

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька Політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з вивчення дисципліни “Динаміка металорізальних верстатів” та виконання контрольних робіт для студентів спеціальності 133 “Галузеве машинобудування” за освітньою програмою “Металорізальні верстати та системи” денної та заочної форм навчання

Методичні вказівки з вивчення дисципліни “Динаміка металорізальних верстатів” та виконання контрольних робіт для студентів спеціальності 133 “Галузеве машинобудування” за освітньою програмою “Металорізальні верстати та системи” денної та заочної форм навчання /Укл. В.В. Солоха. – Запоріжжя: НУ“ЗП”, 2025. – с. 17

Укладач: В.В. Солоха, доцент, к.т.н.

Рецензенти: В.В. Циганов, професор, д.т.н.

Відповідальний
за випуск: М.В. Фролов, доцент, к.т.н.

Розглянуто та затверджено
на засіданні кафедри “Металорізальних
верстатів та інструментів”

Протокол №____.
від “__” _____ 2025

Рекомендовано до видання навчально-
методичною комісією машинобудівного
факультету

Протокол №_____
від “__” _____ 2025

ЗМІСТ

	с.
Вступ	4
1. Мета і задачі дисципліни, її місце в учбовому процесі	5
2 Робоча програма дисципліни	6
3 Контрольні завдання	12
4 Методичне забезпечення	15
5 Рекомендована література	16

ВСТУП

Дисципліна “Динаміка металорізальних верстатів” є вибірковою дисципліною для студентів спеціальності 133 “Галузеве машинобудування” за освітньою програмою “Металорізальні верстати та системи”, що навчаються за програмою магістрів.

Час, відведений навчальним планом для аудиторних занять, не дає можливості в повному обсязі викласти матеріал, передбачений навчальною програмою дисципліни. Тому в навчальному плані передбачені години для самостійної роботи студентів, коли вони мають поглиблювати свої знання з дисципліни, та й матеріал, що читається на лекціях, та вивчається на лабораторних заняттях потребує подальшого закріплення, шляхом самостійної роботи студента.

Згідно навчального плану спеціальності вивчення дисципліни “Динаміка металорізальних верстатів” здійснюється протягом першого семестру: 1 семестр - 180 годин (6 кредитів), в тому числі – 30 (6) год. лекції, 30 (6) год. лабораторні заняття, 120 (172) год. - самостійна робота. По закінченню семестру - залік з дисципліни. В дужках зазначені години для заочної форми навчання.

Метою цих методичних рекомендацій є:

- ознайомлення студента з повним обсягом навчального матеріалу, передбаченого навчальною програмою дисципліни, в тому числі і передбаченою для самостійної підготовки;
- наведення переліку необхідної літератури з кожної теми;
- надання методичних рекомендацій щодо вивчення тем та контрольних запитань для самостійної перевірки знань;
- ознайомлення студента з заходами контролю засвоєння навчального матеріалу в умовах кредитно-модульної системи.

1 МЕТА І ЗАДАЧІ ДИСЦИПЛІНИ, ЇЇ МІСЦЕ В УЧБОВОМУ ПРОЦЕСІ

1.1 Мета викладання дисципліни

Метою викладання дисципліни “Динаміка металорізальних верстатів” є вивчення динамічних процесів, що виникають в металорізальних верстатів внаслідок процесу різання та роботи окремих механізмів і систем, та виявлення факторів, які впливають на характеристики коливального процесу, задля усунення шкідливих впливів на якість обробки деталей на верстаті.

1.2 Задачі вивчення дисципліни

Завданням вивчення дисципліни є з'ясування зв'язків між робочими процесами, що протікають в верстаті і пружною системою та їх взаємовпливу; вивчення причин виникнення змушених коливань в верстатах та появи автоколивань; визначення показників і критеріїв стійкості системи верстата; визначення статичних і динамічних характеристик коливальних систем з одним та двома степенями вільності; вивчення динамічних навантажень в приводі в перехідних процесах, методів поліпшення динамічних характеристик пружної системи та приводу.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен отримати

загальні компетентності:

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення.

ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК4. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

фахові компетентності:

ФК1. Здатність застосовувати типові аналітичні методи та комп'ютерні програмні засоби для розв'язування інженерних завдань галузевого машинобудування, ефективні кількісні методи математики, фізики, інженерних наук, а також відповідне комп'ютерне програмне забезпечення для розв'язування інженерних задач галузевого машинобудування.

