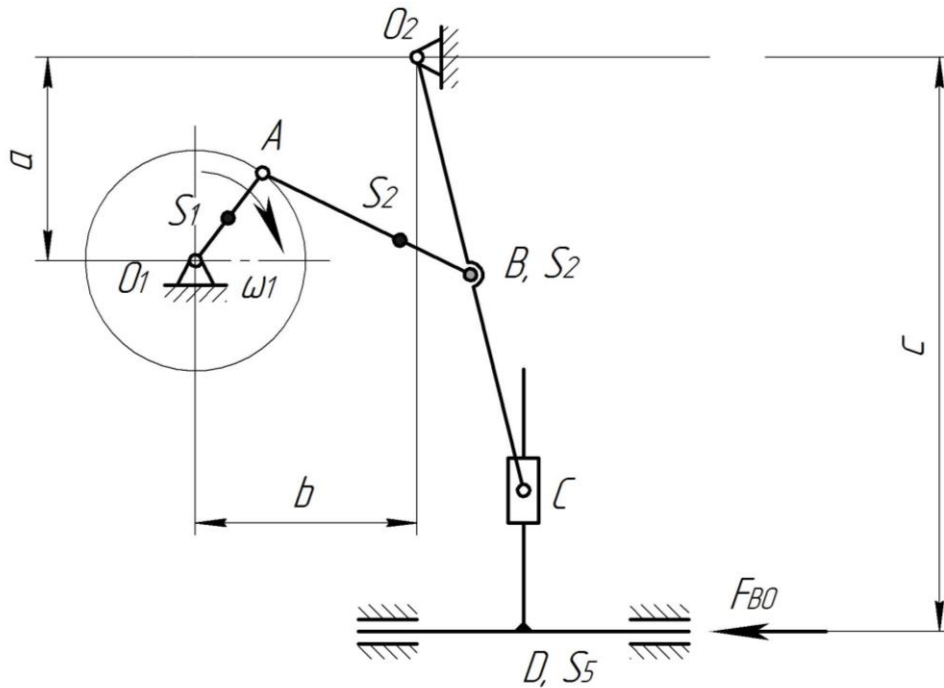
$$R_{\min} = (1,5 \dots 2,5) h. \quad (34)$$

Радіус ролика визначаємо за формулою:

$$r_0 = (1,5 \dots 2,5) R_{\min}. \quad (35)$$

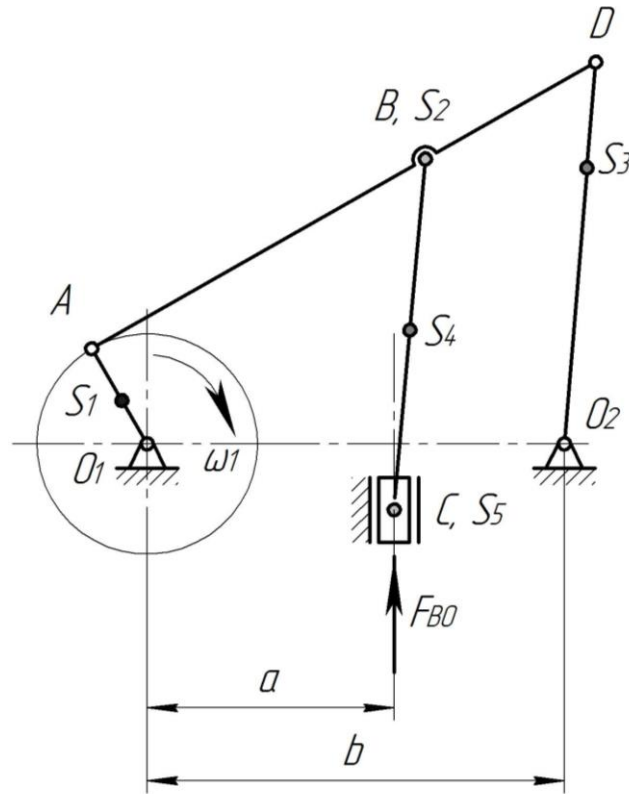
6. Після визначення цих величин приступаємо до побудови профілю кулачка (побудова показана у графічній частині, Аркуш 3, Додаток 3).

Завдання 1



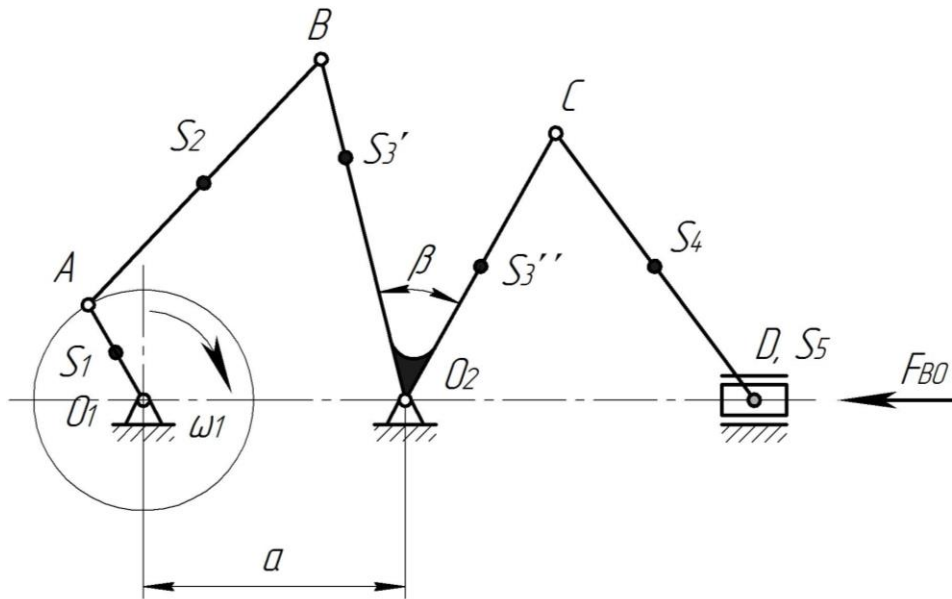
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	160	180	200	230	250	m_5 , кг	0	0	0	0	0
b , мм	200	220	240	280	320	F_{BO} , кН	6,0	6,6	7,2	7,8	8,4
c , мм	500	550	600	650	700	U_{12}	1,8	2,0	2,2	2,6	2,8
L_{O_1A} , мм	100	120	140	160	180	Модуль m , мм	2,4	2,8	3,2	3,6	4,2
L_{AB} , мм	300	350	400	450	500	φ_v°	100	110	120	110	100
L_{O_2A} , мм	200	220	240	260	280	φ_d°	40	50	60	70	80
L_{O_2C} , мм	400	44	480	520	560	φ_n°	70	80	90	110	110
n_1 , об/хв	110	100	90	80	70	Закон прискорення	1	5	4	3	2
m_1 , кг	10	12	14	16	18	Кулачковий механізм	1	2	3	2	1
m_2 , кг	24	28	32	36	40	h , мм	50	60	-	50	60
m_3 , кг	28	31	34	37	40	ψ°	-	-	40	-	-
m_4 , кг	20	20	20	20	20						

Завдання 2



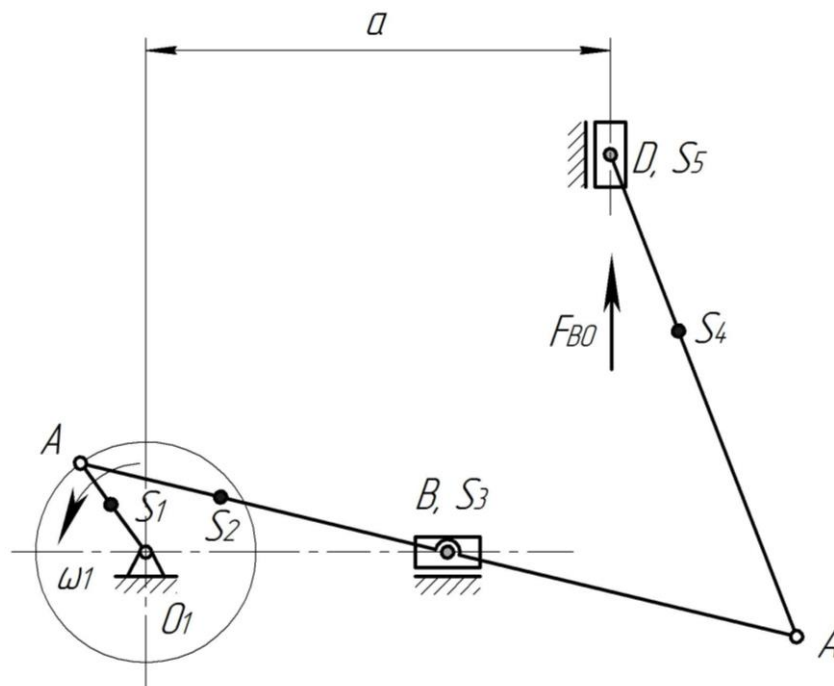
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	прийняти					m_5 , кг	10	14	16	19	22
b , мм	550	600	650	700	750	F_{BO} , кН	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6
L_{O_1A} , мм	100	120	140	160	180	U_{12}	2,0	1,5	3,0	2,0	2,5
L_{AD} , мм	600	660	720	750	810	Модуль t , мм	14	16	20	18	15
L_{AB} , мм	400	440	480	500	540	φ_v°	120	110	100	90	80
L_{O_2A} , мм	200	230	240	250	260	φ_D°	25	40	55	70	85
L_{BC} , мм	240	260	280	300	310	φ_H°	140	140	120	100	80
n_1 , об/хв	90	80	70	60	50	Закон прискорення	5	1	4	2	3
m_1 , кг	20	21	22	23	24	Кулачковий механізм	1	1	1	3	2
m_2 , кг	100	103	106	109	112	h , мм	40	50	60	-	50
m_3 , кг	51	54	58	62	65	ψ°	-	-	-	33	-
m_4 , кг	60	62	65	68	70						

Завдання 3



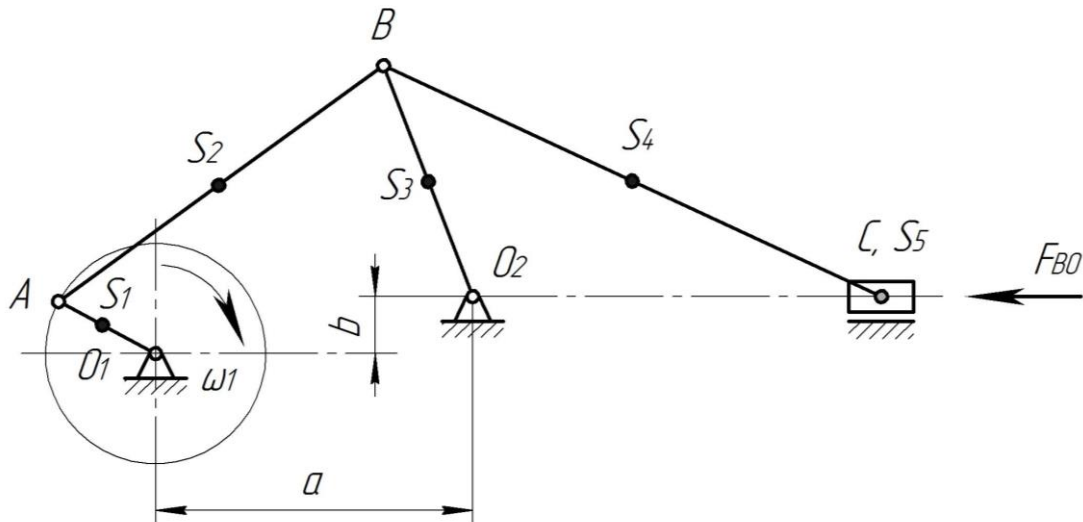
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	200	240	280	320	360	m_5 , кг	10	12	14	16	18
L_{O_1A} , мм	120	140	160	180	200	F_{BO} , кН	8,0	7,8	7,6	7,4	7,2
L_{AB} , мм	240	300	360	420	450	U_{12}	2,2	2,4	2,6	3,2	3,0
L_{O_2B} , мм	200	240	280	320	360	Модуль t , мм	15	18	20	20	16
L_{O_2C} , мм	150	170	200	230	260	φ_v°	160	110	100	90	80
L_{CD} , мм	180	200	220	240	260	φ_d°	20	40	60	80	100
β°	20	25	30	35	40	φ_H°	100	80	80	70	60
n_1 , об/хв	140	130	120	110	100	Закон прискорення	1	5	2	4	3
m_1 , кг	16	18	20	22	24	Кулачковий механізм	1	1	2	2	3
m_2 , кг	28	30	32	40	44	h , мм	27	40	33	37	-
m_3 , кг	40	44	46	48	50	ψ°	-	-	-	-	28
m_4 , кг	20	22	24	26	28						

