

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ ТА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ  
РОБОТИ З КУРСУ  
“ДИНАМІКА МЕТАЛООБРОБНОГО ОБЛАДНАННЯ”  
ДЛЯ СТУДЕНТІВ УСІХ ФОРМ НАВЧАННЯ ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ  
7.090202 – “ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ”  
(У ТОМУ ЧИСЛІ СКОРОЧЕНИЙ ТЕРМІН НАВЧАННЯ);  
7.090203 – “МЕТАЛОРІЗАЛЬНІ ВЕРСТАТИ І СИСТЕМИ”  
(У ТОМУ ЧИСЛІ СКОРОЧЕНИЙ ТЕРМІН НАВЧАННЯ)

КРЕМЕНЧУК 2002

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ ТА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ  
РОБОТИ З КУРСУ  
“ДИНАМІКА МЕТАЛООБРОБНОГО ОБЛАДНАННЯ”  
ДЛЯ СТУДЕНТІВ УСІХ ФОРМ НАВЧАННЯ ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ  
7.090202 – “ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ”  
(У ТОМУ ЧИСЛІ СКОРОЧЕНИЙ ТЕРМІН НАВЧАННЯ),  
7.090203 – “МЕТАЛОРИЗАЛЬНІ ВЕРСТАТИ І СИСТЕМИ”  
(У ТОМУ ЧИСЛІ СКОРОЧЕНИЙ ТЕРМІН НАВЧАННЯ)

КРЕМЕНЧУК 2002

Методичні вказівки до виконання контрольної та розрахунково-графічної роботи з курсу "Динаміка металообробного обладнання" для студентів усіх форм навчання зі спеціальностей 7.090202 – "Технологія машинобудування" (у тому числі скорочений термін навчання); 7.090203 – "Металорізальні верстати і системи" (у тому числі скорочений термін навчання).

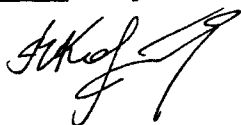
Укладачі: доцент Олександр Федорович Саленко  
доцент Григорій Петрович Хаблю

Кафедра КМТО

Затверджено методичною радою університету

Протокол № 5 від 25.11 2002 р.

Голова методради



В.В. Костін



## ВСТУП

Одним з пріоритетних напрямів розвитку промисловості України є раціональне та високоєфективне використання потенціалу промислового обладнання, науково обгрунтованих підходів до проблеми доцільної експлуатації. З іншого боку, від розробників нових верстатів виробництво країни та зарубіжжя потребує надійних, динамічно сталих систем, спроможних виконувати якісну високопродуктивну обробку з інтенсивними режимами різання, забезпечуючи при цьому конкурентоспроможну ціну виробленої продукції.

Дисципліна “Динаміка металообробного обладнання” є спеціальною учбовою дисципліною в системі підготовки спеціалістів за фахом 7.090202 “технологія машинобудування” та 7.090203 “Металорізальні верстати і системи”, і ставить своєю метою дати студентам базові знання з питань динамічної якості верстатних систем, характеристик сталості роботи окремих робочих органів та верстата в цілому, сформувати комплексний підхід до основ математичного моделювання поведінки верстатної системи в умовах реальних процесів різання матеріалів, у тому числі, нових металевих і неметалевих композитів.

При викладанні дисципліни розглядаються питання розробки динамічних моделей робочих органів верстату та розрахунок їхніх параметрів, надається детальний аналіз характеристик робочих та допоміжних процесів, динамічної пружної системи верстата, характеристик приводів головного руху та приводів подач, механізмів допоміжних рухів та формуютьорюючих переміщень робочих органів.

# 1. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

## 1.1. Мета і завдання дисципліни, її місце у навчальному процесі

**Зміст навчальної дисципліни:** доведення до студентів відомостей про динамічні процеси, що відбуваються при роботі верстатів у процесі різання металів та нових неметалевих матеріалів, принципи керування та оптимізації таких процесів із використанням математичного апарату.

**Мета навчальної дисципліни:** формування у студентів системи комплексу знань з основ динамічної поведінки верстатних систем та відповідного математичного моделювання таких систем для подальшої оптимізації їх конструкцій та технологічних процесів. Для досягнення поставленої мети вирішується ряд задач:

- встановлення принципів та основ складання динамічних моделей реальних верстатних систем та допоміжних пристроїв (промислових роботів, транспортного устаткування);
- оптимізація конструкцій верстатів для досягнення заданих показників динамічної якості;
- усунення небажаних динамічних коливань у механічних, електромеханічних та гідромеханічних системах.

**Значення та місце дисципліни у навчальному процесі:** дана дисципліна базується на знаннях вищої математики, інтегрального та диференційного числення, теорії коливань, теорії пружності, механіки руйнування твердого тіла, опору матеріалів, теорії автоматичного керування, а також практичних навичках виконання вимірів та зняття робочих характеристик на діючому обладнанні. В свою чергу динаміка металорізального обладнання забезпечує та доповнює технологію верстато- та машинобудування, основи наукових досліджень студентів та ін.

**Види занять з дисципліни:** програмою передбачено для спеціальності 7.090203 “Металорізальні верстати і системи” проведення лекційних занять, лабораторного практикума та практичних занять, а також виконання розрахунково-графічної роботи, а для спеціальності 7.090202 “Технологія машинобудування”- лекцій та практичних занять.

