

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

# ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН

Методичні вказівки до вивчення освітньої компоненти  
для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»  
галузі знань 13 «Механічна інженерія»

Київ 2024

УДК 621.01

Т 33

Укладач К. І. Почка, доктор технічних наук, професор

Рецензент Д. А. Паламарчук, кандидат технічних наук, доцент

Відповідальний за випуск К. І. Почка, доктор технічних наук,  
професор

*Затверджено на засіданні кафедри професійної освіти,  
протокол № 9 від 22 січня 2024 року.*

В авторській редакції.

**Теорія** механізмів і машин: методичні вказівки до вивчення освітньої компоненти для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / уклад.: К.І. Почка. – Київ: ЦП «Компринт», 2024. – 72 с.

Подано мету та завдання вивчення освітньої компоненти, компетентності та програмні результати, які має опанувати здобувач, зміст курсу, змістові модулі, ключові слова тем, вимоги щодо підготовки до практичних і лабораторних занять та самостійної підготовки, вимоги до виконання і оформлення курсового проекту, методи контролю та оцінювання знань студентів, список навчально-методичного забезпечення для самостійної підготовки.

Призначено для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія» Київського національного університету будівництва і архітектури.

## ЗМІСТ

Загальні положення .....	4
Методичні рекомендації щодо підготовки і проведення практичних занять .....	10
Практичні заняття з освітньої компоненти «Теорія механізмів і машин» .....	15
Методичні рекомендації щодо підготовки і проведення лабораторних занять .....	36
Лабораторні заняття з освітньої компоненти «Теорія механізмів і машин» .....	41
Методичні рекомендації щодо виконання курсового проекту .....	51
Екзаменаційні питання з освітньої компоненти «Теорія механізмів і машин» .....	61
Методи контролю та оцінювання знань студентів .....	65
Список використаних та рекомендованих джерел до освітньої компоненти «Теорія механізмів і машин» .....	69

## Загальні положення

Технічний рівень окремих галузей народного господарства країни визначається рівнем машинобудування в цілому. Провідна роль машинобудування серед інших галузей народного господарства визначається тим, що основні виробничі процеси в усіх галузях промисловості, будівництві і сільському господарстві виконують машини.

Ефективність реконструкції і темпи економічного розвитку України в вирішальній мірі залежать від машинобудування. Саме в ньому матеріалізуються основні науковотехнічні ідеї, створюються нові знаряддя праці, системи машин, які визначають прогрес в інших галузях народного господарства. Тут закладаються основи широкого виходу на принципово нові ресурсозберігаючі технології, підвищення продуктивності праці і якості продукції.

Розвиток машинобудування і засобів автоматизації забезпечує можливість автоматичної роботи окремих машин, груп машин і автоматичних ліній в цехах заводів під контролем людини.

Створення нових, більш досконалих механізмів і машин вимагає розвитку існуючих і розробки сучасних інженерних методів дослідження і проектування цих машин. У вирішенні вищеназваних задач важлива роль належить курсу «Теорія механізмів і машин», який являється складовою у вивченні питань машинобудування.

Теорія механізмів і машин – інженерна дисципліна, що викладається в технічному закладі вищої освіти. Вона є основою для вивчення спеціальних дисциплін, таких як деталі машин, гідравліка та приводи механотронних систем, підйомно-транспортні машини, машини для земляних та дорожніх робіт, машини для виробництва будівельних матеріалів і конструкцій, технологія машинобудування, експлуатація та ремонт машин і обладнання. Для вивчення теорії механізмів і машин необхідні знання в першу чергу з інженерної та комп'ютерної графіки, математики, фізики та теоретичної механіки.

Дисципліна «Теорія механізмів і машин» вивчає основи побудови сучасних механізмів і машин, а також методи теоретичного і експериментального їх дослідження.

При вивченні курсу «Теорія механізмів і машин» розв'язуються дві основні задачі: аналізу та синтезу механізмів.

Аналіз механізмів полягає у вивченні методів дослідження існуючих механізмів. Наприклад, у кінематичному аналізі визначають траєкторії, швидкості і прискорення різних точок ланок механізмів. При цьому тут важливу роль відіграють головним чином методи дослідження, а не їхні результати. У подальшому методи, опановані в теорії механізмів, застосовують у спеціальних дисциплінах, де головну увагу звертають уже на результати дослідження.

Синтез механізмів є задачею зворотною аналізу, тобто при синтезі необхідно спроектувати механізм за заданими його структурними, кінематичними або динамічними властивостями. Але і в цьому випадку головну увагу приділяють саме методам синтезу, а не запроєктованим конкретним механізмам, які одержують у результаті дослідження.

Обов'язковим компонентом освітньо-професійних програм «Інженерія логістичних систем» та «Інжиніринг та обладнання зварювального виробництва» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія» є навчальна дисципліна «Теорія механізмів і машин».

**Метою викладання освітньої компоненти «Теорія механізмів і машин» є ознайомлення з методами дослідження властивостей механізмів і машин, розвинення у студентів навичок проектування схем механізмів машин машин, устаткування, механічних і біомеханічних системи та комплексів.**

**Основними завданнями вивчення освітньої компоненти «Теорія механізмів і машин» є:**

- вивчення основних видів механізмів, їхній структурний, кінематичний та динамічний аналіз;
- вивчення загальних методів синтезу найбільш поширених механізмів;
- ознайомлення з основами теорії машин-автоматів, маніпуляторів та промислових роботів;
- розвиток у студентів навичок самостійного аналізу та синтезу механізмів машин, устаткування, механічних і біомеханічних системи та комплексів.

**Компетентності здобувачів вищої освіти,  
що формуються в результаті засвоєння освітньої компоненти**

<b>Код</b>	<b>Зміст компетентності</b>
<b>Інтегральна компетентність</b>	
<b>ІК</b>	Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми в прикладній механіці або у процесі навчання, що передбачає застосування певних теорій та методів механічної інженерії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов
<b>Загальні компетентності</b>	
<b>ЗК 1</b>	Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу
<b>ЗК 2</b>	Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності
<b>ЗК 3</b>	Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми
<b>ЗК 4</b>	Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях
<b>ЗК 6</b>	Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків
<b>ЗК 7</b>	Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями
<b>ЗК 13</b>	Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт
<b>Спеціальні (фахові) компетентності</b>	
<b>ФК 1</b>	Здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки
<b>ФК 2</b>	Здатність робити оцінки параметрів працездатності матеріалів, конструкцій і машин в експлуатаційних умовах та знаходити відповідні рішення для забезпечення заданого рівня надійності конструкцій і процесів, в тому числі і за наявності деякої невизначеності
<b>ФК 5</b>	Здатність використовувати аналітичні та чисельні математичні методи для вирішення задач прикладної механіки, зокрема здійснювати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість в процесі статичного та динамічного навантаження з метою оцінки надійності деталей і конструкцій машин

<b>ФК 6</b>	Здатність виконувати технічні вимірювання, одержувати, аналізувати та критично оцінювати результати вимірювань
<b>ФК 10</b>	Здатність описувати та класифікувати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні основних механічних теорій та практик, а також базових знаннях суміжних наук

**Програмні результати здобувачів вищої освіти,  
що формуються в результаті засвоєння освітньої компоненти**

<b>Код</b>	<b>Програмні результати</b>
<b>РН 1</b>	Вибирати та застосовувати для розв'язання задач прикладної механіки придатні математичні методи
<b>РН 4</b>	Оцінювати надійність деталей і конструкцій машин в процесі статичного та динамічного навантаження
<b>РН 5</b>	Виконувати геометричне моделювання деталей, механізмів і конструкцій у вигляді просторових моделей і проєкційних зображень та оформлювати результат у виді технічних і робочих креслень
<b>РН 6</b>	Створювати і теоретично обґрунтовувати конструкції машин, механізмів та їх елементів на основі методів прикладної механіки, загальних принципів конструювання, теорії взаємозамінності, стандартних методик розрахунку деталей машин
<b>РН 8</b>	Знати і розуміти основи інформаційних технологій, програмування, практично використовувати прикладне програмне забезпечення для виконання інженерних розрахунків, обробки інформації та результатів експериментальних досліджень
<b>РН 10</b>	Знати конструкції, методики вибору і розрахунку, основи обслуговування і експлуатації приводів верстатного і робототехнічного обладнання
<b>РН 11</b>	Розуміти принципи роботи систем автоматизованого керування технологічним обладнанням, зокрема мікропроцесорних, вибирати та використовувати оптимальні засоби автоматики

Навчальна дисципліна вивчається у тісному взаємозв'язку з дисциплінами «Математика», «Фізика», «Теоретична механіка» та «Інженерна та комп'ютерна графіка».

Вивчення змісту освітньої компоненти передбачає активну самотійну роботу здобувачів вищої освіти. Її результати контролюються і оцінюються під час проведення всіх видів навчальних занять.

Під час вивчення Теорії механізмів і машин застосовуються такі види навчальної роботи: лекції, практичні заняття, лабораторні заняття, індивідуальне завдання – курсовий проект, консультації, залік, екзамен, а також самотійна робота студентів.

Робоча програма освітньої компоненти складається з трьох модулів, кожен з яких складається з двох змістових модулів:

Модуль 1. «Структурний, кінематичний та кінетостатичний аналіз механізмів».

*Змістовий модуль 1. «Структура та кінематика механізмів і машин».*

*Змістовий модуль 2. «Кінетостатичне дослідження механізмів».*

Модуль 2. «Динаміка механізмів і машин. Синтез механізмів».

*Змістовий модуль 1. «Динаміка механізмів і машин».*

*Змістовий модуль 2. «Синтез механізмів».*

Модуль 3. «Курсовий проект з дисципліни».

*Змістовий модуль 1. «Структурний, кінематичний та кінетостатичний аналіз механізмів».*

*Розділ №1. Структурний і кінематичний аналіз важільного механізму.*

*Розділ №2. Кінетостатичний аналіз важільного механізму*

*Змістовий модуль 2. «Динаміка механізмів. Синтез механізмів».*

*Розділ №3. Визначення моменту інерції маховика важільного механізму.*

*Розділ №4. Побудова профілю кулачка кулачкового механізму.*

*Розділ №5. Побудова картини евольвентного зубчастого зачеплення і проектування кінематичної схеми планетарного редуктора.*

Методичні вказівки складаються з таких розділів:

1. Методичні рекомендації щодо підготовки і проведення практичних занять.
2. Практичні заняття з освітньої компоненти «Теорія механізмів і машин».
3. Методичні рекомендації щодо підготовки і проведення лабораторних занять.
4. Лабораторні заняття з освітньої компоненти «Теорія механізмів і машин»
5. Методичні рекомендації щодо виконання курсового проекту.
6. Екзаменаційні питання з освітньої компоненти «Теорія механізмів і машин».
7. Методи контролю та оцінювання знань студентів.
8. Список використаних та рекомендованих джерел до освітньої компоненти «Теорія механізмів і машин».

## МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДГОТОВКИ І ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Значну роль у системі вищої освіти відіграють практичні заняття. Головне їхнє завдання – закріплення, переведення у довготривалу пам'ять теоретичних знань, формування та розвиток професійних компетентностей, оволодіння апаратом наукових досліджень. Практичне заняття – це форма навчального заняття, при якому викладач організовує детальний розгляд здобувачами вищої освіти окремих теоретичних положень навчальної дисципліни й формує в них навички та уміння їх практичного застосування шляхом індивідуального виконання відповідно сформульованих завдань. Перелік тем практичних занять визначається робочою програмою дисципліни. Зміст практичних занять забезпечує узгодженість нормативного та індивідуально-вибіркового компонентів навчально-пізнавальної діяльності здобувачів вищої освіти. Нормативний компонент виступає як зовнішній відносно здобувача вищої освіти досвід освітньої діяльності. Його носіями є відповідні матеріали (законодавчі та нормативно-правові документи, освітня програма), інформаційне забезпечення (аналітичні огляди, звіти, стандарти, монографії, статті, дисертації, підручники, посібники тощо) та діяльність суб'єктів освітнього (виробничого/навчально-виробничого) процесу. Індивідуально-вибірковий компонент є суб'єктивною програмою навчально-пізнавальної діяльності здобувача вищої освіти.

Практичні заняття можуть існувати у вигляді спеціальних, технічних і ряду інших. Особливе та надзвичайно важливе місце серед них посідають спеціальні заняття, які безпосередньо формують, розвивають і вдосконалюють майстерність. У закладах вищої освіти можна успішно організовувати та здійснювати рольові ігри, педагогічні практики, мозкові штурми, лабораторні роботи, тренування, які передбачають глибоку, всебічну і різноманітну підготовку їх учасників, уміння здійснити складні розумові дії та вимагають від них значних емоційно-вольових зусиль.

Мету практичних занять можна подати такими положеннями: закріплення знань шляхом активного повторення матеріалу лекцій, конкретизації і розширення цього матеріалу, його транспозиції на певні завдання; розвиток здатності самостійно використовувати отримані знання для виконання певних дій і отримання нових знань, навиків та умінь (професійних компетентностей); встановлення зв'язку закономірностей, формулювань, вимірювальних показників з практикою їхнього застосування; ознайомлення з науковими методами та засобами в їхньому практичному застосуванні; надбання експериментальних навиків та вмій; ознайомлення з різними методами аналізу та оцінки станів об'єкту вивчення, довідковими інформаційними матеріалами; опанування навиками та вміннями самостійного вирішення навчально-методичних та науково-практичних питань; інтеграція знань у певну систему та формування визначених компетентностей. Структура практичного заняття, як правило, може включати: інформаційно-дискусійний блок, що передбачає відпрацювання і обговорення змісту теоретичних понять, положень відповідної теми; практико-перетворювальний блок – різні види активно-інтерактивної навчально-пізнавальної діяльності, що сприяє оволодінню здобувачами вищої освіти технологічними аспектами вирішення навчальних завдань; рефлексивний блок, що передбачає роботу здобувачів вищої освіти з набутим професійним досвідом, самоідентифікацію з освоєваними професійно-особистісними позиціями, зі сформованою ситуацією взаємодії, самооцінку характеру просування в опануванні професійними компетентностями за відповідною темою; блок самоосвіти, що орієнтує на самостійне вивчення навчальних проблем, які вивчаються, з використанням як рекомендованої джерельної бази, так і ініційованої здобувачем вищої освіти.

З метою реалізації мети практичного заняття попередньо готується необхідний методичний матеріал – тести для визначення рівня оволодіння відповідними теоретичними положеннями та набір практичних завдань різного ступеня складності (репродуктивні, частково-пошукові, творчі).

Під час проведення заняття здійснюється попередній контроль знань, навичок і вмінь студентів, формулювання загальної проблеми та її обговорення, вирішення завдань та їх обговорення, розв'язування контрольних завдань, їх перевірка та оцінювання.