Завдання 4



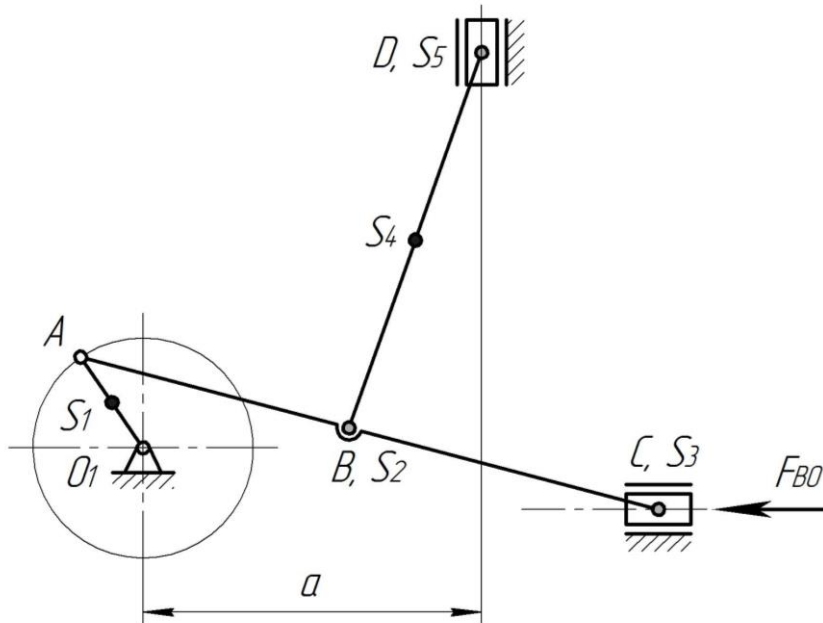
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
L_{O_1A} , мм	200	240	280	320	360	U_{12}	2,0	3,0	3,5	3,2	2,8
L_{AC} , мм	800	860	920	980	1040	Модуль m , мм	10	12	14	16	18
L_{AB} , мм	400	430	460	490	520	φ_B°	100	120	140	160	180
L_{CD} , мм	280	300	320	340	360	φ_D°	40	50	60	20	0
a , мм	прийняти					φ_H°	120	120	120	130	140
n_1 , об/хв	105	100	90	85	80	Закон при- скорення	1	2	4	5	3
m_1 , кг	15	17	18	20	21	Кулачковий механізм	1	1	2	2	3
m_2 , кг	50	55	60	65	70	h , мм	45	50	35	40	-
m_3 , кг	10	12	14	16	18	ψ°	-	-	-	-	28
m_4 , кг	20	25	30	35	40						
m_5 , кг	8	14	16	20	24						
F_{BO} , кН	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0						

Завдання 5



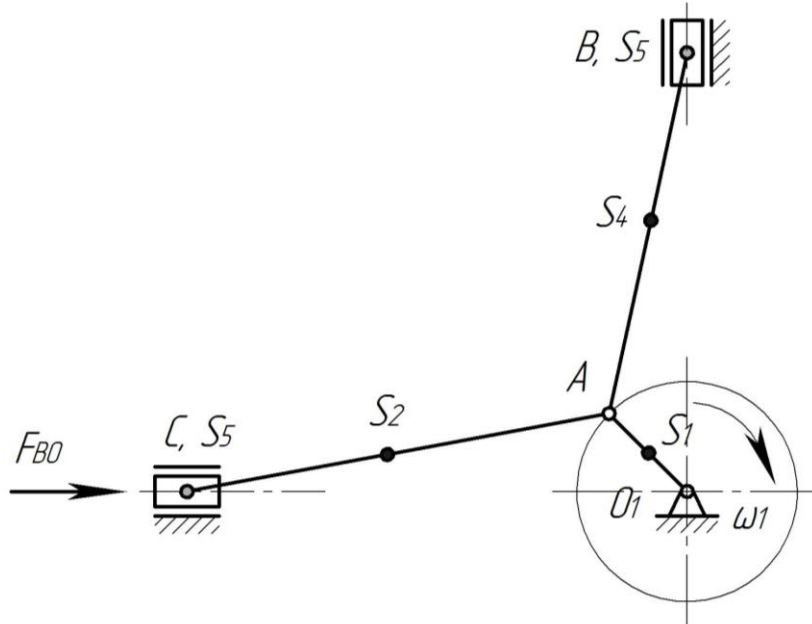
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	700	750	800	850	900	F_{BO} , кН	9,0	9,5	9,7	9,8	9,4
b , мм	70	80	90	100	110	U_{12}	2,0	2,4	2,8	1,6	3,0
L_{O_1A} , мм	200	210	250	270	300	Модуль m , мм	6	8	10	14	18
L_{O_2B} , мм	350	400	450	500	550	φ_B°	60	80	70	95	120
L_{AB} , мм	800	850	850	900	1000	φ_D°	60	20	0	35	40
L_{BC} , мм	850	1000	1100	1200	1300	φ_H°	60	80	60	85	110
n_1 , об/хв	100	95	90	80	70	Закон прискорення	1	2	3	4	5
m_1 , кг	15	20	24	28	32	Кулачковий механізм	1	2	3	1	3
m_2 , кг	50	60	65	70	80	h , мм	46	54	-	62	-
m_3 , кг	30	40	50	60	70	ψ°	-	-	24	-	30
m_4 , кг	80	100	110	120	130						
m_5 , кг	80	90	100	110	120						

Завдання 6



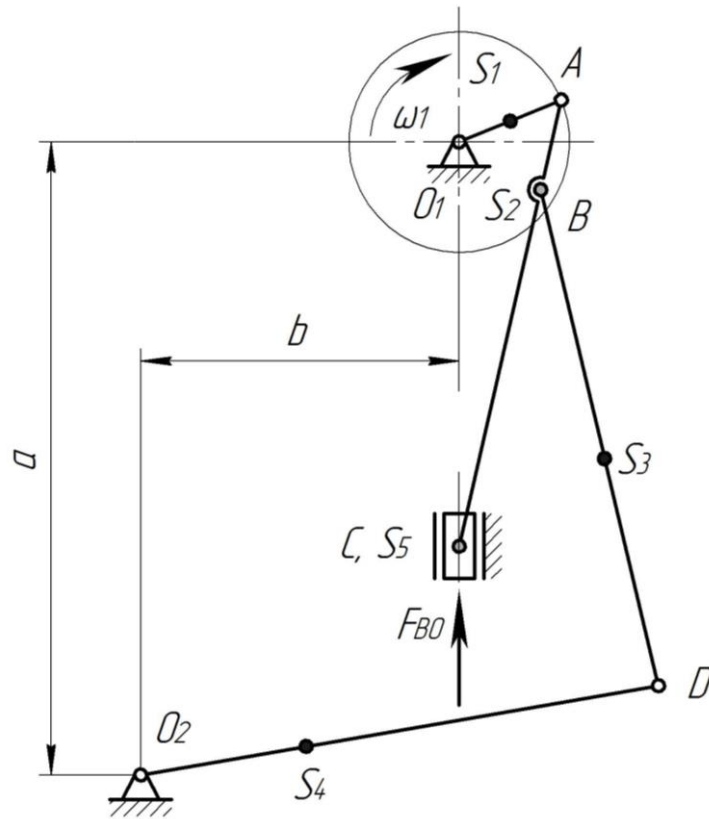
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	500	550	570	600	520	U_{12}	4,0	3,6	2,8	3,0	2,4
L_{O_1A} , мм	200	25	220	280	230	Модуль m , мм	16	18	20	22	24
L_{AC} , мм	750	780	800	950	920	φ_B°	180	140	160	120	100
L_{BD} , мм	650	680	700	820	750	φ_D°	0	90	0	60	45
n_1 , об/хв	95	85	75	65	70	φ_H°	90	70	90	60	90
m_1 , кг	18	19	21	24	20	Закон прискорення	1	5	2	4	3
m_2 , кг	70	72	60	55	65	Кулачковий механізм	1	2	3	3	2
m_3 , кг	18	20	30	35	28	h , мм	45	50	-	-	50
m_4 , кг	35	45	40	60	45	ψ°	-	-	25	30	-
m_5 , кг	32	40	34	20	24						
F_{BO} , кН	5,2	6,2	5,5	6,0	5,4						

Завдання 7



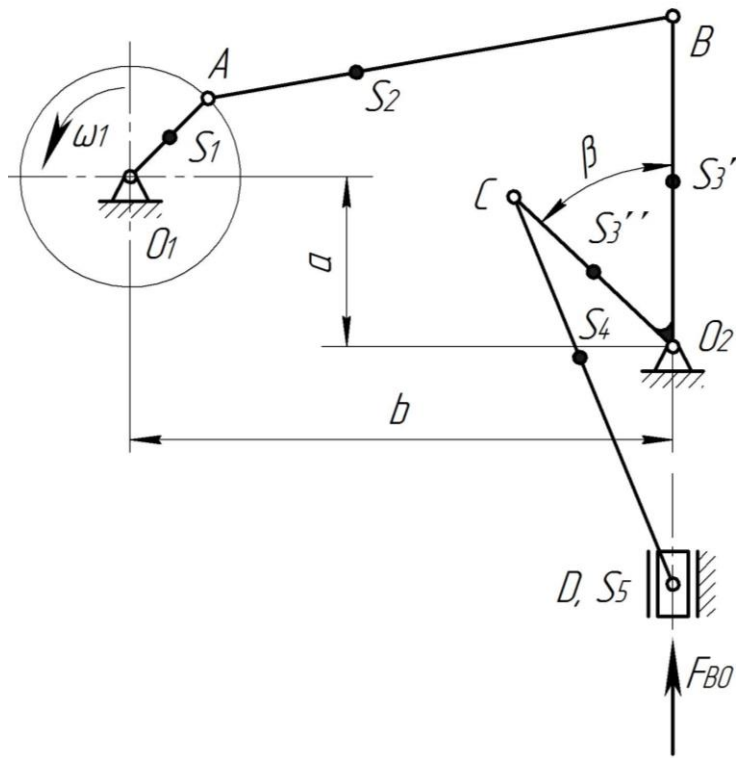
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
L_{O_1A} , мм	200	180	160	150	140	U_{12}	1,8	1,6	2,1	2,2	2,4
L_{AB} , мм	500	480	450	440	400	Модуль m , мм	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
n_1 , об/хв	120	130	140	150	160	φ_6°	100	110	120	130	150
m_1 , кг	9	10	11	12	13	φ_∂°	60	50	40	30	0
$m_2 = m_4$, кг	40	42	38	44	45	φ_H°	90	80	90	100	120
$m_3 = m_5$, кг	10	9	8	11	12	Закон прискорення	1	5	2	4	3
F_{BO} , кН	6,0	5,5	4,8	6,2	5,2	Кулачковий механізм	2	1	3	3	1
						h , мм	40	30	-	-	50
						ψ°	-	-	30	25	-