**В результаті вивчення дисципліни студент повинен знати:**

- основні показники динамічної якості верстатів;
- методи зниження або повного усунення небажаних коливань;
- складання розрахункових схем та їх спрощення;
- основи динамічного моделювання вузлів металорізальних верстатів;

- принципи забезпечення стабільності процесу різання;
- методи досягнення заданих показників динамічної точності;

**вміти:**

- будувати фізичні моделі процесів, складати та спрощувати розрахункові схеми, складати диференційні рівняння, що описують фізичні явища та поведінку системи в цілому;
- виконувати зняття динамічних характеристик при роботі верстата або промислового робота, усувати небажані коливання корегуванням динамічних параметрів верстата та режимами ведення обробки;
- розробляти заходи для забезпечення певної зони динамічної сталості системи при обробці високоточних складних деталей.

Всвітлювальний курс також органічно пов'язаний з іншими курсами інженерного напрямку, що забезпечує комплексну підготовку висококваліфікованих спеціалістів для народного господарства України.

## **1.2. Самостійна робота**

Значну частину курсу “Динаміка металообробного обладнання” студенти вивчають самостійно. Приступаючи до вивчення курсу, преш за все необхідно ознайомитися з програмою, її змістом, обсягом кожної теми і послідовно включених до неї питань. Обов'язково необхідно усвідомити значення і зв'язок даної дисципліни в системі комплексу підготовки спеціаліста – інженера-механіка або інженера-технолога.

Для кращого засвоєння матеріалу студент повинен вести конспект, до якого заносити формулювання основних положень та понять, значення нових та незнайомих термінів та назв, розкривати сутність методів та методик.

Після вивчення теми необхідно відповісти на питання для самоконтролю, не користаючися конспектом або підручником.

### *Основні форми самостійної роботи студентів з курсу:*

- перегляд конспектів лекцій;
- вивчення основної та допоміжної літератури, написання конспектів;
- розв'язання персональних завдань та задач з динамічного моделювання процесів, що протікають на різних видат технологічного обладнання;
- написання рефератів з використанням матеріалів періодичних видань, підручників та монографій.

### **1.3. Лекції**

Лекції для студентів стаціонарного відділення спеціальностей 7.090202 та 7.090203 читаються викладачем протягом семестру. Лекційний курс побудовано так, щоб студенти охопили певне коло питань, пов'язаних із забезпеченням динамічної сталості діючих верстатів за допомогою конструкторських або технологічних засобів. При цьому надається фізика процесу появи динамічних збурень, основні положення математичного опису, результати досліджень різних фахівців, наводяться висновки проведених досліджень. у тому числі і автором даного курсу.

Відповідно до плану заочного навчання з даної дисципліни передбачені лекції, які викладаються у період установчих або лабораторно-екзаменаційних сесій. Вони мають більш стислий характер, однак, як і для стаціонарного навчання, розкривають практично всі питання, що охоплює даний курс. Установчі лекції читаються студентам перед початком вивчення курсу. Їх мета - полегшити засвоєння матеріалу. На установчих лекціях подається систематизація по кожному розділу, пояснюються окремі теоретичні положення і при цьому зосереджується погляд на розрахунках і відповідях на питання контрольних завдань.

Оглядові лекції читаються студентам у період заліково-екзаменаційної сесії. На цих лекціях уточнюються окремі найбільш складні питання курсу, узагальнюється матеріал, вивчений студентами самостійно на протязі семестру, дається огляд літератури по даній дисципліні.

Загальний обсяг лекцій визначається навчальним планом.

### **1.4. Консультації**

Якщо при вивченні курсу, написанні реферату або виконанні контрольної роботи виникають труднощі, студентам необхідно звернутися до викладача за консультацією, який веде курс або до рецензента контрольної роботи. На консультаціях студенти також обговорюють отримані в при роботі над контрольним завданням результати, корегують обрані напрямки і методи розв'язання поставлених задач.

### **1.5. Практичні заняття**

На практичних заняттях студенти закріплюють отримані при вивченні лекційного курсу знання, одночасно поглиблюючи та конкретизуючи їх. Практики мають величезне значення для набуття цілісної уяви з викладених питань, навичок практичної реалізації отриманих знань. Окрім того, на практиках, як правило, знімаються питання, що виникають при самостійній роботі студента та пов'язані із

засвоєнням даного курсу. Тематика практичних занять відповідає загальній концепції дисципліни.

Практичне заняття складається з двох частин: теоретичної підготовчої, протягом якої за завданням викладача студенти конкретизують поставлені задачі, задають запитання та обговорюють відповіді на них, готують необхідні матеріали для виконання роботи; практичної – коли поставлені задачі розв'язуються студентами за допомогою різних засобів – підручників, довідників, використовуючи при цьому калькулятори або персональні комп'ютери. В кінці заняття підводяться підсумки – викладачем подаються відповіді на запитання, обговорюються результати розрахунків, формулюються резюме.

### *1.6. Лабораторні заняття*

Лабораторні заняття поєднані між собою у єдиний концептуальний лабораторний практикум, який ставить своєю метою надати студентам практичні навички зняття динамічних характеристик реальних верстатних систем, вести статистичну обробку даних, освоїти прийоми роботи з вимірювальною апаратурою, тощо. Саме лабораторний практикум полегшує розуміння процесів, що відбуваються в металорізальних системах, наочно ілюструючи приклади сталого різання та порушення сталості при виконанні певних видів робіт, а також надає можливість студентам перевірити методики боротьби з небажаними динамічними явищами.

### *1.7. Екзамен (залік)*

До складання екзамену (заліку) допускаються студенти, які виконали контрольне завдання (роботу) і не мають академічної заборгованості за минулу залікова-екзаменаційну сесію. При складанні екзамену (заліку) подається залікова контрольна робота або реферат. Студенти стаціонарного відділення спеціальності 7.090203 перед складанням екзамену повинні також захистити виконану розрахунково-графічну



## 2. ЗАГАЛЬНИЙ ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ

### 2.1. Зміст лекційного курсу

#### Розділ 1. Основні положення та понятійний апарат динаміки верстатів

Тема 1. Пружна система металорізального верстата – як базис розгляду динамічних характеристик робочих органів та машини в цілому.