Основними формами організаційної роботи на практичних заняттях можуть бути: фронтальна, за якої студенти одночасно виконують певну практичну роботу – в такому разі наявний єдиний план і однакова послідовність дій для всієї групи; групова – коли студенти, поділені на підгрупи, виконують визначені за тематикою, змістом і планом практичні роботи; індивідуальна – за якої студенти виконують різні за тематикою, змістом і планом практичні роботи.

Робота над змістом навчальної теми включає опрацювання теоретичних питань, завдань, що передбачені для самостійного опрацювання, поглиблене вивчення літератури на дану тему та пошук додаткової інформації, систематизацію вивченого матеріалу, опрацювання опублікованих у фахових та інших виданнях статей, підготовка схем, таблиць, графіків, діаграм тощо. Таким чином, рекомендованою методикою організації та проведення практичного заняття може бути:

- попередня підготовка – вивчення студентами теоретичного матеріалу самостійно та ознайомлення з інструктивними матеріалами для усвідомлення завдань;

- консультування студентів з метою надання потрібної інформації для виконання завдань;

- проведення попереднього контролю як допуску до виконання конкретної практичної роботи;

- виконання студентами завдань згідно з тематикою – опрацювання, узагальнення отриманих результатів та оформлення звіту;

- контроль й оцінювання викладачем результату роботи студента.

План практичного заняття повинен узгоджуватися з відповідною спрямованістю лекційного курсу.

Порядок обліку і контролю на практичному занятті: контроль теоретичної підготовки, контроль самостійності при виконанні

практичних завдань, контроль за дотриманням правил техніки безпеки й охорони праці, охайності в роботі, контроль за виконанням звіту, оцінювання результатів навчально-пізнавальної діяльності кожного студента. Порядок контролю виконання завдань для самостійної роботи студентів: конспект опрацьованих теоретичних питань та практичних завдань.

Ефективність практичного заняття значною мірою залежить від упровадження елементів змагальності, здійснення диференційованого підходу, забезпечення прямого (планування, спеціальне конструювання завдань, контроль) і опосередкованого (вплив на мотивацію, настанови, перспективи студента) керівництва навчально-пізнавальною діяльністю.

Більш якісному проведенню практичних занять сприяє методично правильно проведений інструктаж – короткі, лаконічні та чіткі вказівки щодо виконання тих чи інших дій. Він, як правило, передує проведенню різних вправ, практичних робіт і характеризується дуже стислою формою викладання вказівок про місце, час і послідовність виконання певних практичних дій.

### **Вказівки до самостійної роботи студентів при підготовці до практичних занять**

Робоча програма дисципліни «Теорія механізмів і машин», крім аудиторних занять, передбачає обов'язково самостійну роботу студентів, яка має на меті поглиблення, розширення та систематизацію вже здобутих знань, формування і розвиток творчих навичок і вмінь роботи з навчальними матеріалами, науковою літературою тощо.

У процесі самостійної роботи студенти мають формувати та розвивати такі навички та уміння:

- організації самостійної навчальної діяльності;
- конспектування літературних джерел;
- самостійної роботи в бібліотеці з каталогами, літературними джерелами, електронним фондом бібліотеки КНУБА;

- роботи з навчальною, спеціальною, навчально-методичною, науковою та науково-популярною, довідковою літературою;
- опрацювання статистичної інформації.

Кожен студент для забезпечення ефективності своєї навчальної діяльності має раціонально її організувати. У зв'язку з цим важливим є правильне складання плану своєї навчальної діяльності. Необхідно, щоб цей план був реальним, оптимальним, послідовним і системним для того, щоб його реалізація дала позитивні результати.

Студент для ефективної підготовки до практичних занять та забезпечення успішності самостійної роботи значну частину часу має виділяти для роботи в бібліотеці та читальному залі. У зв'язку з цим йому необхідно особливу увагу звертати на культуру роботи з каталогами (алфавітним і тематичним), навчитися швидко знаходити у них необхідну літературу. Суттєвою допомогою студенту може бути його власний тематичний каталог з проблем спеціальності, що суттєво впорядковує, систематизує, сприяє економії часу та сприяє ефективній навчальній діяльності. В цей каталог, як правило, входять монографії, підручники, навчальні та навчально-методичні посібники, брошури, наукові статті та методичні матеріали.

Процес читання літератури має відбуватися повільно, вдумливо, до незрозумілих проблемних питань слід обов'язково повертатися, наводити довідки, щоб усвідомити суть думки автора. Нові наукові терміни та поняття слід відразу ж з'ясувати за тлумачними словниками, енциклопедіями або спеціалізованими довідниками. У процесі роботи з літературою корисно робити виписки найважливіших думок, формулювань, окремих висловів на окремих аркушах паперу із зазначенням автора, джерела, сторінок і абзаців. Для кращого засвоєння матеріалу, розвитку творчого мислення основний зміст прочитаного доцільно формулювати та записати у вигляді тез.

Конспект є стислим викладом суті опрацьованого наукового і навчального матеріалів, тому він має бути стислим, змістовним і записаним своїми словами в змістовній формі, що сприяє кращому засвоєнню навчального матеріалу.

# **ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ З ОСВІТНЬОЇ КОМПОНЕНТИ «ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН»**

**Модуль 1. «Структурний, кінематичний та кінетостатичний аналіз механізмів».**

**Змістовий модуль 1. «Структура та кінематика механізмів і машин».**

**Практичне заняття 1. Структурний аналіз механізму (2 год.).**

## **Теоретичні питання**

1. Структурний аналіз механізму з групами Ассура II класу.
2. Структурний аналіз механізму з вищими кінематичними парами.

## **Основні поняття**

Проектування нових механізмів або дослідження вже існуючих починається зі складання кінематичної схеми механізму – його графічного зображення в масштабі із застосуванням умовних позначень ланок і кінематичних пар.

Кінематична схема, виконана без масштабу, називається структурною схемою. На цих схемах ланки нумерують цифрами, а кінематичні пари – заголовними літерами латинського алфавіту.

Структурний аналіз механізму включає вирішення таких завдань:

- виявлення характеру руху ланок і видів кінематичних пар;
- визначення ступеня рухомості механізму;
- заміна механізму з вищими кінематичними парами на механізми з нижчими кінематичними парами;
- розчленування механізму на структурні групи;
- визначення класу механізму і складання формули його побудови.

## **Завдання для самостійної роботи студентів**

1. Опрацюйте теоретичні питання. Розкрийте зміст основних понять з теми:

- Ланка, кінематичні пари, та їхня класифікація;
- Кінематичні ланцюги та механізми, їхні структурні формули;
- Початковий механізм. Групи Ассура та їхня класифікація.

Послідовність утворення плоского механізму за Ассуром;

- Кінематичні та структурні схеми механізмів;
- Класифікація плоских механізмів;
- 2. Питання для самостійного опрацювання:
- Порядок проведення структурного аналізу механізму.

**Практичне заняття 2. Побудова плану положень механізму. Побудова кінематичних діаграм переміщення, швидкості і прискорення вихідної ланки важільного механізму (2 год.).**

### **Теоретичні питання**

1. Побудова плану положень механізму з групами Ассура II класу.
2. Побудова кінематичних діаграм.

### **Основні поняття**

Кінематичний аналіз механізму – це дослідження руху ланок за заданим законом руху ведучої ланки без врахування сил, що спричиняють цей рух, тобто розглядається рух ланок з геометричної точки зору, з урахуванням лише фактора часу.

Як відомо, будь-який рух тіла характеризується переміщенням його у просторі, швидкістю та прискоренням його точок.

Звідси й випливають основні задачі кінематичного аналізу механізмів:

1. визначення положень ланок механізму, побудова траєкторій його окремих точок і визначення переміщень ланок в процесі його руху;
2. визначення кутових швидкостей ланок та лінійних швидкостей окремих точок механізму;
3. визначення кутових прискорень ланок та лінійних прискорень окремих точок механізму.

Для розв'язання задачі побудови плану положень механізму необхідно задати кінематичну схему механізму (розміри всіх його ланок) та закон руху початкової (ведучої) ланки. У практиці інженерних розрахунків при кінематичному дослідженні механізмів, як правило, рух ведучої ланки вважають лінійним, тобто рівномірним. При кінематичному дослідженні всі ланки механізму умовно

вважаються абсолютно твердими тілами, тобто розміри ланок незмінні, а зв'язки між ними ідеальні (у кінематичних парах відсутні зазори), всі ланки виготовлені абсолютно точно.

### **Завдання для самостійної роботи студентів**

1. Опрацюйте теоретичні питання. Розкрийте зміст основних понять з теми:

- Задачі кінематичного аналізу механізмів;
- Визначення положень ланок механізму і траєкторій окремих точок;
- План положень механізму.
- Побудова графічних діаграм переміщення окремих точок і ланок механізму.

2. Питання для самостійного опрацювання:

- Графічне диференціювання діаграм переміщення;
- Побудова кінематичних діаграм кутових переміщення, швидкості і прискорення вихідної ланки важільного механізму, що здійснює хитний рух.

### **Практичне заняття 3. Побудова планів швидкостей механізму (2 год.).**

#### **Теоретичні питання**

1. Побудова плану швидкостей механізму з групами Ассура II класу 1, 2 і 3 видів.
2. Визначення кутових швидкостей ланок механізму.

#### **Основні поняття**

План швидкостей – графічна побудова в деякому масштабі векторів дійсних та відносних швидкостей ланок і точок механізму.

Плани швидкостей будують для окремих структурних груп Л.В. Ассура, за умови, що швидкості кінематичних пар, якими ця група приєднана до основного механізму, відомі або можуть бути легко знайдені. Швидкість внутрішньої кінематичної пари групи Л.В. Ассура визначається через відносний рух ланок цієї пари шляхом складання векторних рівнянь. Побудова плану швидкостей починається з групи Л.В. Ассура, що першою приєднується до ведучої ланки.

### **Завдання для самостійної роботи студентів**

1. Опрацюйте теоретичні питання. Розкрийте зміст основних понять з теми:

- Методика побудови планів швидкостей механізмів;
- Плани швидкостей для механізму з групами Ассура II класу 2 і 3 видів;
- Визначення кутових швидкостей ланок механізму;

2. Питання для самостійного опрацювання:

- Побудова плану швидкостей механізму з групами Ассура II класу 1 виду.

### **Практичне заняття 4. Побудова планів прискорень механізму (2 год.).**

#### **Теоретичні питання**

1. Побудова плану прискорень механізму з групами Ассура II класу 1, 2 і 3 видів.
2. Визначення кутових прискорень ланок механізму.

#### **Основні поняття**

План прискорень – графічна побудова в деякому масштабі векторів дійсних та відносних прискорень ланок і точок механізму.

Плани прискорень, як і плани швидкостей, будуються для окремих структурних груп Л.В. Ассура за умови, що прискорення кінематичних пар, якими ця група приєднана до основного механізму, відомі або можуть бути легко знайдені. Прискорення внутрішньої кінематичної пари групи Л.В. Ассура визначається через відносний рух ланок цієї пари шляхом складання векторних рівнянь. Побудова плану прискорень починається з групи Л.В. Ассура, що першою приєднується до ведучої ланки.

### **Завдання для самостійної роботи студентів**

1. Опрацюйте теоретичні питання. Розкрийте зміст основних понять з теми:

- Методика побудови планів прискорень механізмів;
- Плани прискорень для механізму з групами Ассура II класу 2 і 3 видів;

- Визначення кутових прискорень ланок механізму.
- 2. Питання для самостійного опрацювання:
- Побудова плану прискорень механізму з групами Ассура II класу I виду.

## **Змістовий модуль 2. «Кінетостатичне дослідження механізмів».**

### **Практичне заняття 5. Визначення сил, що діють на ланки механізму (4 год.).**

#### **Теоретичні питання**

1. Визначення сил тяжіння ланок.
2. Визначення сил опору, що діють на ланки механізму.
3. Визначення сил інерції ланок.
4. Визначення моментів від сил інерції ланок.

#### **Основні поняття**

Задачею кінетостатичного (силового) аналізу є визначення всіх сил, що діють на ланки механізму під час його руху, а також зрівноважувальної сили або моменту.

Знання діючих сил необхідне для того, щоб провести розрахунки на міцність ланок механізму, визначити тертя і зношування в елементах кінематичних пар, визначити необхідну потужність двигуна приводу. Маючи певні значення сил, можна побудувати механізм або машину.

Щоб визначити всі діючі сили, необхідно знати дійсний закон руху механізму. Однак на початку проектування механізмів і машин ці закони також невідомі. В зв'язку з цим розрахунки діючих сил проводяться в декілька етапів. На першому етапі законом руху механізму задаються і розв'язується перша задача динаміки. Тобто за відомим законом руху визначаються сили, що діють на ланки механізму. При цьому для розрахунку діючих сил використовується принцип Даламбера, сутність якого полягає в тому, що рухома система тіл перебуває в рівновазі в кожний момент часу під дією зовнішніх сил, із врахуванням сил інерції, тобто сил, які виникають під час руху.

В результаті такого розрахунку наближено визначаються всі сили, що діють на ланки механізму. Після цього проводиться розрахунок ланок на міцність, визначається їхня маса, а також необхідна потужність двигуна для здійснення даного руху.

Як відомо з курсу теоретичної механіки, під силою розуміється взаємодія тіл при передачі або перетворенні руху. У динаміці механізмів під силою розуміється як причина зміни механічного стану тіла, так і опір, який виникає при цьому.

Сили, що діють на ланки механізму, можна поділити на три категорії (групи):

1. зовнішні сили (як правило, відомі), до яких входять сили корисного і шкідливого опору, що діють на ланки механізму; сили тяжіння ланок і рушійні сили, що прикладаються, як правило, до ведучої ланки механізму;

2. внутрішні сили – реакції в кінематичних парах механізму, які необхідно визначати в процесі силового розрахунку;

3. сили, що виникають в процесі руху механізму – сили інерції.

### **Завдання для самостійної роботи студентів**

1. Опрацюйте теоретичні питання. Розкрийте зміст основних понять з теми:

- Задачі силового аналізу механізму;
- Сили опору, сили тяжіння ланок, сили інерції ланок;
- Зведення головного вектора і головного моменту сил інерції ланок до однієї сили;

2. Питання для самостійного опрацювання:

- Рушійні сили приводного механізму;
- Визначення сил інерції при поступальному, обертальному та плоско-паралельному русі ланок.

## **Практичне заняття 6. Визначення реакцій в кінематичних парах важільного механізму (4 год.).**

### **Теоретичні питання**

1. Визначення реакцій в кінематичних парах структурних груп Ассура II класу 1 виду.

2. Визначення реакцій в кінематичних парах структурних груп Ассура II класу 2 виду.

3. Визначення реакцій в кінематичних парах структурних груп Ассура II класу 3 виду.

### Основні поняття

Реакція в кінематичній парі – це сила взаємодії однієї ланки з іншою в кінематичній парі з'єднання цих ланок.