Завдання 8



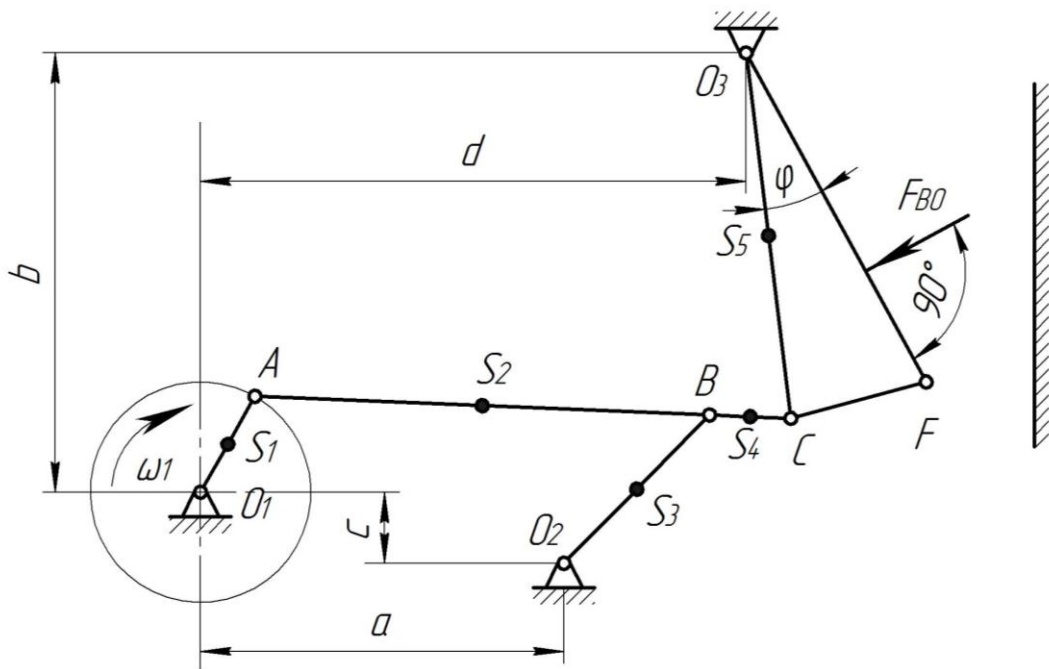
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	1000	900	800	1200	1100	F_{BO} , кН	9,0	8,0	7,5	9,5	7,0
b , мм	550	450	400	650	550	U_{12}	3,5	3,0	2,8	2,4	2,0
L_{O_1A} , мм	270	250	200	300	220	Модуль m , мм	18	16	14	12	10
L_{AC} , мм	850	750	650	1000	950	φ_v°	100	110	90	80	70
L_{BD} , мм	700	600	550	900	850	φ_δ°	60	50	40	35	55
L_{O_2D} , мм	750	850	600	800	700	φ_n°	90	100	75	70	60
m_1 , кг	30	26	24	35	32	Закон прискоренн	1	2	3	4	5
m_2 , кг	70	65	60	80	75	Кулачковий механізм	1	2	3	2	1
m_3 , кг	40	45	35	55	50	h , мм	40	35	-	50	45
m_4 , кг	55	50	45	60	55	ψ°	-	-	30	-	-
n_1 , об/хв	180	140	130	100	120						

Завдання 9



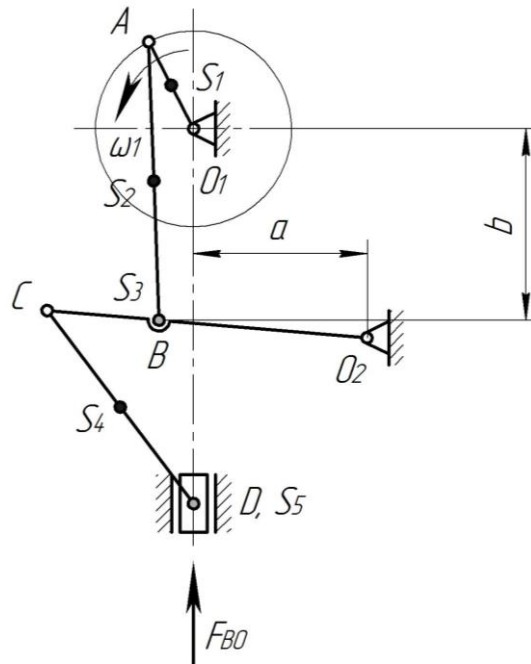
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	200	230	260	290	320	n_1 , об/хв	80	78	76	72	70
b , мм	450	500	550	600	700	F_{BO} , кН	8,0	8,3	8,5	8,7	9,1
L_{O_1A} , мм	140	160	180	200	220	U_{12}	1,8	2,1	2,3	2,6	2,9
L_{AB} , мм	400	450	500	550	600	Модуль m , мм	4	5	6	7	8
L_{O_2B} , мм	380	400	4500	480	510	$\varphi_{\epsilon}^{\circ}$	105	100	95	90	85
L_{O_2C} , мм	180	190	210	230	250	φ_{δ}°	100	100	100	115	25
L_{CD} , мм	450	500	550	600	650	φ_{η}°	90	80	85	70	65
β°	45	50	55	60	55	Закон прискоренн	3	4	2	1	5
m_1 , кг	11	13	15	17	19	Кулачковий механізм	3	1	2	3	2
$m_2 = m_4$, кг	25	27	29	31	34	h , мм	-	25	30	-	35
m_3 , кг	60	63	66	69	72	ψ°	35	-	-	30	-
m_5 , кг	70	80	75	85	90						

Завдання 10



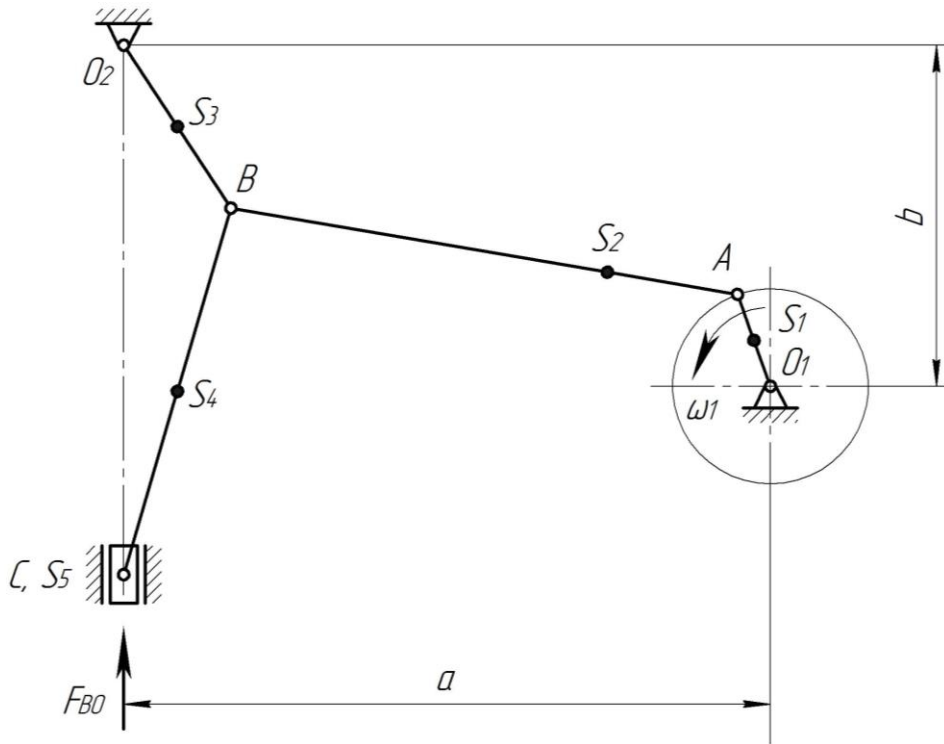
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	600	630	660	700	750	n_1 , об/хв	110	105	95	85	75
b , мм	650	680	700	730	760	F_{BO} , кН	4,0	4,5	5,0	5,3	6,0
c , мм	250	300	320	350	400	U_{12}	1,5	1,8	2,0	2,5	3
L_{O_1A} , мм	80	90	95	100	110	Модуль m , мм	8	10	12	14	16
L_{AB} , мм	550	600	650	690	740	$\varphi_в^\circ$	70	80	110	90	80
L_{O_2B} , мм	360	400	450	500	550	$\varphi_д^\circ$	30	40	20	0	30
$L_{O_3C} = L_{O_3F}$, мм	500	500	600	650	700	φ_n°	80	70	130	90	100
L_{BC} , мм	250	280	300	320	350	Закон прискоренн	1	2	3	4	5
d , мм	700	750	780	800	830	Кулачковий механізм	2	3	1	2	3
m_1 , кг	12	15	18	20	24	h , мм	60	-	56	48	-
$m_2 = m_5$, кг	50	60	65	70	75	ψ°	-	34	-	-	30
$m_3 = m_4$, кг	30	35	40	45	50						

Завдання 11



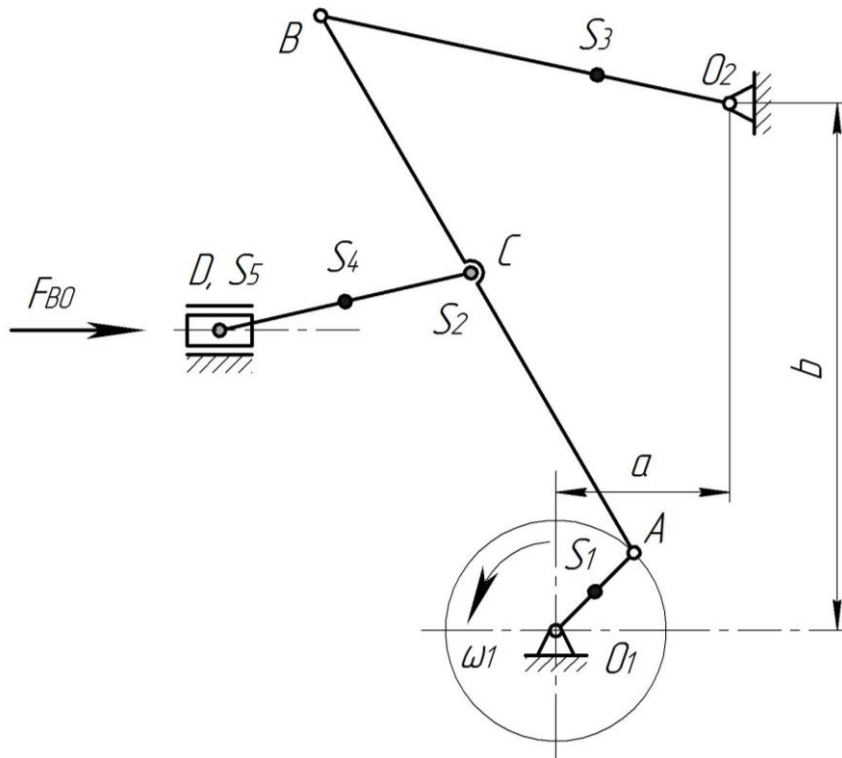
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	300	400	450	550	600	F_{BO} , кН	9,0	9,5	9,1	9,8	9,9
b , мм	400	500	600	700	750	U_{12}	2,0	2,2	3,5	2,8	3,0
L_{O_1A} , мм	200	220	250	270	300	Модуль m , мм	4	5	7	8	9
L_{AB} , мм	500	600	700	800	900	φ_v°	120	100	110	90	82
L_{O_2C} , мм	450	550	650	700	850	φ_∂°	90	40	35	60	70
L_{CD} , мм	600	700	800	900	1000	φ_H°	100	80	90	75	80
n_1 , об/хв	95	85	110	75	80	Закон прискорення	5	4	3	2	1
m_1 , кг	25	27	30	35	40	Кулачковий механізм	3	2	1	2	1
m_2 , кг	60	63	70	68	75	h , мм	-	25	40	45	35
m_3 , кг	55	60	70	67	75	ψ°	40	-	-	-	-
m_4 , кг	40	45	50	55	60						
m_5 , кг	100	90	105	110	120						

