

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання контрольних робіт
із навчальної дисципліни

«ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ ТА МАШИН»

*(для здобувачів усіх форм навчання першого (бакалаврського)
рівня вищої освіти зі спеціальності 133 – Галузеве машинобудування)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Методичні рекомендації до виконання контрольних робіт із навчальної дисципліни «Теорія механізмів та машин» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 133 – Галузеве машинобудування) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : В. В. Блажко, А. І. Аніщенко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 48 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. В. В. Блажко,
канд. техн. наук, доц. А. І. Аніщенко

Рецензент

О. Ю. Крот, кандидат технічних наук, професор кафедри галузевого машинобудування та мехатроніки Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Рекомендовано кафедрою автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій, протокол № 8 від 28.12.2023

Методичні рекомендації призначені для здобувачів спеціальності 133 – Галузеве машинобудування. Зазначено вимоги до оформлення завдань, засоби та послідовність їх виконання, список рекомендованих джерел, наведено приклади оформлення робіт.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Короткі теоретичні відомості відповідно до розділів дисципліни.....	5
1.1 Основні поняття й визначення.....	5
1.2 Структурний аналіз і синтез механізмів.....	5
1.3 Кінематичний аналіз плоских важельних механізмів	7
1.4 Кінетостатичний аналіз плоско-шарнірних механізмів	7
1.4.1 Силовий розрахунок механізмів.....	8
1.4.2 Рух механізмів під дією заданих сил.....	8
1.5 Передаточні механізми.....	9
1.6 Кулачкові механізми.....	10
2 Рекомендації щодо виконання контрольної роботи.....	11
2.1 Завдання № 1–50 Структурний аналіз маніпулятора промислового робота.....	13
2.2 Завдання № 51–100 Кінематичний і силовий аналіз важільних механізмів.....	15
2.3 Кінетостатичний аналіз (силовий розрахунок).....	16
2.4 Завдання № 101–150 Складні зубчасті механізми.....	16
2.5 Завдання № 151–200 Аналіз кулачкових механізмів.....	17
Список рекомендованої літератури.....	18
Додатки.....	19

ВСТУП

Теорія механізмів і машин (ТММ) – наука про дослідження й проектування механізмів і машин за їх кінематичними і динамічними властивостями.

Курс ТММ входить до циклу загальнотехнічних дисциплін, що формують знання інженерів з конструювання, виготовлення та експлуатації машин. Ці знання є основою для наступного вивчення спеціальних видів машин.

Теорія механізмів і машин вирішує дві проблеми: перша присвячена дослідженню руху вже існуючих механізмів та машин і називається **аналізом** механізмів, друга – методам проектування, створення нових механізмів та машин для виконання заданого руху і називається **синтезом** механізмів.

Розв'язання завдань аналізу та синтезу механізмів вимагає вивчення законів створення механізмів, законів їх руху та причин, що обумовлюють ці рухи, тому курс ТММ ділиться на три основні розділи:

- 1) «Структура та класифікація механізмів»;
- 2) «Кінематика механізмів»;
- 3) «Динаміка механізмів».

У розділі «Структура та класифікація механізмів» вивчаються закони побудови механізмів. До того ж усі механізми розподіляються на класи за певними структурними ознаками, що полегшує їх подальше вивчення, тому що кожен з таких класів має певний метод кінематичного й динамічного дослідження.

У розділі «Кінематика механізмів» вивчаються закони руху ланок механізму з геометричної точки зору, незалежно від причин, що спричиняють цей рух.

У розділі «Динаміка механізмів» вивчаються сили взаємодії ланок механізмів і машин при заданому законі руху ведучої ланки та зв'язок між рухом ланок механізму, силами, що діють на них, і масами ланок.

1 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ВІДПОВІДНО ДО РОЗДІЛІВ ДИСЦИПЛІНИ

1.1 Основні поняття й визначення

У цьому розділі подаються визначення понять, розглянутих у курсі: «машина», «механізм», «ланка механізму», «кінематична пара» і «кінематичний ланцюг».

Під терміном «**машина**» розуміють пристрій, що виконує механічні рухи для перетворення енергії, матеріалів та інформації. Залежно від основного призначення розрізняють три види машин: енергетичні, робочі й інформаційні.

Під механізмом варто розуміти систему тіл, призначених для перетворення заданого руху одного або декількох тіл у необхідні рухи інших тіл. У перетворенні руху можуть брати участь як тверді тіла, так і рідкі й газоподібні. У ТММ вивчаються механізми тільки із твердими тілами.

Жорстко зв'язана система деталей називається ланкою. У механізмі ланки бувають рухомі і нерухомі; ведучі (ті, що ведуть), закони руху яких задаються, і ведені (всі інші ланки, рух яких визначається законами руху ведучих ланок).

Кінематична пара є сукупністю двох ланок, за якої вони мають можливість рухатись одна відносно іншої.

Кінематичні пари класифікуються: за Рело – відкриті і замкнуті, плоскі й просторові, нижчі і вищі; а також за Артоболевським – за числом обмежень, накладених на відносний рух ланок, що утворюють кінематичну пару (за числом умов зв'язку).

Кінематичний ланцюг – це зв'язана система ланок, які входять у кінематичні пари. Вони можуть бути плоскі і просторові, відкриті і закриті, прості і складні.

1.2 Структурний аналіз і синтез механізмів

Завданням структурного аналізу механізмів є визначення ступеня рухомості механізму, класу і порядку його.

Для вирішення цього завдання потрібно знати, що таке плоский і просторовий механізм; класифікацію кінематичних пар за числом умов зв'язку; відрізнити вищі і нижчі кінематичні пари; принцип заміни вищої пари кінематичним ланцюгом з нижчими парами і будувати замінюючі механізми; знати, який кінематичний ланцюг називають структурною групою (групою Л. В. Ассура); як визначати клас і порядок групи Ассура за класифікацією І. І. Артоболевського, або за класифікацією Г. Г. Баранова; визначати їхній клас і порядок; розкласти прості плоскі механізми на структурні групи (групи Ассура).

Положення всіх ланок механізму визначається числом незалежних величин, які є узагальненими координатами. Число узагальнених координат механізму дорівнює числу ступенів рухомості його.

Число ступенів рухомості просторового механізму залежить від числа рухомих ланок механізму й числа кінематичних пар різної рухомості і визначається за формулою Сомова-Малишева:

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1,$$

де n – число рухомих ланок;

p_5, p_4, p_3, p_2, p_1 – відповідно, число кінематичних пар V, IV, III, II і I класів.

Ця формула дає можливість виконувати структурний аналіз просторового механізму, а також структурний синтез, тобто підбирати можливі сполучення ланок і кінематичних пар різної рухомості при заданому числі ступенів рухомості.

Число ступенів рухомості плоского механізму визначається за формулою П. Л. Чебишева:

$$W = 3n - 2p_5 - p_4,$$

де n – число рухомих ланок;

p_5 – число кінематичних пар нижчих;

p_4 – число кінематичних пар вищих.

Під групою Л. В. Ассура прийнято вважати найпростіший кінематичний ланцюг, що, будучи приєднаний вільними елементами до стійки або інших ланок механізму, має ступінь рухомості рівний нулю ($W = 0$).

Клас і порядок механізму визначається найвищою за класом групою Ассура, що входить до його складу.

Структурні схеми різних плоских і просторових механізмів можуть бути утворені одним із способів:

– із відповідного кінематичного ланцюга при різних ланках, прийнятих за нерухомі;

– шляхом нашарування структурних груп А. В. Ассура.

Порядок проведення структурного аналізу механізмів такий:

1. Визначається ступінь рухомості механізму W , усуваються пасивні зв'язки і зайві ступені вільності.

2. Здійснюється заміна вищих пар ланцюгами з парами лише п'ятого класу.

3. Виокремлюються групи Ассура, які входять до складу механізму, причому:

– виокремлення груп зазвичай розпочинається з ланок і пар, найбільш віддалених від ведучої ланки;

– перевіряється ступінь рухомості частини механізму, що залишилась, встановлюється, чи буде виділений кінематичний ланцюг дійсно групою Ассура;

– групи виокремлюють доти, доки не залишиться одна ведуча ланка (при $W = I$) чи кілька ведучих ланок (при $W > I$).

4. За найвищим класом виокремлених груп визначають клас механізму.

1.3 Кінематичний аналіз плоских важельних механізмів

Кінематичний аналіз – це дослідження руху ланок механізму без урахування сил, які діють у механізмі.

Завданнями кінематичного аналізу є:

– визначення положень ланок і траєкторій окремих точок ланок механізму;
– визначення лінійних швидкостей і прискорень окремих точок ланок механізму;

– визначення кутових швидкостей і прискорень ланок механізму.

Ці завдання вирішуються:

– методом планів;
– методом кінематичних діаграм із застосуванням графічного диференціювання;
– аналітичним методом.

Під час побудови планів положень механізму звернути увагу на визначення крайніх положень ланок.

Плани швидкостей і прискорень варто будувати за попередньо написаними векторними рівняннями; плани є їхнім графічним рішенням.

Потрібно знати, як розв'язати найпростіші завдання синтезу механізмів: завдання про кривошип (про обертальність) і завдання про визначення розмірів ланок механізму, для якого задані деякі положення однієї з його ланок.

1.4 Кінетостатичний аналіз плоско-шарнірних механізмів

Динамічний аналіз механізму – це вивчення руху ланок з урахуванням сил, що діють на ланки механізму.

Динамічний аналіз вирішує два завдання:

– силовий або кінетостатичний розрахунок, тобто визначення сил, що діють на ланки, на елементи ланок, кінематичні пари й нерухомі опори, і встановлення засобів зменшення динамічних навантажень;

– визначення режимів руху механізмів під дією прикладених сил і встановлення способів підтримки заданих режимів.

Для розв'язання цих завдань необхідно знати види сил, які можуть діяти на ланки механізму і розподіл сил за їхньою дією на рух механізму. Ці сили можна поділити на сили задані і сили реакції.

Задані сили, своєю чергою, можна розділити на такі:

1. Сили рушійні, які прагнуть прискорити рух ведучої ланки, робота їх додатна.

2. Сили корисного чи виробничого опору, які прагнуть уповільнити рух ведучої ланки. Це сили, для подолання яких і призначена машина, робота їх від'ємна.

3. Сили шкідливого опору, що виникають при відносному русі ланок. На подолання цих сил витрачається додаткова енергія. Робота цих сил також від'ємна. Силами шкідливого опору є також сили тертя.

4. Сили тяжіння. Робота цих сил буває додатною чи від'ємною залежно від переміщення центру мас ланки по вертикалі. За повний цикл руху машини робота сил тяжіння дорівнює нулю.

5. Сили інерції, які виникають під час руху машини і залежать від маси і прискорення рухомих ланок. Робота цих сил, як і сил тяжіння, може бути додатною і від'ємною – залежно від того, рухається розглядувана ланка прискорено чи сповільнено.

Рушійні сили й сили корисного опору у машині залежать від технологічного процесу, для виконання якого призначена ця машина. Тому у курсі теорії механізмів та машин визначенням цих сил не займаються. Вони у кожному окремому випадку є заданими.

1.4.1 Силовий розрахунок механізмів

Результатом проведення силового (кінетостатичного) розрахунку є визначення реакцій зв'язку в кінематичних парах і зрівноважуючого моменту, прикладеного до ведучої ланки від дії зовнішніх сил і сил інерції.

Для вирішення цього завдання використовують принцип Даламбера. До всіх заданих сил додають сили інерції, щоб механізм умовно перебував у рівновазі. Потрібно вміти визначати сили інерції ланок, які рухаються поступально, обертально та характеризуються складністю руху.

Силовий розрахунок плоского механізму проводиться в порядку, зворотному до кінематичного аналізу. Силовий розрахунок проводиться за окремими структурними групами Ассура, які становлять статично визначені кінематичні ланцюги. Потрібно вміти визначати реакції в кінематичних парах (сили тиску ланок одна на одну), зрівноважуючий момент і зрівноважуючу силу на ведучій ланці та застосовувати важіль Жуковського для визначення зрівноважуючої сили. Варто розуміти, коли для визначення сил доводиться прийняти рівняння моментів, а коли – за векторним рівнянням сил будувати план сил, з якого можна знайти шукану силу. Для правильного визначення сил і моментів потрібно уважно стежити за відповідністю їхніх напрямків і знаків у векторних і алгебраїчних рівняннях.

1.4.2 Рух механізмів під дією заданих сил

У другому завданні динаміки «Рух механізму під дією заданих сил» необхідно вивчити метод приведення сил і метод приведення мас, які дозволяють застосовувати до складних механізмів відомі закони динаміки твердого тіла. Для деяких механізмів значення приведеної маси (або

приведеного моменту інерції) змінюється зі зміною положення механізму. Необхідно знати рівняння руху механізму у двох формах: у формі рівняння кінетичної енергії (що поєднує роботу сил рушійних і сил опору зі змінюванням кінетичної енергії) і в диференціальній формі (що зв'язує сили або моменти із прискореннями).

Розглядаючи режими руху механізму – розбіг, усталений рух і вибіг, потрібно встановити співвідношення між роботами сил рушійних і сил опору, які визначають кожний режим. Потрібно знати причини, що викликають нерівномірність ходу під час усталеного руху, оцінку нерівномірності ходу спеціальним коефіцієнтом і регулювання періодичних коливань швидкості введенням додаткової маси – маховика, що збільшує загальну кінетичну енергію механізму. Варто мати подання про регулювання неперіодичних коливань швидкості спеціальними регуляторами.

1.5 Передаточні механізми

У цьому розділі розглядаються зубчасті передачі (зчеплення).

Під зубчастим зчепленням розуміють вищу кінематичну пару, утворену взаємодіючими зубцями двох коліс. Зубчасте зчеплення призначене для відтворення заданого передатного відношення. Усі зубчасті передачі діляться на плоскі і просторові, триланкові й багатоланкові, з нерухомими геометричними осями обертання і з рухомими осями обертання (планетарними і диференціальними, їх називають також епіциклічними, сателітними, зубчасто-важільними).

Необхідно вивчити класифікацію зубчастих передач із нерухоливими осями залежно від різних факторів.

Проробіть основний закон зчеплення, що встановлює зв'язок між нормаллю до профілів і передаточним числом.

В усіх кривих, що підпорядковуються основному закону зчеплення, найчастіше застосовується евольвента кола. Евольвентні профілі забезпечують сталість передаточного числа. Необхідно знати, що таке евольвента, властивості евольвенти. Навчитися визначати геометричні параметри нормального (стандартного) зубчастого колеса і загальні параметри коліс, що перебувають у зачепленні. Необхідно знати методи виготовлення зубчастих коліс, мати подання про кориговані колеса і цілі коригування.

У процесі вивчення кінематики зубчастих передач потрібно навчитися визначати передаточні числа і швидкості в різних з'єднаннях зубчастих коліс із нерухомими осями обертання і у зубчасто-важільних механізмах (планетарних і диференціальних).

Під час синтезу евольвентного зчеплення доводиться перевіряти низку додаткових умов синтезу (обмежень): відсутність загострення зубців; відсутність інтерференції зубців; забезпечення безперервності взаємодії зубців тощо.

У процесі синтезу зубчастих передач із рухомими осями після вибору схеми планетарної передачі переходять до визначення чисел зубців і числа

сателітів, вивчаючи ці величини; крім заданого передаточного числа, враховують додаткові умови: умова сусідства сателітів, що встановлює можливість розміщення декількох сателітів в одній площині; умова збірки передачі; умова співвісності механізму.

1.6 Кулачкові механізми

Кулачкові механізми відтворюють найбільш широкий клас законів руху. Кулачкові механізми застосовуються здебільшого для автоматизації технологічних процесів. У структурному відношенні кулачкові механізми становлять кінематичні ланцюги з нижчими і вищими кінематичними парами. Найчастіше це триланкові механізми, що складаються з кулачка, штовхача і стояка. Кулачком називається ведуча ланка вищої кінематичної пари, яка надає веденій ланці заданий рух, закон якого визначається профілем кулачка.

Штовхач становить ведену ланку, яка утворює із кулачком вищу кінематичну пару.

Необхідно ознайомитися із класифікацією кулачкових механізмів залежно від виду руху ведучих і ведених ланок, а також від конструктивного виконання веденої ланки. Дослідження кулачкових механізмів включає два завдання:

- аналіз кулачкових механізмів;
- синтез кулачкових механізмів.

Завданням кінематичного аналізу є визначення закону руху штовхача за заданим профілем кулачка й відповідним законом його руху, а також заданими розмірами ланок і схемами механізму.