В поступальній кінематичній парі  $V$  класу відомим є напрямок реакції, але невідомі модуль та точка прикладання цих реакцій до контактуючих ланок. В багатьох випадках на початковій стадії розрахунку тангенціальну складову реакції, яка є силою тертя між ланками, не враховують, оскільки вона на порядок менша нормальної складової. При відносному русі ланок нормальна складова реакції не виконує роботи, оскільки вона направлена перпендикулярно до відносної швидкості поверхонь контакту цих ланок. Тангенціальна складова завжди направлена протилежно відносній швидкості руху ланок і виконує від'ємну роботу, тобто для її подолання необхідно прикласти зовнішню енергію. Ця реакція буде створювати шкідливу роботу сил опору.

В обертальній кінематичній парі  $V$  класу відомою є точка прикладання нормальної складової реакції (вона проходить через центр шарніра), а невідомі модуль і напрямок дії цієї реакції.

Для визначення реакцій у кінематичних парах механізму для кожної ланки, а також для кожної групи Ассура складаються рівняння рівноваги, які називаються рівняннями кінетостатики. Ці рівняння складаються на базі принципу Даламбера, згідно з яким окремі рухомі ланки можна розглядати як такі, що перебувають в рівновазі, якщо до рівнянь статички додати всі сили інерції, що діють на ці ланки.

Отримані рівняння можуть бути розв'язані аналітичним або графоаналітичним методом. В курсі теорії механізмів і машин використовується графоаналітичний метод – метод побудови силових діаграм (планів сил).

Суть цього методу полягає в тому, що рівняння кінетостатики суми моментів усіх сил відносно певної точки розв'язується

аналітично для кожної окремої ланки механізму, а рівняння векторної суми всіх сил – графічно, окремо для кожної ланки або кожної групи Ассура. При розгляді рівноваги окремої ланки або групи Ассура використовується метод звільнення від в'язів, згідно з яким при відокремленні окремої ланки або групи Ассура від механізму в'язі замінюються реакціями в'язів. Причому в обертальній кінематичній парі, в якій відома точка прикладання реакції, а невідомий її напрямок, остання розкладається на дві складові – нормальну і дотичну (тангенціальну).

### **Завдання для самостійної роботи студентів**

1. Опрацюйте теоретичні питання. Розкрийте зміст основних понять з теми:

- Методи визначення реакцій в кінематичних парах;
- Послідовність визначення реакцій в кінематичних парах методом планів;
- Визначення реакцій в кінематичних парах механізмів структурних груп Ассура II класу 1, 2 і 3 виду;

2. Питання для самостійного опрацювання:

- Умови статичної визначеності плоских кінематичних ланцюгів;
- Визначення реакцій в кінематичних парах механізмів структурних груп Ассура II класу 4 і 5 виду.

### **Практичне заняття 7. Кінетостатика ведучої ланки. Побудова важеля Жуковського (2 год.).**

#### **Теоретичні питання**

1. Визначення реакцій в кінематичній парі ведучої ланки та зрівноважувальної сили методами кінетостатики.

2. Визначення зрівноважувальної сили за методом професора Жуковського.

#### **Основні поняття**

Користуючись методом кінетостатичного аналізу, крім реакцій в кінематичних парах, можна визначати також величину зрівноважувальної сили або зрівноважувального моменту, який повинен

створити двигун для забезпечення рівноважного стану. Однак, при цьому необхідно попередньо послідовно розглядати рівновагу всіх груп Ассура, які входять до складу механізму, і визначити вплив веденої частини механізму на ведучу ланку.

Такий порядок розрахунку доцільний лише у тому випадку, коли зусилля, що визначаються в кінематичних парах, використовуються конструктором при розрахунку ланок на міцність. У тих випадках, коли перед конструктором стоїть завдання визначити лише зрівноважувальну силу (чи момент), цей метод досить громіздкий. Величину зрівноважувального моменту (сили) можна визначити більш простим способом, використовуючи теорему М.Є. Жуковського про жорсткий важіль:

Якщо будь-який механізм під дією сил  $F_1, F_2, \dots, F_n$  перебуває у стані рівноваги, то у стані рівноваги перебуває також і повернутий на кут  $\frac{\pi}{2}$  план швидкостей, який розглядається як жорсткий важіль, що обертається навколо полюса  $p$  і навантажений тими ж силами  $F_1, F_2, \dots, F_n$ , що прикладені у відповідні точки плану швидкостей.

При цьому сума моментів усіх цих сил, включаючи зрівноважувальну силу, відносно полюса плану швидкостей дорівнює нулю. Метод цей дістав назву методу М.Є. Жуковського, а важіль, що використовується у цьому методі, названо важелем М.Є. Жуковського.

Теорема М.Є. Жуковського справедлива для будь-якого механізму з одним ступенем вільності і будь-якого розташування сил. Метод Жуковського може бути застосований для знаходження величини невідомої сили, якщо точка прикладення її та напрямок задані, а також відомі всі інші сили, що прикладені до ланок механізму.

### **Завдання для самостійної роботи студентів**

1. Опрацюйте теоретичні питання. Розкрийте зміст основних понять з теми:

- Кінетостатика ведучої ланки;
- Визначення рушійної сили методом проф. Жуковського.

2. Питання для самостійного опрацювання:
- Теорема Жуковського про жорсткий важіль.

**Модуль 2. «Динаміка механізмів і машин. Синтез механізмів».**  
**Змістовий модуль 1. «Динаміка механізмів і машин».**

**Практичне заняття 8. Побудова динамічної моделі механізму (2 год.).**

**Теоретичні питання**

1. Визначення зведеного моменту інерції заданого механізму.
2. Визначення зведених моментів сил опору і рушійних сил.

**Основні поняття**

Динаміка механізмів і машин – це така дисципліна, яка вивчає рух механізмів і машин під дією прикладених сил. У розділі кінетостатики (силовий аналіз механізмів) визначались діючі сили на ланки механізму, включаючи сили інерції. Сили інерції виникають в результаті руху. Однак ці сили визначались при постійній кутовій швидкості ведучої ланки. В дійсності кутова швидкість ведучої ланки є змінною величиною, яка залежить від діючих навантажень та розподілення мас ланок механізму.

Задачі динаміки є досить складними в порівнянні зі статикою та кінетостатикою. Тому здійснюється спрощення механізмів і вони представляються у вигляді динамічних моделей. При побудові динамічних моделей використовуються такі припущення.

1. Вважається, що всі ланки механізму є абсолютно твердими тілами, тобто пружні деформації не враховуються.
2. Кінематичні пари є абсолютно щільними, тобто співударі що виникають в наслідок неминучих зазорів, не враховуються.
3. Маса всіх ланок і їхні моменти інерції є відомими величинами.
4. Зовнішні сили, що діють на ланки механізму також є відомими величинами.

При значних силах опору можна не враховувати ККД (коефіцієнт корисної дії) окремих механізмів (тертя в кінематичних парах).

У динаміці механізмів і машин механізми або машини представляються у вигляді певних мас, що здійснюють поступальний або обертальний рух з прикладеними до них зведеними силами.

Машинний агрегат вміщує в собі привідний двигун, передаточний механізм і робочу машину (робочий орган).

### **Завдання для самостійної роботи студентів**

1. Опрацюйте теоретичні питання. Розкрийте зміст основних понять з теми:

- Перша задача динаміки машинних агрегатів;
- Визначення зведеного моменту інерції машинного агрегату;
- Визначення зведених сил (моментів) машинного агрегату;
- Рівняння руху машинного агрегату в формі кінетичної енергії;

2. Питання для самостійного опрацювання:

- Друга задача динаміки машинних агрегатів;
- Режими руху механізмів;
- Рівняння руху в формі диференціальних рівнянь;

### **Практичне заняття 9. Визначення моменту інерції маховика методом Віттенбауера (4 год.).**

#### **Теоретичні питання**

1. Побудова графіків зміни зведених моментів сил опору і рушійних сил.

2. Побудова графіків зміни роботи сил опору і рушійних сил.

3. Побудова графіків зміни кінетичної енергії механізму та його зведеного моменту інерції.

4. Побудова діаграми Віттенбауера.

5. Визначення моменту інерції маховика і його конструктивних параметрів.

#### **Основні поняття**

При проведенні силового аналізу механізмів вважається, що ведуча ланка обертається з постійною кутовою швидкістю. Як показують реальні рухи механізмів – ця кутова швидкість є змінною величиною. Зміна цієї швидкості може бути періодичною або аперіодичною.

На ділянці усталеного руху кутова швидкість ведучої ланки змінюється в межах від мінімального до максимального її значення.

При такому русі у механізмі спостерігається нерівномірність руху, яка може бути оцінена певними коефіцієнтами.

Причиною нерівномірності руху механізму є змінність у часі рушійних сил та сил опору, а також змінність зведеного моменту інерції всього механізму. При зменшенні сил опору кутова швидкість ведучої ланки зростає і навпаки – при збільшенні сил опору швидкість спадає. При збільшенні рушійних сил швидкість зростає і навпаки. Однією із задач при динамічному дослідженні механізмів є задача зменшення коливань кутової швидкості ведучої ланки і, як наслідок, нерівномірності руху механізму. Для досягнення поставленої мети необхідно на вал ведучої ланки встановити додаткову масу. Це приведе до збільшення кінетичної енергії механізму за рахунок збільшення його зведеного моменту інерції. Збільшення кінетичної енергії механізму дає можливість її перерозподіляти. При збільшенні швидкості руху додаткова маса накопичує кінетичну енергію і не дає можливості значно збільшуватись швидкості ведучої ланки і навпаки – при зменшенні швидкості ведучої ланки додаткова маса віддає свою енергію на подолання опору, тим самим не дає можливості значно зменшуватись швидкості ведучої ланки.

Чим більша буде встановлена додаткова маса, тим менша буде різниця між максимальним та мінімальним значеннями кутової швидкості ведучої ланки. Таким чином, шляхом встановлення на вал ведучої ланки додаткової маси можна регулювати швидкість руху ведучої ланки. Ця додаткова маса називається маховим колесом або маховиком. Оскільки маховик здійснює обертальний рух, то його інерційність характеризується моментом інерції.

Для динамічного дослідження механізмів при заданому значенні коефіцієнта нерівномірності руху необхідно визначити момент інерції та геометричні параметри маховика.

Метод професора Ф. Віттенбауера базується на теоремі про зміну кінетичної енергії механізму, є графоаналітичним, тому точність його залежить від точності графічних побудов.

## **Завдання для самостійної роботи студентів**

1. Опрацюйте теоретичні питання. Розкрийте зміст основних понять з теми:

- Побудова діаграми Віттенбауера і визначення кутової швидкості ланки зведення;
- Основні характеристики механізму, необхідні для визначення моменту інерції маховика;
- Визначення моменту інерції маховика методом професора Ф. Віттенбауера;
- Визначення параметрів маховика.

2. Питання для самостійного опрацювання:

- Побудова графіків зведених моментів сил опору і рушійних сил, а також роботи цих сил;
- Побудова графіків зміни кінетичної енергії механізму і його зведеного моменту інерції;
- Визначення моменту інерції маховика за методами надлишкової роботи та професора Мерцалова.

## **Змістовий модуль 2. «Синтез механізмів».**

**Практичне заняття 10. Синтез центрового кулачкового механізму з голчастим та роликівим штовхачем (4 год.).**

### **Теоретичні питання**

1. Графічне інтегрування аналога прискорень штовхача і визначення аналога швидкості і переміщення.
2. Визначення мінімального радіуса кулачка центрового кулачкового механізму з голчастим та роликівим штовхачем.
3. Побудова теоретичного і практичного (дійсного) профілів кулачка центрового кулачкового механізму з роликівим штовхачем.

### **Основні поняття**

Кулачковим називається механізм з вищими і нижчими кінематичними парами, в яких рівномірний рух ведучої ланки (кулачка) перетворюється в нерівномірний рух веденої ланки (штовхача). Кулачкові механізми набули широкого поширення в автоматичних пристроях регулювання робочими процесами машин.

За характером руху кулачкові механізми поділяються на плоскі та просторові. Якщо ланки кулачкового механізму рухаються у одній площині, то це плоский механізм, а якщо хоча б одна ланка рухається у просторі – просторовий. За типом штовхача кулачкові механізми поділяються на: механізми із голчастим штовхачем, із роликівим штовхачем, із тарілчастим (плоским) штовхачем, а також коромислові кулачкові механізми.

За розташуванням штовхача кулачкові механізми також поділяються на центрові та позацентрові. Центровий – це такий кулачковий механізм, у якого вісь переміщення штовхача співпадає з віссю обертання кулачка. У позацентрового кулачкового механізму між віссю переміщення штовхача та віссю обертання кулачка є зміщення, яке називається ексцентриситетом.

При дослідженні кулачкових механізмів розв'язуються дві основні задачі: задача аналізу та задача синтезу.

У задачі аналізу кулачкового механізму заданими є кулачковий механізм з усіма його геометричними параметрами, а також заданим є закон руху ведучої ланки (кулачка). В цій задачі необхідно знайти закон руху веденої ланки (штовхача або коромисла).

Задача синтезу кулачкового механізму – це зворотна задача аналізу. При її розв'язуванні заданими є закон руху ведучої ланки (кулачка) та закон руху веденої ланки (штовхача або коромисла). Необхідно визначити всі геометричні параметри кулачкового механізму, величину ексцентриситету (для механізму із штовхачем) або міжосьову відстань (для коромислового кулачкового механізму), а також побудувати профіль кулачка. Саме задача синтезу кулачкового механізму розв'язується у процесі виконання курсового проекту із теорії механізмів і машин.

Синтез кулачкових механізмів можна розділити на два етапи. На першому етапі, який називається динамічним синтезом, необхідно визначити основні розміри механізму, зокрема мінімальний радіус кулачка. На другому етапі, який називається кінематичним синтезом, необхідно за заданими законами руху ведучої (кулачка) та веденої (штовхача або коромисла) ланок побудувати профіль кулачка.

У центровому кулачковому механізмі штовхач переміщується по напрямній, що співпадає з віссю обертання кулачка. Для синтезу такого механізму заданими є закон руху штовхача, закон руху кулачка (значення його кутової швидкості), значення ексцентриситету (дорівнює нулю, оскільки механізм центровий). Необхідно визначити параметри кулачка та побудувати його профіль.

### **Завдання для самостійної роботи студентів**

1. Опрацюйте теоретичні питання. Розкрийте зміст основних понять з теми:

- Графічне інтегрування другої передаточної функції штовхача і визначення його першої передаточної функції та переміщення;
- Кут передачі руху центрального кулачкового механізму;
- Визначення мінімального радіуса кулачка за допомогою діаграми залежності переміщення штовхача від його першої передаточної функції;
- Побудова профіля кулачка методом обернення руху;
- Теоретичний і практичний профілі кулачка.