Завдання 12



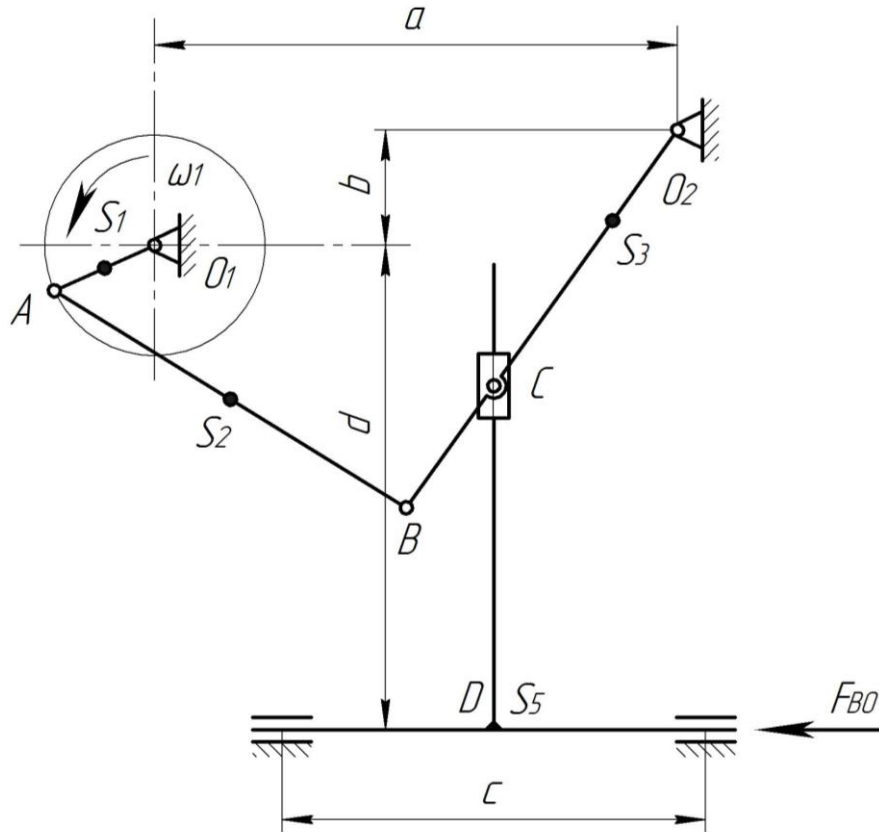
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	600	650	700	750	800	F_{BO} , кН	8,6	9,2	9,6	9,2	9,6
b , мм	400	450	500	550	600	U_{12}	1,4	1,6	2,0	2,4	2,8
L_{O_1A} , мм	150	170	190	220	250	Модуль m , мм	12	16	18	20	22
L_{AB} , мм	прийняти					φ_v°	120	110	100	90	80
L_{O_2B} , мм	300	320	350	370	400	φ_δ°	70	75	65	75	60
L_{BC} , мм	450	500	550	600	650	φ_H°	100	95	90	75	60
n_1 , об/хв	100	110	90	95	80	Закон прискорення	4	5	1	2	3
m_1 , кг	11,0	10,5	10,0	8,0	12,0	Кулачковий механізм	2	1	3	2	1
m_2 , кг	40	45	50	50	60	h , мм	25	30	-	55	40
m_3 , кг	20	22	24	20	30	ψ°	-	-	30	-	-
m_4 , кг	35	40	45	50	55						
m_5 , кг	60	70	80	90	100						

Завдання 13



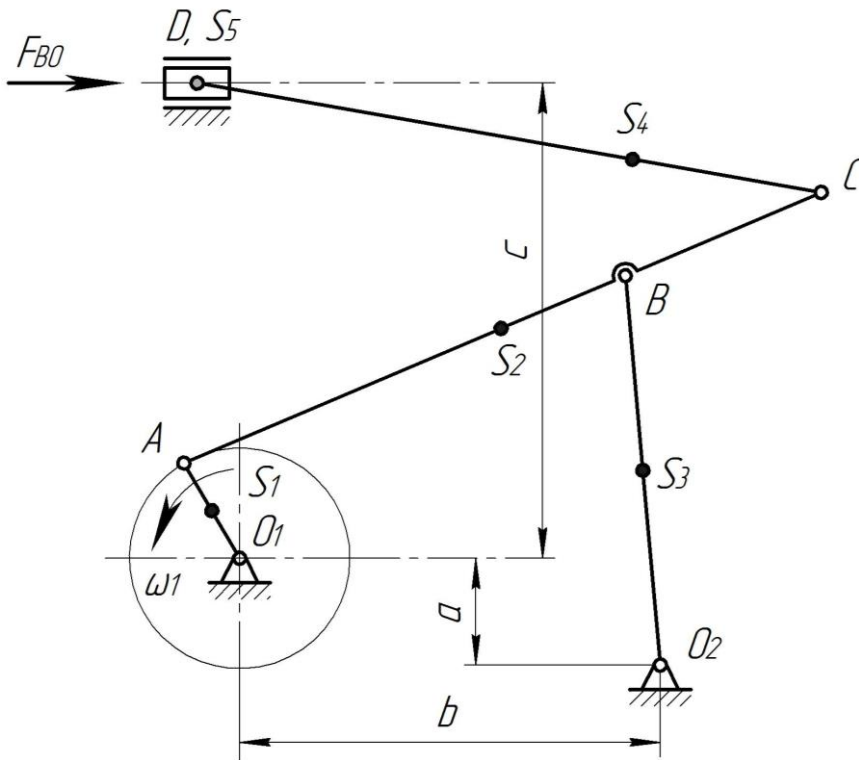
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	200	220	240	250	260	U_{12}	3,0	3,2	3,4	3,6	2,0
L_{O_1A} , мм	150	170	190	210	220	Модуль m , мм	14	16	18	16	14
L_{AB} , мм	600	580	620	550	650	φ_v°	120	130	140	150	160
L_{O_2B} , мм	420	400	380	400	410	φ_d°	60	40	30	0	0
L_{CD} , мм	380	360	300	400	380	φ_n°	90	100	120	130	140
n_1 , об/хв	105	100	105	120	130	Закон прискорення	1	2	5	4	3
m_1 , кг	12	14	16	18	20	Кулачковий механізм	1	2	3	2	3
m_2 , кг	40	45	50	55	60	h , мм	30	40	-	60	-
m_3 , кг	30	35	40	45	50	ψ°	-	-	25	-	30
m_4 , кг	40	45	50	55	60	b , мм	прийняти				
m_5 , кг	20	15	18	20	14						
F_{BO} , кН	6,0	6,2	6,4	6,6	6,5						

Завдання 14



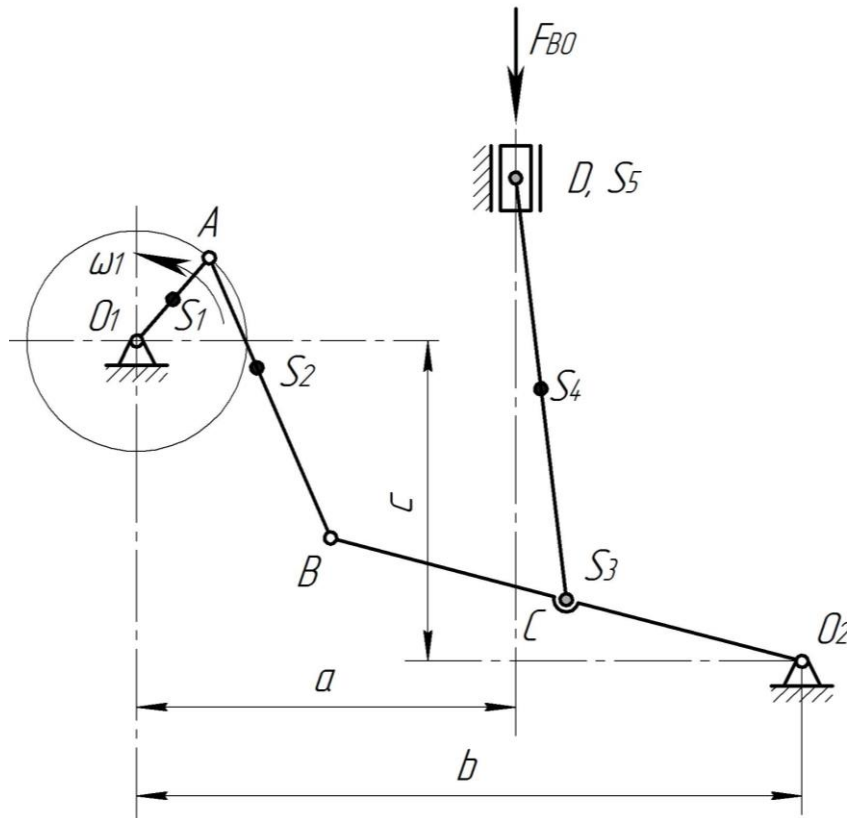
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	800	900	1000	1050	950	n_1 , об/хв	85	95	100	110	95
b , мм	200	240	300	280	200	F_{BO} , кН	5,5	6,0	5,0	4,8	4,5
L_{O_1A} , мм	240	280	320	280	300	U_{12}	2,0	3,6	3,0	2,4	2,8
L_{O_2B} , мм	650	750	800	850	700	Модуль t , мм	20	16	22	24	30
L_{AB} , мм	850	950	1000	1100	950	φ_v°	130	140	110	100	90
c , мм	прийняти					φ_d°	0	0	60	40	30
d , мм	прийняти					φ_n°	100	110	100	80	70
m_1 , кг	18	16	20	14	16	Закон прискорення	1	3		4	5
m_2 , кг	40	42	50	55	50	Кулачковий механізм	3	2	1	3	2
m_3 , кг	40	40	45	35	55	h , мм	-	60	50	-	45
m_5 , кг	80	90	100	80	95	ψ°	30	-	-	25	-