Для спрощення побудови при дослідженні й проєктуванні кулачкових механізмів застосовується метод оберненого руху (метод інверсії). Цикл руху штовхача розділяється звичайно на чотири фази: віддалення, дальнє стояння, повернення, ближнє стояння.

Цим фазам відповідають кути повороту кулачка: кут віддалення (φ_y), кут дальнього стояння (φ_d), кут повернення (φ_e), кут ближнього стояння (φ_b). Кути повороту кулачка, що характеризують тривалість кожної фази, визначаються умовами технологічного процесу та умовами погодженої роботи окремих механізмів однієї й тієї самої машини.

Для визначення швидкостей і прискорень веденої ланки зручно використати вже вивчений метод кінематичних діаграм. Побудувавши діаграму переміщення штовхача залежно від кута повороту кулачка, можна одержати методом графічного диференціювання діаграми швидкостей і прискорень.

Відповідно до завдання синтезу кулачкових механізмів сам синтез поділяють на кінематичний і динамічний.

Завданням кінематичного синтезу є побудова профілю кулачка за відомими розмірами ланок і схемою механізму, а також за заданими законами руху ведучої (кулачка) і веденої (штовхача) ланок.

Основна умова кінематичного синтезу кулачкового механізму полягає у визначенні профілю кулачка, що забезпечує виконання заданого закону руху.

Рух ведучої і веденої ланок кулачкового механізму може бути заданий аналітично (у вигляді рівнянь руху) або ж графічно (у вигляді діаграм переміщень, швидкостей і прискорень).

Вивчаючи різні закони руху веденої ланки, потрібно розуміти, чому під час вибору того або іншого закону руху і фазових кутів варто брати до розрахунку також значення швидкостей і прискорень. З динамічної точки зору доцільніше задавати закон руху веденої ланки у вигляді діаграми прискорення. Потрібно навчитися будувати діаграму переміщення штовхача за заданою діаграмою швидкості або прискорення методом графічного інтегрування.

Під час динамічного синтезу кулачкових механізмів ставиться завдання одержати механізм найменших розмірів при відсутності заклинювання.

Основні розміри (радіус основного кола кулачкової шайби, зсув, міжосьова відстань тощо) кулачкових механізмів визначаються графічно з умови обмеження кутів тиску (кутів передачі руху) або умови опуклості кулачка (для механізму із плоскими штовхачами).

2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

У процесі вивчення курсу студент повинен виконати одну контрольну роботу, що складається з чотирьох завдань. Завдання складені відповідно до змісту курсу. Номери завдань, що входять до контрольної роботи, визначаються таким способом: з таблиці 2.1. вибирається номер завдання за першою буквою прізвища і останньою цифрою шифру студента, а з таблиці 2.2 – за обраним завданням визначаються номери завдань, що входять до контрольної роботи.

Таблиця 2.1 – Номери завдань

Перша буква прізвища		Остання цифра шифру									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
А	П	1	15	29	43	7	21	35	49	13	27
Б	Р	2	16	30	44	8	22	36	50	14	28
В	С	3	17	31	45	9	23	37	1	15	29
Г	Т	4	18	32	46	10	24	38	2	16	30
Д	У	5	19	33	47	11	25	39	3	17	31
Е	Ф	6	20	34	48	12	26	40	4	18	32
Ж	Х	7	21	35	49	13	27	41	5	19	33
З	Ц	8	22	36	50	14	28	42	6	20	34
И	Ч	9	23	37	1	15	29	43	7	21	35
К	Ш	10	24	38	2	16	30	44	8	22	36
Л	Щ	11	25	39	3	17	31	45	9	23	37
М	Э	12	26	40	4	18	32	46	10	24	38
Н	Ю	13	27	41	5	19	33	47	11	25	39
О	Я	14	28	42	6	20	34	48	12	26	40

Умови завдань зі схемами обов'язково надсилаються в зошит для виконання контрольної роботи з посиланням на обрані номери завдань. Із правої сторони аркуша залишають поля 30 мм, сторінки нумерують, розв'язки записують спочатку в буквеному вигляді, потім у тому самому порядку подаються числові значення і наводяться результати розрахунків з розмірністю знайденої величини. Якщо розв'язання виконується графічним методом із вимірами з креслення, то його потрібно робити на креслярському папері. Наприкінці роботи подати список використаної літератури, роботу підписати й зазначити дату закінчення виконання.

Таблиця 2.2 – Варіанти завдань

Номер завдання	Номери завдань, що входять до контрольної роботи				Номер завдання	Номери завдань, що входять до контрольної роботи			
1	2				3	4			
1	1	51	101	151	26	26	76	126	176
2	2	52	102	152	27	27	77	127	177
3	3	53	103	153	28	28	78	128	178
4	4	54	104	154	29	29	79	129	179
5	5	55	105	155	30	30	80	130	180
6	6	56	106	156	31	31	81	131	181
7	7	57	107	157	32	32	82	132	182
8	8	58	108	158	33	33	83	133	183
9	9	59	109	159	34	34	84	134	184
10	10	60	110	160	35	35	85	135	185
11	11	61	111	161	36	36	86	136	186
12	12	62	112	162	37	37	87	137	187
13	13	63	113	163	38	38	88	138	188
14	14	64	114	164	39	39	89	139	189
15	15	65	115	165	40	40	90	140	190
16	16	66	116	166	41	41	91	141	191
17	17	67	117	167	42	42	92	142	192
18	18	68	118	168	43	43	93	143	193
19	19	69	119	169	44	44	94	144	194
20	20	70	120	170	45	45	95	145	195
21	21	71	121	171	46	46	96	146	196
22	22	72	122	172	47	47	97	147	197
23	23	73	123	173	48	48	98	148	198
24	24	74	124	174	49	49	99	149	199
25	25	75	125	175	50	50	100	150	200

2.1 Завдання № 1–50 Структурний аналіз маніпулятора промислового робота

Визначити ступінь рухомості просторового маніпулятора промислового робота.

Промисловий робот – автоматична машина, стаціонарна або пересувна, що складається з виконавчого пристрою у вигляді маніпулятора, що має кілька ступенів рухомості і перепрограмувального пристрою керування для виконання у виробничому процесі рухових функцій.

Під маніпулятором розуміється керований пристрій або машина для виконання рухових функцій руки людини у процесі переміщення об'єктів у просторі, оснащений робочим органом для виконання технологічних операцій або допоміжних переходів. Прикладами робочого органа є зварювальні кліщі, складальний інструмент, захоплювальний пристрій тощо.

Маніпулятори як виконавчі пристрої промислових роботів становлять просторові механізми, зроблені у вигляді незамкнених кінематичних ланцюгів з декількома ступенями рухомості.

Визначення ступеня рухомості просторових механізмів потрібно проводити в такій послідовності:

- побудувати кінематичну схему механізму без дотримання масштабу;
- пронумерувати ланки;
- виписати кінематичні пари;
- визначити клас кінематичних пар за Артоболовським;
- визначити ступінь рухомості механізму за формулою Сомова-Малишева:

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1,$$

де n – число рухомих ланок кінематичного ланцюга;

p_5, p_4, p_3, p_2, p_1 – число кінематичних пар відповідно V, IV, III, II, I класів.

Кінематичні схеми механізмів для визначення ступеня рухомості наведено в додатку А.

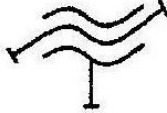
У таблиці 2.3 наведено умовні позначення елементів структурних кінематичних схем промислових роботів і маніпуляторів.

2.2 Завдання № 51–100. Кінематичний і силовий аналіз важільних механізмів

Кінематичний аналіз, тобто вивчення руху ланок механізму без обліку сил, що спричиняють цей рух, включає такі завдання:

- побудова ряду послідовних положень механізму;
- визначення траєкторій окремих точок ланок;
- визначення лінійних швидкостей і прискорень окремих точок ланок механізму;
- визначення кутових швидкостей і прискорень ланок механізму.

Таблиця 2.3 – Умовне позначення елементів структурних кінематичних схем промислових роботів і маніпуляторів

Елемент	Ескіз	Характеристика
Ланка		
Нерухоме закріплення ланки (стійка)		Рух відсутній
Тверде з'єднання ланок		
Рухоме з'єднання з переміщенням уздовж прямолінійних напрямних		Зворотно-поступальний рух. Пари V класу
Гвинтове рухоме з'єднання		Зворотно-поступальний рух і взаємозалежний обертовий рух. Пари V класу
Циліндричне з'єднання ланок		Зворотно-поступальний рух і незалежне обертання навколо поздовжньої осі. Пари IV класу
Плоске шарнірне з'єднання ланок		Обертання навколо поперечної осі. Пари V класу
Кульовий шарнір з пальцем		Обертання навколо 2-х осей. Пари IV класу
Кульовий шарнір		Обертання навколо 3-х осей. Пари III класу
Загарбний пристрій		Затискні елементи рухомі
		Затискні елементи нерухомі

Одним зі способів вирішення останніх двох завдань є побудова планів швидкостей і прискорень.

Для вирішення завдань цієї групи пропонується така послідовність:

- побудувати кінематичну схему механізму в заданому положенні;
- провести структурний аналіз, тобто визначити ступінь рухомості механізму, клас і порядок його.

Для цього потрібно пронумерувати ланки й виписати кінематичні пари (вищі й нижчі).

Ступінь рухомості плоских механізмів визначити за формулою П. Л. Чебишева:

$$W = 3n - 2p_5 - p_4,$$

де n – число рухомих ланок;

p_5 – число нижчих кінематичних пар;

p_4 – число вищих кінематичних пар.

Клас і порядок механізму визначити за класом і порядком найвищої групи Ассура, що входить до складу механізму.

Побудувати без масштабу план швидкостей і прискорень механізму. При побудові плану швидкостей і прискорень ланок варто користуватися теоремою про подобу.

Побудову планів швидкостей і прискорень починають із ведучої ланки, закон руху якої заданий ($\omega_1 = const$).

Далі розглядають групи Ассура в порядку їхнього приєднання до ведучої ланки. Записують векторні рівняння для побудови планів швидкостей і прискорень і вирішують їх графічно.

Визначають кутові швидкості і прискорення ланок механізму (модулі й напрямки).

Кінематичні схеми механізмів для проведення кінематичного і кінетостатичного аналізу задано в додатку Б.

2.3 Кінетостатичний аналіз (силовий розрахунок)

Під час вирішення завдання силового розрахунку механізму приймаються відомими зовнішні сили, що діють на ланки (сили виробничих опорів, сили рушійні, сили ваги).

Передбачаються відомими розміри ланок, маси, моменти інерції ланок.

Під час проведення силового розрахунку використовується метод кінетостатики, заснований на застосуванні рівнянь динамічної рівноваги (принцип Даламбера), у яких поряд із зовнішніми силами враховуються сили інерції ланок механізму.

Рівняння динамічної рівноваги розраховують для статично визначених систем, утворених ланками механізму. Такими системами в механізмах є групи Ассура. Силовий розрахунок у такому завданні виконують у загальному вигляді.

Порядок проведення силового розрахунку:

1. Силовий аналіз проводиться у зворотній послідовності щодо кінематичного.

2. Креслять кінематичну схему механізму в заданому положенні (дод. Б).

3. Розчленовують механізм на вихідний механізм і групи Ассура.

4. Визначають результуючі сили інерції ланок за величиною і напрямком, а також їхньої точки прикладення (використовуючи план прискорень, побудований раніше).

5. Креслять окремо останню приєднану групу Ассура і на ній у відповідних точках прикладають вектори, що зображують без масштабу всі зовнішні сили (задані і шукані).

6. Шукані реакції в зовнішніх обертальних кінематичних парах останньої приєднаної групи Ассура розкладають на тангенціальну й нормальну складові. Тангенціальні складові знаходять із рівнянь моментів всіх зовнішніх сил, що діють на кожну з ланок, щодо центра внутрішньої для групи кінематичної пари.

7. Складають векторне рівняння рівноваги всіх зовнішніх сил, що діють на останню приєднану групу, й будують план сил. На плані сил знаходять спочатку нормальні складові реакцій, а потім і повні реакції в зовнішніх кінематичних парах останньої приєднаної групи Ассура.

8. Знаходять реакцію у внутрішній кінематичній парі останньої приєднаної групи Ассура. Для цього складають векторне рівняння сил, прикладених до однієї з ланок групи, і на підставі цього рівняння визначають шукану силу на побудованому плані сил.

9. Закінчивши силовий розрахунок останньої приєднаної групи, переходять до передостанньої групи й проводять силовий розрахунок її в послідовності, описаній вище, і так далі аж до 1-ї приєднаної групи. Після цього переходять до кінетостатичного дослідження ведучої ланки (кривошипа).

10. Креслять ведучу ланку механізму і прикладають всі діючі на неї відомі і невідомі сили.

11. З рівняння моментів щодо центра обертання кривошипа всіх сил, що діють на кривошип, знаходять зрівноважуючу силу P_z або зрівноважуючий момент M_z .

12. Записують векторне рівняння рівноваги всіх зовнішніх сил, що діють на ведучу ланку, й будують за ним план сил. З нього знаходять реакцію в кінематичній парі стік – кривошип.

13. Знаходять зрівноважуючу силу (або момент), за допомогою жорсткого важеля Жуковського (використовуючи побудований план швидкостей).

У кінематичному й кінетостатичному розрахунках рівняння записуються в загальному вигляді. При графічному рішенні векторних рівнянь вектори зображують без врахування масштабу.

2.4 Завдання № 101–150 Складні зубчасті механізми

Під час вирішення завдань щодо кінематичного дослідження складних зубчастих механізмів, кінематичні схеми яких подані в додатку В, потрібно виокремити зі складу складного механізму зубчасті механізми з нерухомими осями обертання й зубчасті механізми з рухливими осями обертання зубчастих коліс (планетарні механізми) і визначити:

- передаточне відношення між ведучими і веденими ланками і його знак (якщо осі обертання паралельні);
- кутову швидкість (частоту обертання) веденої ланки і її напрямок (показати на схемі передачі).

Загальне передаточне число складного зубчастого механізму дорівнює добутку передаточних чисел окремих зубчастих пар.

2.5 Завдання № 151–200 Аналіз кулачкових механізмів

За заданими розмірами накреслити в масштабі дійсний і теоретичний профілі кулачка (дод. Г).

Користуючись методом інверсії (оберненого руху), накреслити не менше восьми положень механізму (на фазі віддалення і повернення веденої ланки).