ФК2. Здатність застосовувати фундаментальні наукові факти, концепції, теорії, принципи для розв'язування професійних задач і практичних проблем галузевого машинобудування;

ФК6. Здатність оцінювати техніко-економічну ефективність типових систем та їхніх складників на основі застосовування аналітичних методів, аналізу аналогів та використання доступних даних.

ФК7. Здатність приймати ефективні рішення щодо вибору конструкційних матеріалів, обладнання, процесів та поєднувати теорію і практику для розв'язування інженерного завдання.

Здатність аналізувати динамічні явища в верстатах і пропонувати заходи, спрямовані на усуненні негативних явищ, зумовлених ними.

1.3 Перелік дисциплін, засвоєння яких необхідно для вивчення дисципліни

Для глибокого та всебічного засвоєння дисципліни “Динаміка металорізальних верстатів” студент повинен мати знання з таких дисциплін:

- Теоретична механіка;
- Металообробне обладнання;
- Теорія різання;
- Фізика;
- Трибологія

2 РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

В кожній темі зазначені години на самостійну роботу студента, в дужках для заочної форми навчання.

2.1 Назва та зміст тем дисципліни, методичні вказівки до їх вивчення

2.1.1 Динаміка верстатів. - 10 (12)

Пружна система і робочі процеси в рухомих сполученнях. Контури зв'язку. Впливи внутрішні і зовнішні.

Статичні характеристики розімкненої системи.

Статична характеристика пружної системи (ПС) верстата. Вплив схеми навантаження вузлів верстатів на характеристики жорсткості.

Статичні характеристики процесів різання (ПР) і процесів тертя (ПТ)

Методичні вказівки

З'ясувати усі складники динамічної системи верстата та зв'язки між ними, контури зв'язку. Звернути увагу на відмінності між внутрішніми і зовнішніми впливами на пружну систему і робочі процеси.

Зрозуміти поняття характеристики розімкненої системи, її визначення за послідовного та паралельного сполучення елементів. З'ясувати вплив схеми навантаження вузлів на характеристики жорсткості. Навчитися визначати характеристики процесу різання і процесу тертя.

Питання для самоперевірки

- 1 Які елементи включає динамічна система верстата?
- 2 Що являють собою контури зв'язку динамічної системи верстата?
- 3 Які впливи на пружну систему верстата вважаються внутрішніми?
4. Які впливи на пружну систему (робочі процеси) вважаються зовнішніми?
- 5 Що собою являє характеристика розімкненої системи?
- 6 Як визначається характеристика системи з послідовним (паралельним) сполученням елементів?
- 7 Як визначається статична характеристика пружної системи?
- 8 Як впливає схема навантаження вузлів пружної системи на характеристики жорсткості?
- 9 Як визначається статична характеристика процесу різання (процесу тертя)?

2.1.2 Частотні методи аналізу ДС. Показники динамічної якості верстатів – 11 (13) години

Частотні характеристики коливального процесу: АЧХ - амплітудно-частотна характеристика; ФЧХ – фазочастотна характеристика; АФЧХ - амплітудно-фазову частотна характеристика.

Диференціальне рівняння пружної системи з одним ступенем вільності.

Частотні характеристики еквівалентної пружної системи (ЕПС) з одним ступенем вільності.

Запас і ступінь стійкості.

Відхилення параметрів динамічної системи від зовнішніх впливів, швидкодія системи.

Критерії стійкості динамічної системи. Критерій Найквіста. Критерій Рауса-Гурвица.

Методичні вказівки

З'ясувати особливості побудови частотних характеристик динамічної системи.

Розрізняти такі характеристики як АЧХ - амплітудно-частотну, ФЧХ - фазочастотну, АФЧХ - амплітудно-фазову частотну.

Уміти записати диференціальне рівняння пружної системи та визначати статичну і динамічну характеристики системи.

Звернути увагу на визначення запасу стійкості в залежності від розміщення області стійкості.

З'ясувати зв'язок між ступенем стійкості і швидкістю системи.

Вивчити критерії стійкості динамічної системи.

Питання для самоперевірки

1. Як визначається АЧХ (ФЧХ)?
2. Як будується АФЧХ? Як визначається модуль і аргумент АФЧХ?
3. Як визначається інерційна постійна часу? Постійна часу демпфування?
4. За яких умов динамічна характеристика пружної системи дорівнює статичній?
5. Як визначається запас стійкості системи?
6. Що характеризує запас стійкості?
7. Що характеризує ступінь стійкості системи?
8. Як визначається логарифмічний декремент?
9. З якою метою використовується частотний критерій Найквіста?
10. В яких випадках доцільно використовувати критерій стійкості Рауса-Гурвица?