Задачі вивчення курсу. Сучасні проблеми вдосконалення верстатів.

Роль динаміки верстатів у системі конструкційних і технологічних засобів забезпечення сталості процесу різання.

Тема 2. Основні показники динамічної якості верстата.

Сталість, запас та ступінь сталості. Відхилення характеристик при зовнішньому збурюючому впливі. Бистродія верстата та рекуперація енергії. Оптимізація динамічних характеристик перехідних процесів

#### Розділ 2. Розробка динамічної системи верстата та її моделювання

Тема 1. Сукупність та поєднання процесів різання, процесів тертя та процесів у двигунах в пружній системі верстата. Параметри динамічної системи

Взаємодії процесів різання, тертя та процесів у двигунах через пружну систему верстата. Особливості та характеристики динамічної системи. Моделі елементів пружної системи верстата. Параметри дискретних моделей. Приведення жорсткостей. Розрахунок моментів інерції мас. Розрахунок приведенного момента інерції мас. Приведення дисипативних елементів.

Тема 2. Складання та спрощення розрахункових схем.

Динамічні характеристики простих коливальних систем. Власні частоти коливань та вузол коливань. Форми коливань. Парціальні системи розрахункових схем. Перетворення парціальних систем. Спрощення розрахункових схем при математичному моделюванні. Принципи математичного моделювання елементів верстата за розробленими розрахунковими схемами. Експериментальний метод складання розрахункових схем та математичних моделей.

Тема 3. Характеристики робочих процесів.

Характеристики процесу різання. Типи збурень, що викликаються процесом різання металів. Особливості різання нових конструкційних матеріалів - неметалевих композитів. Частотний спектр збурень від сили різання. Характеристики процесів тертя.

### Розділ 3. Забезпечення сталості процесу різання та динамічна точність верстатів

#### Тема 1. Забезпечення сталості процесу різання.

Вплив на сталість динамічної характеристики процесу різання.  
Вплив на сталість координатного зв'язку пружної системи.  
Автоколивання при різанні металів та неметалевих пластмас. Межа вібросталості верстата.

#### Тема 2. Динамічна навантаженість та точність при характерних режимах роботи верстата.

Динамічна навантаженість при ввімкненні приводу. Математичний опис плинних процесів перехідного характеру. динамічна навантаженість в трьохмасовій системі. Наявність елементів з нелінійними характеристиками. Обчислення власних частот коливань. Обчислення максимальних значень моментів та сил у системі. Динаміка приводів допоміжних рухів робочих органів верстата.

#### Тема 3. Динамічна точність процесів формоутворення при різанні.

Вимоги до точності формоутворюючих переміщень робочих органів верстата. Помилки та неточності обробки при статичному та динамічному прикладанні сил різання. Методи виключення резонансних частот. Вплив коливань у парі "інструмент-деталь" на форму утворюваної поверхні. Поняття про динамічні гасники коливань.

### Розділ 4. Динамічні процеси у гідроприводах верстатів

#### Тема 1. Динаміка гідравлічного слідкуючого привода.

Основні положення, що використовуються при моделюванні. Вплив пульсацій рідини від станції живлення на точність відпрацювання переміщень та загальні показники динамічної якості верстату.

#### Тема 2. Встановлення зони сталості при роботі гідропривода

Критерії сталості процесу відпрацювання переміщень. Розрахунок сталості та запасу сталості з використанням підходів теорії автоматичного керування. Оцінка помилок відпрацювання переміщень для однокоординатного та двокоординатного слідкуючого гідропривода.

## 2.2. Перелік тем практичних занять

Тема 1. Складання розрахункових схем динамічних систем. Опис роботи систем у диференційному вигляді.

Розглядають континуальні моделі, які складаються на основі відповідних кінематичних схем приводів подач, коробок приводу головного руху або допоміжних пристроїв верстата. Розкриваються питання складання диференційних рівнянь, за допомогою яких визначаються основні характеристики роботи того чи іншого вузла верстата. Диференційні рівняння розв'язуються у середовищі MCAD 7 або MATLAB з використанням пакету SIMULINK.

Тема 2. Спрощення розрахункових схем. Пониження порядку диференційних рівнянь, що описують реальну систему.

Спрощення розрахункових схем здійснюється для реальних багатомасових систем шляхом приведення відповідних жорсткостей та дисипативних елементів. За приклад вибираються, як правило, коробки подач або коробки силових головок. Пониження порядку диференційних рівнянь виконується на основі аналізу динамічної системи важелів маніпулятора промислового робота (багатоланкового механізму з великою кількістю ступенів вільності).

Тема 3. Основи математичного моделювання поведінки робочих органів верстата.

Розглядаються типові вузли верстата та виконується моделювання їхньої роботи. До таких органів відносять: привод головного руху (наприкладі силової головки або фрезерної бабки), привод подач (або силовий стіл агрегатного верстата), механізм завантаження та розвантаження верстата, привод допоміжних переміщень, затисні механізми верстата (наприкладі цангових патронів).

Тема 4. Моделювання точності відтворення заданого контуру

Виконується на базі аналізу роботи двох приводів подач хрестового столу на характерних режимах роботи верстата: вихід у задану точку, відпрацювання контуру на критичних кутах, переміщення між двома позиціями циклової обробки. Моделювання виконується за допомогою розробленого математичного та програмного забезпечення. Передбачено також виконання статистичної обробки даних розрахунку для

встановлення найбільш ймовірної помилки відпрацювання заданого переміщення.