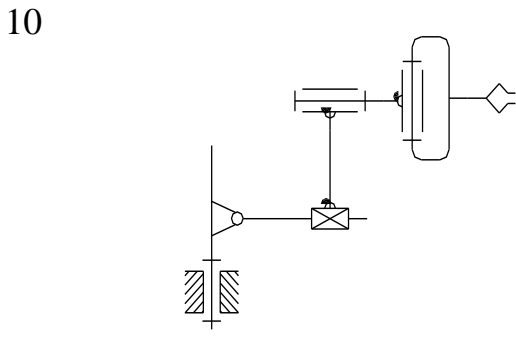
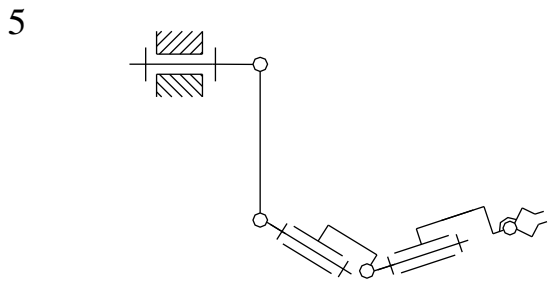
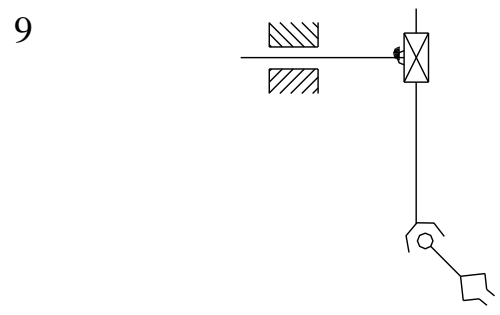
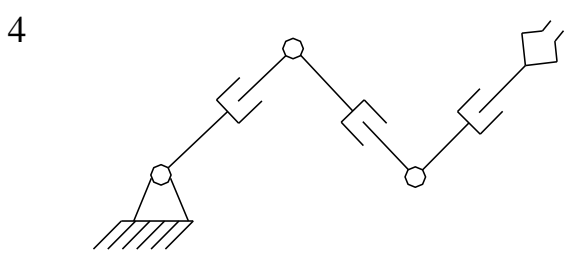
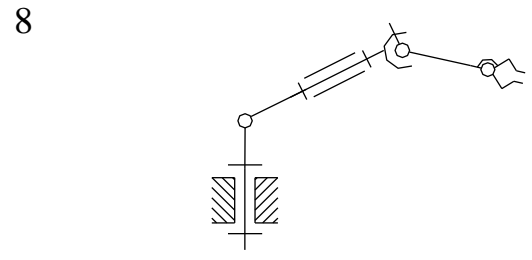
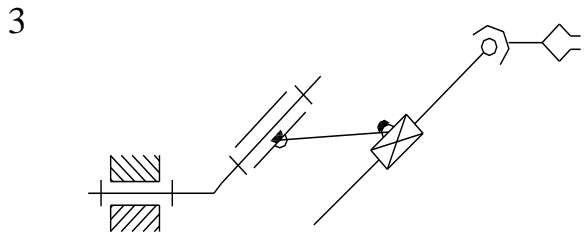
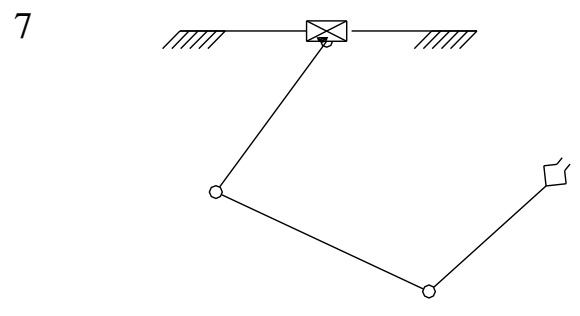
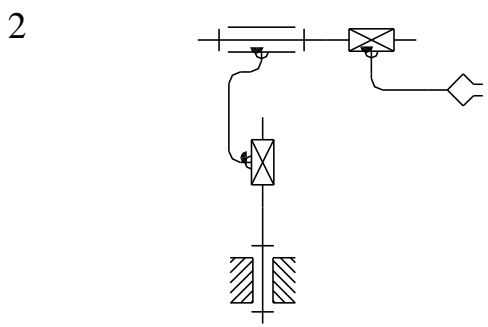
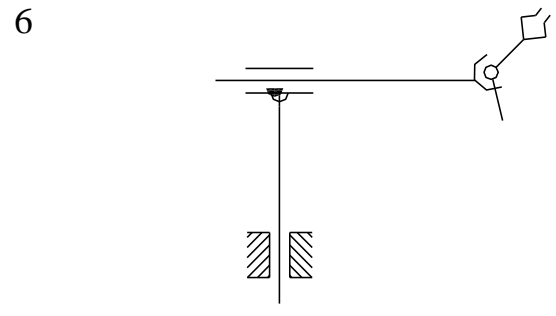
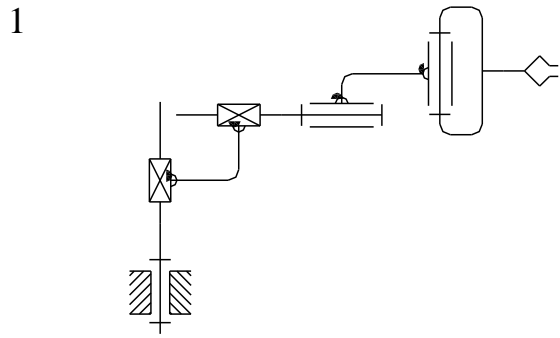
Обов'язково викреслити положення веденої ланки, які відповідають точкам сполучення суміжних ділянок теоретичного профілю.

Використовуючи розмітку ходу штовхача, побудувати графік переміщень (лінійного або кутових) штовхача залежно від кута повороту кулачкової шайби.

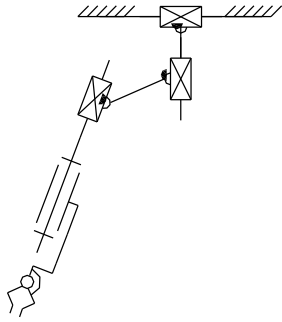
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Заховайко О. П. Теорія механізмів і машин. Курс лекцій для студентів спеціальності «Динаміка і міцність машин» / О. П. Заховайко. – Київ : НТУУ «КПІ», 2010. – 243 с.
2. Профілювання циліндричного евольвентного зачеплення з використанням персональних ЕОМ. Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни «Теорія механізмів і машин» / О. П. Заховайко, О. Б. Овсієнко, О. М. Проташук, А. П. Грабовський. – Київ : НТУ «КПІ», 2000. – 40 с.
3. Кореняко А. С. Теорія механізмів і машин / А. С. Кореняко ; за ред. М. К. Афанасьєва. – Київ : Вища шк. Головне вид-во, 1987. – 206 с.
4. Кіницький Я. Т. Теорія механізмів і машин : підручник / Я. Т. Кіницький. – Київ : Наукова думка, 2002. – 660 с.
5. Кірієнко О. А. Теорія механізмів і машин. Розділ «Кінетостатичний аналіз механізмів»: навч. посіб. з кредитного модуля / О. А. Кірієнко. – Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. – 64 с.
6. Кіницький Я. Т. Практикум із теорії механізмів і машин : навч. посіб. / Я. Т. Кіницький. – Львів, 2004. – 452 с.
7. Ніколайчук В. М. Теорія механізмів і машин та деталі машин : навч. посіб. / В. М. Ніколайчук, В. М. Стрілець. – Рівне : НУВГП, 2012. – 277 с.

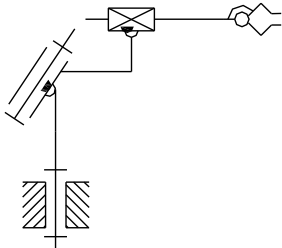
ДОДАТОК А
Структурний аналіз просторових кінематичних ланцюгів (маніпуляторів)
Завдання 1–50