2. Питання для самостійного опрацювання:

- Кут тиску центрального кулачкового механізму;
- Графічне визначення функції зміни кута передачі руху;
- Визначення радіуса ролика центрального кулачкового механізму з роликівим штовхачем.

**Практичне заняття 11. Синтез позацентрального кулачкового механізму з голчастим та роликівим штовхачем (2 год.).**

### **Теоретичні питання**

1. Визначення мінімального радіуса кулачка позацентрального кулачкового механізму з голчастим та роликівим штовхачем.

2. Побудова теоретичного і практичного (дійсного) профілів кулачка позацентрального кулачкового механізму з голчастим та роликівим штовхачем.

### **Основні поняття**

У позацентральному кулачковому механізмі штовхач переміщується по напрямній, що не співпадає з віссю обертання кулачка. Для

синтезу такого механізму заданими є закон руху штовхача, закон руху кулачка (значення його кутової швидкості), значення ексцентрики-тету. Необхідно визначити параметри кулачка та побудувати його профіль.

### **Завдання для самостійної роботи студентів**

1. Опрацюйте теоретичні питання. Розкрийте зміст основних понять з теми:

- Кут передачі руху позацентрового кулачкового механізму;
- Визначення мінімального радіуса кулачка за допомогою діаграми залежності переміщення штовхача від його першої передаточної функції позацентрового кулачкового механізму з голчастим та роликковим штовхачем;
- Побудова профіля кулачка позацентрового кулачкового механізму з голчастим та роликковим штовхачем методом обернення руху;

2. Питання для самостійного опрацювання:

- Кут тиску позацентрового кулачкового механізму;
- Визначення радіуса ролика позацентрового кулачкового механізму з роликковим штовхачем.

## **Практичне заняття 12. Синтез центрового та позацентрового кулачкового механізму з тарілчастим штовхачем (2 год.).**

### **Теоретичні питання**

1. Визначення мінімального радіуса кулачка центрового та позацентрового кулачкового механізму з тарілчастим штовхачем.

2. Побудова профілю кулачка кулачкового механізму з тарілчастим штовхачем.

### **Основні поняття**

У кулачковому механізмі з тарілчастим штовхачем, на відміну від двох попередніх механізмів, кут передачі руху (кут між штовхачем та тарілкою) незмінний. Також в цьому механізмі, незалежно від того центровий він чи позацентровий, профіль кулачка будується аналогічно. Для синтезу такого механізму заданими є закон руху штовхача, закон руху кулачка (значення його кутової швидкості),

значення ексцентриситету та кут передачі руху. Необхідно визначити параметри кулачка та побудувати його профіль.

### **Завдання для самостійної роботи студентів**

1. Опрацюйте теоретичні питання. Розкрийте зміст основних понять з теми:

– Кут передачі руху кулачкового механізму з тарілчастим штовхачем;

– Визначення мінімального радіуса кулачка за допомогою діаграми залежності переміщення штовхача від його другої передаочної функції кулачкового механізму з тарілчастим штовхачем (метод Геронімуса);

– Побудова профіля кулачка центрального та позацентрального кулачкового механізму з тарілчастим штовхачем;

2. Питання для самостійного опрацювання:

– Умовний мінімальний радіус кулачка кулачкового механізму з тарілчастим штовхачем;

– Забезпечення опуклості кулачка кулачкового механізму з тарілчастим штовхачем.

### **Практичне заняття 13. Синтез коромислового кулачкового механізму (2 год.).**

#### **Теоретичні питання**

1. Визначення мінімального радіуса кулачка коромислового кулачкового механізму.

2. Побудова теоретичного і практичного (дійсного) профілів кулачка коромислового кулачкового механізму.

#### **Основні поняття**

В коромисловому кулачковому механізмі, на відміну від кулачкових механізмів із штовхачем, ведена ланка здійснює хитний рух, тобто обертальний рух кулачка приводить до відхилення на деякий кут коромисла. Для синтезу такого механізму заданими є закон руху коромисла та його довжина, закон руху кулачка та кут передачі руху. Необхідно визначити параметри кулачка та побудувати його профіль.

## **Завдання для самостійної роботи студентів**

1. Опрацюйте теоретичні питання. Розкрийте зміст основних понять з теми:

- Кут передачі руху коромислового кулачкового механізму;
- Визначення мінімального радіуса кулачка за допомогою діаграми залежності кутового переміщення коромисла від його першої передаточної функції коромислового кулачкового механізму;
- Побудова профіля кулачка коромислового кулачкового механізму методом обернення руху;

2. Питання для самостійного опрацювання:

- Кут тиску коромислового кулачкового механізму;
- Визначення радіуса ролика коромислового кулачкового механізму.

## **Практичне заняття 14. Синтез евольвентного прямозубого зубчастого зачеплення (2 год.).**

### **Теоретичні питання**

1. Визначення параметрів зубчастого зачеплення.
2. Побудова картини евольвентного зубчастого зачеплення.
3. Визначення якісних характеристик евольвентного зубчастого зачеплення.

### **Основні поняття**

Для перетворення або передачі механічного руху у механізмах і машинах використовуються передачі. В загальному випадку передачі можуть виконувати ряд функцій: розподіляти енергію між механізмами; знижувати або підвищувати швидкість ланок; перетворювати рух (наприклад, із обертального в поступальний або навпаки); здійснювати пуск, зупинку і реверсування механізму або машини.

Використання передач здебільшого зумовлене різницею швидкостей робочих органів машин і привідних двигунів, необхідністю одним двигуном приводити в рух декілька механізмів, змінювати швидкість машини при постійній швидкості вибраного двигуна, передавати рух на значну відстань.

У процесі проектування механізмів і машин вибір виду передачі залежить від конкретних умов проектування та вимог до приводу

механізму або машини. Основні вимоги до передач: надійність і необхідна довговічність; простота конструкції; компактність і невеликі габаритні розміри; малий опір руху, особливо в момент пуску двигуна; висока точність перетворення руху; можливість отримати найменшого значення зведеного до вала двигуна моменту інерції обертальних ланок; безшумність дії і висока вібростійкість, а також простота керування. При виборі виду передачі також враховуються технологічні вимоги, що висуваються до машини, наприклад, постійність передаточного відношення, коефіцієнт корисної дії, маса, точність і вартість виготовлення передачі.

Під час вивчення дисципліни «Основи теорії механізмів і машин» основна увага приділяється зубчастим передачам.

Зубчастою передачею називається триланковий механізм, у якому два рухомі зубчасті колеса утворюють із стояком обертальну нижчу кінематичну пару, а між собою – вищу кінематичну пару. У таких механізмах передача руху здійснюється механічним зачепленням – зачеплення зубів ведучого колеса за зуби веденого. Ведуче зубчасте колесо називається шестірня, ведене – зубчасте колесо.

Для побудови головного профілю зубців циліндричних зубчастих коліс, що використовуються в машинобудуванні, найчастіше застосовується евольвентний профіль. Широке використання евольвенти при проектуванні профілів зубців пояснюється низкою важливих властивостей.

### **Завдання для самостійної роботи студентів**

1. Опрацюйте теоретичні питання. Розкрийте зміст основних понять з теми:

- Терміни і визначення в теорії зубчастих зачеплень;
- Основна теорема зачеплення;
- Евольвента та її властивості;
- Основні параметри евольвентних коліс нарізаних рейкою;
- Якісні характеристики зубчастого зачеплення.

2. Питання для самостійного опрацювання:

- Теорема про спряженість рейки і колеса;
- Теорема про спряженість двох евольвентних коліс;
- Косозубі та шевронні евольвентні зубчасті передачі.

## **Практичне заняття 15. Синтез планетарного зубчастого механізму (2 год.).**

### **Теоретичні питання**

1. Визначення параметрів планетарного зубчастого механізму
2. Аналітичне визначення передаточного відношення планетарного зубчастого механізму.
3. Визначення кількості сателітів з урахуванням умов сусідства і складання.
4. Визначення передаточного відношення планетарного зубчастого механізму графічним методом.

### **Основні поняття**

У деяких багатоланкових зубчастих передачах осі окремих коліс є рухомими. Такі зубчасті механізми з одним ступенем рухомості називаються планетарними механізмами, а з двома і більше ступенями рухомості – диференціальними механізмами, або просто диференціалами. Колеса з рухомими осями називаються планетарними або сателітами, а ланка, на якій розміщена вісь сателітів, – водилом. Зубчасті колеса з нерухомими осями обертання називаються сонячними або центральними.

Планетарні механізми широко використовуються в зубчастих редукторах як механізми для виконання складного руху робочих органів машин. Для проектування планетарного редуктора за заданою схемою та кількістю зубів його зубчастих коліс основними задачами є: визначення передаточного відношення редуктора; перевірка умови співвісності; визначення за умовою сусідства максимально-можливої кількості сателітів та уточнення їх кількості за умовою складання; побудова перерізу та картин лінійних і кутових швидкостей елементів редуктора. Перевірка умови співвісності планетарного редуктора виконується для того, щоб знати чи співпадають осі центральних коліс редуктора. Із умови сусідства визначається максимально-можлива кількість сателітів за умови, що вони не контактують між собою, тобто між сателітами є зазори. Для того, щоб планетарний редуктор міг бути зібраним і сателіти були розміщені в ньому рівномірно, тобто центральні кути між сателітами були однакові, необхідно уточнити їх кількість за умовою складання.

## **Завдання для самостійної роботи студентів**

1. Опрацюйте теоретичні питання. Розкрийте зміст основних понять з теми:

- Розрахунок діаметрів ділільних кіл зубчастих коліс планетарного механізму;
- Аналітичне визначення передаточного відношення кожної ступені редуктора та загального передаточного відношення;
- Визначення кількості сателітів за умовою сусідства;
- Уточнення кількості сателітів за умовою складання;
- Побудова картини лінійних та кутових швидкостей елементів планетарного редуктора;
- Визначення передаточного відношення планетарного редуктора з картини кутових швидкостей.

2. Питання для самостійного опрацювання:

- Перевірка умови співвісності коліс планетарного редуктора;
- Порівняння значення передаточних відношень планетарного механізму визначених аналітично і графічно, визначення похибки.

## МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДГОТОВКИ І ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

Лабораторні заняття тісно пов'язані з іншими організаційними формами навчання, зокрема, лекціями та практичними заняттями, взаємодоповнюючи їх. Провідна функція лабораторного заняття у цій системі організаційних форм навчання полягає в наданні теоретичному матеріалу експериментального характеру.

Лабораторне заняття – форма навчального заняття, на якому студенти під керівництвом викладача особисто проводять натурні або імітаційні експерименти чи досліди з метою практичної перевірки і підтвердження окремих теоретичних положень відповідних тем навчальної дисципліни, набувають практичних навичок роботи з лабораторним обладнанням, устаткуванням, вимірювальною апаратурою, обчислювальною технікою, оволодівають методикою експериментальних досліджень у конкретній предметній галузі.

Лабораторні заняття належать до основних видів навчальних занять, на них студенти опановують методику організації й проведення експериментальної роботи у віртуальних лабораторних умовах, застосовують відповідні меті та завданням методи наукових досліджень, удосконалюють навички роботи з приладами й обладнанням. Саме на лабораторних заняттях студенти залучаються до науково-дослідної діяльності і тим самим розвивають творчий потенціал щодо вирішення завдань професійної діяльності.

У структурі сучасних лабораторних занять виділяються такі етапи:

- проведення попереднього контролю підготовленості студентів до виконання конкретної лабораторної роботи;
- виконання конкретних завдань відповідно до запропонованої тематики;
- оформлення звіту з виконання лабораторної роботи;
- оцінювання результатів роботи студентів викладачем.

Лабораторні заняття класифікуються за кількома ознаками:

- дидактичною метою;
- призначенням;

- формою проведення;
- рівнем пізнавальної діяльності здобувачів вищої освіти.

Лабораторні заняття проводяться за відповідною тематикою лабораторних робіт, які визначаються робочою програмою навчальної дисципліни. Лабораторна робота – це активна форма самостійної роботи студентів, у якій їхня діяльність виявляється у поєднанні розумових і фізичних (моторних) дій, спрямованих на активне застосування здобутих знань, умінь і навичок на практиці в межах заданої програми (інструкції), відповідного обладнання та місця проведення. Головним завданням лабораторних робіт є встановлення зв'язку теорії з практикою на основі виконання відповідних завдань.

Лабораторна робота (завдання) може носити репродуктивний, частковопошуковий і пошуковий характер. Роботи, що носять репродуктивний характер, характеризуються тим, що при їх вирішенні студенти користуються детальними інструкціями, в яких вказані: мета роботи, пояснення (теорія, основні характеристики), порядок виконання роботи, таблиці, висновки (без формулювань), контрольні питання, література. Роботи, що носять частково-пошуковий характер, відрізняються тим, що при їх проведенні студенти не користуються детальними інструкціями, їм не задається порядок виконання необхідних дій. У цьому випадку студентам потрібно самостійно обирати спосіб виконання лабораторної роботи.

Роботи, що носять пошуковий характер, відрізняються тим, що студенти повинні вирішити нову для них навчальну проблему, опираючись на сформовані теоретичні знання.

У навчальному процесі найчастіше застосовуються фронтальна, циклічна та індивідуальна форми проведення лабораторних занять.

Фронтальна форма проведення лабораторних занять характеризується тим, що студенти виконують одну й ту саму лабораторну роботу одночасно за спеціальними програмами та інструкціями. За такої форми виконання лабораторних робіт пізнавальна самостійність студентів під час виконання завдань є досить низькою. Крім того, виконання лабораторних робіт одночасно всіма студентами групи призводить до запозичення прийомів і

техніки виконання і навіть вирішення завдань без глибокого розуміння сутності явищ, які вивчаються.

Циклічна форма лабораторних занять передбачає розподіл лабораторних робіт, передбачених робочою програмою навчальної дисципліни на декілька циклів, що відповідають певним її розділам. Виконання лабораторних робіт у такий спосіб відбувається за встановленим графіком. Така форма дозволяє проводити одночасно різні лабораторні роботи певного циклу.

Індивідуальна форма лабораторного заняття передбачає виконання кожним студентом визначеної лабораторної роботи самостійно. Слід зауважити, що така форма вимагає особливої організації, індивідуального керівництва і контролю за роботою студентів з боку викладачів. Використання такої форми лабораторного заняття має враховувати інтереси і схильності конкретних студентів і передбачати варіативність завдань. Тому можна зазначити, що індивідуальна форма проведення лабораторних занять відповідає сучасним освітнім тенденціям, зокрема реалізує особистісно-орієнтовний підхід, сприяє індивідуалізації та диференціації навчання.

Враховуючи переваги та недоліки окремих форм проведення лабораторних занять, а також виходячи з розуміння лабораторної роботи як специфічного експериментального дослідження, що проведено студентом самостійно, доцільно застосовувати їх комбіновану форму.