## Тема 5. Моделювання роботи гідравлічного слідкуючого приводу

Виконується на базі аналізу процесів у силовому гідроприводі подачі, керування яким здійснюється за допомогою електрогідравлічного перетворювача лінійного або обертового типів. Аналізуються нелінійності системи, визначається зона роботи приводу та запас сталості. Встановлюються умови порушення сталості роботи привода подач.

### 2.3. Перелік занять лабораторного практикуму

#### Лабораторна робота №1

Оцінка перехідних процесів приводів у нестационарних умовах

Мета роботи – отримання картини перехідних процесів при розгоні та гальмуванні елементів приводу подач металорізального верстата.

#### Лабораторна робота №2.

Експериментальні дослідження опор рідинного тертя

Мета лабораторної роботи – ознайомлення студентів з конструкцією, роботою гідростатичних високоточних опор та з методами їх дослідження.

#### Лабораторна робота №3.

Динамічне моделювання поведінки мультипликаторної системи

Мета лабораторної роботи – ознайомлення з принципами ідентифікації та динамічного моделювання гідрофікованих пристроїв – мультипликаторного джерела живлення високого тиску.

#### Лабораторна робота №4.

Дослідження спектру коливань різця токарного верстата при обробці валика

Мета лабораторної роботи – зняття спектрограми шумової емісії при різанні в умовах сталого та несталого різання та оцінка можливості використання даного фактору для керування процесом різання в металообробному обладнанні.

## **2.4. Теми та завдання для самостійної роботи студентів**

### **Тема 1. Робота верстатів-автоматів**

Особливості динамічної системи верстата-автомата. Забезпечення динамічної сталості при обробці точних деталей. Моделювання робочих та допоміжних органів верстатів-автоматів.

### **Тема 2. Особливості динамічного моделювання шліфувальних верстатів та керування процесом обробки**

Динамічне моделювання верстатів шліфувальної групи. Задачі динамічного моделювання. Забезпечення точності обробки у даній групі верстатів. Встановлення критерія якості обробки. Забезпечення сталості процесу мікроіризація за рахунок корегування режимів ведення обробки.

### **Тема 3. Динаміка гідрофікованих приводів подач**

Основні несталості при роботі таких систем. Методи підвищення динамічної точності при відпрацюванні переміщень хрестовими столами та лінійними приводами.

### **Тема 4. Спектральний аналіз при дослідженні верстатних систем**

Дослідження спектру динамічних коливань елементів металорізальних верстатів. Прилади та обладнання, необхідні для виконання комплексу досліджень, проведення експериментальних досліджень. Визначення резонансних частот коливань вузлів металорізального верстата.

## **3. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ СТУДЕНТАМИ ЗАОЧНОГО ВІДДІЛЕННЯ**

Контрольна робота для студентів заочної форми навчання дозволяє привити практичні навички у розв'язанні реальних задач та поглибити знання з окремих теоретичних питань. Контрольна робота виконується у зошиті або на аркушах ф.А4 в обсязі 15...20 аркушів.

Робота містить два теоретичних питання (з переліку питань для самоконтролю) та одне розрахункове завдання. Сутність завдання полягає у спрощенні розрахункової схеми та приведенні її до дво- або трьохмасової системи з наступним записом системи диференціальних рівнянь для опису її роботи.

Вибір завдання для виконання контрольної роботи здійснюється за двома останніми цифрами номера залікової книжки. Номер завдання відповідає сумі цих цифр. Наприклад, номер 99321 – сума останніх цифр (і номер завдання) – 3 (2+1). Питання вибираються із переліку питань для

самоконтролю. Кінематичні схеми подано на рис. 1...9. Завдання на контрольну роботу подано в табл. 1.

Таблиця 1

**Завдання до контрольної роботи**

Останні цифри номера залікової книжки	Теоретичні питання	Розрахункова схема	Що потрібно зробити
01	Питання 1,25	Рис.1	Привести до трьохмасової схеми
02	Питання 12,18	Рис.5	Привести до трьохмасової схеми
03	Питання 3,5	Рис.6	Привести до двохмасової схеми
04	Питання 34,12	Рис.8	Привести до трьохмасової схеми
05	Питання 11,22	Рис.9	Привести до трьохмасової схеми
06	Питання 7,28	Рис.1	Привести до трьохмасової схеми
07	Питання 14,8	Рис.5	Привести до трьохмасової схеми
08	Питання 2,9	Рис.6	Привести до двохмасової схеми
09	Питання 10,30	Рис.8	Привести до двохмасової схеми
10	Питання 4,31	Рис.9	Привести до трьохмасової схеми
11	Питання 13,32	Рис.1	Привести до двохмасової схеми
12	Питання 17,33	Рис.5	Привести до двохмасової схеми
13	Питання 19,34	Рис.6	Привести до трьохмасової схеми
14	Питання 14,35	Рис.8	Привести до двохмасової схеми
15	Питання 15,21	Рис.9	Привести до трьохмасової схеми
16	Питання 10,26	Рис.1	Привести до двохмасової схеми
17	Питання 22,27	Рис.6	Привести до двохмасової схеми
18	Питання 4,20	Рис.5	Привести до трьохмасової схеми
19	Питання 3,19	Рис.8	Привести до трьохмасової схеми
20	Питання 2,37	Рис.9	Привести до трьохмасової схеми

#### 4. ВАРІАНТИ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Розрахунково-графічна робота з курсу “Динаміка металообробного обладнання” ставить своєю метою закріпити засвоєні студентами в процесі навчання знання та привити навички виконання динамічного аналізу верстатних систем та елементів технологічного комплексу.