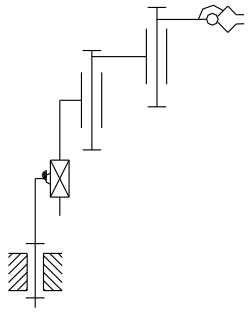
11



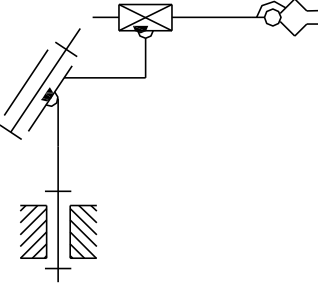
12



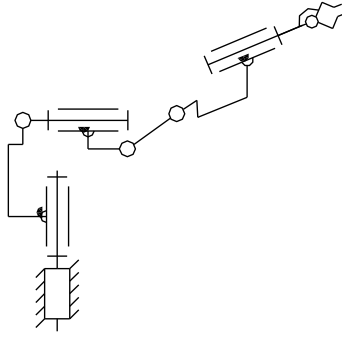
13



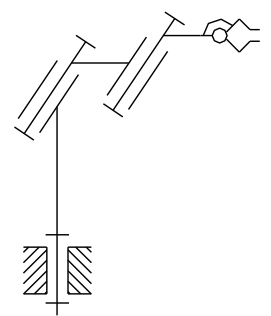
14



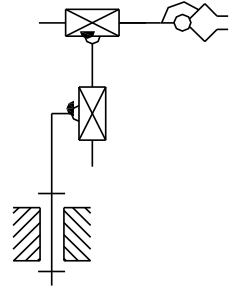
15



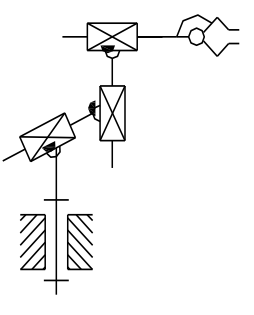
16



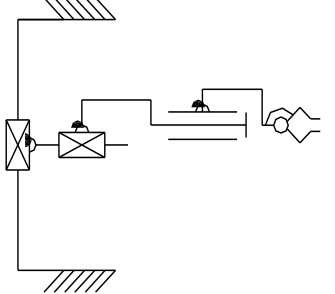
17



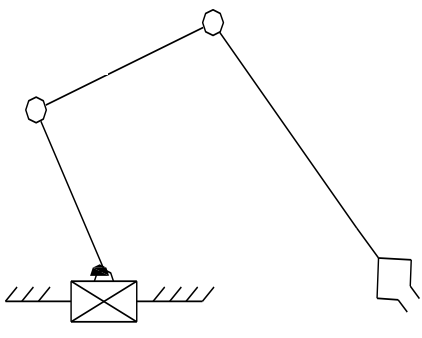
18



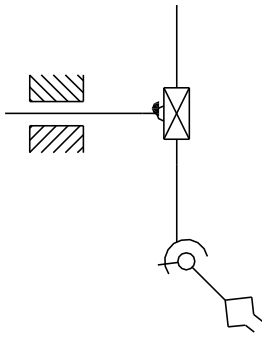
19



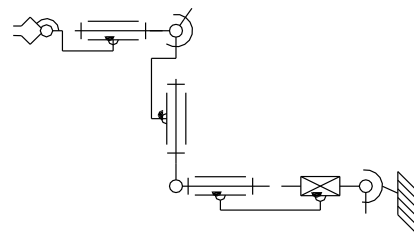
20



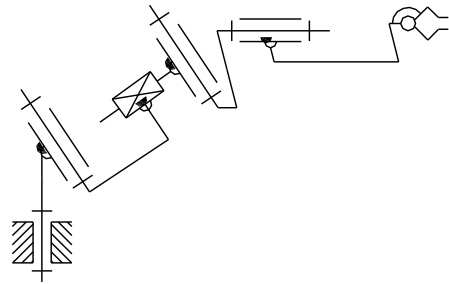
21



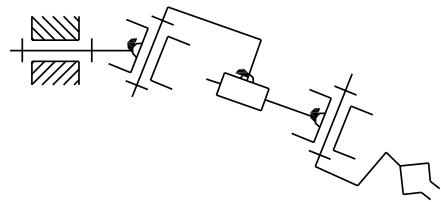
26



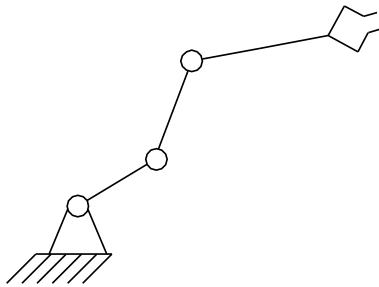
22



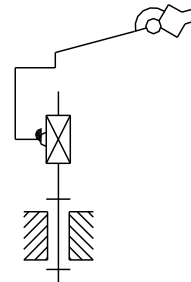
27



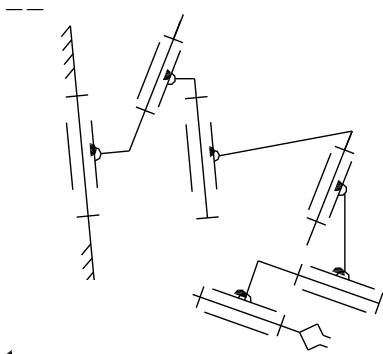
23



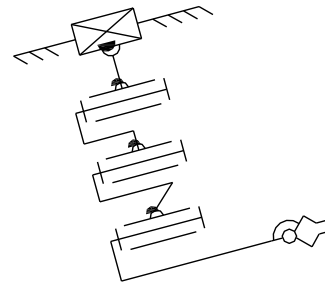
28



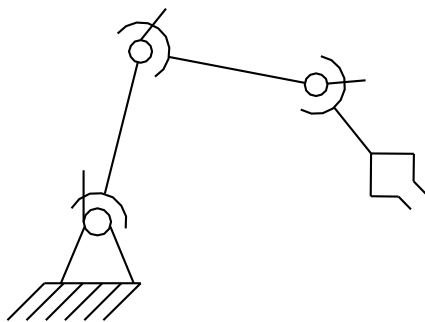
24



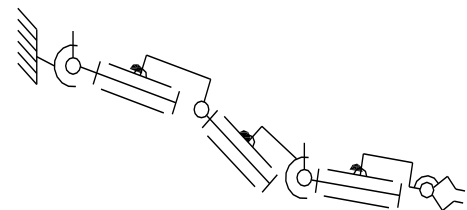
29



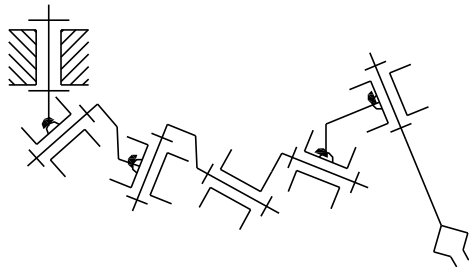
25



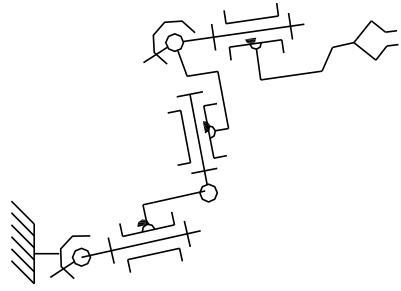
30



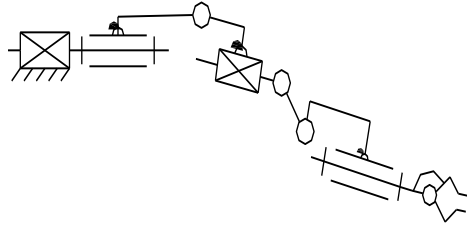
31



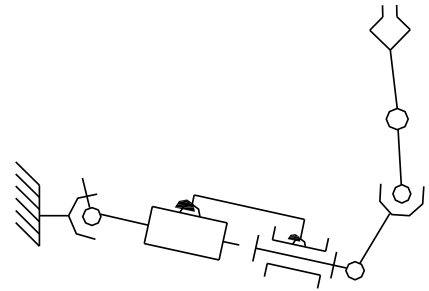
36



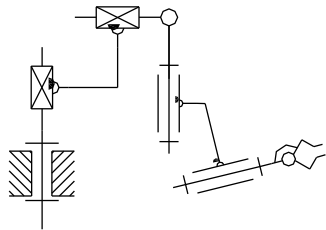
32



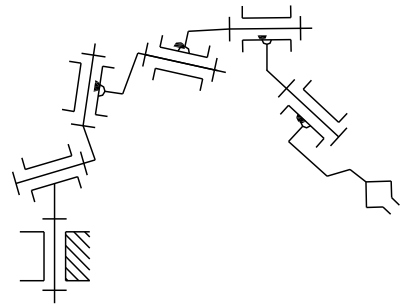
37



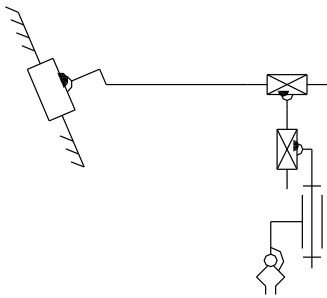
33



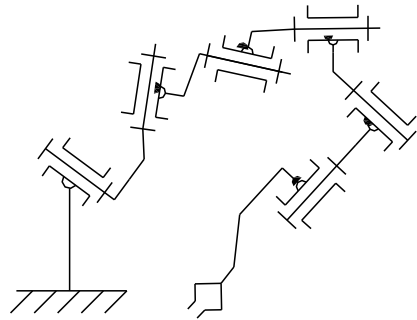
38



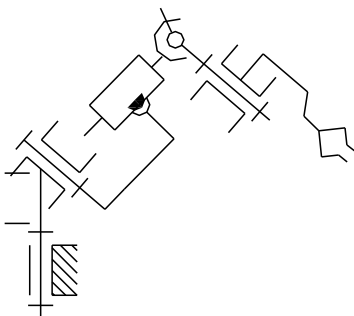
34



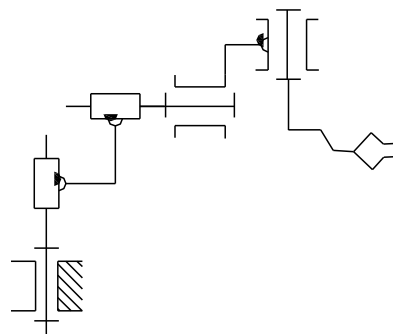
39



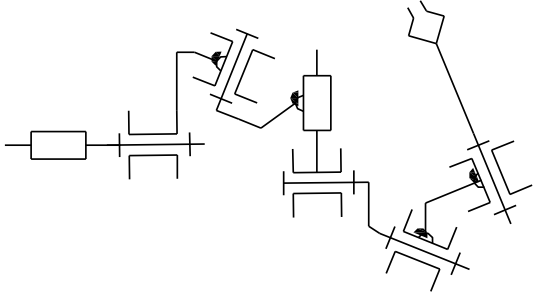
35



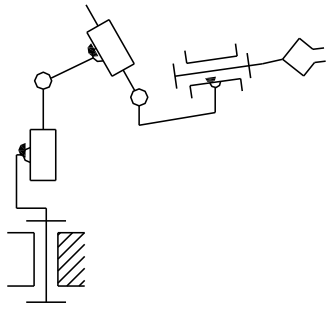
40



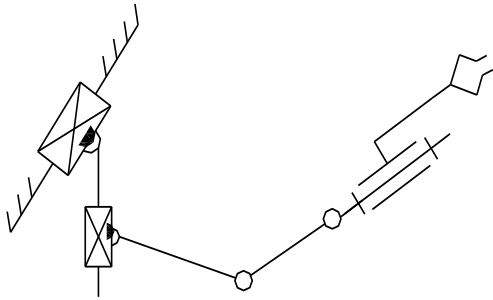
41



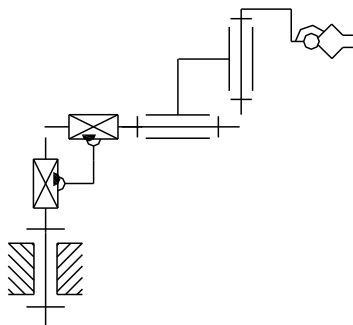
42



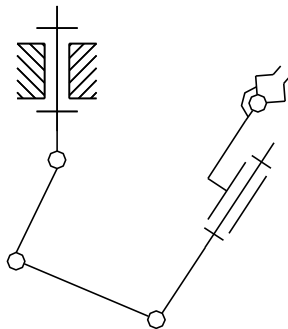
43



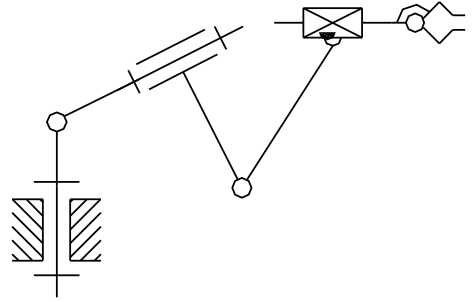
44



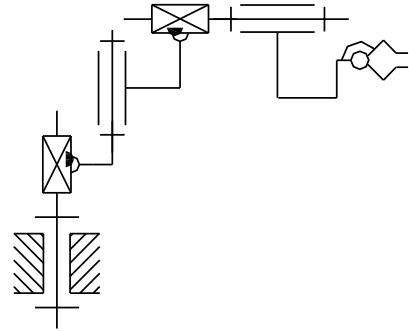
45



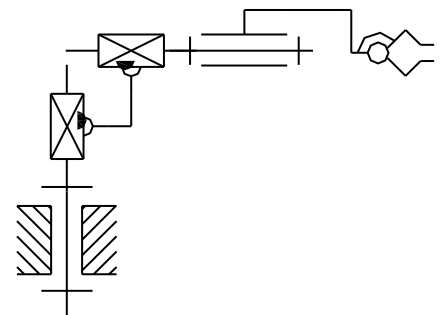
46



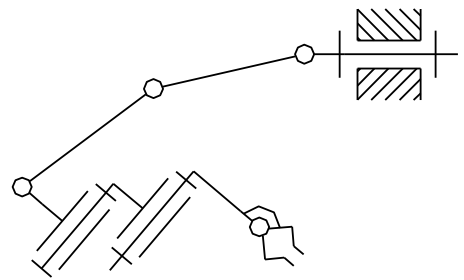
47



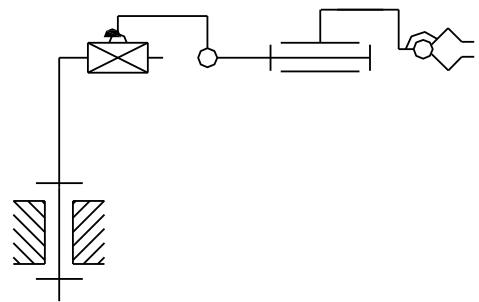
48



49



50

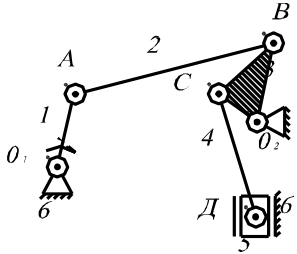


ДОДАТОК Б

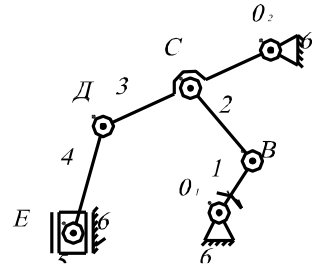
Кінематичні схеми для розв'язання задач з кінематичного і кінетостатичного (силового) аналізу механізмів