Комбінована форма проведення лабораторних занять полягає в тому, що кожен із визначених дослідів певної лабораторної роботи розподіляється між усіма студентами групи. Тобто, конкретний студент за призначенням викладача отримує індивідуальне завдання. При цьому завдання повинно бути доступним, зрозумілим, мати частково-пошуковий характер. За таких умов перед студентами постає низка окремих завдань:

- зрозуміти і самостійно чітко сформулювати мету дослідження;
- уявити хід дослідження;
- відібрати необхідне віртуальне обладнання;
- провести віртуальний експеримент;
- зафіксувати результати дослідження.

Під час заняття студент повинен обґрунтувати отримані результати відповідними теоретичними положеннями. Викладачеві доцільно виступати у ролі консультанта, надаючи студенту необхідну доцільну методичну допомогу.

Проведення занять у такий спосіб дозволяє студентам не лише опанувати способи експериментальної діяльності, а ще й навчитися переконливо пояснювати отримані результати. На таких лабораторних заняттях відбувається закріплення теоретичних знань через практичну діяльність, а також формування вміння презентувати засвоєні знання, рівень сформованості відповідних професійних компетентностей. За таких умов проведення лабораторних занять студенти ґрунтовно оволодіватимуть вміннями здійснення експериментальної діяльності.

Викладач обов'язково повинен аргументувати досягнутий рівень виконання завдань лабораторних робіт, оцінку, отриману студентом за визначеними критеріями:

- точність техніки виконання,
- самостійність,
- правильність пояснення.

Застосування комбінованої форми проведення лабораторного заняття дає можливість формувати у студентів вміння аналізувати поставлене експериментальне завдання, проявляти ініціативу та вирішувати його творчо. Положення про організацію освітнього процесу в Київському національному університеті будівництва і архітектури регламентує, що наявність позитивних оцінок, одержаних студентом за всі лабораторні роботи, передбачені робочою програмою дисципліни, є необхідною умовою для допуску до семестрового контролю з даної дисципліни.

Лабораторне заняття має базуватися на поетапному методі навчання: від репродуктивного до самостійного рівня оволодіння практичними навичками. Спочатку студенти повторюють хід лабораторної роботи, запропонований викладачем, а потім, у процесі самостійної роботи, обирають свій індивідуальний шлях вирішення поставлених завдань.

У виконанні лабораторних робіт потрібна послідовність і взаємозв'язок з використанням знань і навиків попередніх робіт при виконанні подальших. Орієнтовна структура лабораторного заняття:

1. Організаційна частина:

- перевірка готовності студентів до лабораторного заняття;
- інструктаж з техніки безпеки (ознайомлення студентів зі змістом заходів щодо забезпечення техніки безпеки під час проведення заняття за умови його проведення аудиторно).

2. Актуалізація опорних знань і практичного досвіду студентів.

3. Повідомлення теми, мети лабораторної роботи, мотивація навчально-пізнавальної діяльності студентів.

4. Консультування з питань виконання лабораторної роботи:

- пояснення плану роботи;
- пояснення завдань, що необхідно вирішити;
- надання консультацій з методики експериментування.

5. Самостійна робота студентів щодо виконання лабораторної роботи:

- виконання теоретичних завдань;
- виконання практичних завдань;
- оформлення результатів експериментів у вигляді таблиць, графіків тощо;
- оформлення загальних висновків лабораторної роботи.

6. Оформлення студентами звіту про виконання лабораторної роботи та його захист.

7. Завершальна частина – аналіз та оцінювання викладачем ефективності виконання лабораторних робіт студентами, надання завдань для самостійної роботи.

# ЛАБОРАТОРНІ ЗАНЯТТЯ З ОСВІТНЬОЇ КОМПОНЕНТИ «ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН»

## Лабораторна робота №1

### СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ ПЛОСКОГО МЕХАНІЗМУ

Мета роботи: ознайомитись з умовними зображеннями механізмів на кінематичних схемах, оволодіти навиками складання кінематичних схем реальних механізмів та освоїти методику їхнього структурного аналізу.

В даній лабораторній роботі студенти ознайомлюються з будовою механізму та встановлюють його призначення (за перетворенням руху). Повільно обертаючи ведучу ланку, виявляється характер руху інших ланок і встановлюється, якими кінематичними парами вони з'єднані. Після цього виявляються пасивні в'язі, що дублюють роботу інших ланок, і зайві ступені вільності, які не впливають на характер руху ланок, і вивільнюється від них досліджуваний механізм. Далі відбувається заміна кінематичних пар *IV* класу (вищі) парами *V* класу (нижчими). Складається структурна схема механізму, використовуючи умовні позначення за ДСТУ EN ISO 3952-2:2018, вибираючи положення механізму, при якому добре видно відносне розташування ланок. Ланки на схемі механізму нумеруються цифрами (стійка позначається цифрою «0»), кінематичні пари позначаються заголовними літерами латинського алфавіту. Заповнюються таблиці ланок та кінематичних пар. Далі підраховується кількість рухомих ланок, нижчих та вищих кінематичних пар, визначається ступінь рухомості механізму за формулою Чебишева. На схемі механізму ведуча ланка позначається стрілкою, сам механізм розчленовується на структурні групи Ассура. Визначається клас, вид і порядок груп Ассура. Записується формула побудови механізму, визначається клас механізму.

## Лабораторна робота № 2

### КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ КУЛАЧКОВОГО МЕХАНІЗМУ

Мета роботи: ознайомитись з практичними прийомами кінематичного дослідження плоских механізмів, зокрема, навчитися

будувати плани швидкостей та прискорень заміняючих механізмів і застосовувати метод кінематичних діаграм та їх графічного диференціювання.

В даній лабораторній роботі студенти ознайомлюються з будовою і роботою кулачкового механізму, визначають геометричні параметри кулачкового механізму: радіус основної шайби  $r_0$ ; ексцентриситет  $e$ ; максимальний радіус-вектор  $r_{\max}$ ; хід штовхача  $h$ ; фазові кути ( $\varphi_B$  – кут віддалення,  $\varphi_D$  – кут дальнього стояння,  $\varphi_{\Pi}$  – кут повернення,  $\varphi_B$  – кут ближнього стояння). Після цього будують у масштабі кінематичну схему заданого кулачкового механізму та діаграму переміщення штовхача. З побудованої діаграма переміщення штовхача методом графічного диференціювання будуються діаграми швидкості та прискорення штовхача і визначаються їхні масштаби. Для одного з положень кулачка, за прикладом, наведеним в лабораторній роботі № 1, будується замінений механізм, визначається його ступінь рухомості та будуються в масштабі плани швидкостей і прискорень для замінного механізму. Після цього здійснюється порівняння значення швидкостей і прискорень штовхача, визначених за методом кінематичних діаграм та методом планів, підраховується відносна похибка.

### Лабораторна робота № 3

#### ВИЗНАЧЕННЯ МАСОВИХ МОМЕНТІВ ІНЕРЦІЇ ЛАНОК

Мета роботи: визначити масові моменти інерції ланок двома методами: методом фізичного маятника та методом підвісу на пружній нитці.

**Метод фізичного маятника.** В даній лабораторній роботі для ланки типу стержень зважуванням визначається сила тяжіння  $G_T$ , вибравши точку підвісу ланки  $O_1$  на установці ТММ-25, визначається відстань  $l$  від цієї точки до центра мас ланки  $S$ . Підвісивши ланку на призматичному кронштейні установки ТММ-25 і відхиливши її від положення рівноваги на кут  $15...20^\circ$ , надається їй можливість вільно коливатись навколо осі  $O_1$ . Секундоміром заміряється час  $t_1$  20

повних періодів коливань ланки. Визначення періоду коливань  $t_1$  повторюється три рази, після чого підраховується період одного повного коливання. Після цього з урахуванням періоду одного повного коливання  $t_1$  обраховується масовий момент інерції ланки відносно осі підвісу  $O_1$  та відносно осі, що проходить через її центр мас.

**Метод підвісу на пружній нитці.** При виконанні цієї лабораторної роботи в губки кулачкового патрону установки **ТММ-26** закріплюється ланка типу тіл обертання. За допомогою важільного механізму закручується на невеликий кут дріт кулачкового патрону, даючи йому можливість здійснювати вільні обертальні коливання. Секундоміром заміряється час  $\tau_0$  20 повних періодів коливань патрона без досліджуваної ланки. Визначення періоду коливань  $\tau_0$  повторюється три рази, після чого підраховується період одного повного коливання. Після цього в патрон установки затискається досліджувана ланка і аналогічним чином визначається період  $T_1$  одного повного коливання. За допомогою вимірвальних інструментів вимірюється діаметр дроту підвісу  $d$  та його довжина  $L$ , обчислюється полярний момент інерції перерізу дроту та постійна дроту. З урахуванням отриманих даних визначається масовий момент інерції кулачкового патрону та досліджуваної ланки.

#### **Лабораторна робота № 4**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ЗВЕДЕНИХ МАС І МОМЕНТІВ ІНЕРЦІЇ МЕТОДОМ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ**

Мета роботи: визначити зведений момент інерції механізму методом вільних коливань.

Експериментальне визначення зведених моментів інерції методом вільних коливань здійснюється на лабораторній установці **ТММ 112Л1**, яка являє собою кривошипно-коромисловий механізм, кривошип якого з'єднаний з маятником, що взаємодіє з двома пружними елементами. Маятник можна закріпити на кривошипі в різних його положеннях. Виведений з положення рівноваги маятник

разом з кривошипом здійснює коливальний рух з незначною амплітудою. Для визначення зведеного до осі повороту кривошипа моменту інерції всього механізму вимірюється період  $\tau$  коливань.

В даній лабораторній роботі лабораторна установка ТММ 112Л1 встановлюється горизонтально по рівню і звільнюється покажчик, зв'язаний з кривошипом. Після встановлення кривошипа у задане положення за мірною шкалою і закріплення стопорним гвинтом вмикається установка і повертається покажчик кривошипа так, щоб він утримувався електромагнітом. Показники таймера записуються при визначенні часу п'яти або десяти періодів коливань, що створюються відхиленням важеля, який зв'язаний з кривошипом і пружинами, від його положення в статичній рівновазі. Визначення моментів інерції здійснюється для декількох заданих положень кривошипа. Повторення операції визначення моментів інерції відбувається при приєднанні до маятника кривошипа додаткової маси, для чого її масу необхідно звільнити від стопорного гвинта і прикріпити до гвинта маятника кривошипу. Виконання експерименту здійснюється переставляючи додаткову масу на маятнику в різні положення закріплюючи її гвинтом.

### **Лабораторна робота № 5**

#### **ПОБУДОВА ПРОФІЛЮ КУЛАЧКА ЗА ЗАДАНИМ ЗАКОНОМ РУХУ ШТОВХАЧА**

Мета роботи: ознайомитись з практичними прийомами синтезу (профілювання) кулачкових механізмів за заданим законом руху веденої ланки.

Для побудови профілю кулачка застосовується лабораторний прилад ТММ-21. Він складається з основи із встановленим на ній диском і системи кареток. Диск повертається фрикційним пристроєм і призначений для закріплення на ньому паперового круга діаметром  $d = 200$  мм, на якому будується профіль кулачка. Кути повороту диска вимірюються градуйованою шкалою і індексом. Паперовий круг закріплюється на диску притискачем. Диск можна повертати і рукою, злегка притискаючи рукоятку фрикціону.

Прилад **ТММ-21** призначений для побудови профілю кулачків з поступальним штовхачем та хитним коромислом за заданим законом руху  $S = S(\varphi)$  або  $\beta = \beta(\varphi)$ .

При виконанні цієї лабораторної роботи за заданим законом руху штовхача будується таблиця значень переміщення штовхача (для кулачкового механізму з поступальним штовхачем) або коромисла (для кулачкового механізму з хитним коромислом) як функції кута повороту кулачка з інтервалом у  $10^0$ . (Для зворотного ходу переміщення вважається симетричним). Закріпивши паперовий круг діаметром  $d = 200$  мм на диску приладу із врахуванням заданого закону руху штовхача або коромисла будується центровий (теоретичний) і робочий (практичний) профілі кулачка. Знявши паперовий круг, на одержаному плані кулачка проводяться кола радіусами основного кола  $r_0$  та ексцентриситету  $e$ ; викреслюється положення штовхача або коромисла на початку ділянки віддалення; показуються всі фазові кути; визначається мінімальний радіус кривини  $\rho_{\min}$  центрального профілю; оцінюється значення радіуса ролика  $r_p$ , перевіряючи виконання нерівностей  $r_p \leq 0,7 \cdot \rho_{\min}$  і  $r_p \leq 0,4 \cdot r_0$ .

### **Лабораторна робота № 6**

#### **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПРОФІЛЮВАННЯ ЕВОЛЬВЕНТНИХ ЗУБЦІВ МЕТОДОМ ОБКАТКИ**

Мета роботи: побудувати профілі зубців зубчастого колеса методом обкатки шляхом викреслювання їх на папері, закріпленому на приладі з моделлю інструментальної рейки, а також визначити основні параметри корегованих та некорегованих зубчастих коліс.

Лабораторна робота виконується на спеціальному приладі **ТММ-42**, який імітує процес нарізання евольвентних профілів зміщених (корегованих) та незміщених (некорегованих) зубчастих коліс за методом обкатки. Основними частинами приладу є жорстко з'єднані верхній та нижній диски і зубчаста рейка, що змонтовані на спільній плиті. Диски можуть обертатися в процесі викреслювання зубців навколо нерухомої осі. Діаметр нижнього диска дорівнює

діаметру ділильного кола колеса, що «нарізується». Зубчаста рейка встановлена з невеликим зазором над верхнім диском та закріплена гвинтами на каретці, яка може переміщуватись вліво та вправо в напрямних плити. На зубчастій рейці нанесена риска, що зображає середню лінію (модульну пряму) рейки, а також вигравійовані значення модуля зачеплення  $m$ , кута профілю зубця рейки  $\alpha = 20^0$  та діаметра  $d$  ділильного кола зубчастого колеса, що «нарізується». У конструкції приладу передбачена можливість зміни відстані рейки від центра заготовки закріплення її в положенні, що відповідає зміщенню рейки  $b = \xi \cdot m$ , де  $\xi$  – коефіцієнт зміщення інструментальної рейки.

При викреслюванні профілів зубців паперовий круг, який імітує заготовку зубчастого колеса, ділиться на чотири квадранти. У кожному з них викреслюються зубці:

– у 1-му квадранті – із нульовим зміщенням  $b = m \cdot \xi$ ,  $\xi = 0$ ;

– у 2-му квадранті – із мінімальним зміщенням, при якому відсутнє підрізання зубців:

$$b_{\min} = m \cdot \xi_{\min}, \quad \xi_{\min} = \frac{17 - z}{17},$$

де  $\xi_{\min}$  – мінімальне значення коефіцієнта зміщення інструментальної рейки, при якому відсутнє підрізання зубців, якщо  $z < 17$ ;

– у 3-му квадранті – з додатним зміщенням  $b = b_{\min} + 2 \dots 4$  мм;

– у 4-му квадранті – з від'ємним зміщенням  $b = -(3 \dots 7)$  мм.