Завдання 15



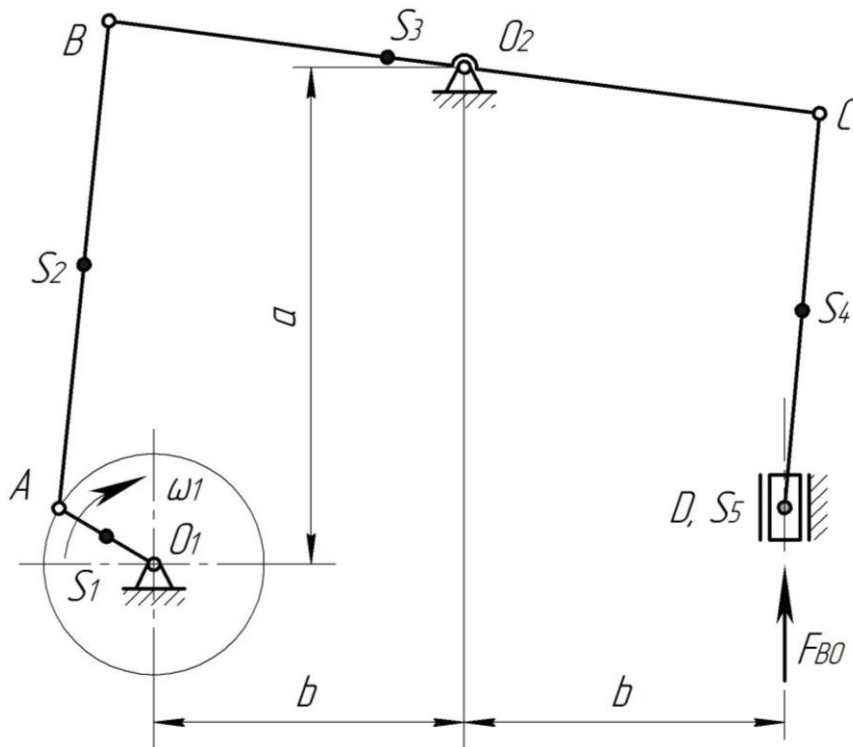
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
b , мм	800	750	600	650	680	m_5 , кг	16	18	20	22	24
c , мм	600	650	500	600	600	F_{BO} , кН	6,5	7,0	7,2	6,8	6,6
L_{O_1A} , мм	200	240	180	2800	220	U_{12}	1,4	1,6	2,0	2,4	2,8
L_{AC} , мм	1000	950	900	950	100	Модуль m , мм	2,4	3,0	5,0	7,0	10
L_{AB} , мм	660	620	600	620	660	$\varphi_в^\circ$	120	160	180	100	115
L_{O_2B} , мм	400	450	350	360	380	$\varphi_д^\circ$	30	0	0	45	60
L_{CD} , мм	900	800	750	780	800	$\varphi_н^\circ$	100	140	150	80	82
n_1 , об/хв	80	90	70	80	90	Закон прискорення	2	1	3	5	4
m_1 , кг	20	18	16	14	12	Кулачковий механізм	1	2	2	3	1
m_2 , кг	40	45	50	55	52	h , мм	40	45	50	-	45
m_3 , кг	32	36	40	44	48	ψ°	-	-	-	35	-
m_4 , кг	30	28	32	36	38						

Завдання 16



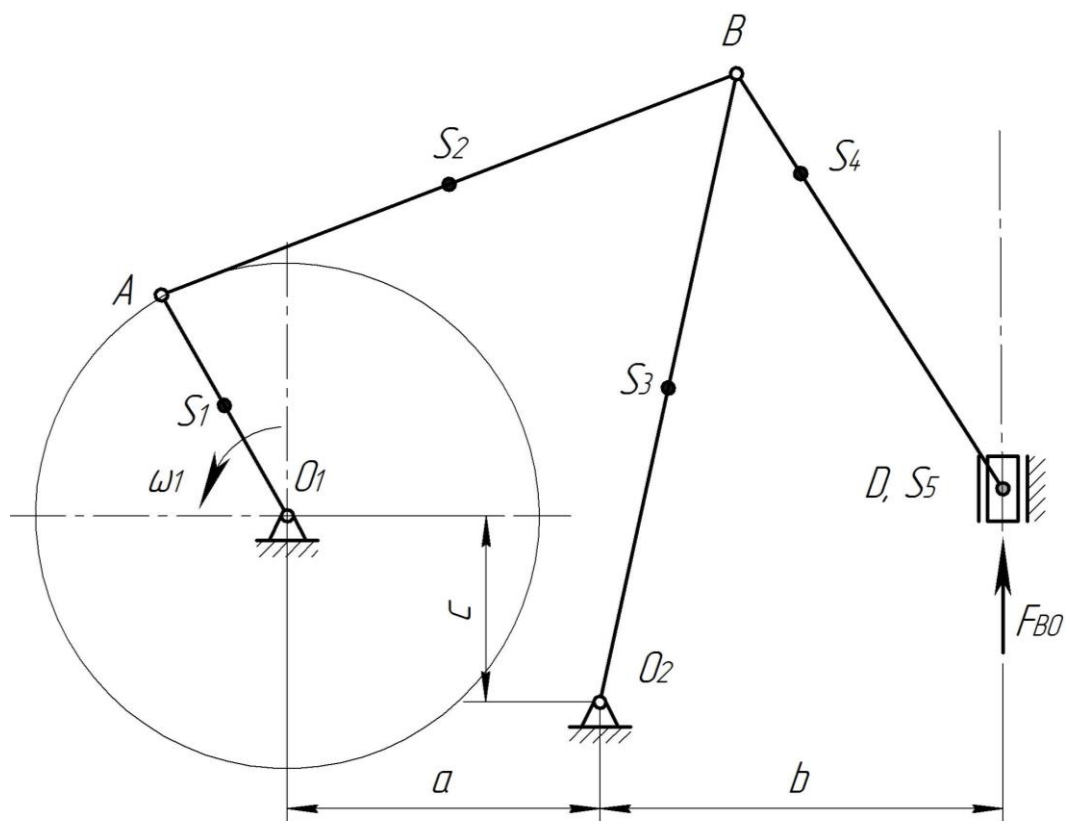
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	прийняти					m_5 , кг	20	24	28	30	35
b , мм	прийняти					F_{BO} , кН	6,0	6,2	6,4	6,6	6,8
c , мм	200	220	240	260	280	U_{12}	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2
L_{O_1A} , мм	140	160	180	230	250	Модуль m , мм	6	7	8	9	10
L_{AB} , мм	380	400	420	450	480	φ_v°	100	110	120	130	140
L_{CD} , мм	400	420	460	500	520	φ_d°	60	60	60	60	60
L_{O_2B} , мм	600	620	680	700	680	φ_n°	80	90	90	100	105
n_1 , об/хв	70	80	90	100	110	Закон прискорення	1	2	4	3	5
m_1 , кг	12	14	16	18	20	Кулачковий механізм	1	2	3	1	2
m_2 , кг	30	35	40	45	50	h , мм	40	30	-	50	35
m_3 , кг	65	70	70	75	75	ψ°	-	-	30	-	-
m_4 , кг	35	40	45	45	50						

Завдання 17



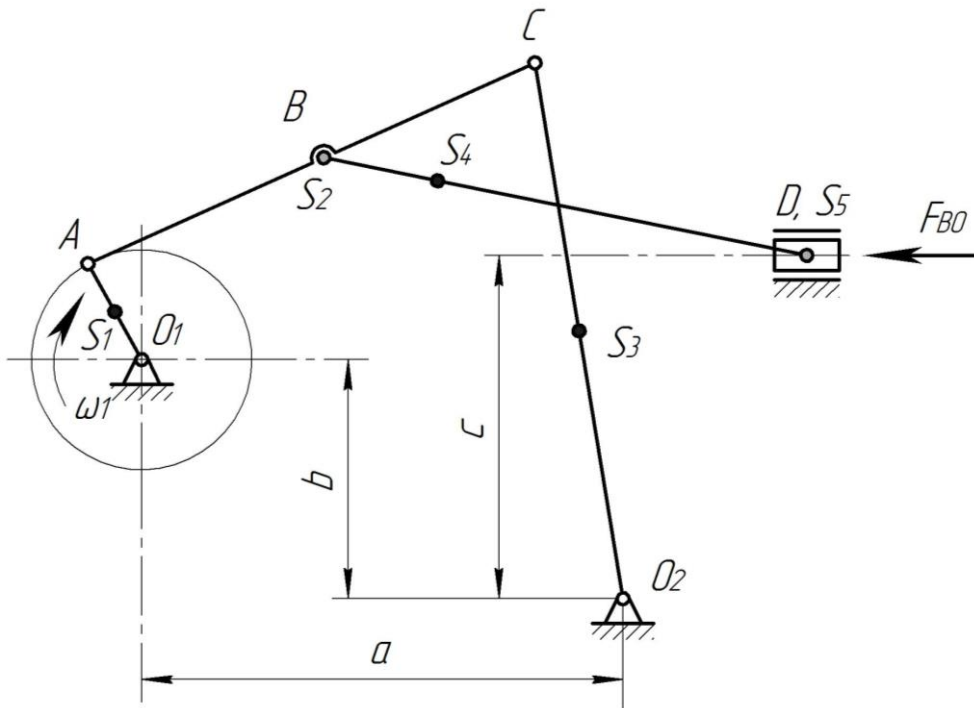
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	прийняти					F_{BO} , кН	7,0	6,0	6,5	7,5	5,5
b , мм	400	420	450	380	460	U_{12}	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2
L_{O_1A} , мм	210	220	230	240	250	Модуль t , мм	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0
L_{AB} , мм	300	580	620	630	650	φ_B°	70	80	90	100	110
$L_{O_2B} = L_{O_2C}$, мм	500	520	550	500	580	φ_D°	60	50	40	30	0
L_{CD} , мм	500	520	550	580	600	φ_H°	60	60	70	70	110
n_1 , об/хв	100	90	80	120	90	Закон прискорення	5	1	2	3	4
m_1 , кг	20	20	25	25	25	Кулачковий механізм	2	1	3	3	1
m_2 , кг	42	45	48	51	54	h , мм	40	50	-	-	60
m_3 , кг	60	62	64	66	68	ψ°	-	-	30	35	-
m_4 , кг	40	44	48	52	56						
m_5 , кг	30	32	34	36	38						