Завдання 51–100

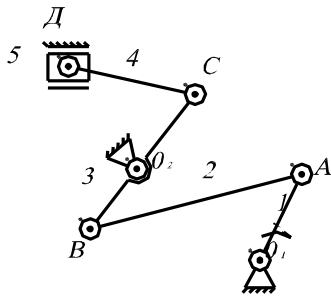
51



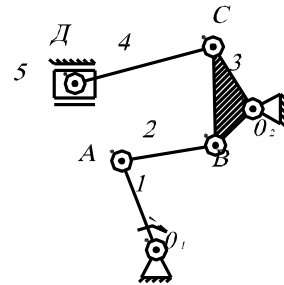
56



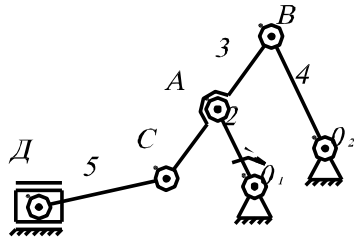
52



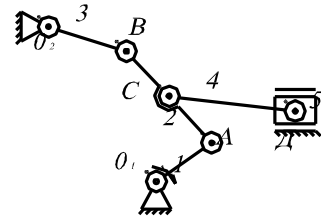
57



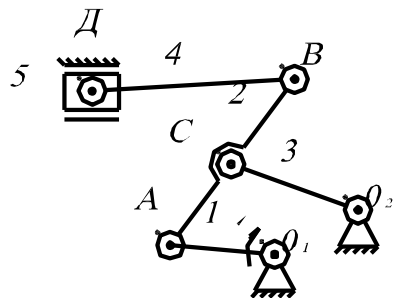
53



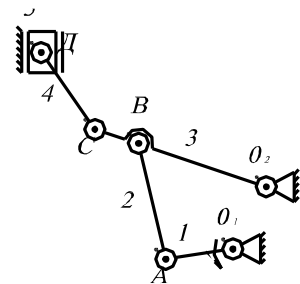
58



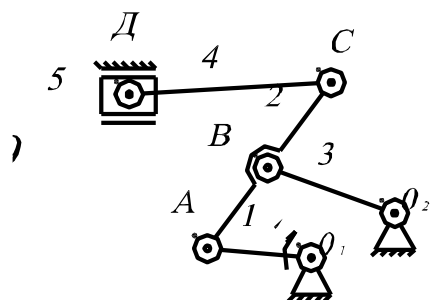
54



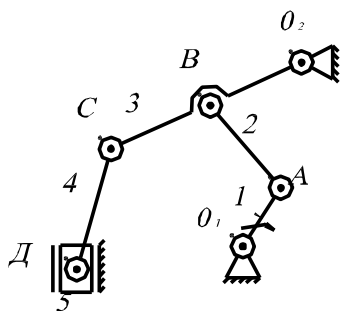
59



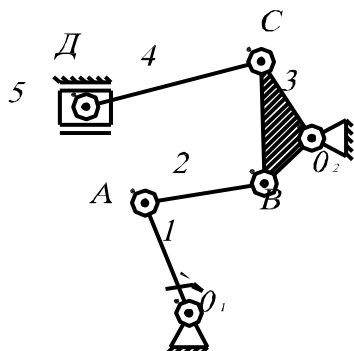
55



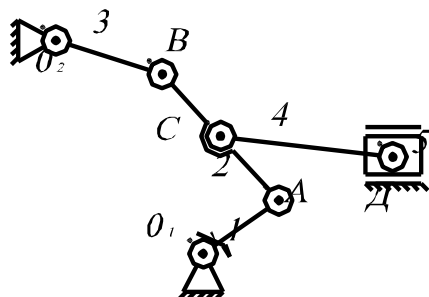
61



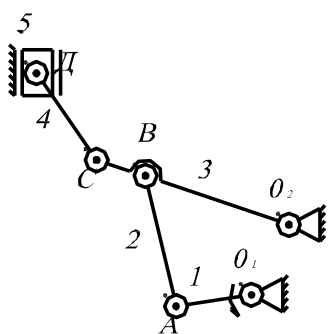
62



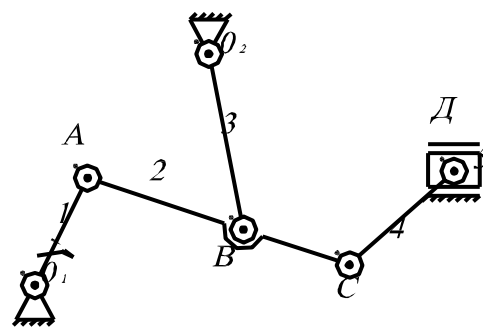
63



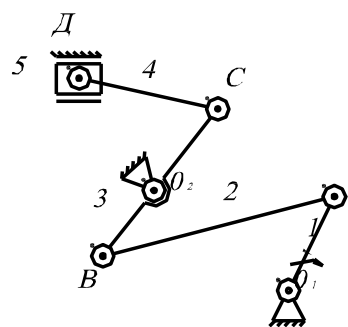
64



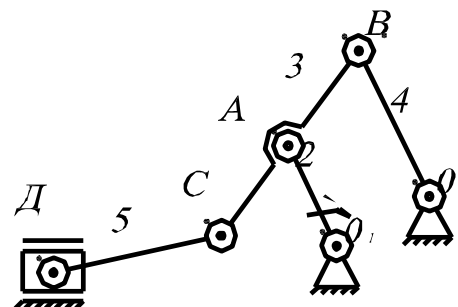
60



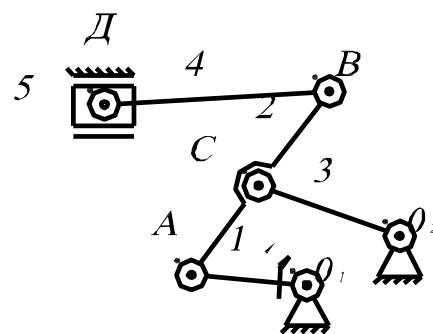
66



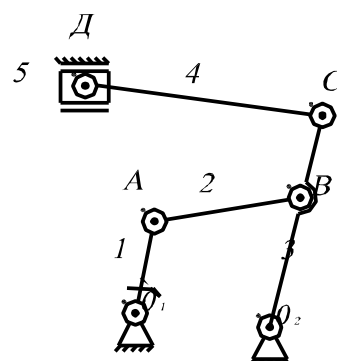
67



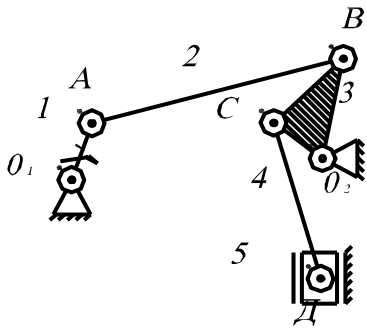
68



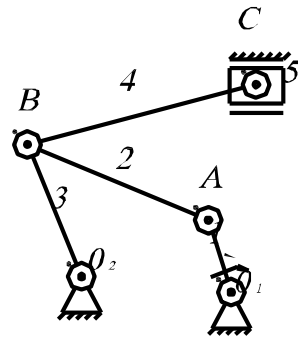
69



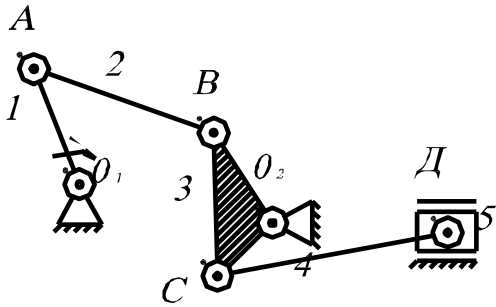
65



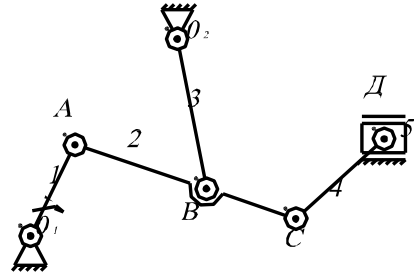
70



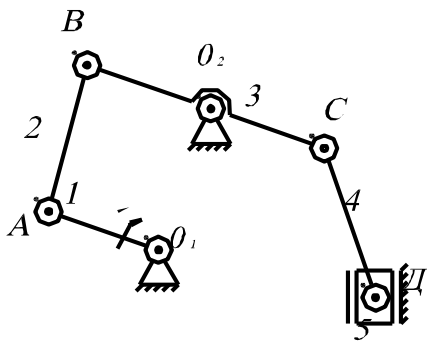
71



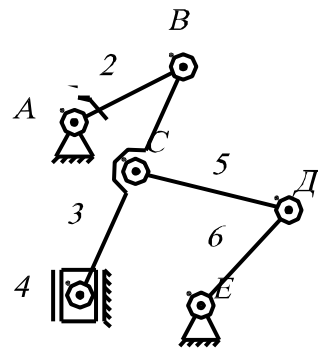
76



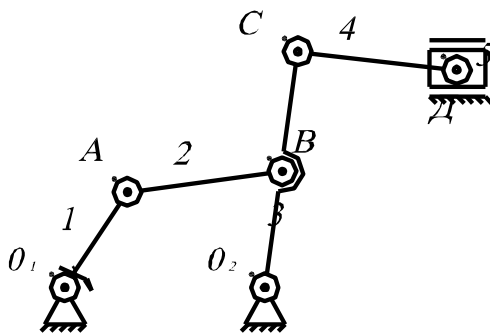
72



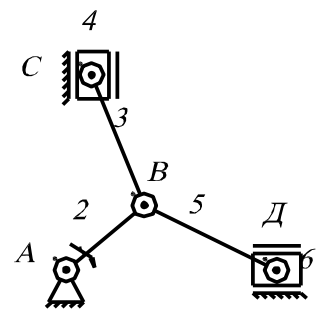
77



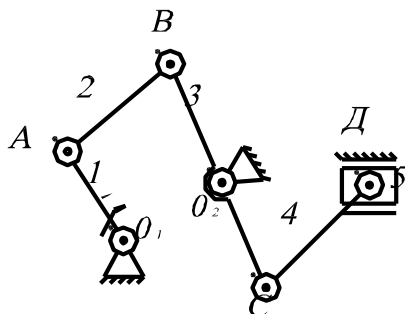
73



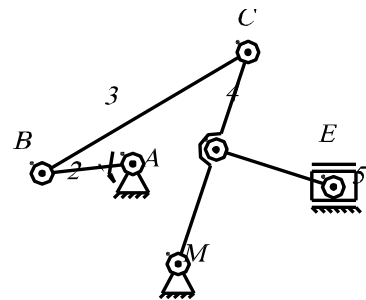
78



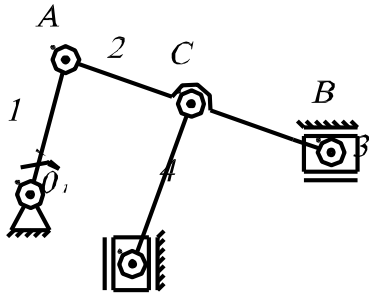
74



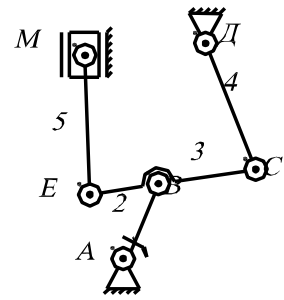
79



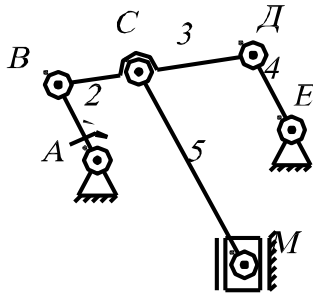
75



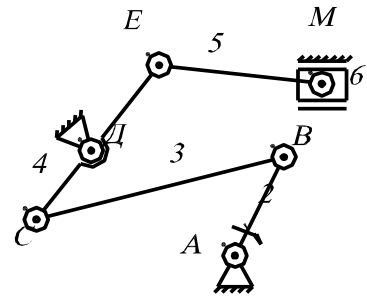
80



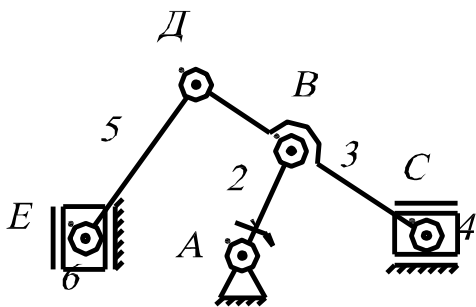
81



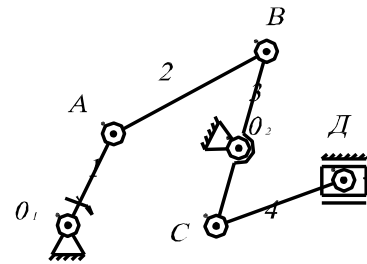
86



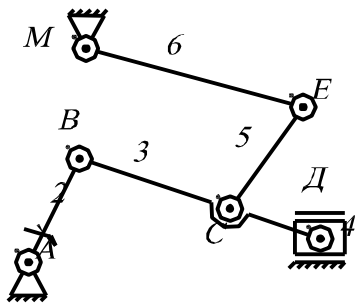
82



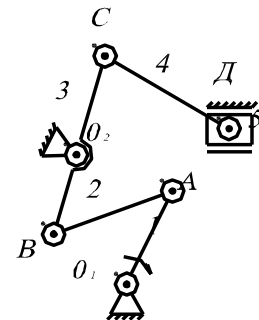
87



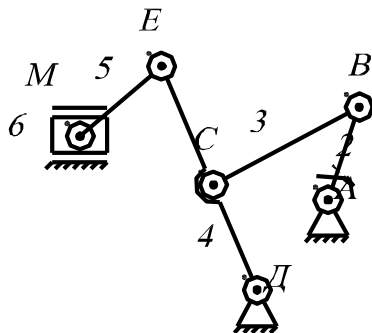
83



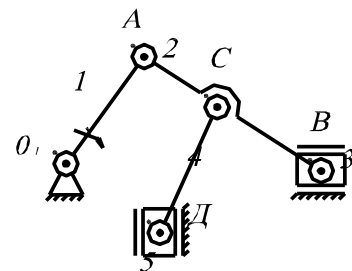
88



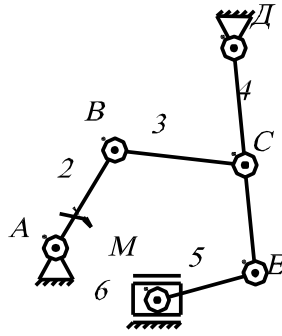
84



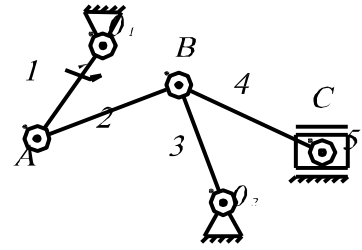
89



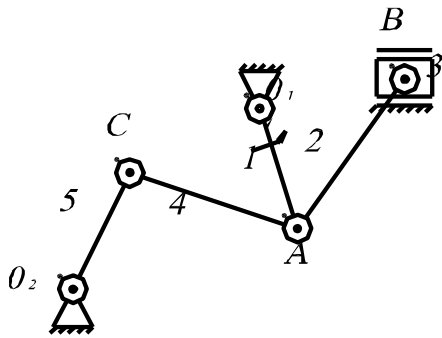
85



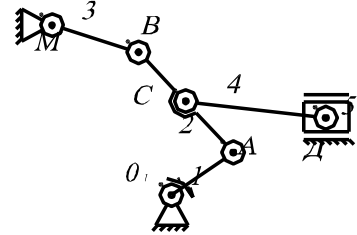
90



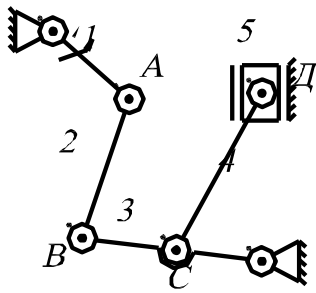
91



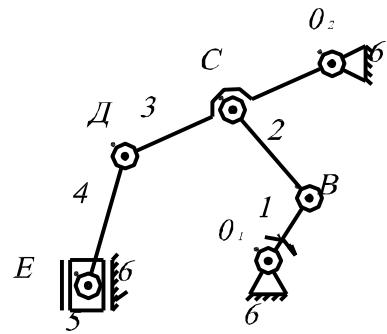
96



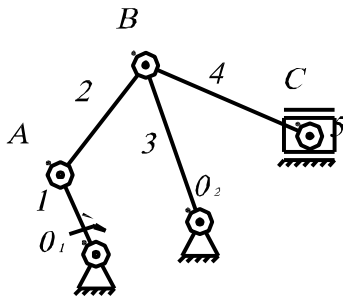
92



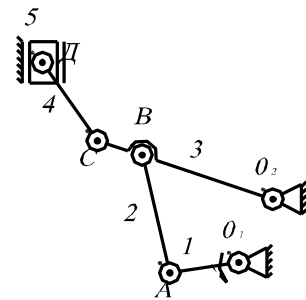
97



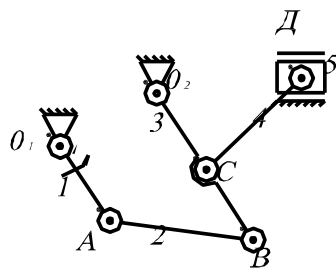
93



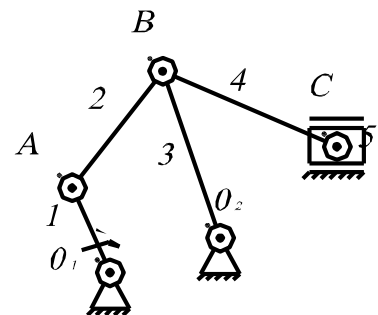
98



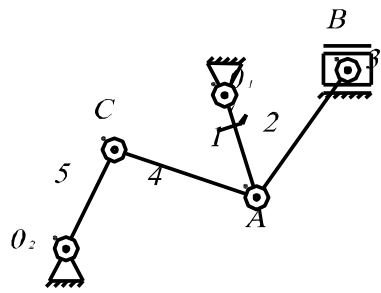
94



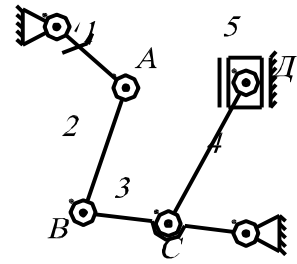
99



95



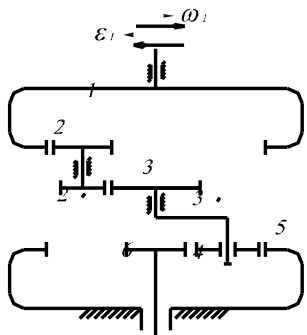
100



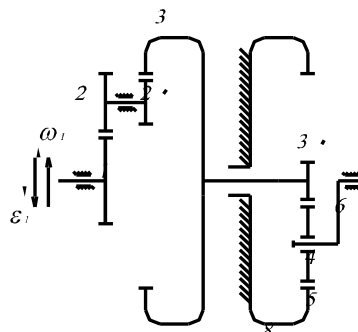
ДОДАТОК В

Кінематичні схеми багатоланкових зубчатих механізмів Завдання 101–150

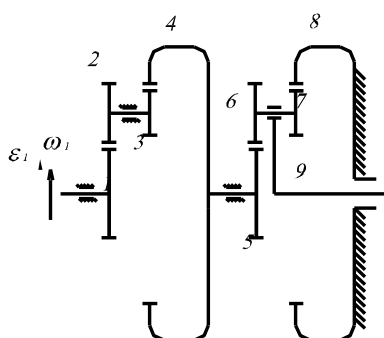
101



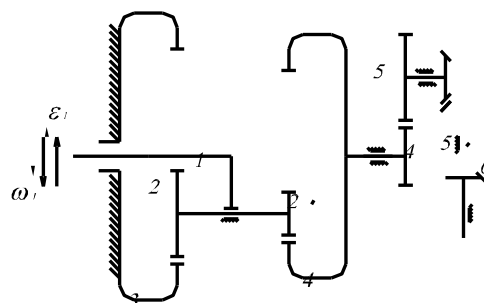
105



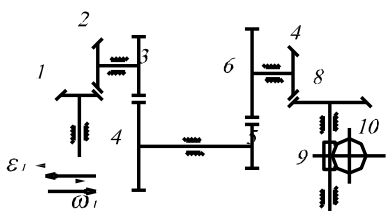
102



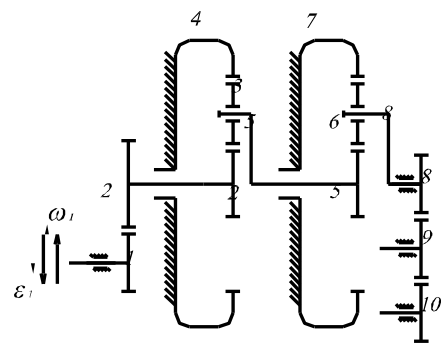
106



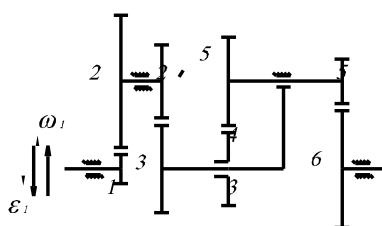
103



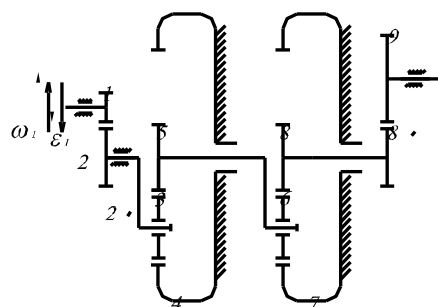
107



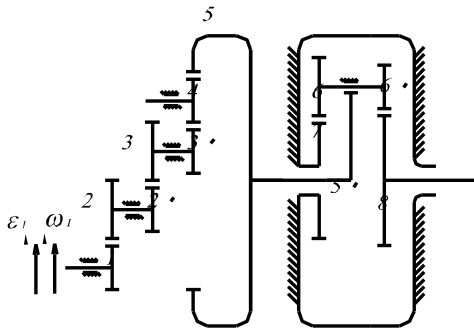
104



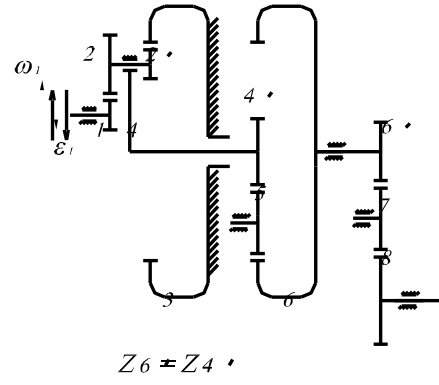
108



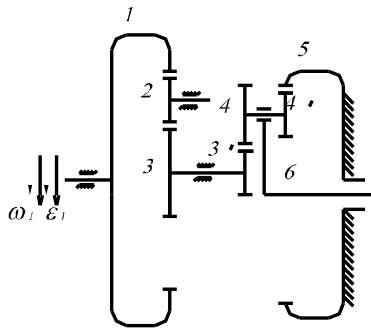
109



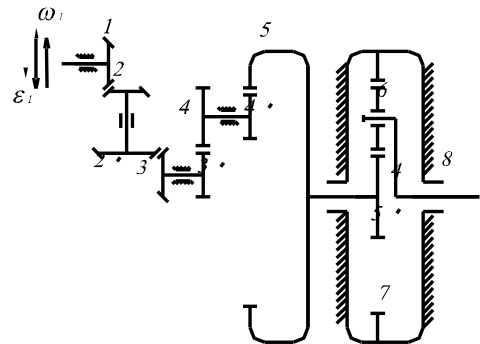
113



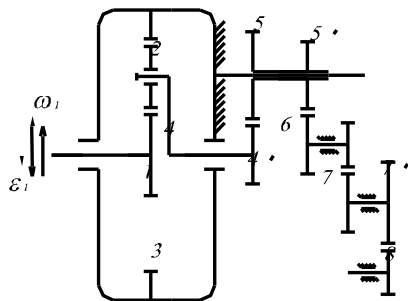
110



114

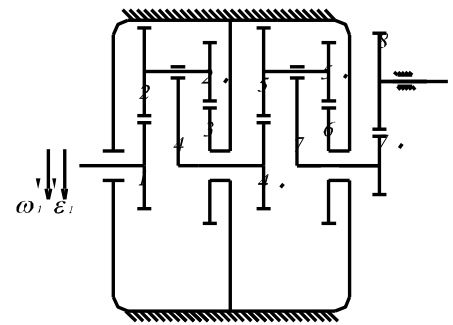


111



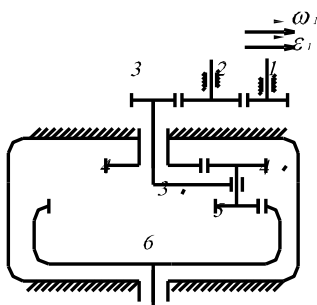
$Z_6 = Z_5$
 $Z_7 = Z_7$

115

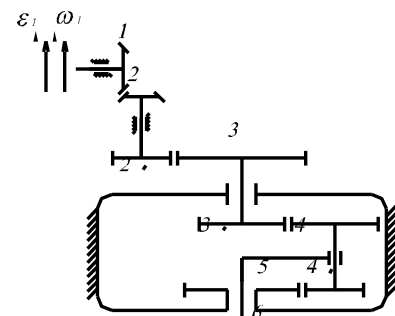


$Z_7 = Z_4$

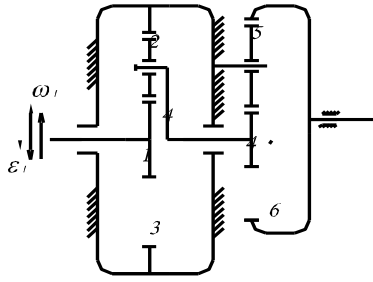
112



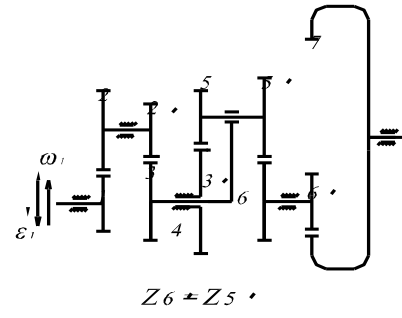
116



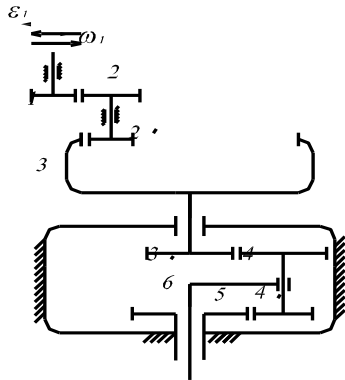
117



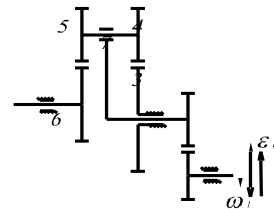
121



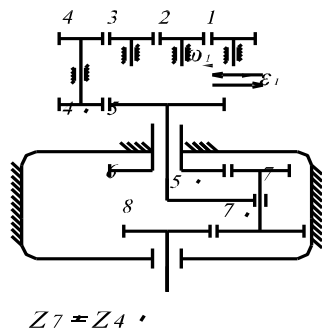
118



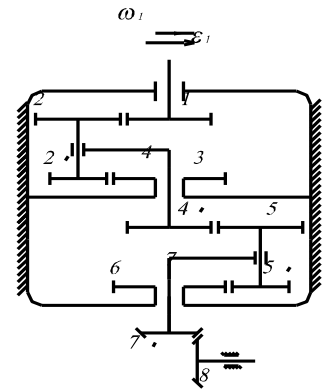
122



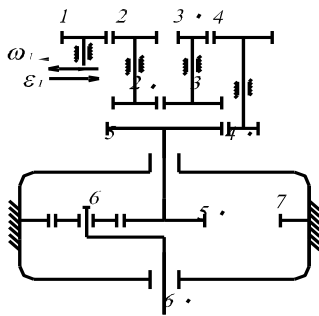
119



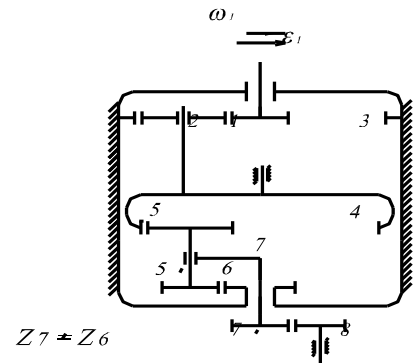
123



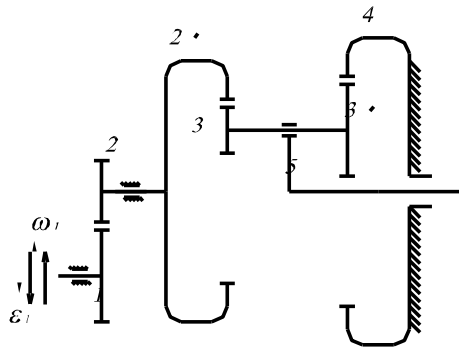
120



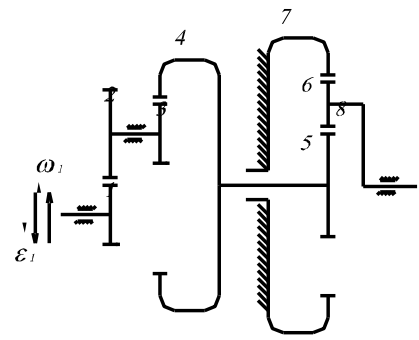
124



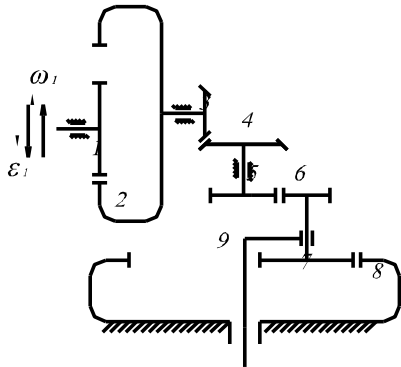
133



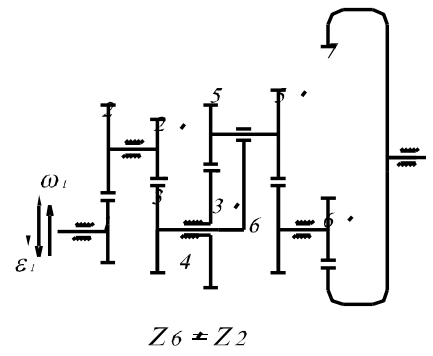
137



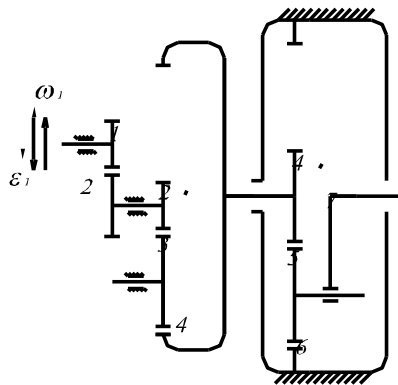
134



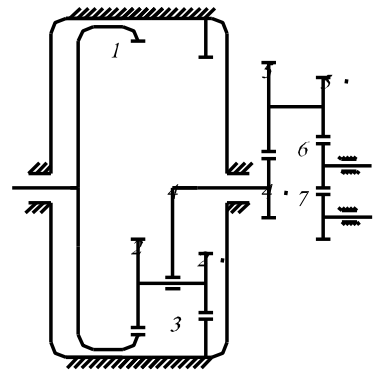
138



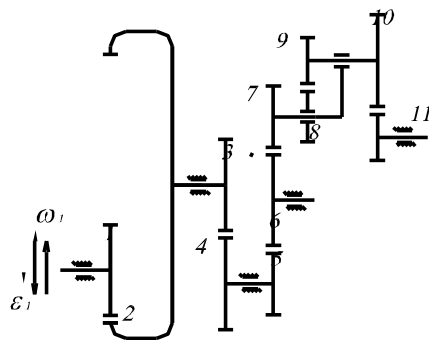