Розрахунково-графічна робота складається з одного аркушу креслень ф. А1 та пояснювальної записки обсягом 25-30 стор. ф. А4.

На аркуші креслення студент зображує: у верхньому лівому куті – кінематичну схему вузла верстата, під нею – розрахункову схему, на залишеному правому полі будує графіки перехідних процесів відповідно до варіанта завдання.

Пояснювальна записка складається з таких частин.

**Вступ.** У вступі подаються загальні відомості щодо необхідності дослідження динамічних процесів металообробного обладнання, ставляться задачі виконання роботи.

**1 розділ.** В ньому подається завдання дослідження, розробляється розрахункова схема вузла верстата і виконується її спрощення. Подається аналіз методів і прийомів розв'язання поставленої задачі, обирається найбільш доцільний.

**2 розділ.** Присвячений складанню рівнянь, що описують поведінку аналізованої системи. В розділі також аналізуються існуючі в системі нелінійності, визначаються прийоми комп'ютерного моделювання, наводяться відповідні графіки. Тут же описуються основні блоки програмної реалізації алгоритмів моделювання системи, або подається опис взаємодії блоків при використанні пакету SIMULINK.

**3 розділ.** Містить інформацію про результати розрахунків та їхню інтерпретацію. В розділі виконується аналіз отриманих перехідних процесів, робляться висновки щодо сталості протікання процесу при відпрацюванні заданого навантаження, визначається помилка відпрацювання переміщень, тощо. Тут же подається результат обговорення листингу програм та графіків перехідних процесів.

**Висновки.** Подаються загальні висновки по роботі.

**Список використаних джерел.** Робиться перелік літературних джерел з обов'язковим посиланням на них у тексті пояснювальної записки.

Оформлена пояснювальна записка разом з аркушем креслення та дискетою результатів розрахунку підшивається у папку та подається на рецензію викладачеві. Після перевірки та доопрацювання у разі виявлення викладачем помилок або неточностей, робота подається до захисту.

Вибір завдання для виконання розрахунково-графічної роботи здійснюється за двома останніми цифрами номера залікової книжки. Номер завдання відповідає сумі цих цифр. Наприклад, номер 98216 – сума останніх цифр (і номер завдання) – 7 (6+1). Інерційні характеристики зосереджених мас студент повинен встановити через модуль зачеплення  $m$ , віднайшовши діаметр зубчастого колеса та прийнявши його ширину 15...20 модулів, і далі визначивши масу колеса через його питому вагу. Інші необхідні параметри студент приймає самостійно. Завдання зведені у табл.2. Параметр пружності прийняти у межах:  $c_1=8...35$  Н/мкм, параметр  $b=0.0052...0.0093$ . Діаметри валів визначити відповідно до встановлених на ньому зубчастих коліс. Моменти тертя у опорах – 0.1...0.8 Нм, сила тертя у направляючих – 250...400 Н; робоче навантаження: для приводів подач – 1200...1500 Н, для приводу головного руху 160...500 Нм.

## Завдання до розрахунково-графічної роботи

Останні цифри номера залкової книжки	Що потрібно зробити	Розрахункова схема	Необхідні дані
01	Встановити перехідний процес при розгоні привода	Рис. 1	$m=2.0$
02	Визначити точність позицювання	Рис. 2	$m=2.5$
03	Визначити точність позицювання	Рис. 3	$m=1.75$
04	Встановити перехідний процес при гальмуванні привода	Рис. 4	$m=2.5$
05	Визначити точність позицювання	Рис. 5	$m=2.0$
06	Встановити перехідний процес при розгоні привода	Рис. 6	$m=2.0$
07	Встановити перехідний процес при розгоні привода	Рис. 7	$m=2.25$
08	Встановити перехідний процес при гальмуванні привода	Рис. 8	$m=1.75$
09	Встановити перехідний процес при роб. навантаженні	Рис. 9	$m=2.5$
10	Встановити перехідний процес при гальмуванні привода	Рис. 1	$m=2.0$
11	Визначити точність позицювання	Рис. 2	$m=1.75$
12	Визначити точність позицювання	Рис. 3	$m=2.25$
13	Визначити точність позицювання при повороті	Рис. 4	$m=2.5$
14	Визначити точність позицювання	Рис. 5	$m=2.25$
15	Встановити перехідний процес при роб. навантаженні	Рис. 6	$m=2.5$
16	Встановити перехідний процес при роб. навантаженні	Рис. 7	$m=2.25$
17	Встановити перехідний процес при гальмуванні привода	Рис. 8	$m=1.75$
18	Встановити перехідний процес при гальмуванні привода	Рис. 9	$m=2.5$
19	Встановити перехідний процес при роб. навантаженні	Рис. 1	$m=2.25$
20	Визначити точність позицювання	Рис. 2	$m=1.75$