Завдання 18



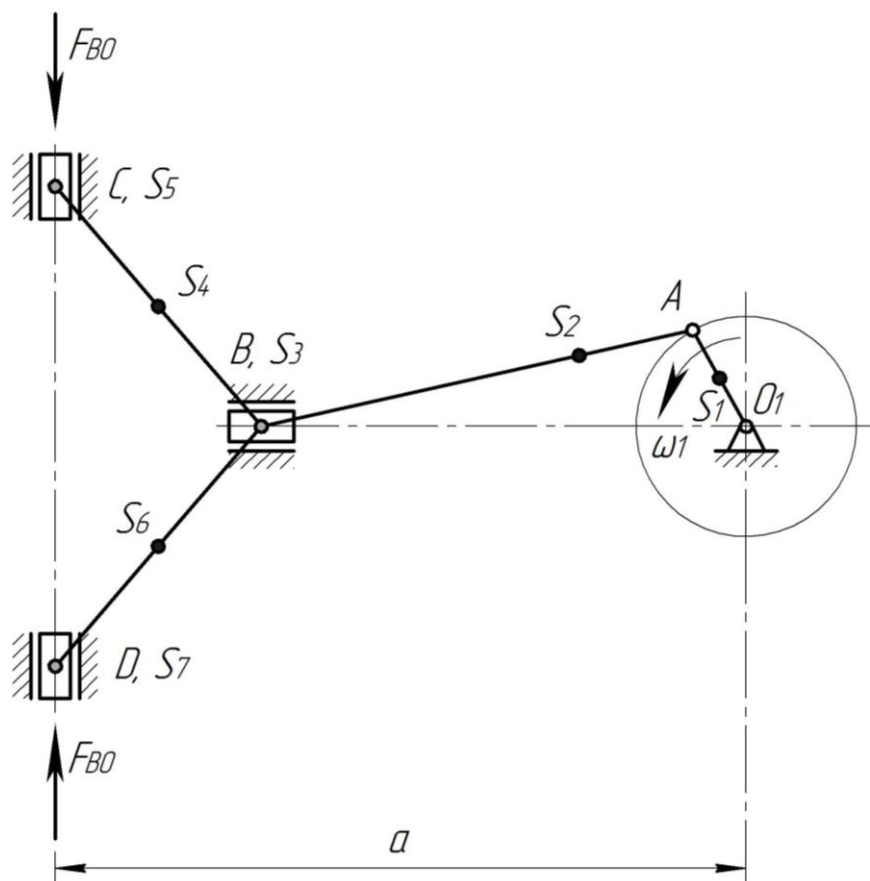
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	прийняти					m_5 , кг	20	25	30	35	40
b , мм	200	220	240	260	300	F_{BO} , кН	6,5	6,7	6,9	7,1	7,3
c , мм	150	160	180	200	220	U_{12}	3,6	3,2	2,8	2,4	2,0
L_{O_1A} , мм	180	200	160	190	210	Модуль m , мм	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
L_{AB} , мм	600	650	700	680	720	φ_v°	90	100	110	120	130
L_{O_2B} , мм	500	520	540	580	620	φ_d°	60	45	30	0	0
L_{BD} , мм	450	480	500	500	480	φ_n°	70	70	80	100	100
n_1 , об/хв	60	50	55	60	55	Закон прискорення	5	1	3	2	4
m_1 , кг	8	10	12	14	16	Кулачковий механізм	1	3	2	3	1
m_2 , кг	42	44	44	42	40	h , мм	30	-	35	-	30
m_3 , кг	30	32	32	36	36	ψ°	-	30	-	30	-
m_4 , кг	37	30	35	38	38						

Завдання 19



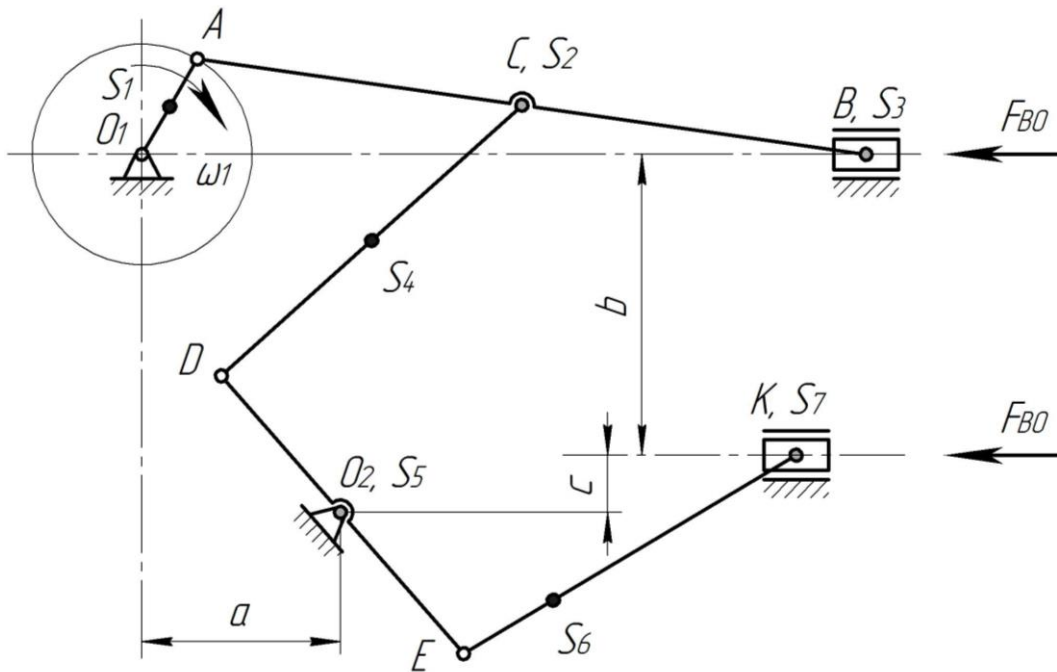
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	прийняти					m_5 , кг	15	18	21	25	30
b , мм	300	280	320	340	260	F_{BO} , кН	6,4	6,6	6,8	7,0	7,2
L_{O_1A} , мм	180	190	200	210	220	U_{12}	2,5	2,3	2,7	2,3	2,1
L_{AC} , мм	550	580	600	520	550	Модуль t , мм	10,0	9,0	7,0	6,0	5,0
L_{O_2C} , мм	600	620	640	680	700	φ_6°	120	140	160	120	100
L_{BD} , мм	600	580	620	610	600	φ_D°	30	0	0	45	60
c , мм	450	480	500	500	550	φ_H°	160	140	130	90	90
n_1 , об/хв	60	65	70	75	80	Закон прискорення	4	5	2	1	3
m_1 , кг	20	22	25	27	30	Кулачковий механізм	1	3	1	3	2
m_2 , кг	45	47	50	48	52	h , мм	40	-	50	-	60
m_3 , кг	60	62	55	58	60	ψ°	-	30	-	30	-
m_4 , кг	50	52	54	56	58						

Завдання 20



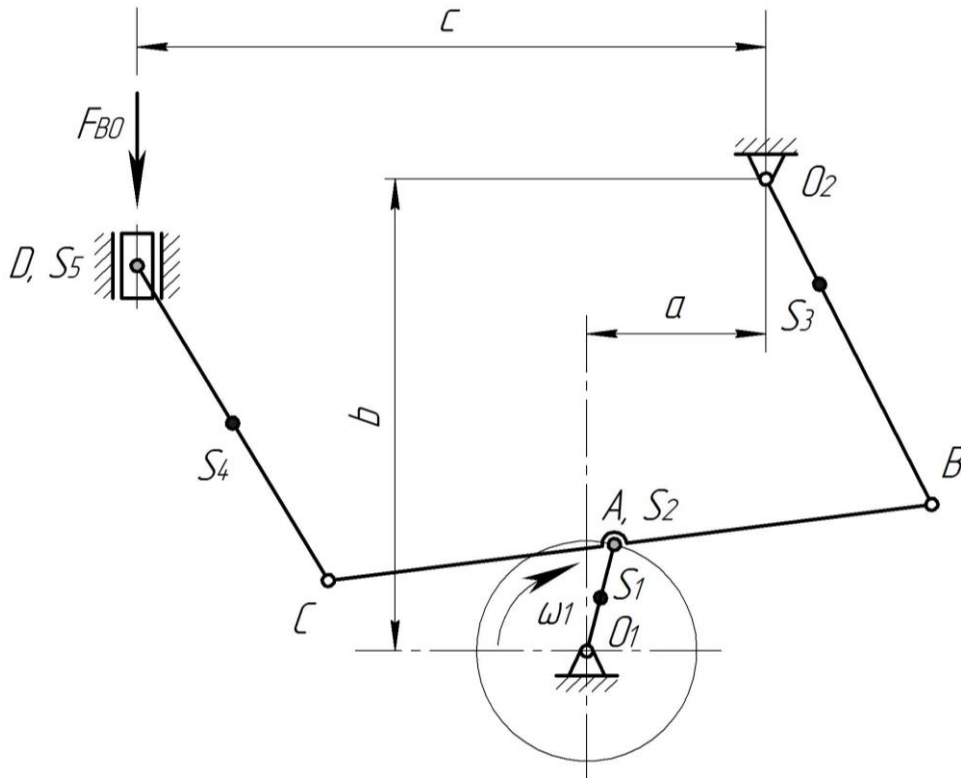
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	900	950	1000	1050	1100	U_{12}	2,5	3,0	2,0	1,5	1,8
L_{O_1A} , мм	140	150	180	200	220	Модуль m , мм	8	10	12	14	16
L_{AB} , мм	550	600	750	800	900	φ_B°	80	100	110	95	90
$L_{BC} = L_{BD}$, мм	500	600	750	750	800	φ_D°	40	30	20	35	40
n_1 , об/хв	100	90	80	70	60	φ_H°	90	90	90	80	70
m_1 , кг	10	12	14	16	18	Закон прискорення	1	2	5	4	3
m_2 , кг	30	35	40	45	50	Кулачковий механізм	2	1	3	2	1
m_3 , кг	15	18	21	24	27	h , мм	50	60	-	80	40
$m_4 = m_6$, кг	40	50	60	60	60	ψ°	-	-	20	-	-
$m_5 = m_7$, кг	12	16	20	24	28						
F_{BO} , кН	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0						

Завдання 21



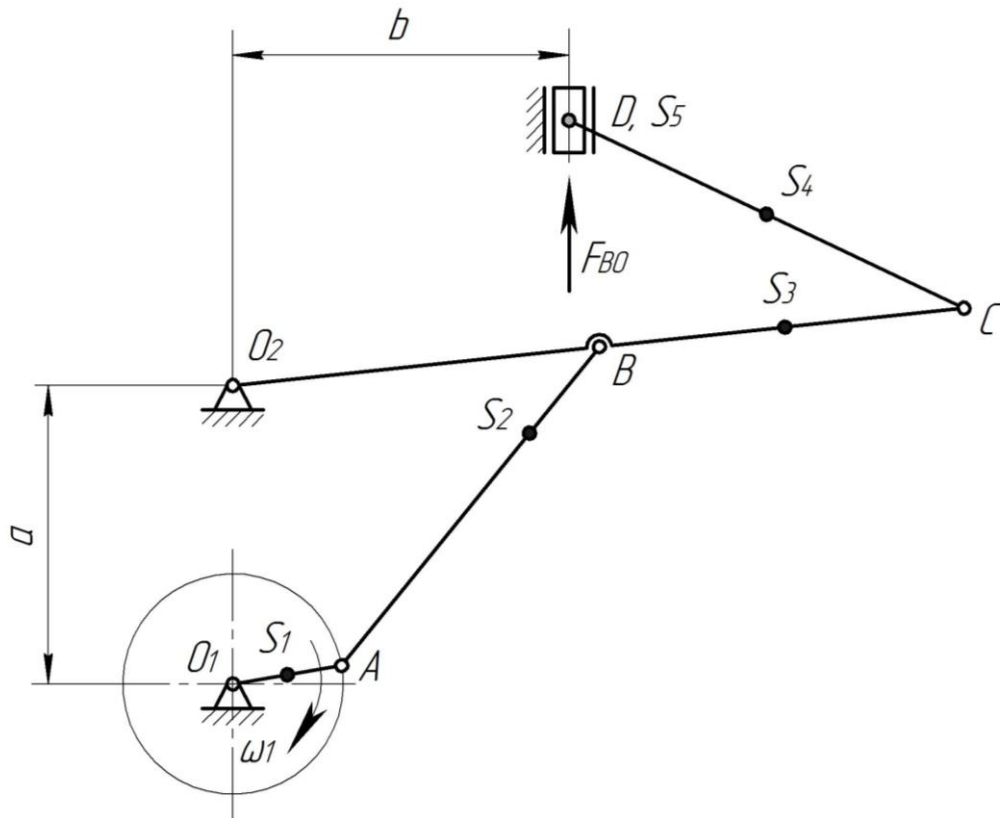
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	300	400	500	600	700	m_4 , кг	35	40	45	50	55
b , мм	300	330	350	350	400	m_6 , кг	32	36	40	44	48
c , мм	50	60	70	80	90	F_{BO} , кН	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
L_{O_1A} , мм	100	110	120	130	140	U_{12}	2,0	2,5	3,0	1,5	1,8
L_{AB} , мм	400	450	500	550	650	Модуль m , мм	10	14	18	10	10
L_{CD} , мм	300	350	400	450	500	φ_v°	140	120	110	100	90
L_{O_2D} , мм	100	110	90	80	70	φ_d°	40	35	45	50	30
L_{EK} , мм	300	340	380	400	450	φ_n°	120	100	90	100	70
n_1 , об/хв	140	130	120	110	100	Закон прискорення	1	2	3	4	5
m_1 , кг	12	18	24	30	36	Кулачковий механізм	2	1	3	1	2
m_2 , кг	40	45	50	55	60	h , мм	45	50	-	60	70
$m_3 = m_7$, кг	30	30	30	30	30	ψ°	-	-	25	-	-