135



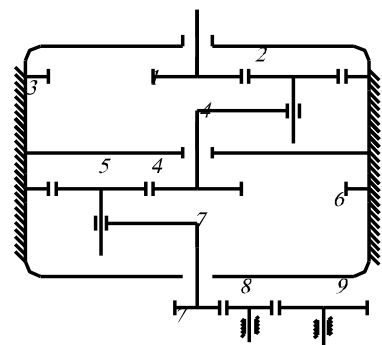
139



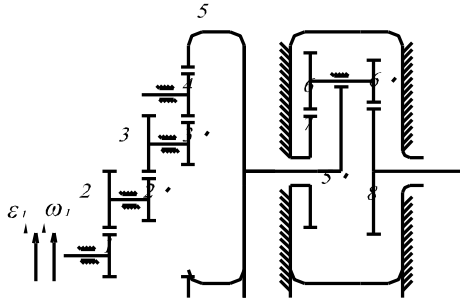
136



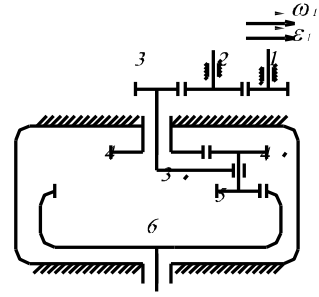
140



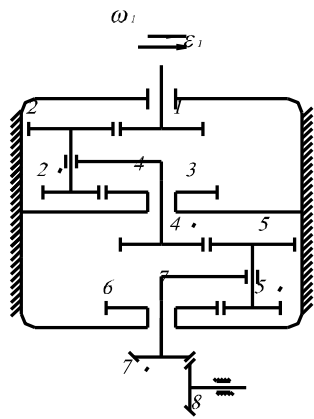
141



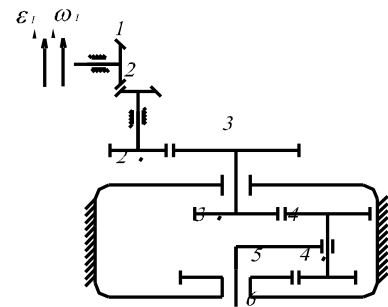
145



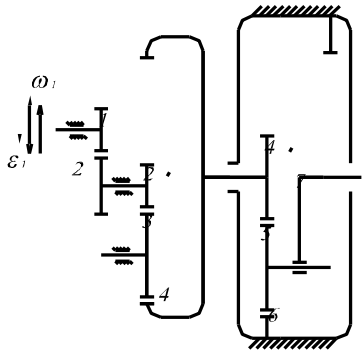
142



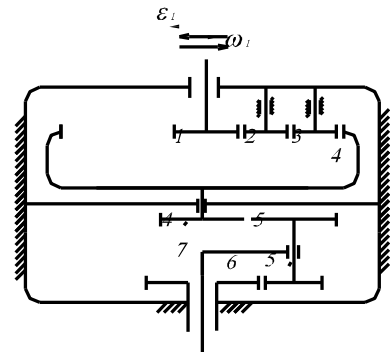
146



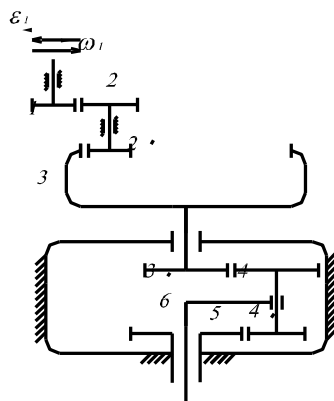
143



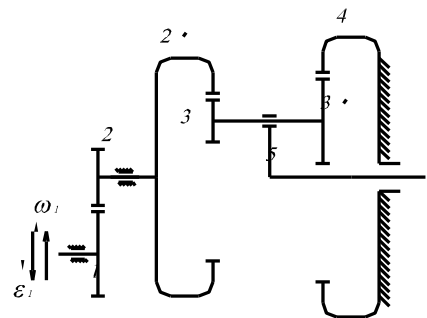
147



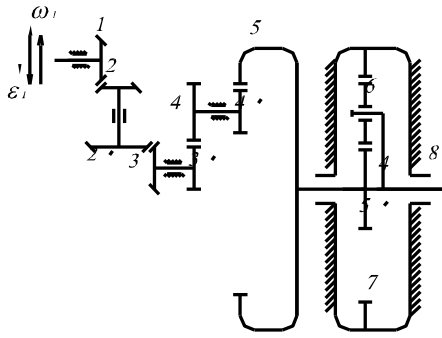
144



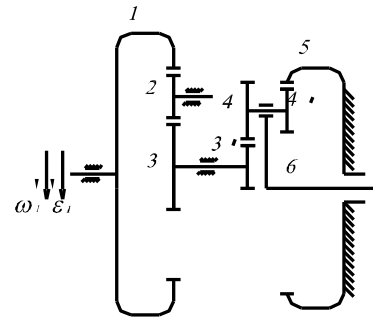
148



149



150



Таблиця В.1 – Вихідні данні для розрахунку багатоланкових зубчатих механізмів

Номер задачі				Параметр																
				ω_1 1/c	m, мм	Z ₁	Z ₂	Z ₂ '	Z ₃	Z ₃ '	Z ₄	Z ₄ '	Z ₅	Z ₅ '	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₈ '	Z ₉	Z ₁₀
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
101				20	5	100	30	20	40		50		126		25					
102				30	6	20	40		15		75		25		50	25	100			
103				40	8	15	30		25		50		30		45	25	50		2	40
104				30	6	25	75	20	80		30		50	25	55					
105				40	8	15	30	20	120	20	50		120							
106				50	10		30	20	100		80	35	70	25	50					
107				100	5	15	30	20	50		120			30	35	100		15		30
108				35	7	15	45		20		120		80		50	120	20	30	60	
109				60	6	17	22	18	32	19	29		77		48	25	54			
110				20	5	150			30	18	66	24	60							
111				30	6	21	36		93				22	15	45	45	15			
112				60	5	19	52				46		52		130					
113				40	5	17	36	21	74						74		51			
114				20	3	24	28	17	36	19	32		72	18	24	66				
115				30	4	26	52	35	43				58	35	43		40			
116				50	6	17	21	20	40	25	47		40							
117				30	4	22			112								96			
118				50	4	15	25	15	102	20	66	26	60							
119				50	6	15					60	30	45		40	80	90			
120				20	5	10	15	14	56	17	49	14	28	26		130				
121				20	5	15	45	30	60		45		60	35	70	80				
122				30	3	25	50		40		60		35		65					
123				30	5	17	34		35			25	30	20	35	18	36			
124				80	4	22				340	274		58	94	120		139			

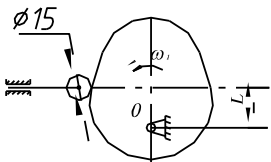
Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
125				40	8	22	70	28	64			14	19	15	21	42				
126				20	10	20					40		35		70	30	60		150	
127				50	6	100	30		40		90									
128				40	6	15					95	22	70	28	64					
129				60	6	15					30	11	22		15	36	14			
130				40	8	30	35		100		20		30		80					
131				20	2	12					48	18	21	19	45	90				
132				50	5	14			30	14	26	20			70					
133				50	5	23	42	180	30	70	220									
134				50	6	20	80		25		50		30		60	30	120			
135				50	5	14	36	17			130	26	52		130					
136				30	5	20	80		25		50		20			40	45		25	30
137				30	4	16	32		16		64		20		40	100				
138				70	7	16	24	18	30		21		22	21	22	40				
139				40	8	298	18	22	132			20	46	35		70				
140				30	4	22			98		18				82				54	
141				60	6	17	22	18	32	19	29		77		48	25				
142				30	5	17	34		35			25	30	20	35	18	36			
143				50	5	14	36	17			130	26	52		130					
144				50	4	15	25	15	102	20	66	26	60							
145				60	5	19	52				46	32	52		130					
146				40	6	17	21	20	40	30	50	25	55							
147				80	5	20					100	25	75	30	70					
148				40	5	23	46	180	30	60	210									
149				50	4	15	30	18	36	20	40	30	90	20		100				
150				20	5	150			30	20	60	25	55							

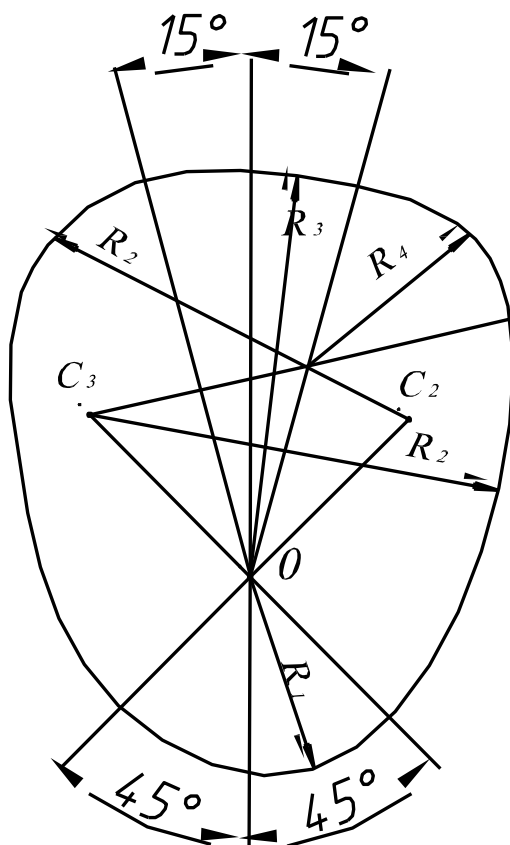
ДОДАТОК Г

Кінематичні схеми кулачкових механізмів Завдання 151–200

151

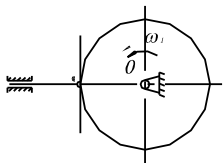


Робочий профіль кулачка

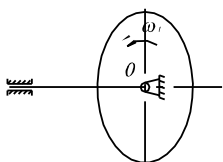


- $R_1 = 20 \text{ мм}$
- $R_2 = 40 \text{ мм}$
- $R_3 = 40 \text{ мм}$
- $R_4 = 20 \text{ мм}$
- $L = 15 \text{ мм}$
- $\omega_1 = 40 \text{ м/с}$

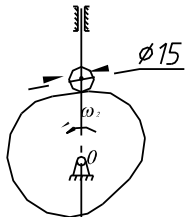
152



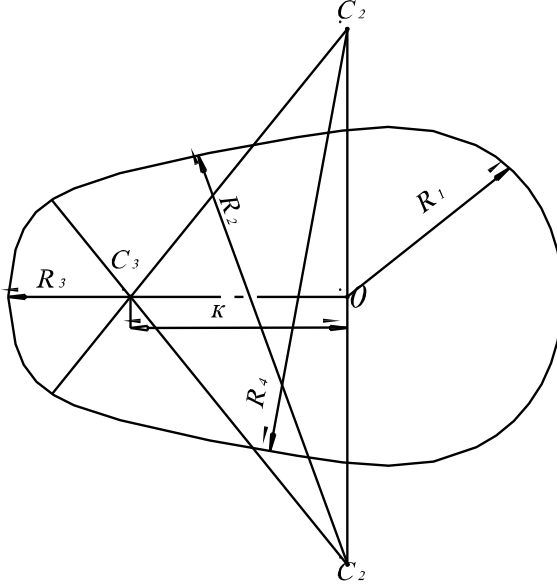
153



154

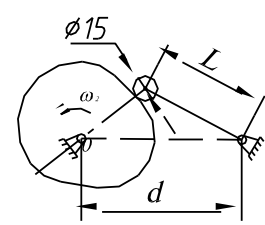


Робочий профіль кулачка

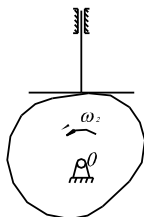


- $R_1 = 30 \text{ мм}$
- $R_2 = 88 \text{ мм}$
- $R_3 = 18 \text{ мм}$
- $R_4 = 88 \text{ мм}$
- $L = 160 \text{ мм}$
- $d = 180 \text{ мм}$
- $\omega_2 = 40 \text{ м/с}$