Знявши паперовий круг (заготовку зубчастого колеса), виконується аналіз зміни геометричних параметрів зубців колеса залежно від величини зміщення інструментальної рейки. За розрахованими параметри зубчастих коліс для кожного із квадрантів викреслюються циркулем ділильне і основне коло, по яких вимірюється товщина зубців у всіх квадрантах. Одержані результати зіставляються з розрахунковими. Після цього проводяться на кресленні кола вершин та западин у всіх квадрантах і перевіряється товщина зуба по колу виступів  $S_a \geq 0,3 \cdot m$ . У випадку загострення зубця  $S_a < 0,3 \cdot m$  потрібно його вкорочувати.

## Лабораторна робота № 7

### ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ВИМІРЮВАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Мета роботи: ознайомитись зі способами визначення основних параметрів і контрольних вимірювань циліндричних зубчастих коліс евольвентного профілю за допомогою вимірювальних інструментів.

При виготовленні і експлуатації зубчастих коліс необхідно розв'язувати дві основні задачі: визначення основних параметрів виготовленого зубчастого евольвентного колеса за допомогою штангенциркуля та контроль відхилення фактичних розмірів зубців колеса від проектних.

До основних параметрів зубчастого колеса можна віднести:  $z$  – кількість зубців колеса;  $m$  – модуль зачеплення;  $\alpha_0$  – кут профілю, який дорівнює куту зачеплення  $\alpha$ ;  $\xi$  – коефіцієнт зміщення інструментальної рейки;  $b$  – зміщення інструментальної рейки;  $d$  – діаметр ділильного кола;  $S_d$  – товщина зуба по ділильному колу;  $d_a$  – діаметр кола виступів;  $d_f$  – діаметр кола западин.

Кількість зубців  $z$  визначається безпосередньо підрахунком на колесі. Для визначення модуля зачеплення  $m$  і кута зачеплення  $\alpha$  використовуються основні властивості евольвенти: нормаль до евольвенти в будь-якій її точці є дотичною до основного кола колеса; довжина нормалі до евольвенти дорівнює довжині розвернутої дуги основного кола. При виготовленні зубчастих коліс або внаслідок зносу зубців при експлуатації виникають відхилення дійсних розмірів товщини зубця від проектних. Якщо відхилення перевищує норми, передбачені стандартом, то можуть виникати явища заклинювання або ударів між зубцями при роботі зубчастих механізмів. Тому товщина зубців підлягає інструментальному вимірюванню для встановлення відповідності їхніх розмірів розрахунковим.

При виконанні цієї лабораторної роботи підраховується кількість зубців колеса  $z$ , визначаються діаметри кола виступів  $d_a$  і кола западин  $d_f$  трикратним вимірюванням у різних місцях колеса і розраховуються їхні середні значення. За табличними даними підбирається кількість зубців  $n$ , які охоплюються, для вимірювання

штангенциркулем розмірів  $C_n$  та  $C_{n+1}$  (штангенциркуль має не дотикатися до кута зубця, а також до самої нижчої його частини), проведення вимірювання розмірів  $C_n$  та  $C_{n+1}$  здійснюється тричі, охоплюючи кожен раз інші зубці, і визначаються середні значення цих величин. Після цього за середніми значеннями  $C_n$  та  $C_{n+1}$  розраховуються величини кроку  $P_b$  і товщини зуба  $S_b$  по основному колу  $d_b$ , за табличними даними визначаються значення модуля  $m$  та кута зачеплення  $\alpha$ , підраховується діаметр ділильного кола, визначається коефіцієнт зміщення  $\xi$  та величина зміщення  $b$  інструментальної рейки, підраховується товщина зуба  $S_d$  по ділильному колу, довжину постійної хорди зуба  $S_c$  та відстань  $h_c$  від кола виступів до лінії точок дотикання зуба колеса із зубцями інструментальної рейки. Штангензубоміром заміряється фактична товщина зуба  $S'_c$  за постійною хордою, яка зіставляється розрахунковим значенням  $S_c$ . Як правило,  $S'_c < S_c$  (для забезпечення бокового зазору в зачепленні).

### **Лабораторна робота №8**

#### **ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕДАТОЧНОГО ВІДНОШЕННЯ БАГАТОЛАНКОВОГО ЗУБЧАСТОГО МЕХАНІЗМУ**

Мета роботи: навчитися визначати передаточні відношення багатоланкових зубчастих механізмів аналітичним та графічним методами.

Передаточним відношенням зубчастого механізму називається відношення кутових швидкостей ведучої та веденої ланки. Основна задача кінематичного дослідження зубчастих механізмів – визначення їхнього передаточного відношення. При паралельних осях обертання передаточне відношення вважається додатним при однакових напрямках кутових швидкостей ведучої та веденої ланок і від'ємним – при їх різних напрямках. При непаралельних осях обертання передаточне відношення не має знака і дорівнює відношенню модулів кутових швидкостей ланок. При визначенні передаточного відношення

епіциклічного механізму, потрібно його звести до рядового механізму, використавши метод обернення руху. Змішані складні зубчасті механізми являють собою з'єднання різних зубчастих механізмів. Наприклад, змішаний механізм утворений послідовним з'єднанням планетарного і ступінчастого механізмів. Загальне передаточне відношення такого механізму дорівнює добутку передаточних відношень з'єднаних механізмів.

В даній лабораторній роботі вивчається конструкція і принцип роботи багатоланкового зубчастого механізму, викреслюється його кінематична схема, за формулою Чебишева визначається ступінь рухомості механізму, аналітично визначаються передаточні відношення простих та планетарних механізмів і всього багатоланкового механізму в цілому. Після цього будуються картини лінійних швидкостей точок та кутових швидкостей ланок багатоланкового механізму, за допомогою якого визначається передаточне відношення всього механізму, що порівнюється із значенням передаточного відношення, визначеного аналітично, обраховується похибка отриманих результатів різними способами.

## Лабораторна робота № 9

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗРІВНОВАЖУВАННЯ РОТОРА

Мета роботи: ознайомитись з методикою практичного зрівноважування мас ланок та зрівноважити ротор, розміщення незрівноважених мас якого відоме.

При обертанні незрівноваженого ротора навколо власної осі виникають відцентрові сили інерції, які зводяться до головного вектора сил інерції  $\bar{F}$  і головного момента від сил інерції  $\bar{M}$ . Сили інерції викликають в опорах ротора додатковий динамічний тиск, діють на фундамент і кріплення машини. При обертанні ротора сили інерції періодично змінюються за напрямком, внаслідок чого виникають коливання окремих ланок механізму, які несприятливо відбиваються на роботі машини. Якщо маса ротора розташована симетрично відносно власної осі, то його головний вектор і головний момент сил інерції дорівнюють нулю і опори ротора не відчувають

додаткового динамічного тиску. Однак конструктивна форма багатьох роторів виключає можливість симетричного розташування мас (колінчасті вали, кулачкові вали та ін.). Але навіть у роторів із симетричною зовнішньою формою система інерційних сил не буде еквівалентною нулю через неминучі технологічні похибки: ексцентричне розташування отворів, неоднорідність матеріалу та ін. Розрізняють три види незрівноваженості тіл обертання: статичну, моментну та динамічну.

Статична незрівноваженість ротора – така незрівноваженість, при якій вісь ротора і його головна центральна вісь інерції паралельні. Ротор може мати і таку незрівноваженість, коли вісь ротора і його центральна вісь інерції перетинаються в центрі мас ротора – така незрівноваженість ротора називається моментною. У багатьох випадках ротор може мати досить складну конструкцію і складатись з декількох деталей несиметричної конфігурації. У цьому випадку виникає незрівноваженість, при якій вісь ротора і його головна центральна вісь інерції перетинаються не в центрі мас або не перетинаються взагалі – така незрівноваженість називається динамічною. Динамічна незрівноваженість обумовлена статичною та моментною незрівноваженостями. Динамічна незрівноваженість повністю визначається головним вектором і головним моментом дисбалансів ротора. Повне усунення динамічної незрівноваженості ротора буде мати місце в тому випадку, коли головний вектор і головний момент дисбалансів будуть дорівнювати нулю.

У лабораторній роботі це досягається підбором корегуючих мас, які усувають спочатку моментну, а потім статичну незрівноваженість. Робота проводиться на установці **ТММ-35М**. За допомогою неї необхідно врівноважити ротор, розміщення і величина незрівноважених мас якого відомі. Із такою задачею можна зустрітися, наприклад, при проектуванні колінчастих валів двигунів, коли на стадії проектування величину і розташування незрівноважених мас можна визначити безпосередньо за кресленнями.

# МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

## **Зміст, обсяг і оформлення проекту**

Курсовий проект з освітньої компоненти «Теорія механізмів і машин» є самостійною роботою студентів з комплексного дослідження шарнірно-важільних та кулісних механізмів, котрі являються складовими частинами спеціальних машин та технологічного обладнання для їх технічного обслуговування і ремонту.

Проектом передбачено виконання п'яти аркушів формату А1 графічних побудов, пояснювальної записки, де наводяться розрахунки і пояснення до графічних побудов. У більшості випадків методи розв'язування задач графоаналітичні, тому розрахунки і графічна частина проекту виконують паралельно.

Перш ніж почати виконувати черговий етап проекту, необхідно ознайомитися з відповідними теоретичними положеннями, прикладами розв'язування подібних задач за підручниками і навчальними посібниками.

## *Графічна частина*

Проект складається з графічної частини – креслень, що виконують на п'яти аркушах формату А1 (594×841 мм) за ДСТУ EN ISO 216:2018, і розрахунково-пояснювальної записки, в якій наводять необхідні пояснення та розрахунки.

### Зміст аркушів:

1. Кінематичне дослідження механізму.
2. Кінетостатичне дослідження механізму.
3. Визначення моменту інерції маховика.
4. Синтез кулачкового механізму.
5. Побудова картини евольвентного зубчастого зачеплення і проектування кінематичної схеми планетарного редуктора.

Графічні побудови курсового проекту слід виконувати з дотриманням усіх вимог стандарту щодо виконання креслень.

Схеми механізмів і діаграми треба виконувати чітко і охайно. Осі абсцис і ординат на графіках необхідно креслити суцільними

лініями (дещо товщими, ніж лінії допоміжних побудов). Отримані криві обводять лініями, товщина яких відповідає товщині контурних ліній на кресленнях, але не менше ніж 0,5 мм.

На графіках біля осей координат потрібно поставити буквенні позначення величин і одиниці вимірювання, розділені між собою комою. На кресленнях обов'язково вказують обрані масштаби побудов, до яких слід ставитись особливо уважно. Необхідно пам'ятати, що від правильності їх розрахунків безпосередньо залежить результат розв'язання тієї чи іншої задачі.

Вибираючи масштаби кінематичних схем та інших зображень, пов'язаних із синтезом і аналізом механізмів, дозволяється використовувати масштаби, які відрізняються від передбачених стандартами. На кресленнях необхідно обов'язково зберігати всі допоміжні побудови, робити відповідні написи і застосовувати лише загальноприйняті позначення.

Кожен аркуш проекту повинен мати в правому нижньому куті основний напис (штамп).

#### *Розрахунково-пояснювальна записка*

Розрахунково-пояснювальну записку виконують на одному боці аркуша формату А4 (210×297 мм), залишаючи ліворуч поле 25 мм (для зшивання), а праворуч – 15 мм.

Усі сторінки нумеруються у правому нижньому куті аркушу. Записку зшивається в обкладинці з цупкого креслярського паперу. Верхній аркуш обкладинки є титульним.

На початку розрахунково-пояснювальної записки розміщують зміст, вступ і завдання на курсовий проект. Обсяг записки наближено має становити 30-40 сторінок тексту.

У розрахунково-пояснювальній записці коротко і чітко викладаються усі етапи виконання курсового проекту і наводяться розрахунки величин, необхідних для виконання потрібних побудов. Відповідні етапи (аркуші) виділяються окремими підзаголовками.

Усі необхідні для розрахунку рівняння і формули записуються у загальному вигляді, потім у них підставляються числові значення і наводиться остаточний результат із наведенням одиниць вимірювання

в системі *СІ*. Для розрахунків, що повторюються, результати оформлюються у вигляді таблиць значень величин, що входять до формули, і значень остаточних результатів.

Пояснення розрахунків і побудов супроводжуються ескізами і посиланнями на аркуш, де виконані ці побудови.

У кінці розрахунково-пояснювальної записки курсового проекту наводиться список використаної літератури за ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. Посилаючись у тексті на літературне джерело, вказується лише порядковий номер зі списку у квадратних дужках.

### *Захист курсового проекту*

Курсовий проект, підписаний викладачем до захисту, студент захищає у термін, вказаний при видачі завдання.

Під час захисту студент повинен розкрити зміст курсового проекту, розповісти про призначення досліджуваного механізму, принцип його роботи і особливості розрахунку, відповісти на поставлені запитання, пояснити описання. Опитування проводиться за креслярськими аркушами проекту та пояснювальною запискою.

Його мета – з'ясувати, наскільки глибоко студент засвоїв застосовувані методи розрахунку та їх теоретичне обґрунтування. Якщо студент отримав незадовільну оцінку, він одержує нове завдання і виконує проект спочатку.

### **Завдання і порядок виконання проекту**

У процесі виконання курсового проекту розв'язується сукупність задач з аналізу і синтезу комплексу механізмів будівельної та підйомно-транспортної техніки. У більшості випадків правильність виконання чергової задачі значною мірою залежить від вихідних даних, які отримують у результаті розв'язання попередньої. Тому проект треба виконувати в певній послідовності.

Перш ніж починати розробку того чи іншого етапу проекту, слід чітко уявити собі постановку задачі, потім ознайомитися з прикладами розв'язування подібних задач, наведеними в навчальних посібниках, і лише після цього починати виконання чергового етапу. У більшості випадків методи розв'язання задач, що зустрічаються, –

графоаналітичні. Тому розрахункову і графічну частини проекту виконують паралельно.

Виконання проекту починається з вивчення одержаного завдання, з'ясування призначення машини, кожного механізму і уточнення задач, які потрібно розв'язати у процесі виконання роботи.

### *Структурний аналіз механізму*

1. У розрахунково-пояснювальній записці побудуйте кінематичну схему заданого механізму.
2. Підрахуйте кількість рухомих ланок та кінематичних пар у механізмі.
3. Визначте клас кінематичних пар.
4. Побудуйте умовну структурну схему механізму.
5. Визначте ступінь рухомості механізму за формулою П.Л. Чебишева.
6. Позначте на схемі початкову ланку стрілкою і розчленуйте механізм на структурні групи Л.В. Ассура. Визначте клас, вид і порядок груп Л.В. Ассура.
7. Запишіть формулу побудови механізму.
8. Визначте клас механізму.