Завдання 22



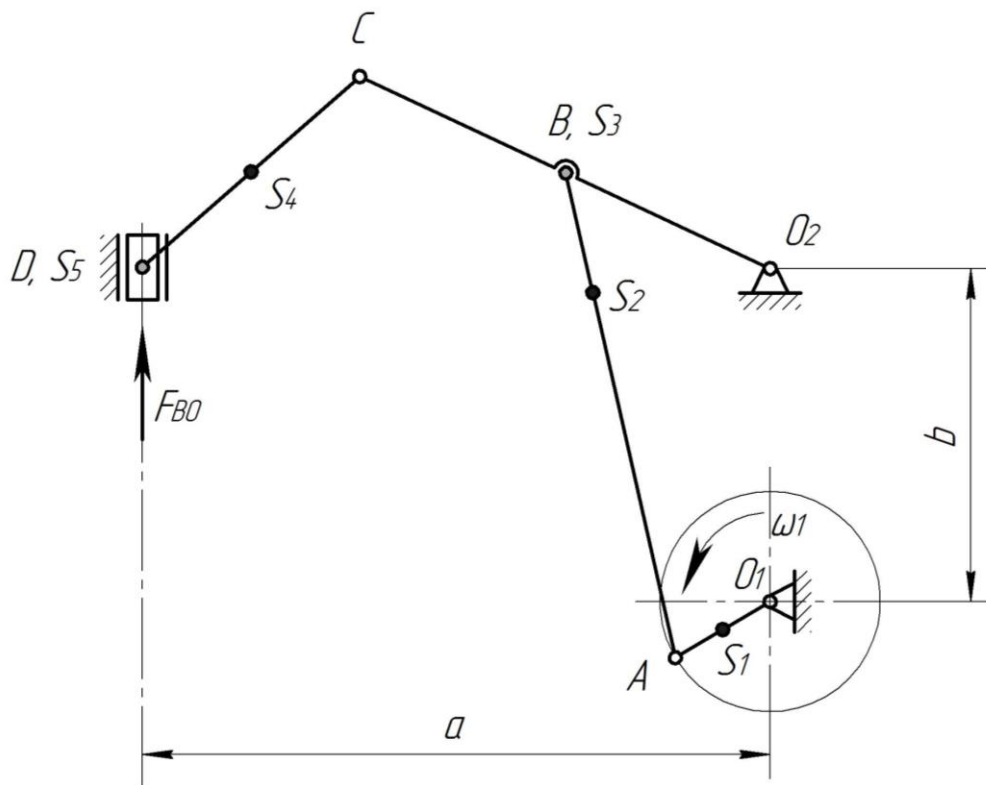
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	300	350	400	450	500	m_5 , кг	18	24	30	36	42
b , мм	800	650	700	800	900	F_{BO} , кН	4,5	4,7	5,4	5,8	6,2
c , мм	700	750	800	900	1000	U_{12}	1,6	2,2	2,8	1,8	2,5
L_{O_1A} , мм	100	110	120	130	140	Модуль m , мм	8	12	10	8	16
L_{O_2B} , мм	500	550	600	750	800	φ_v°	130	110	100	120	90
$L_{AB} = L_{AC}$, мм	450	500	550	600	650	φ_δ°	40	40	0	60	80
L_{CD} , мм	600	650	700	750	800	φ_n°	100	80	80	100	100
n_1 , об/хв	140	135	130	120	110	Закон прискорення	5	4	3	2	1
m_1 , кг	12	14	16	18	20	Кулачковий механізм	3	2	1	1	2
m_2 , кг	50	55	65	70	75	h , мм	-	40	50	60	30
m_3 , кг	30	36	42	48	54	ψ°	35	-	-	-	-
m_4 , кг	26	32	38	48	54						

Завдання 23



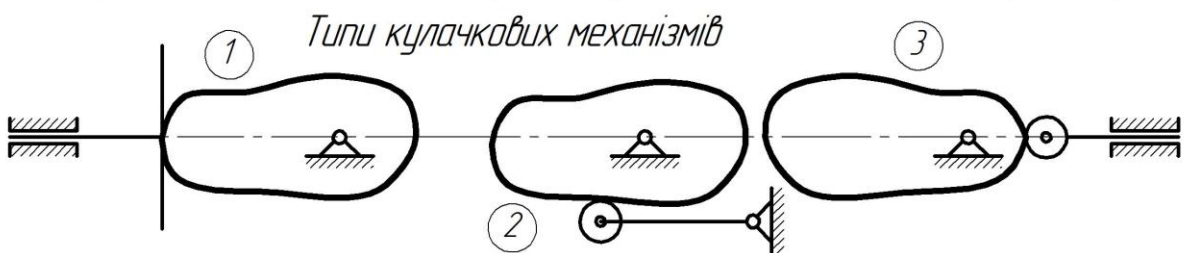
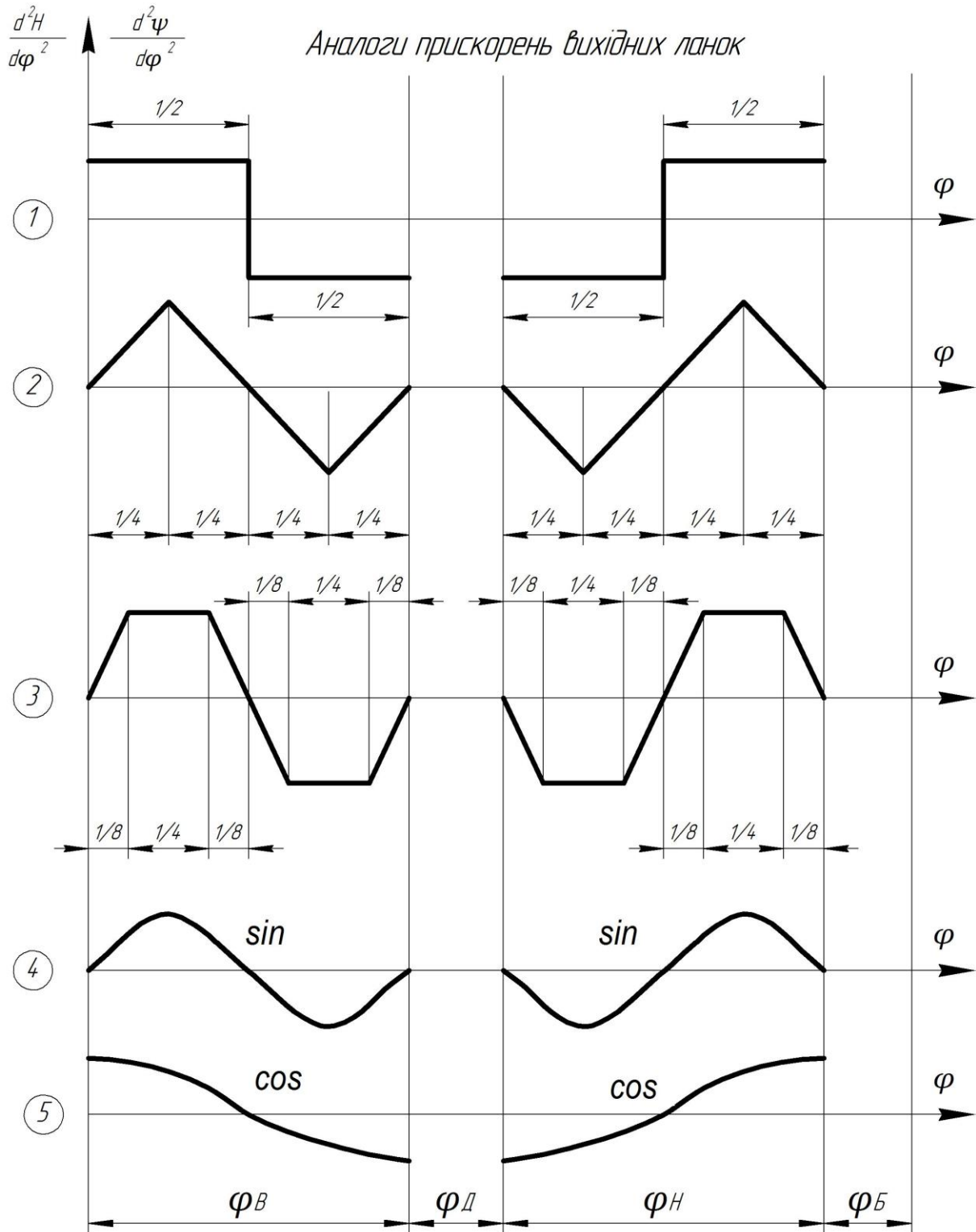
Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	250	280	300	320	350	F_{BO} , кН	2,0	2,4	3,0	3,6	4,2
b , мм	100	120	140	160	180	U_{12}	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
L_{O_1A} , мм	100	110	120	130	140	Модуль m , мм	6	8	10	12	14
L_{AB} , мм	180	200	220	240	260	$\varphi_в^\circ$	70	90	130	140	150
L_{O_2C} , мм	400	440	480	520	560	$\varphi_д^\circ$	100	120	60	50	40
L_{O_2B} , мм	200	220	240	260	280	$\varphi_н^\circ$	100	120	140	140	120
L_{CD} , мм	320	350	380	400	420	Закон прискорення	3	2	1	5	4
n_1 , об/хв	100	95	90	85	80	Кулачковий механізм	3	2	1	1	2
m_1 , кг	10	15	20	25	30	h , мм	-	40	50	60	70
m_2 , кг	18	24	30	36	42	ψ°	35	-	-	-	-
m_3 , кг	30	35	40	45	50						
m_4 , кг	25	28	32	35	39						