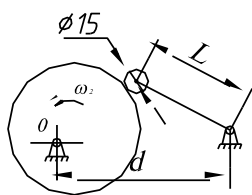
155



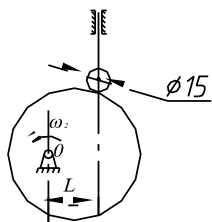
156



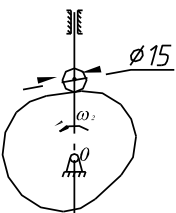
157



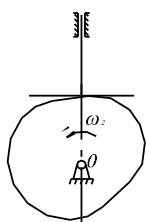
158



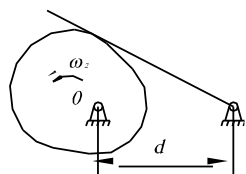
159



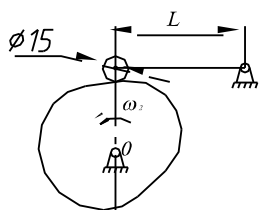
160



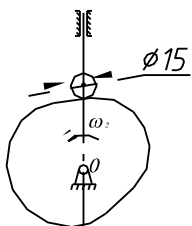
161



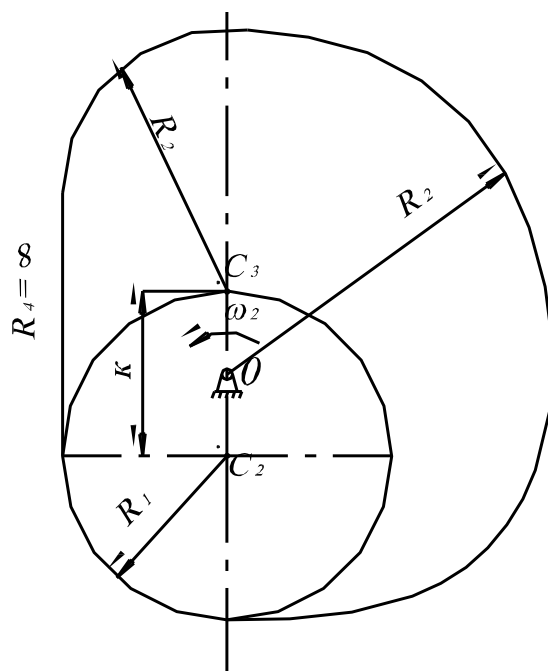
162



163

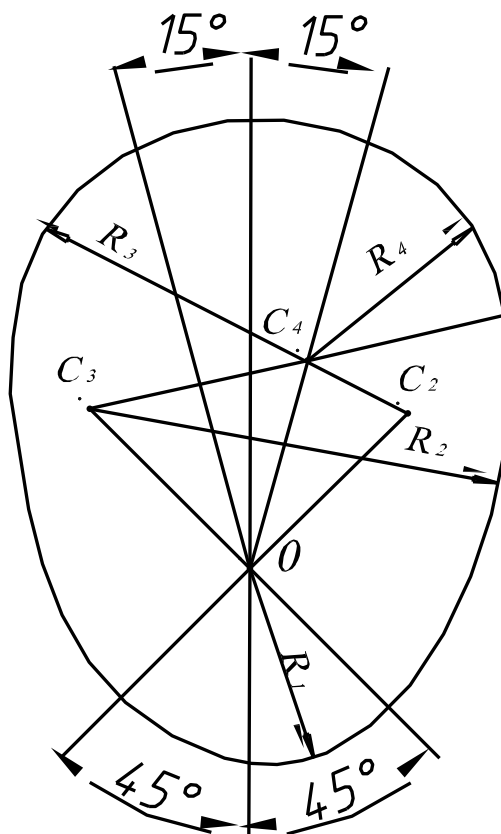


Робочий профіль кулачка



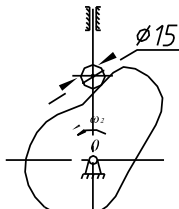
$R_1 = 40 \text{ мм}$
 $R_2 = 60 \text{ мм}$
 $R_3 = 40 \text{ мм}$
 $L = 15 \text{ мм}$
 $k = 20 \text{ мм}$
 $L = 100 \text{ мм}$
 $d = 120 \text{ мм}$
 $\omega_2 = 40 \text{ м/с}$

Робочий профіль кулачка

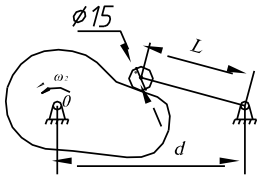


$R_1 = 50 \text{ мм}$
 $R_2 = 100 \text{ мм}$
 $R_3 = 100 \text{ мм}$
 $R_4 = 50 \text{ мм}$
 $L = 100 \text{ мм}$
 $d = 120 \text{ мм}$
 $\omega_2 = 40 \text{ м/с}$

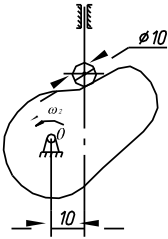
164



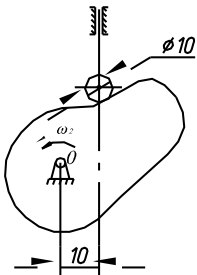
165



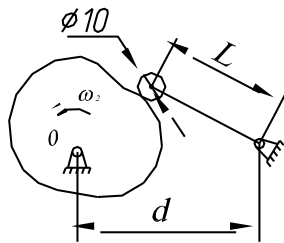
166



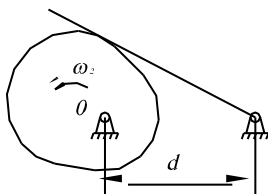
167



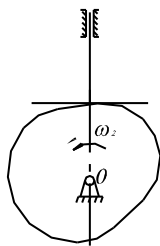
168



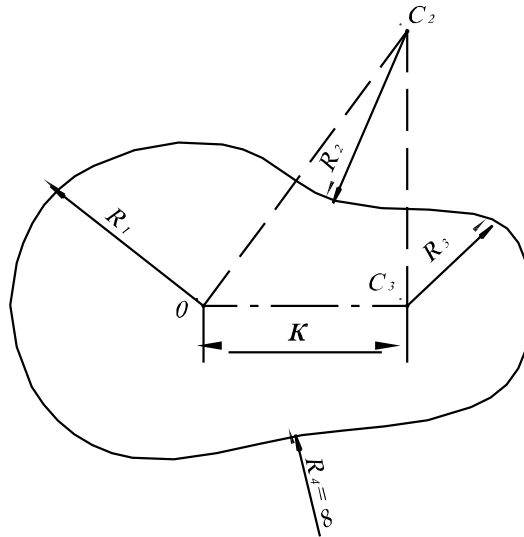
169



170

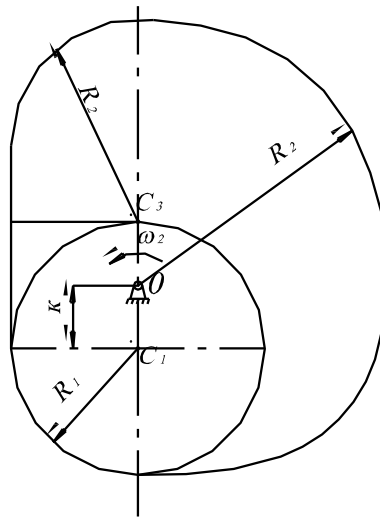


Робочий профіль кулачка



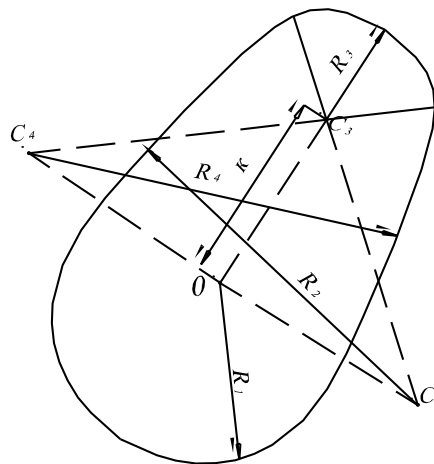
- $R_1 = 40 \text{ мм}$
- $R_2 = 20 \text{ мм}$
- $R_3 = 15 \text{ мм}$
- $R_4 = \infty$
- $k = 45 \text{ мм}$
- $L = 85 \text{ мм}$
- $d = 100 \text{ мм}$
- $\omega_2 = 100 \text{ м/с}$

Робочий профіль кулачка



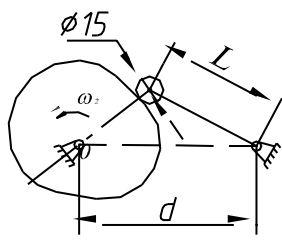
- $R_1 = 36 \text{ мм}$
- $R_2 = 54 \text{ мм}$
- $R_3 = 36 \text{ мм}$
- $k = 18 \text{ мм}$
- $L = 160 \text{ мм}$
- $d = 180 \text{ мм}$
- $\omega_2 = 90 \text{ м/с}$

Робочий профіль кулачка

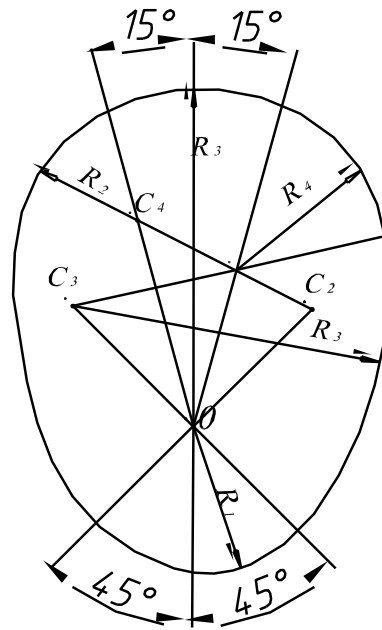


- $R_1 = 40 \text{ мм}$
- $R_2 = 90 \text{ мм}$
- $R_3 = 15 \text{ мм}$
- $R_4 = 55 \text{ мм}$
- $k = 45 \text{ мм}$
- $d = 100 \text{ мм}$
- $\omega_2 = 40 \text{ м/с}$

171

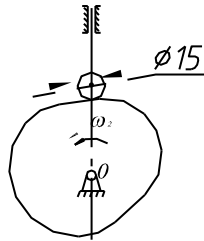


Робочий профіль кулачка

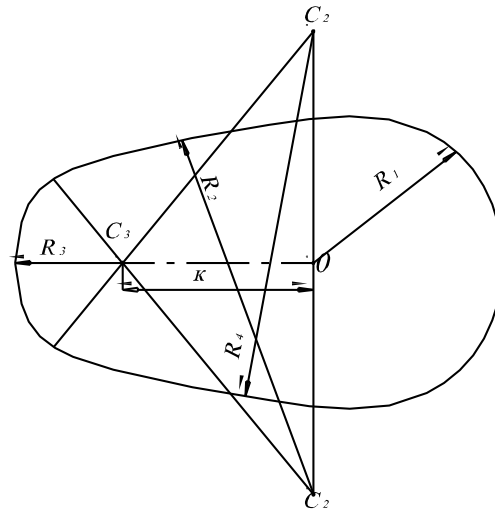


$R_1 = 30 \text{ мм}$
 $R_2 = 60 \text{ мм}$
 $R_3 = 65 \text{ мм}$
 $R_4 = 30 \text{ мм}$
 $L = 190 \text{ мм}$
 $d = 200 \text{ мм}$
 $\omega_2 = 70 \text{ м/с}$

172

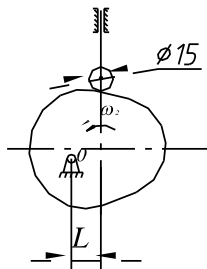


Робочий профіль кулачка

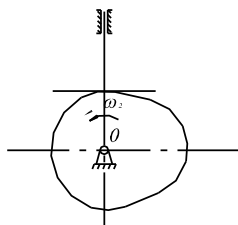


$R_1 = 30 \text{ мм}$
 $R_2 = 88 \text{ мм}$
 $R_3 = 18 \text{ мм}$
 $R_4 = 88 \text{ мм}$
 $k = 38 \text{ мм}$
 $L = 160 \text{ мм}$
 $d = 180 \text{ мм}$
 $\omega_2 = 40 \text{ м/с}$

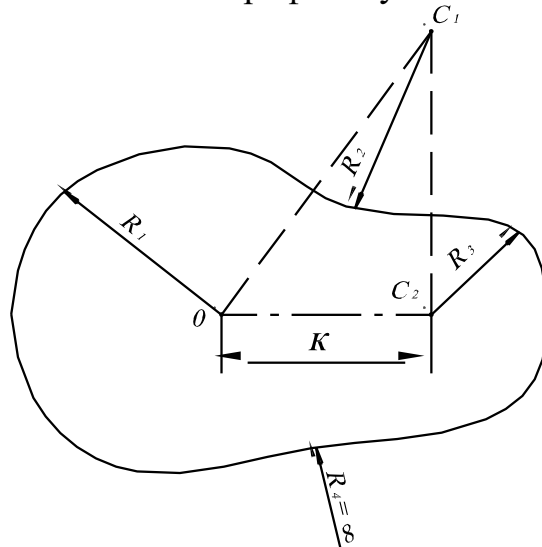
173



174

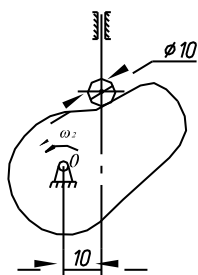


Робочий профіль кулачка

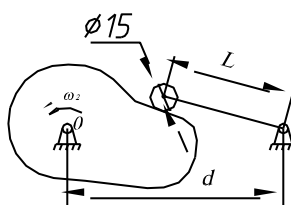


$R_1 = 35 \text{ мм}$
 $R_2 = 60 \text{ мм}$
 $R_3 = 12 \text{ мм}$
 $k = 40 \text{ мм}$
 $L = 85 \text{ мм}$
 $d = 105 \text{ мм}$
 $\omega_2 = 60 \text{ м/с}$

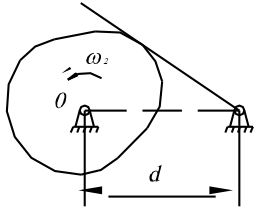
175



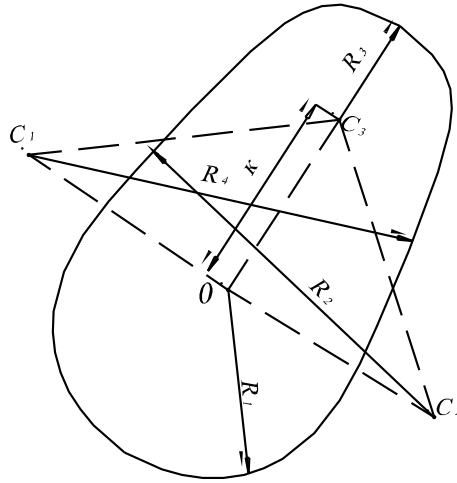
176



177

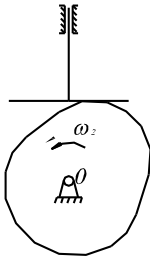


Робочий профіль кулачка

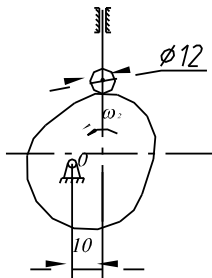


$R_1 = 30 \text{ мм}$
 $R_2 = 90 \text{ мм}$
 $R_3 = 12 \text{ мм}$
 $k = 35 \text{ мм}$
 $d = 120 \text{ мм}$
 $\omega_2 = 30 \text{ м/с}$