### *Кінематичне дослідження механізму (аркуш 1)*

1. Побудуйте план положень механізму, для чого зобразіть його в положеннях, що відповідають шести рівнорозташованим положенням ведучої ланки. За початкове (нульове) положення слід вважати положення, в якому механізм перебуває на початку робочого ходу, тобто в самому крайньому положенні. Якщо серед побудованих планів механізму немає положення, яке б відповідало другому крайньому положенню робочої ланки, то побудуйте і його. Одне з проміжних положень механізму (крім крайніх) виділіть основною (товщою) лінією.
2. Накресліть траєкторії заданих точок  $S_2$  або  $S_4$  ланок механізму.
3. Побудуйте діаграму переміщення заданої точки  $S = S(t)$  (кута повороту  $\beta = \beta(t)$ ) веденої ланки за цикл руху механізму (необхідно

пам'ятати, що вісь абсцис діаграми ділиться на частини, пропорційні кутам повороту ведучої ланки  $\varphi$ ).

4. Графічним диференціюванням діаграми переміщення (методом хорд) побудуйте діаграми лінійних  $V = V(t)$  або кутових  $\omega = \omega(t)$  швидкостей та лінійних  $W = W(t)$  або кутових  $\varepsilon = \varepsilon(t)$  прискорень.

5. Визначте масштаби побудованих діаграм.

6. Побудуйте плани швидкостей для механізму у шести положеннях і плани прискорень для двох довільних (крім крайніх) положень (включаючи положення, що виділене основною (товщою) лінією).

7. Визначте швидкість і прискорення веденої ланки за побудованими кінематичними діаграмами та планами швидкостей і прискорень; підрахуйте відносну похибку (припустима розбіжність не повинна перевищувати 10 %).

8. Використовуючи плани швидкостей і прискорень, визначте лінійні швидкості та прискорення точок і ланок механізму, а також кутові швидкості та прискорення ланок механізму та їх напрямки. Отримані значення в пояснювальній записці оформіть у вигляді таблиці.

### *Кінетостатичне дослідження механізму (аркуш 2)*

1. Побудуйте схему механізму в одному з положень, для якого побудовано план прискорень.

2. Побудуйте задану діаграму зміни сили (моменту сили) корисного опору, розміщуючи її біля траєкторії точки тієї ланки, до якої прикладена ця сила.

3. Накресліть плани швидкостей і прискорень для досліджуваного положення механізму.

4. Визначте сили (моменти сил), що діють на ланки механізму в обраному положенні, включаючи сили інерції та моменти сил інерції (силами тертя нехтуємо).

Визначаючи силу тяжіння, вважайте, що вага рівномірно розподілена по довжині ланки. Центр мас куліси розташовується посередині максимальної довжини куліси від точки обертання до центра кулісного каменя.

5. Покажіть (основними лініями) вектори сил на схемі механізму, а також напрямки кутових прискорень ланок, що здійснюють хитний

або плоско-паралельний рух, та моментів сил інерції, що діють на ці ланки.

6. Для ланок, що здійснюють хитний або плоско-паралельний рух, замініть моменти сил інерції і сили інерції однією результуючою силою інерції, перенесеною з центра мас ланки в точку хитання.

7. У цьому ж положенні накресліть ще одну схему даного важільного механізму з прикладеними до його ланок силами, де сили інерції та моменти сил інерції замінені результуючою силою інерції.

8. Використовуючи результати структурного аналізу механізму, встановіть послідовність його кінетостатичного дослідження.

9. Розподіліть кінематичну схему механізму на відповідні структурні групи. Зобразіть їх з прикладеними зовнішніми силами, силами інерції та реакціями з боку від'єднаних ланок.

10. Визначте реакції у всіх кінематичних парах механізму методом планів сил, а також зрівноважувальну силу або момент, прикладені до ведучої ланки.

Масштаб  $\mu_F$  плану сил слід обирати так, щоб план був чітким і займав максимально можливу площу на кресленні. Вектори сил, довжина яких менше ніж 2 мм, при обраному масштабі  $\mu_F$  зображується точкою.

11. Побудуйте жорсткий важіль М.Є. Жуковського і визначте зрівноважувальну силу на ведучій ланці для досліджуваного положення механізму.

12. Порівняйте значення зрівноважувальних сил, визначених за кінетостатичним розрахунком та методом «жорсткого важеля», підрахувавши їх різницю у відсотках.

13. Визначте миттєву потужність приводу, необхідну на приведення механізму в рух,  $P = \frac{M_{зр} \cdot \omega_1}{1000}$ , кВт, де  $M_{зр}$  – зрівноважувальний момент,  $H \cdot m$ .

### *Визначення моменту інерції маховика (аркуш 3)*

1. Визначте момент інерції маховика методом Ф. Віттенбауера.

2. Для кожного із шести положень механізму визначте зведені моменти зовнішніх сил з урахуванням планів швидкостей, зображених на першому аркуші (сили інерції та моменти сил інерції не враховуються). Ланкою зведення є ведуча ланка.

3. Для технологічних машин побудуйте графік залежності зведених моментів сил опору та сил тяжіння ланок ( $M_{к.о.} \pm M_G$ ) без урахування сил інерції від кута повороту ланки зведення. Зведений момент рушійних сил  $M_p$  вважаємо постійною величиною протягом усього циклу руху.

Для механізмів транспортних машин побудуйте графік залежності зведеного моменту рушійних сил та сил тяжіння ланок ( $M_p \pm M_G$ ), (зведений момент сил опору  $M_o$  в цьому випадку вважаємо за постійний). Якщо зведений момент буде зі знаком «-», то це вказує на те, що він направлений у бік, протилежний обертанню кривошипа.

4. Методом графічного інтегрування побудуйте діаграми робіт сил опору та рушійних сил. (Слід врахувати, що для технологічних машин графіком роботи рушійних сил буде нахилена пряма, а для підйомно-транспортних машин нахиленою прямою буде зображатися робота сил опору).

5. Використовуючи метод графічного диференціювання, побудуйте графік зведеного моменту рушійних сил (або сил опору).

6. Побудуйте графік зміни кінетичної енергії машини (надлишкової роботи)  $\Delta T = \Delta T(\varphi)$  за один цикл руху.

7. Для кожного із шести положень визначте значення зведеного моменту інерції механізму та побудуйте графік його зміни від кута повороту кривошипа  $J_{зв} = J_{зв}(\varphi)$  за один цикл руху.

8. Користуючись графіком зміни кінетичної енергії та графіком зміни зведеного моменту інерції механізму побудуйте діаграму Віттенбауера. До неї проведіть дві дотичні під кутами  $\psi_{\min}$  та  $\psi_{\max}$ .

9. Визначте момент інерції маховика та його геометричні параметри.

10. Зобразіть ескіз маховика на аркуші 3.

### Синтез кулачкового механізму (аркуш 4)

1. За заданим варіантом у довільних масштабах побудуйте графік залежності другої передаточної функції (аналога прискорення) штовхача від кута повороту кулачка. Двічі графічно проінтегрувавши цей графік, отримайте діаграму переміщення штовхача як функцію кута повороту кулачка.

2. Визначте масштаби діаграм переміщення, першої передаточної функції (аналога швидкості), другої передаточної функції (аналога прискорення) та кута повороту кулачка, враховуючи задане максимальне переміщення штовхача  $h$  або максимальне відхилення коромисла  $\beta$ .

3. Побудуйте графік залежності першої передаточної функції штовхача від його переміщення та визначте мінімальний радіус кулачка кулачкового механізму із найменшими габаритними розмірами, враховуючи мінімально-допустиме значення кута передачі руху  $\gamma_{\min}$  та величину ексцентриситету  $e$ .

4. Користуючись методом обернення руху, згідно з графіком залежності переміщення штовхача від кута повороту кулачка, побудуйте центровий (теоретичний) і робочий (практичний) профілі кулачка. Визначте радіус ролика (для роликового штовхача), а для механізмів із тарілчастим штовхачем – радіус тарілки.

5. Користуючись графіком залежності першої передаточної функції штовхача від його переміщення побудуйте графік зміни кута передачі руху як функцію кута повороту кулачка  $\gamma = \gamma(\varphi)$ .

#### *Примітка*

Для кулачкових механізмів з роликовою вихідною ланкою мінімальний радіус кулачка та інші основні розміри встановлюють за дозволеним мінімальним значенням кута передачі руху  $\gamma_{\min}$  шляхом графічного визначення області можливого розташування центра обертання кулачка.

Слід мати на увазі, що для коромислових кулачкових механізмів  $l \cdot \frac{\partial \beta}{\partial \varphi}$ , де  $l$  – довжина коромисла, відкладається на фазі віддалення до центра обертання коромисла, якщо коромисло і кулачок обертаються

в одному напрямку, і від центра обертання, якщо коромисло і кулачок обертаються в різних напрямках.

Для кулачкових механізмів з роликівим штовхачем, коли кулачок обертається за напрямком годинникової стрілки, величина  $\frac{\partial S}{\partial \varphi}$  на фазі віддалення відкладається вправо.

Для механізмів з тарілчастим штовхачем мінімальний радіус кулачка вибирають за умови опуклості профілю кулачка

$$R_{\min} > \frac{\partial^2 S}{\partial \varphi^2} - S.$$

Для кулачкових механізмів з роликом методом обернення руху будують центровий профіль кулачка, а потім визначають допустимий радіус ролика  $R_p$  з умов  $R_p \leq 0,8 \cdot \rho_{\min}$ ,  $R_p \leq 0,4 \cdot R_{\min}$ , де  $\rho_{\min}$  та  $R_{\min}$  – мінімальний радіус кривини для опуклих ділянок центрального профілю кулачка та мінімальний радіус основної шайби кулачка відповідно. Потім вибирають мінімальне значення.

Мінімальний радіус кривини  $\rho_{\min}$  визначається наближено як радіус кола, яке проходить через три точки, що вибирають на ділянці центрального профілю з мінімальним радіусом кривини.

Робочий (практичний) профіль кулачка будується як обвідна сімейства кіл радіусом  $R_p$ , центри яких розміщені на центральному профілі.

*Побудова картини евольвентного зубчастого зачеплення та проектування кінематичної схеми планетарного редуктора (аркуш 5)*

1. Розрахуйте геометричні параметри зовнішнього евольвентного зубчастого зачеплення пари прямозубих коліс із нерухомими осями з числом зубців  $z_n$  і  $z_{n-1}$ , нарізаних стандартною інструментальною рейкою з модулем  $m$ .

При цьому комплексно забезпечте умови: непідрізування зубців, загострення зубців, потрібного коефіцієнта перекриття, не заклинювання зубчастої передачі відповідним вибором коефіцієнта зміщення зсуву інструментальної рейки.

2. Побудуйте картину евольвентного зубчастого зачеплення, зобразивши по три зуба кожного колеса, у тому числі тих, що перебувають у зачепленні.

Усі допоміжні лінії побудови повинні бути чітко видимі на кресленні. Масштаб виберіть таким, щоб висота зуба була не менше ніж 50 мм.

Виділіть лінію зачеплення та її активну частину. Дуги зачеплення побудуйте на початкових колах обох коліс, показавши пунктиром профіль зуба на початку і в кінці зачеплення. Виділіть робочі ділянки профілів двох зубів, що входять в зачеплення.

3. Проставте розміри геометричних елементів зубчастих коліс.

4. Визначте коефіцієнт торцевого перекриття аналітично і за креслярськими даними.

5. У таблиці на кресленні поставте:  $m$  – модуль зубчастого зачеплення;  $z_1, z_2$  – кількість зубів шестерні та зубчастого колеса;  $\xi_1, \xi_2$  – коефіцієнти зміщення шестерні та зубчастого колеса відповідно;  $f_0$  – коефіцієнт висоти головки зуба;  $c_0$  – коефіцієнт радіального зазору;  $\alpha$  – кут зачеплення;  $\alpha_w$  – міжцентрова відстань;  $\varepsilon$  – коефіцієнт перекриття.

6. За заданою схемою планетарного редуктора, кількістю зубів його зубчастих коліс та модулем розрахуйте діаметри ділильних кіл, вважаючи колеса нульовими (без зміщення), аналітично визначте передаточне відношення кожної ступені редуктора та загальне передаточне відношення. Перевірте умову співвісності коліс планетарного редуктора. Визначте найімовірнішу кількість сателітів з урахуванням умов складання і сусідства. Накресліть кінематичну схему планетарного редуктора у двох проекціях.

7. Для даного планетарного редуктора побудуйте у масштабі картини лінійних та кутових швидкостей його елементів, визначте передаточне відношення планетарного механізму графічним методом.

8. Порівняйте значення передаточних відношень планетарного механізму визначених аналітично і графічно, визначте похибку.

## ЕКЗАМЕНАЦІЙНІ ПИТАННЯ З ОСВІТНЬОЇ КОМПОНЕНТИ «ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН»

1. Основні поняття та визначення в ТММ.
2. Класифікація механізмів.
3. Класифікація машин.
4. Функціонально-структурна будова машини.
5. Методи дослідження механізмів і машин.
6. Структурний аналіз механізмів.
7. Класифікація механізмів за Ассуром.
8. Групи Ассура. Виділення груп Ассура в механізмі.
9. Класифікація кінематичних пар механізмів.
10. Заміна вищих кінематичних пар нижчими у плоских механізмів. Приклади.
11. Визначення ступеня рухомості плоского механізму.
12. Формула Сомова-Малишева для визначення ступеня рухомості просторових важільних механізмів.
13. Визначення положень ланок механізму та траєкторій окремих точок ланок.
14. Метод кінематичних діаграм. Графічне диференціювання та інтегрування функцій.
15. Кінематичний аналіз механізмів методом планів.
16. Побудова планів швидкостей плоских важільних механізмів.
17. Побудова планів прискорень плоских важільних механізмів.
18. Визначення кутових швидкостей і прискорень ланок кулісного механізму.
19. Визначення кутових швидкостей ланок шляхом використання методу планів.
20. Визначення кутових прискорень ланок шляхом використання методу планів.
21. Аналітичний метод кінематичного аналізу плоских механізмів.
22. Передаточні функції (аналоги швидкостей і прискорень).
23. Сили, що діють на ланки механізмів і машин.
24. Сили тяжіння ланок.