Завдання 24

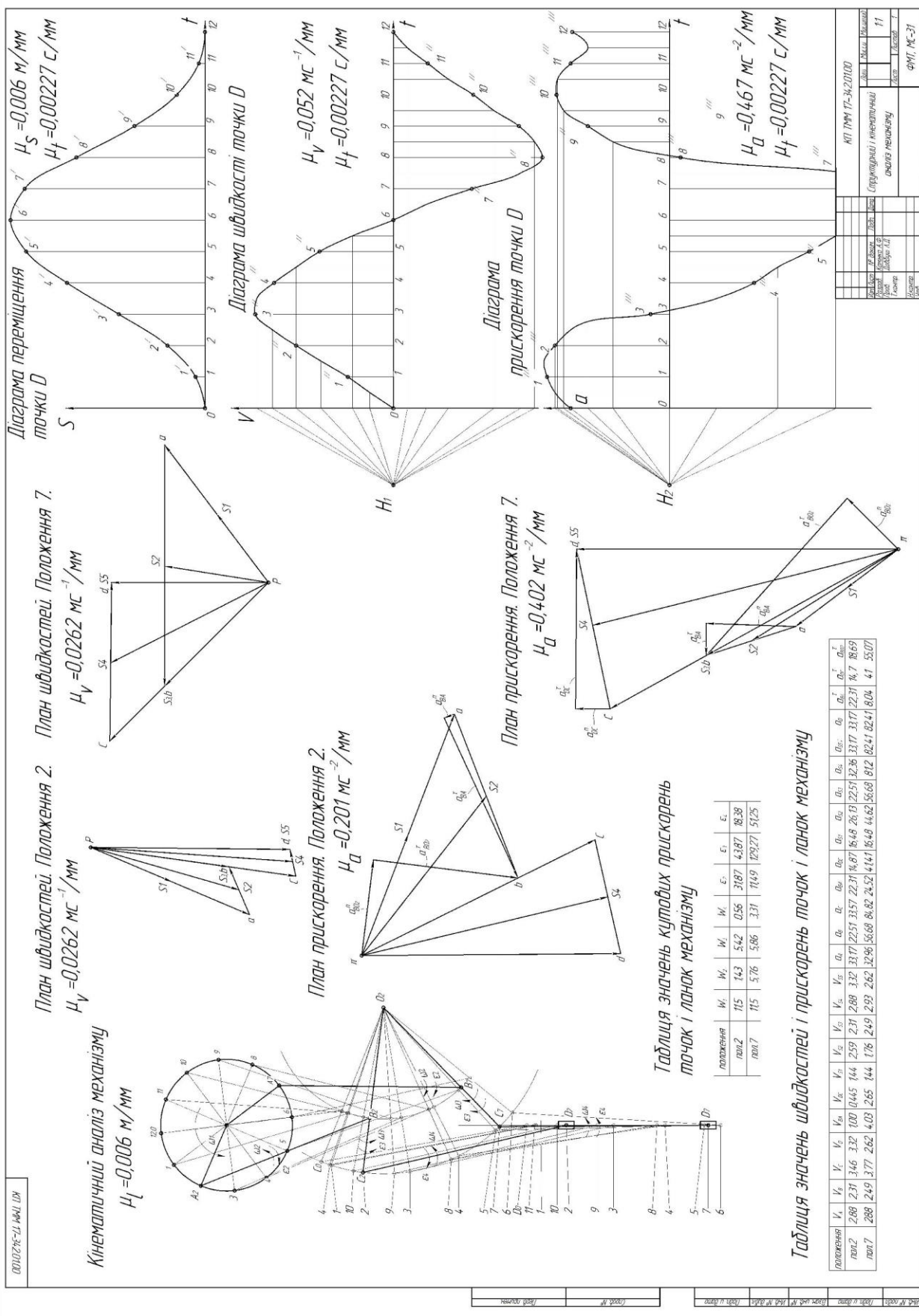


Вихідні дані	Варіант					Вихідні дані	Варіант				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
a , мм	440	500	600	700	800	F_{BO} , кН	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
b , мм	700	750	800	900	1000	U_{12}	1,5	1,9	2,2	2,5	2,7
L_{O_1A} , мм	150	180	210	240	270	Модуль t , мм	5	7	8	9	10
L_{AB} , мм	780	870	960	1080	1140	φ_v°	60	70	80	90	100
L_{O_2C} , мм	400	450	550	650	750	φ_D°	80	70	60	50	40
L_{CD} , мм	300	400	45	500	500	φ_H°	90	100	80	90	80
n_1 , об/хв	100	110	110	90	80	Закон прискорення	5	4	3	2	1
m_1 , кг	20	25	28	32	35	Кулачковий механізм	1	2	2	1	3
m_2 , кг	80	100	120	140	160	h , мм	70	60	60	50	-
m_3 , кг	40	50	55	60	65	ψ°	-	-	-	-	30
m_4 , кг	35	38	42	45	50						
m_5 , кг	10	15	20	25	28						

Завдання для побудови кулачковго механізму



ДОДАТОК А



0010248-01.мвд.024

КП ТММ ТЗ-3421010	
Модель	ТЗ-3421010
Вид	Спроектний / інженерний
Специфікація	Специфікація
Склад	Склад
Лист	11
Формат	МС-31

ДОДАТОК Б

Кінематична схема механізму. Положення 2
 $\mu_1 = 0,06 \text{ м/мм}$

План прискорення. Положення 2.
 $\mu_D = 0,201 \text{ мс}^{-2} / \text{мм}$

План сил для ведучої ланки
 $\mu_p = 100 \text{ Н/мм}$

План сил для групи Ассура 2-3
 $\mu_p = 60 \text{ Н/мм}$

Визначення зрівноважуючої сили методом Жуковського

Силевий розрахунок групи Ассура 2-3

Силевий розрахунок ведучої ланки

Таблиця значень реакцій, які виникають в ланках механізму, Н

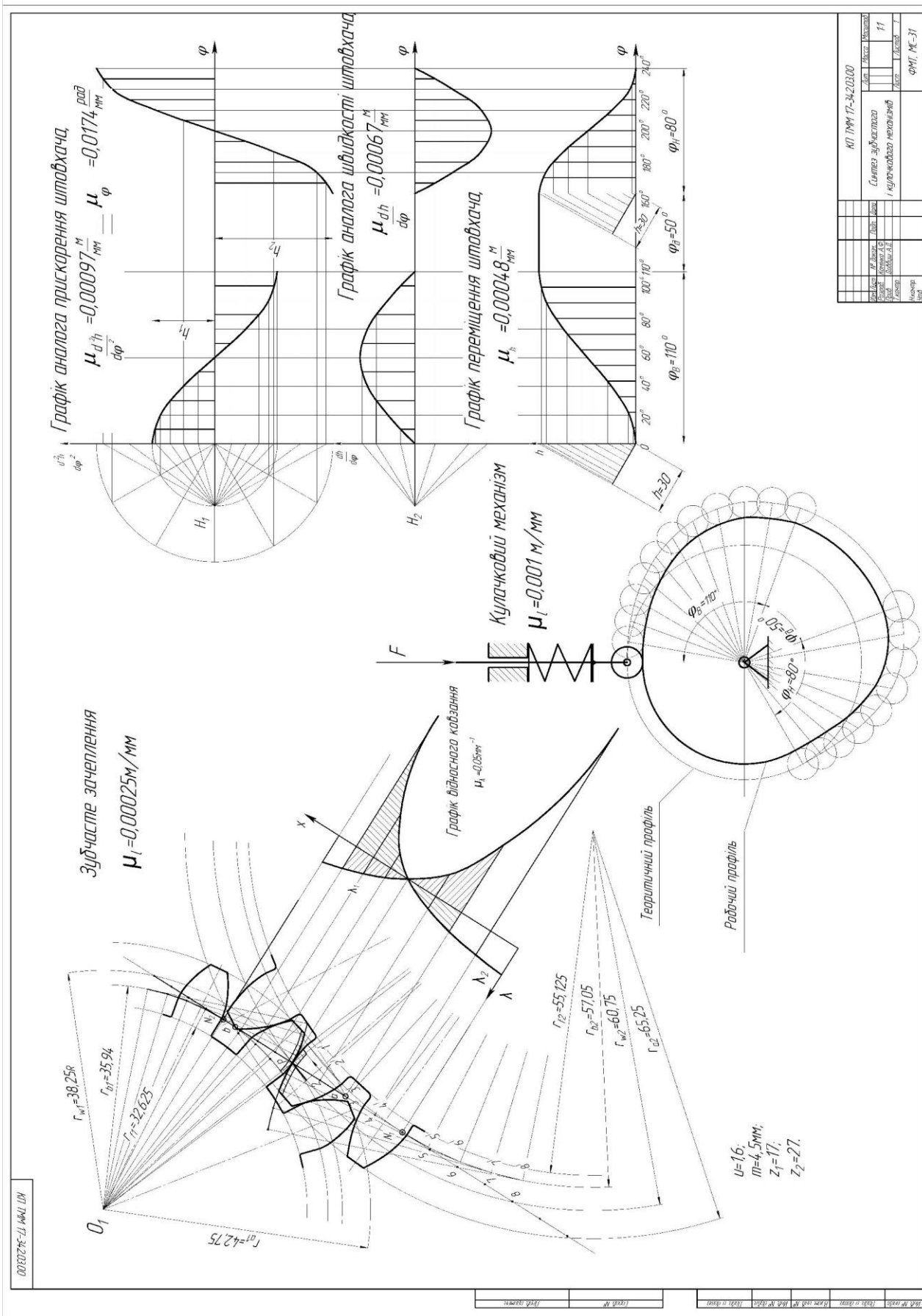
R1%	R2%	R3%	R4%	R11	R12	R13	R14	R15
2993	877%	12610	24880	23800	8760	8760	8760	8760

План сил для групи Ассура 4-5
 $\mu_p = 48,5 \text{ Н/мм}$

Силевий розрахунок групи Ассура 4-5

КП ПММ П-3-202000		Лист № 11	
Силевий розрахунок механізму		Лист № 11	
ФІТ, МС-31		Лист № 11	

ДОДАТОК В



КП ЛММ П-34.203.00	
Лист	Листів
Силезького університету	11
Інженерно-механічного факультету	1
Спеціальності	МММ, МС-31
Курс	IV
Група	А1

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
2. Белоконев И.М. Теория механизмов и машин. Методы автоматизированного проектирования / И.М. Белоконев. – К.: Высшая школа, 1990. – 208 с.
3. Заблонский К.И. Теория механизмов и машин / К.И. Заблонский, И.М. Белоконев, Б.М. Щекин. – К.: Высшая школа, 1989. – 376 с.
4. Кіницький Я.Т. Практикум із теорії механізмів і машин: навч. посібник / Я.Т. Кіницький. – Львів: Афіша, 2002. – 455 с.
5. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин / Я. Т. Кіницький. – К.: Наукова думка, 2002. – 660 с.
6. Кореняко О.С. Теорія механізмів і машин / О.С. Кореняко. – К.: Вища школа, 1987. – 206 с.
7. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин / Под общ. ред. А.С. Кореняко. – К.: Высшая школа, 1970. – 332 с.
8. Маргалин Ш.Ф. Теория механизмов и машин / Ш.Ф. Маргалин. – Минск: Высшая школа, 1968. – 356 с.
9. Теорія механізмів і машин. Методичні вказівки по курсовому проектуванню «Аналіз і синтез механізмів» / Б.М. Гладько, М.І. Підгурський, В.П. Столярчук. – Тернопіль, 1991. – 56 с.
10. Теория механизмов и машин / Под ред. К.В. Фролова. – М.: Высшая школа, 1987. – 496 с.
11. Теорія механізмів і машин. Методичні вказівки для курсового проектування та проектні завдання / Б.М. Гладько, А.Д. Довбуш. – Тернопіль, 2001. – 60 с.

Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

Кафедра технічної механіки
та сільськогосподарських машин

Довбуш Анатолій Дмитрович

Хомик Надія Ігорівна

Довбуш Тарас Анатолійович

ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН

**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК
до курсового проектування**

для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності
133 «Галузеве машинобудування»
«Прикладна механіка»
«Автомобільний транспорт»

Комп'ютерний набір: Наталія Антончак

Графічне оформлення: Богдан Цебенко, Тарас Довбуш

Наклад 80 прим.