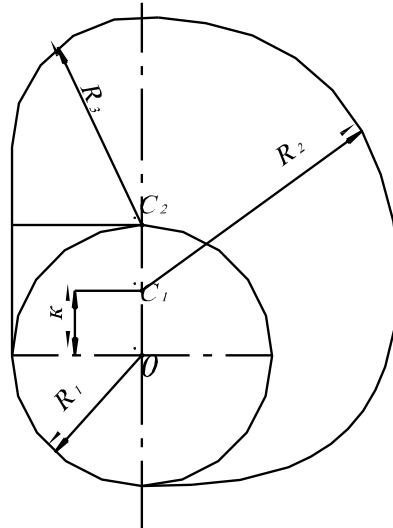
178



179

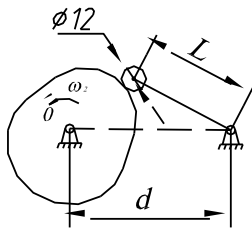


Робочий профіль кулачка

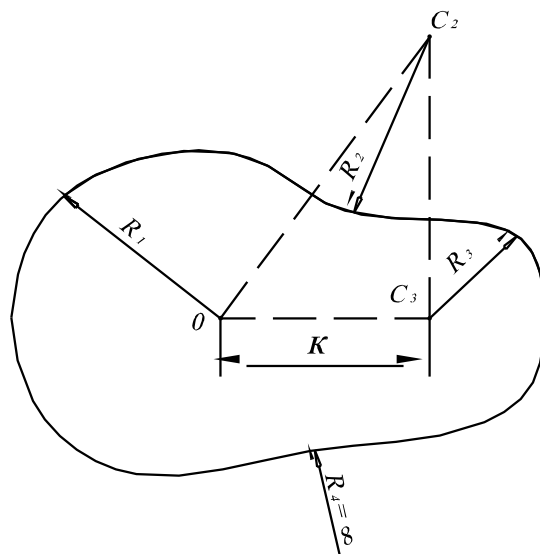


$R_1 = 24 \text{ мм}$
 $R_2 = 36 \text{ мм}$
 $R_3 = 24 \text{ мм}$
 $k = 12 \text{ мм}$
 $L = 80 \text{ мм}$
 $d = 100 \text{ мм}$
 $\omega_2 = 10 \text{ м/с}$

180

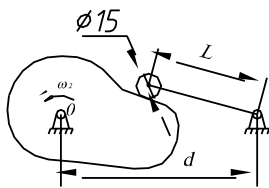


Робочий профіль кулачка

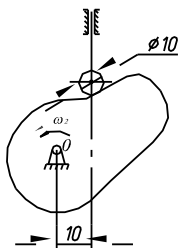


$R_1 = 30 \text{ мм}$
 $R_2 = 90 \text{ мм}$
 $R_3 = 12 \text{ мм}$
 $k = 35 \text{ мм}$
 $L = 105 \text{ мм}$
 $d = 120 \text{ мм}$
 $\omega_2 = 20 \text{ м/с}$

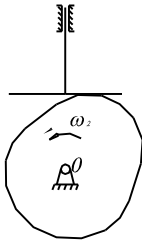
181



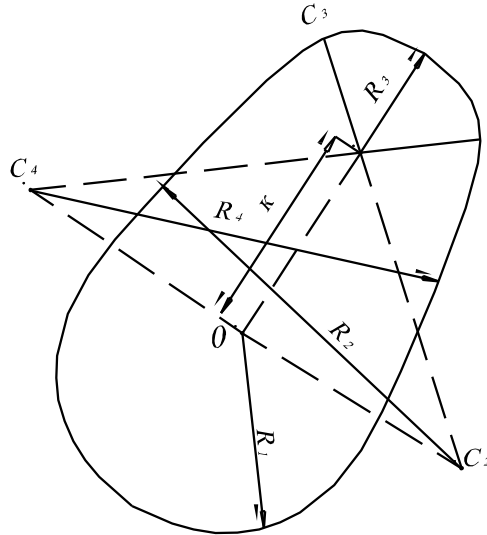
182



183

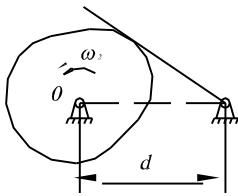


Робочий профіль кулачка

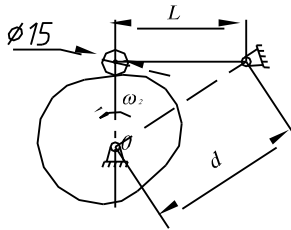


$R_1 = 40 \text{ мм}$
 $R_2 = 90 \text{ мм}$
 $R_3 = 15 \text{ мм}$
 $R_4 = 55 \text{ мм}$
 $k = 45 \text{ мм}$
 $d = 100 \text{ мм}$
 $\omega_2 = 40 \text{ м/с}$

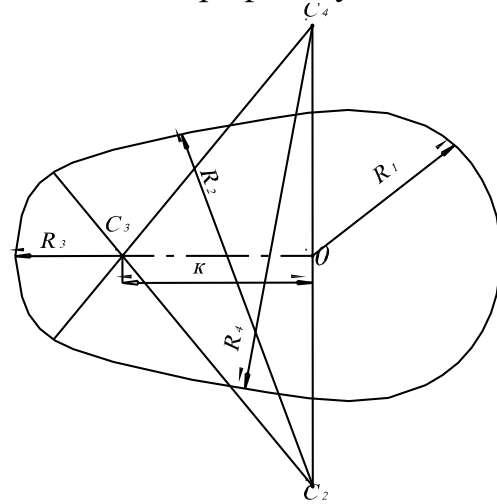
184



185

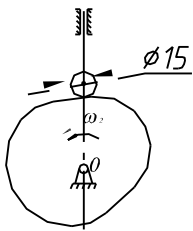


Робочий профіль кулачка

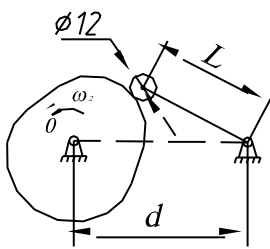


$R_1 = 45 \text{ мм}$
 $R_2 = 103 \text{ мм}$
 $R_3 = 33 \text{ мм}$
 $R_4 = 103 \text{ мм}$
 $k = 45 \text{ мм}$
 $L = 200 \text{ мм}$
 $d = 210 \text{ мм}$
 $\omega_2 = 20 \text{ м/с}$

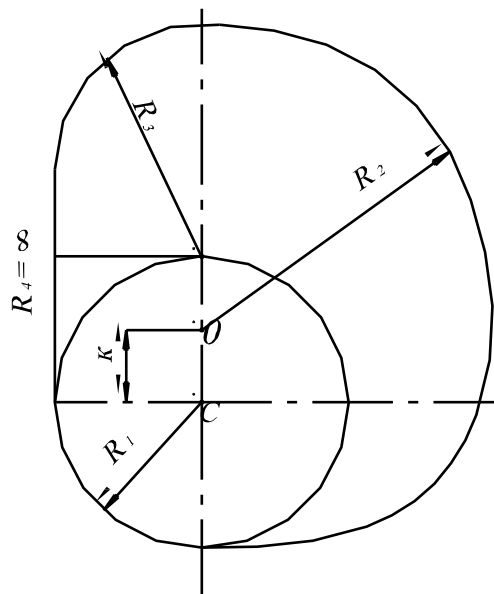
186



187

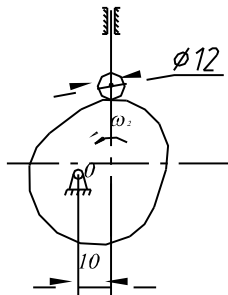


Робочий профіль кулачка

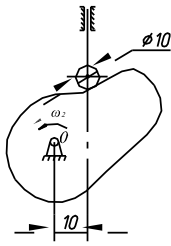


$R_1 = 40 \text{ мм}$
 $R_2 = 60 \text{ мм}$
 $R_3 = 40 \text{ мм}$
 $k = 20 \text{ мм}$
 $L = 100 \text{ мм}$
 $d = 120 \text{ мм}$
 $\omega_2 = 200 \text{ м/с}$

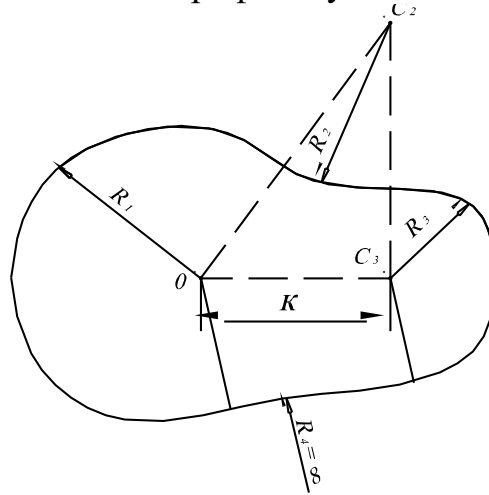
188



189

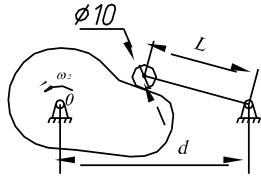


Робочий профіль кулачка

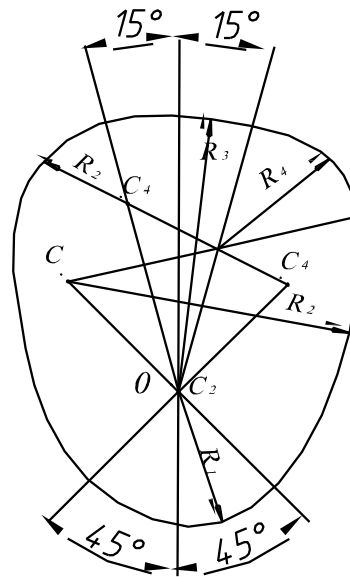


- $R_1 = 40 \text{ мм}$
- $R_2 = 20 \text{ мм}$
- $R_3 = 15 \text{ мм}$
- $k = 45 \text{ мм}$
- $L = 85 \text{ мм}$
- $d = 100 \text{ мм}$
- $\omega_2 = 45 \text{ м/с}$

190

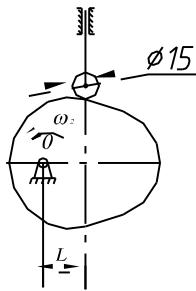


Робочий профіль кулачка

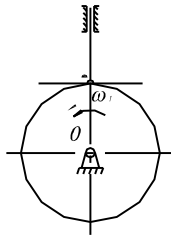


- $R_1 = 50 \text{ мм}$
- $R_2 = 100 \text{ мм}$
- $R_3 = 100 \text{ мм}$
- $R_4 = 50 \text{ мм}$
- $L = 20 \text{ мм}$
- $\omega_2 = 18 \text{ м/с}$

191



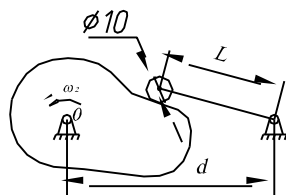
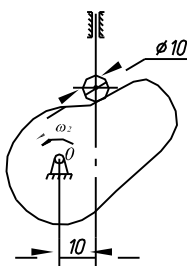
192



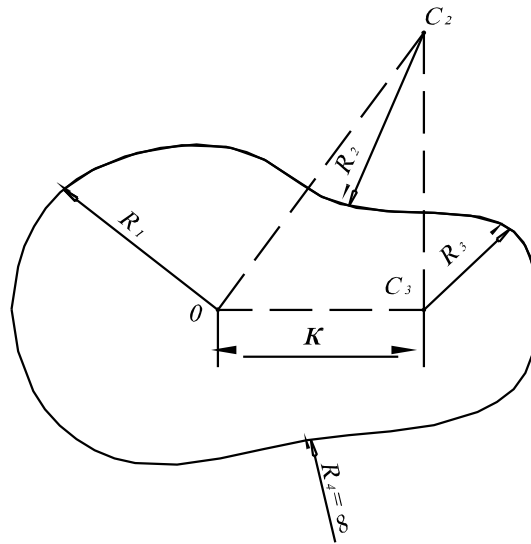
Робочий профіль кулачка

- $R_1 = 35 \text{ мм}$
- $R_2 = 40 \text{ мм}$
- $R_3 = 10 \text{ мм}$
- $k = 50 \text{ мм}$
- $L = 95 \text{ мм}$
- $d = 110 \text{ мм}$
- $\omega_2 = 21 \text{ м/с}$

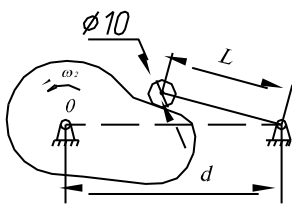
193



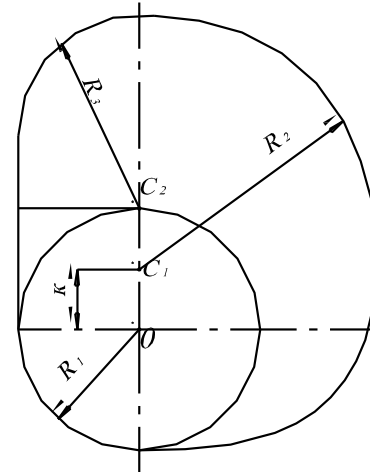
194



195

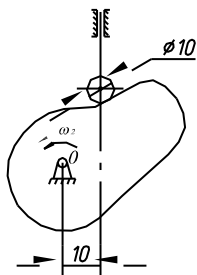


Робочий профіль кулачка

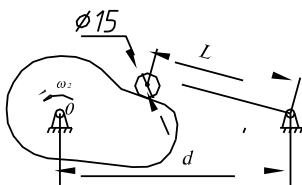


$R_1 = 24 \text{ мм}$
 $R_2 = 36 \text{ мм}$
 $R_3 = 24 \text{ мм}$
 $k = 12 \text{ мм}$
 $L = 80 \text{ мм}$
 $d = 100 \text{ мм}$
 $\omega_2 = 10 \text{ м/с}$

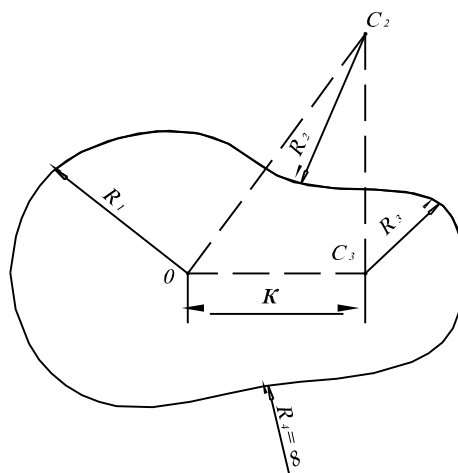
196



197

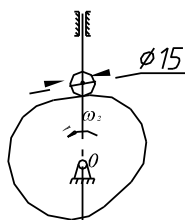


Робочий профіль кулачка

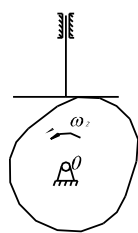


$R_1 = 35 \text{ мм}$
 $R_2 = 40 \text{ мм}$
 $R_3 = 10 \text{ мм}$
 $k = 50 \text{ мм}$
 $L = 95 \text{ мм}$
 $d = 110 \text{ мм}$
 $\omega_2 = 21 \text{ м/с}$

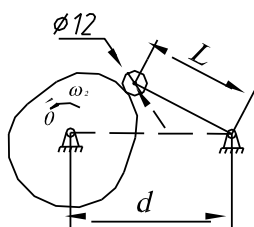
198



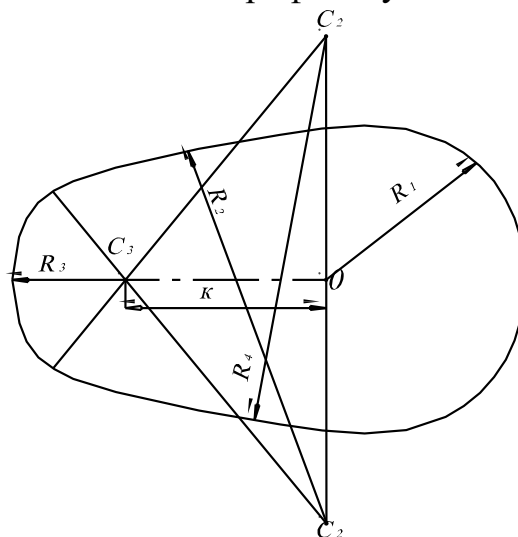
199



200



Робочий профіль кулачка



- $R_1 = 30 \text{ мм}$
- $R_2 = 88 \text{ мм}$
- $R_3 = 18 \text{ мм}$
- $R_4 = 88 \text{ мм}$
- $k = 38 \text{ мм}$
- $L = 160 \text{ мм}$
- $d = 180 \text{ мм}$
- $\omega_2 = 50 \text{ м/с}$

Електронне навчальне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання контрольних робіт
із навчальної дисципліни

«ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ ТА МАШИН»

*(для здобувачів усіх форм навчання першого (бакалаврського)
рівня вищої освіти зі спеціальності 133 – Галузеве машинобудування)*

Укладачі: **БЛАЖКО** Володимир Володимирович,
АНИЩЕНКО Анна Ігорівна

Відповідальний за випуск *В. Є. Корсун*

Редактор *М. О. Гаман*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2024, поз. 292М

Підп. до друку 18.04.2024. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 2,8.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.