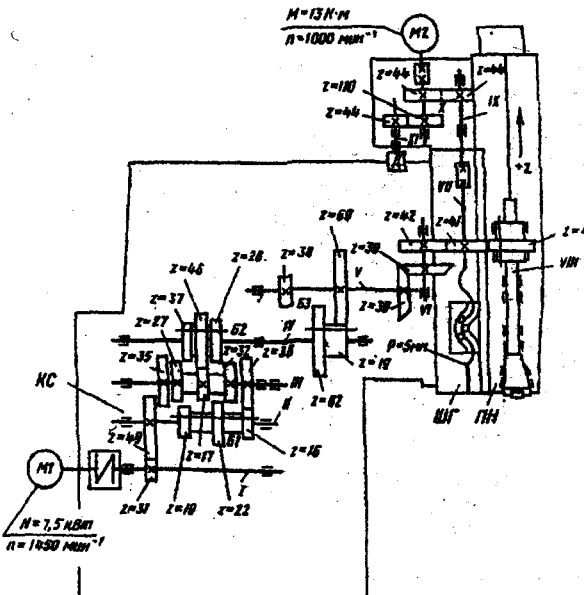


Рис. 1. Кінематична схема головного привода фрезерного врістата мод. 6Р13Ф3



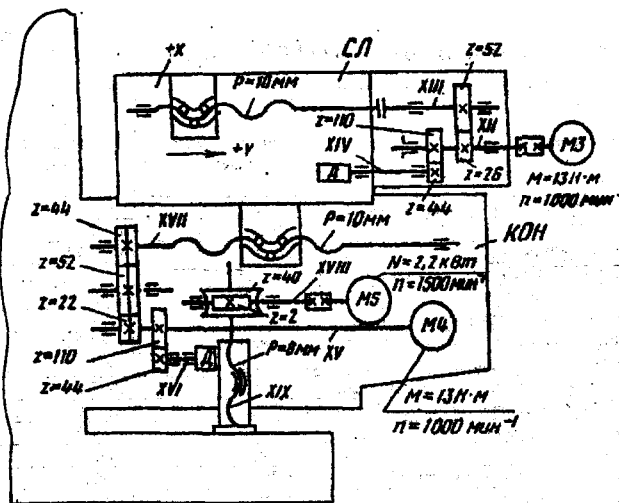


Рис. 2. Кінематична схема хрестового столу фрезерного верстата мод. 6P13Ф3

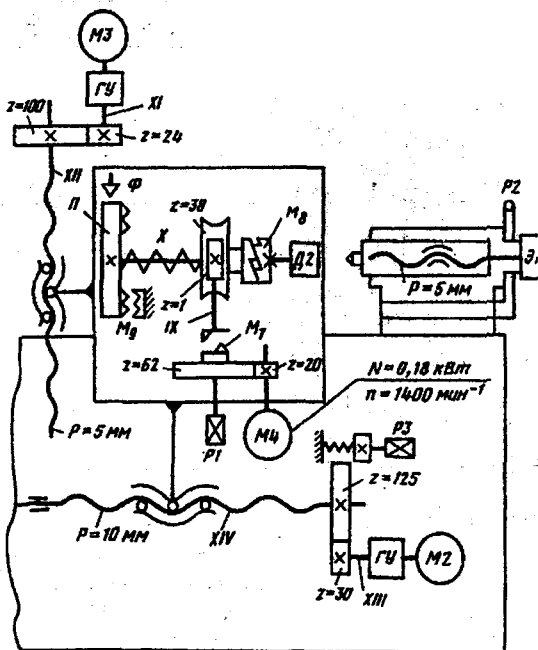


Рис. 3. Кінематична схема приводу поздовжнього та поперечного переміщення супорта верстата мод. 16K20Ф3

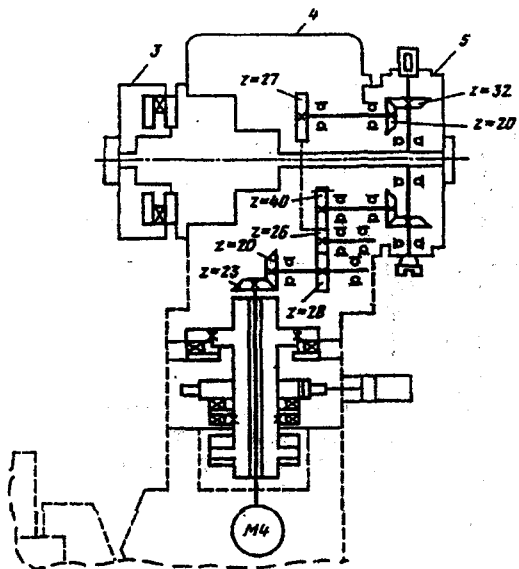


Рис. 4. Кінематична схема приводу планшайби та додаткового шпинделя обробного центру Ікегай (Японія)

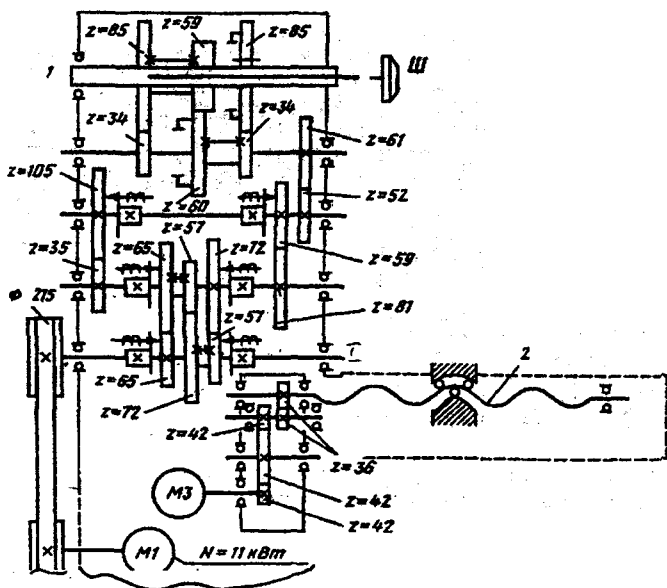


Рис. 5. Головний привод та привод поздовжньої подачі обробного центру Ікегай (Японія)