25. Принципи кінетостатичного розрахунку плоских механізмів.
26. Визначення сил інерції та моментів сил інерції плоских механізмів. Приклад.
27. Визначення реакцій в кінематичних парах механізмів методом кінетостатики.
28. Теорема М.Є. Жуковського про жорсткий важіль.
29. Приведена сила механізму та її визначення. Приклад.
30. Приведений момент сил механізму та його визначення. Приклад.
31. Поняття ККД. Визначення ККД машини при різних з'єднаннях механізмів.
32. Механічні характеристики двигунів.
33. Природа і закони тертя.
34. Тертя в обертальній кінематичній парі. Визначення момента сил тертя
35. Тертя ковзання сухих та змащених тіл.
36. Тертя кочення. Визначення моменту сил тертя.
37. Функція положення механізму.
38. Основні форми рівнянь руху машинного агрегату.
39. Рівняння руху машинного агрегату в формі диференціальних рівнянь.
40. Рівняння руху машинного агрегату в формі кінетичної енергії.
41. Розв'язок рівнянь руху машинного агрегату чисельним методом.
42. Розв'язування рівнянь руху машинного агрегату аналітичними методами.
43. Основні задачі динамічного аналізу механізмів і машин.
44. Регулювання періодичних коливань швидкості руху машинних агрегатів.
45. Причини нерівномірності руху машинного агрегата та методи її усунення.
46. Коефіцієнти нерівномірності руху та динамічності машинного агрегату.
47. Призначення маховика в механізмах.

48. Динамічна модель механізму та її основні параметри.
49. Приведений момент інерції механізму та його визначення.  
Приклад.
50. Визначення моменту інерції маховика методом надлишкової роботи.
51. Визначення моменту інерції маховика методом професора Мерцалова.
52. Визначення моменту інерції маховика за допомогою діаграми Віттенбауера.
53. Приведена маса механізму та її визначення. Приклад.
54. Типи кулачкових механізмів.
55. Закони руху веденої ланки кулачкового механізму.
56. Теоретичний та практичний профілі кулачка кулачкового механізму.
57. Аналіз центрового кулачкового механізму з роликівим штовхачем.
58. Аналіз позацентрового кулачкового механізму з роликівим штовхачем.
59. Визначення мінімального радіуса кулачка позацентрового кулачкового механізму.
60. Визначення мінімального радіуса кулачка коромислового кулачкового механізму.
61. Визначення мінімального радіуса кулачкового механізму з плоским штовхачем методом професора Геронімуса.
62. Синтез центрового кулачкового механізму з роликівим штовхачем.
63. Синтез позацентрового кулачкового механізму з роликівим штовхачем.
64. Синтез коромислового кулачкового механізму.
65. Синтез кулачкового механізму з плоским штовхачем.
66. Аналітичний метод синтезу кулачкового механізму.
67. Поняття «жорсткого» та «м'якого» ударів в кулачкових механізмах.
68. Основні типи зубчастих передач.

69. Основна теорема зачеплення. Властивості евольвентного зачеплення зубчастих механізмів.
70. Передаточне відношення передачі.
71. Властивості евольвентного зачеплення.
72. Побудова картини зовнішнього евольвентного зачеплення.
73. Визначення основних розмірів зубчастих коліс, нарізаних інструментальною рейкою.
74. Дуга зачеплення та коефіцієнт перекриття евольвентних коліс.
75. Підрізання зубців. Визначення величини зміщення інструментальної рейки для усунення явища підрізання зубців.
76. Якісні характеристики зубчастих передач.
77. Методи виготовлення зубчастих коліс.
78. Диференціальний зубчастий механізм. Визначення передаточного відношення.
79. Планетарні механізми.
80. Визначення передаточного відношення планетарного редуктора.
81. Визначення кутових швидкостей епіциклічних зубчастих механізмів графічним способом.
82. Графічний метод визначення лінійних та кутових швидкостей планетарного зубчастого механізму.
83. Особливості зубчастої передачі Новікова.
84. Типи систем керування виконавчих механізмів машин-автоматів.
85. Зрівноваження механізмів на фундаменті методом замінюючих мас.
86. Статичне і динамічне балансування обертальних мас.
87. Моментне балансування тіл обертання.
88. Віброзахист машин.

## **МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ**

Контроль та оцінювання знань студентів здійснюється за методикою комплексної діагностики їхніх знань. Під час комплексного оцінювання знань студентів визначаються види робіт і критерії їх оцінювання з урахуванням особливостей навчального курсу. Критеріями оцінювання знань є:

– під час усних відповідей студентів: повнота розкриття питання; логіка викладеної та обґрунтованої власної думки, посилення на практичний досвід, результати наукових досліджень; уміння аналізувати, узагальнювати, робити порівняння та висновки;

– під час виконання письмових завдань: повнота розкриття питання; цілісність, системність, логічна послідовність, акуратність виконання роботи та літературного оформлення, наявність розрахунків, схем, малюнків, правильність тестових відповідей;

– під час здійснення пошуково-аналітичної роботи: обсяг і відповідність тематиці підбраного матеріалу; надійність та офіційність джерел інформації, обґрунтованість зроблених висновків.

### **Політика щодо відвідування**

Здобувач, який пропустив аудиторне заняття з поважних причин, має продемонструвати викладачу та надати до деканату факультету документ, який засвідчує ці причини.

За об'єктивних причин (хвороба, міжнародне стажування, наукова та науково-практична конференція (круглий стіл) тощо) навчання може відбуватись в он-лайн формі за погодженням із керівником курсу.

### **Політика щодо академічної доброчесності**

Тексти індивідуальних завдань (в тому числі у разі, коли вони виконуються у формі презентацій або в інших формах) можуть перевірятись на запозичення. Для цілей захисту індивідуального завдання оригінальність тексту має складати не менше 70%. Виключення становлять випадки зарахування публікацій здобувачів у

матеріалах наукових конференціях та інших наукових збірниках, які вже пройшли перевірку на плагіат.

Списування під час тестування та інших опитувань, які проводяться у письмовій формі, заборонені (в тому числі із використанням мобільних девайсів). У разі виявлення фактів списування з боку здобувача він отримує інше завдання. У разі повторного виявлення призначається додаткове заняття для проходження тестування.

### **Умови допуску до підсумкового контролю**

Здобувачу, який має підсумкову оцінку за дисципліну від 35 до 59 балів, призначається додаткова залікова сесія. В цьому разі він повинен виконати додаткові завдання, визначені викладачем.

Здобувач, який не виконав вимог робочої програми по змістових модулях, не допускається до складання підсумкового контролю. В цьому разі він повинен виконати визначене викладачем додаткове завдання по змісту відповідних змістових модулів в період між основною та додатковою сесіями.

Здобувач має право на опротестування результатів контролю (апеляцію). Правила подання та розгляду апеляції визначені внутрішніми документами КНУБА, які розміщені на сайті КНУБА та зміст яких доводиться Здобувачам до початку вивчення дисципліни.

Підсумкова оцінка виставляється з урахуванням поточної роботи студента протягом усього семестру. Враховується як відвідування занять та аудиторна робота, так і виконання індивідуального завдання та завдань для самостійного опрацювання. Оцінювання знань студентів під час поточного контролю відбувається за такими критеріями:

- правильність відповідей (правильне, чітке, достатньо глибоке викладення теоретичних завдань);
- ступінь усвідомлення програмного матеріалу й самостійність суджень;
- новизна навчальної інформації;
- рівень використання наукових (теоретичних) знань;

– вміння користуватися засвоєними теоретичними знаннями у повсякденному житті;

– відповідність студентів оцінюється також за логічністю, чіткістю, виразністю викладу навчальної літератури.

### Складання заліку (модуль 1)

Поточне оцінювання (кількість балів)		Модульний контроль (тестове завдання)	Сума балів
Змістовий модуль № 1	Змістовий модуль № 2		
30	30	40	100

### Порядок перерахунку рейтингових показників 100-бальної системи вищої школи в національну шкалу оцінювання знань і європейську шкалу ECTS при складанні заліку

Інтервальна шкала оцінок установлює взаємозв'язки між рейтинговими показниками та шкалами оцінювання.

### Шкала оцінювання: 100-бальна, національна та ECTS (складання заліку)

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90-100	<b>A</b>	Зараховано
82-89	<b>B</b>	
74-81	<b>C</b>	
64-73	<b>D</b>	
60-63	<b>E</b>	
35-59	<b>FX</b>	Не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	<b>F</b>	Не зараховано з обов'язковим повторним вивченням освітньої компоненти

### Захист курсового проекту (модуль 3)

Оцінювання курсового проекту (кількість балів)			Сума балів
Розрахункова частина	Графічна частина	Захист проекту	
25	34	41	100

### Підсумкова оцінка з освітньої компоненти (екзамен)

Модулі (кількість балів)			Підсумковий тест (екзамен)	Сума
№ 1	№ 2	№ 3		
10	10	50	30	100

### Шкала оцінювання: 100-бальна, національна та ECTS (захист курсового проекту та екзамен)

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90-100	<b>A</b>	Відмінно
82-89	<b>B</b>	Добре
74-81	<b>C</b>	
64-73	<b>D</b>	Задовільно
60-63	<b>E</b>	
35-59	<b>FX</b>	Не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	<b>F</b>	Не зараховано з обов'язковим повторним вивченням освітньої компоненти

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ТА РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО ОСВІТНЬОЇ КОМПОНЕНТИ «ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН»**

### **Законодавчі документи:**

1. Наказ МОН України від 20.06.2019 року № 865 «Про затвердження стандарту вищої освіти за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти» – <http://surl.li/faxlj>.

2. Наказ МОН України від 28.05.2021 року № 593 «Про внесення змін до деяких стандартів вищої освіти» – <http://surl.li/tvle>.

3. Освітньо-професійна програма «Інженерія логістичних систем» першого бакалаврського рівня вищої освіти за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія». – Київ: КНУБА, 2022. – 18 с. – <http://surl.li/mbiq1>.

4. Освітньо-професійна програма «Інжиніринг та обладнання зварювального виробництва» першого бакалаврського рівня вищої освіти за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія». – Київ: КНУБА, 2022. – 15 с. – <http://surl.li/mbkhq>.

### **Підручники:**

5. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин: підручник. – Київ: Наукова думка, 2002. – 662 с.

6. Руденко М.В., Калениченко Р.А., Капосльоз Г.В., Корчова Г.Л. Основи професійної освіти: підручник. – Київ: КНУБА, 2018. – 613 с.

### **Навчальні посібники:**

7. Ловейкін В.С., Почка К.І. Курсове проектування з теорії механізмів і машин: навчальний посібник. – Київ: ЦП «Компринт», 2023. – 311 с.

8. Ловейкін В.С., Почка К.І. Лабораторний практикум з теорії механізмів і машин: навчальний посібник. – Київ: ЦП «Компринт», 2014. – 266 с.

9. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин: короткий довідник для студентів інженерно-технічних спеціальностей. – вид. 3-тє, випр. і доп. – Хмельницький: ХНУ, 2013. – 59 с.

10. Ловейкін В.С., Почка К.І. Курсове проектування з теорії механізмів і машин: навчальний посібник. – Київ: КНУБА, 2010 – 240с.

11. Пелевін Л.Є., Почка К.І., Гаркавенко О.М. Механіка механізмів. Частина І. Структура і класифікація механізмів, їх кінематичний та силовий аналіз: навчальний посібник. – Київ: ТОВ «НВП «Інтерсервіс», 2017. – 170 с.

12. Черниш О.М., Березовий М.Г., Яременко В.В. Теорія механізмів і машин: навчальний посібник. Частина 1. – Київ: Центр навчальної літератури, 2018. – 464 с.

13. Ловейкін В.С., Ярошенко В.Ф., Почка К.І. Теорія механізмів і машин: навчальний посібник. – Ніжин: Міланік, 2007. – 140 с.

14. Пирогов В.В., Філімоніхін Г.Б., Невдаха А.Ю. Теорія механізмів і машин. Частина 1: навчальний посібник. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – 88 с.

15. Кінденко М.І. Теорія механізмів і машин: навчальний посібник для студентів технічних спеціальностей всіх форм навчання. – Краматорськ: ДДМА, 2018. – 82 с.

16. Руденко М.В., Красильник Ю.С., Корчова Г.Л. Методика викладання у вищій школі: навчальний посібник. – Київ: КНУБА, 2022. – 296 с.

17. Красильник Ю.С., Корчова Г.Л., Руденко М.В. Методика проведення навчальних занять в умовах дистанційного навчання: навчальний посібник. – Київ: КНУБА, 2021. – 156 с.

18. Красильник Ю.С., Корчова Г.Л., Руденко М.В. Педагогіка: навчальний посібник. – Київ: КНУБА, 2020. – 152 с.

19. Руденко М.В., Ніколаєнко С.В., Мороз І.М. Методика професійного навчання. Дидактичне проектування: навчальний посібник. – Київ: КНУБА, 2016. – 132 с.

20. Руденко М.В., Мороз І.М. Комунікативні процеси у педагогічній діяльності. Креативні технології навчання: навчальний посібник. – Київ: КНУБА, 2016. – 204 с.

21. Зайченко І.В. Педагогіка і методика навчання у вищій школі: навчальний посібник. – 2-е вид., переробл. і доп. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2017. – 456 с.

### **Конспекти лекцій:**

22. Заховайко О.П. Теорія механізмів і машин. Курс лекцій. – Київ: НТУУ «КПІ», 2010. – 243 с.

### **Методичні роботи:**

23. Ловейкін В.С., Почка К.І. Теорія механізмів і машин: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальностей 015 «Професійна освіта (Машинобудування)», 131 «Прикладна механіка» та 133 «Галузеве машинобудування». – Київ: КНУБА, 2019 р. – 100 с.

24. Почка К.І. Основи теорії механізмів і машин: методичні вказівки до вивчення навчальної дисципліни для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» галузі знань 18 «Виробництво та технології». – К.: ЦП «Компринт», 2023. – 56 с.

25. Почка К.І. Основи теорії механізмів і машин: методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» галузі знань 18 «Виробництво та технології». – К.: ЦП «Компринт», 2023. – 60 с.

26. Красильник Ю.С. Педагогічна майстерність викладача професійної освіти: методичні вказівки до вивчення навчальної дисципліни для студентів спеціальності 015 «Професійна освіта». – Київ: КНУБА, 2022. – 56 с.

27. Красильник Ю.С. Комунікативні аспекти педагогічної діяльності: методичні вказівки до вивчення навчальної дисципліни. – Київ: КНУБА, 2019. – 88 с.

### **Інформаційні ресурси:**

28. <https://mon.gov.ua/ua> – сайт Міністерства освіти і науки України.

29. <http://library.knuba.edu.ua> – сайт бібліотеки КНУБА.

30. <http://org2.knuba.edu.ua> – освітній сайт КНУБА.

Навчально-методичне видання

# ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН

Методичні вказівки до вивчення освітньої компоненти  
для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»  
галузі знань 13 «Механічна інженерія»

Укладач **ПОЧКА** Костянтин Іванович

Комп'ютерне верстання К.І. Почка

Підписано до друку 24.01.2024 р. Зам. № 19.  
Формат 60x84 1/16. Папір офсетний. Друк – цифровий.  
Наклад 50 прим. Ум. друк. арк. 5,2.  
Друк ЦП «КОМПРИНТ». Свідоцтво ДК №4131 від 04.08.2011 р.  
м. Київ, вул. Васильківська, 32  
067-209-54-30, 097-533-18-07  
email: komprint@ukr.net