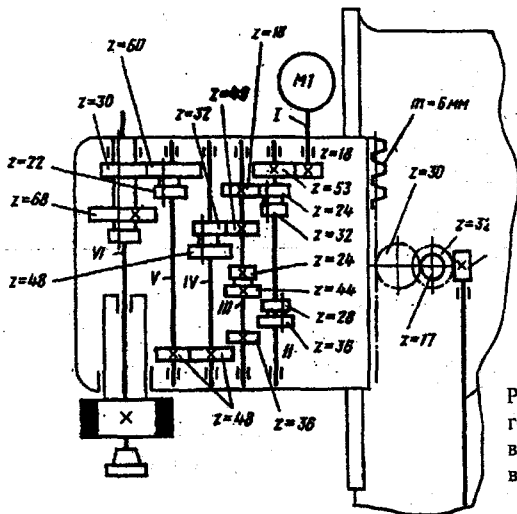


Рис. 6. Кінематична схема головного приводу вертикально-фрезерного верстата мод. 6А54

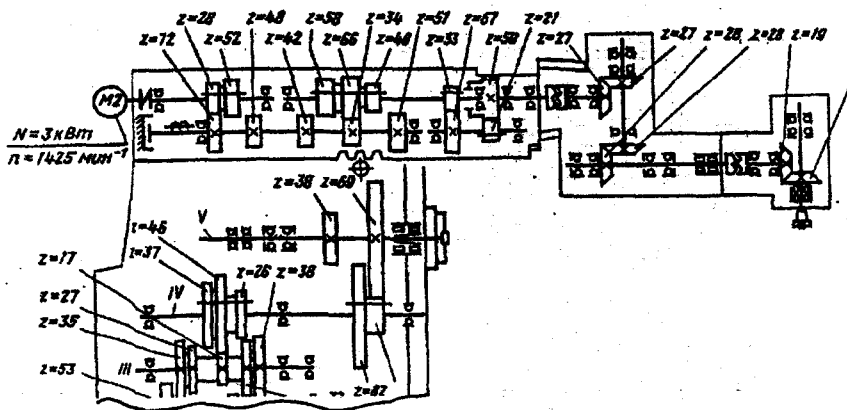


Рис. 7. Кінематична схема приводу вертикального шпінделя широкоуніверсального консольно-фрезерного верстата мод. 6Т82Ш-1

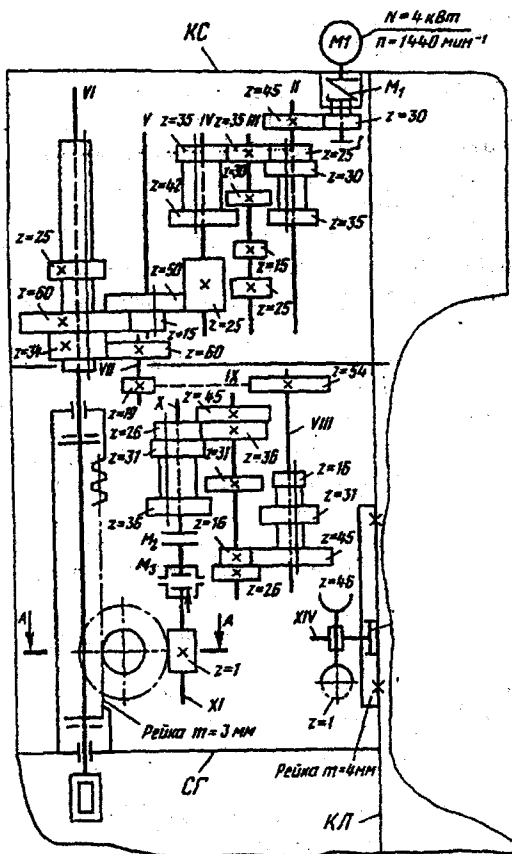


Рис. 8. Кінематична схема  
силової головки  
вертикально-  
свердлувального верстата  
мод. 2Н135

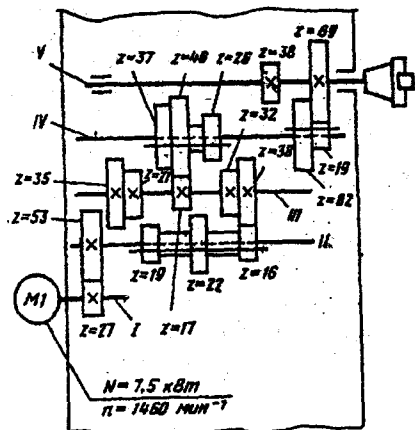


Рис. 9. Кінематична схема головного  
приводу широкоуніверсального  
фрезерного верстата 6Р82III

## 5. ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Сформулюйте мету та основні задачі вивчення курсу “Динаміка металорізального обладнання”. Наведіть базові поняття та визначення. Сформулюйте принципи забезпечення високої ефективності та точності обробки за рахунок динамічної якості пружної системи верстата.
2. Охарактеризуйте процес різання металу та розкрийте його фізичну сутність. Наведіть особливості різання неметалевих матеріалів, у тому числі, композитних. –Подайте приклади структурної та динамічної моделей процесу різання. Представте процес різання у вигляді ланки апарату ТАР.
3. Сформулюйте основні положення динамічного моделювання пружної системи верстата. Наведіть спрощену динамічну модель верстатної системи. подайте основні параметри моделі.
4. Дайте визначення динамічної навантаженості окремих вузлів верстата. Як визначається точність при характерних режимах роботи приводів (для випадку розгону та гальмування обертових мас)?
5. Подайте загальну характеристику параметрів дискретних систем. Як визначається жорсткість елементів та їх демпфуючі властивості? Наведіть правило приведення жорсткостей.
6. Як визначається максимальний динамічний момент на валу в приводі верстата при розгоні та при гальмуванні?
7. Подайте методику розрахунку приведенного моменту інерції мас. Розкрийте часткові випадки - випадок плоскопаралельного руху окремих елементів та обертового руху (на прикладі зубчастих коліс коробки швидкостей верстата).
8. Розкрийте природу явища автоколивань при різанні металів. У чому полягає дозування енергії від зовнішнього джерела?
9. Що таке дисипативні елементи? Дайте основні характеристики дисипативних елементів та правило їх приведення. Подайте основні правила складання розрахункових схем та їх подальшого спрощення.
10. Наведіть умови сталості динамічної системи верстата. Який вплив на сталість має координатний зв'язок пружної системи.
11. Наведіть динамічні характеристики простих коливальних систем. У чому полягають принципи складання розрахункових схем?
12. Яка фізична сутність осей жорсткості пружної системи верстата? У чому полягає координатний зв'язок між осями жорсткості? Наведіть його математичний вираз.
13. Наведіть принципи моделювання одномасової крутильної системи. розкажіть про особливості складання диференційного рівняння та його розв'язання. Дайте визначення циклічної частоти власних коливань.

14. Визначте умови сталості процесу різання металів та неметалевих матеріалів. Наведіть причини порушення сталості при лезовій обробці матеріалів. Як проявляється вплив на сталість динамічної характеристики процесу різання?
15. Наведіть основні положення математичного моделювання двомасової крутильної системи. Як складають диференційні рівняння та виконують їх розв'язання? Як визначаються частоти власних коливань для випадку двомасової крутильної системи?
16. Як визначається запас сталості за допомогою передаючих функцій окремих ланок пружної системи?
17. Наведіть основні етапи складання системи диференційних рівнянь для трьохмасової системи.
18. Наведіть основні характеристики робочих процесів: процесу різання, процесу тертя та процесів у приводах. Визначте передаючі функції відповідних процесів.
19. Що таке парціальні системи розрахункових схем? Як виконується перетворення парціальних систем?
20. Розкрийте утворення частотного спектру коливань робочого органу від дії сили різання. Як встановити критичну частоту коливань?
21. Наведіть статичну та динамічну характеристики процесу різання. Визначте передаючу функцію з позицій апарату ТАР
22. Опишіть типи збурень, викликаних процесом різання. Розкрийте поняття про частотний спектр коливань.
23. Як виконують експериментальні дослідження динамічної жорсткості шпіндельного вузла верстата. Наведіть основні положення постанови експерименту, опишіть прилади та обладнання.
24. Як складають диференційні рівняння для двомасової системи з урахуванням дисипативних властивостей пружного зв'язку між ними?
25. Чому за певних умов виникає порушення сталості пружної системи верстата від дії сили різання? Опишіть типи збурень, що викликаються силою різання.
26. Чим відрізняються дискретні та континуальні моделі розрахункових схем верстата? За яких умов приймають ті чи інші моделі? Наведіть характеристики дискретних та континуальних моделей.
27. Як виконують дослідження процесу тертя у спряженнях? Наведіть характеристику процесу, визначте роль тертя при виникненні автоколивань.
28. Розкрийте сутність вимушених та автоколивань в пружній системі верстата. Наведіть поняття про власні коливання.
29. Як проявляється явище резонансу при різанні металу? Чому за певних обставин верстат втрачає точність? Охарактеризуйте методи боротьби з резонансними частотами.

30. Наведіть загальну характеристику параметрів дискретних систем. Як визначається жорсткість елементів та їх демпфуючі властивості. У чому полягає приведення жорсткостей?
31. Чим відрізняється складання диференціальних рівнянь для двомасової системи з урахуванням дисипативних властивостей пружного зв'язку між ними?
32. Що таке вузол коливань? Які види та форми коливань багатомасових систем ви знаєте?
33. Охарактеризуйте дисипативні елементи, подайте основні принципи їх приведення. У чому полягає сутність процесу розсіювання енергії коливань?
34. Як (за допомогою яких критеріїв) оцінюють динамічну сталість пружної системи верстата?
35. Розкрийте сутність процесу різання металу або неметалевого матеріалу. Подайте структурну та динамічну модель процесу. Як представляється процес різання у вигляді ланки апарату ТАР?
36. Як визначається максимальний динамічний момент на валу в приводі верстата при гальмуванні?
37. У чому проявляється явище резонансу при різанні металу? В якому випадку настає втрата динамічної точності? Наведіть основні методи боротьби з резонансними частотами.
38. Як здійснюється віброгасіння? Подайте основні методи боротьби з вібраціями на діючому обладнанні. Охарактеризуйте центри виникнення вібрацій.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Кудинов Д.А. Динамика станков. – М.: Машиностроение, 1977. – 360 стр.
2. Орликов М.Л. Динамика станков: учебное пособие для ВУЗов. – К.: Выща школа. – 1980. – 256 стр.
3. Металлорежущие станки/под ред. Ачеркана Н.С. – М.: Машиностроение, 1965. – т. 2.
4. Кедров С.С. Колебания металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1978. – 200 с.
5. Тимошенко С.П., Янг Д., Уивер У. Колебания в инженерном деле. – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.



Методичні вказівки до виконання контрольної та розрахунково-графічної роботи з курсу "Динаміка металообробного обладнання" для студентів усіх форм навчання зі спеціальностей 7.090202 – "Технологія машинобудування" (у тому числі скорочений термін навчання); 7.090203 – "Металорізальні верстати і системи" (у тому числі скорочений термін навчання).

Укладачі: доцент О.Ф. Саленко  
доцент Г.П. Хабло

Відповідальний за випуск проф. О.Г. Маслов

Видавничий відділ КДПУ

Тираж: 50 примірників

Кременчук 2002