2.1.3 Стійкість складної еквівалентної пружної системи (ЕПС) з двома степенями вільності – 12 (14) годин

Поняття про центр жорсткості і головні осі жорсткості системи.

Статична характеристика пружної системи супортної групи.

Динамічна характеристика супортної групи.

Пружна система шпиндельної групи.

Динамічна характеристика шпиндельної групи токарного верстата.

Шляхи підвищення вібростійкості системи.

Методичні вказівки

З'ясувати сутність поняття «центр жорсткості» і спосіб визначення центру жорсткості. Головні осі жорсткості і еліпс жорсткості.

Приділити увагу визначенню статичної та динамічної характеристик супортної групи. Вплив спрямування прикладеної сили на характеристики системи.

Вивчити особливість пружної системи шпиндельної групи зі статичним зв'язком між згинальною і крутильною системами та отримання динамічної характеристики.

З'ясувати шляхи підвищення вібростійкості пружної системи верстата.

Питання для самоперевірки

- 1 Що включає в себе поняття «центр жорсткості»?
- 2 З якою метою використовується поняття еліпсу жорсткості?
- 3 Як визначається статична характеристика супорта?
- 4 Як визначається динамічна характеристика супорта?
- 5 В чому полягає особливість пружної системи шпиндельної групи токарного верстата?
- 6 Як впливає напрямок спрямування сили на характеристики системи супорта?
- 7 Які шляхи підвищення стійкості системи шпиндельної групи?

2.1.4 Змусені коливання в верстатах – 8 (10) годин

Зовнішні впливи на динамічну систему верстата.

Диференціальне рівняння змусених коливань системи, що має один степінь вільності. Умови виникнення резонансу.

Вплив змусених коливань на форму обробленої поверхні.

Вплив в'язкого опору на амплітуду коливань. Демпфування коливань в сполученнях, стиках. Демпфуючі властивості матеріалів.

Критична частота обертання вала.

Методичні вказівки

Звернути увагу на причини виникнення змушених коливань.

Приділити увагу впливу частоти збурення і демпфування на амплітуду збурених коливань.

З'ясувати вплив змушених коливань на якість обробленої поверхні.

З'ясувати умови виникнення резонансу коливань.

Вивчити чинники, що впливають на критичну частоту обертання вала.

Звернути увагу на вплив параметрів контакту на його демпфуючі властивості.

Питання для самоперевірки

1. Які причини виникнення змушених коливань в верстатах?
2. Як впливають демпфування і частота збурення на амплітуду змушених коливань?
3. Від чого залежать демпфуючі властивості конструкційних матеріалів?
4. Що впливає на критичну швидкість обертання вала?
5. Як залежить демпфуюча здатність рухомого стика від швидкості руху?
6. Як змінюються демпфуючі властивості стиків зі зміною кількості мастила в стиках?

2.1.5 Автоколивання в верстатах – 8 (10) годин

Характер протікання процесу автоколивань.

Автоколивання в верстатах при встановлювальних переміщеннях робочих органів верстата (фрикційні автоколивання) і в процесі обробки деталі (автоколивання при різанні).

Умови виникнення автоколивань в процесі різання на верстаті.

Методичні вказівки

З'ясувати умови виникнення автоколивального процесу.

Розглянути умови виникнення автоколивань в верстатах. Фізичний сенс явища втрати стійкості системою в процесі різання. Умови за яких пружна система в процесі різання залишатиметься стійкою

Питання для самоперевірки

1. В чому полягає природа виникнення автоколивань?
2. Які чинники зумовлюють виникнення автоколивань в верстатах?

2.1.6 Характеристики процесу різання – 9 (10)

Чинники, що впливають на силу різання в процесі обробки. Зміна сил різання внаслідок збурень системи.

Динамічна характеристика процесу різання. Постійна часу формоутворення.

Стійкість процесу різання. Стійкий та не стійкий процеси різання. Виникнення автоколивань внаслідок інерційності самого процесу різання.

Вплив хвилястості оброблюваної поверхні на стійкість процесу різання.

Вплив режимів обробки та геометрії інструменту на динамічну характеристику різання та його власну стійкість.

Методичні вказівки

Слід з'ясувати вплив різних параметрів процесу різання на зміни сили різання і стійкість протікання процесу різання. Особливу увагу необхідно приділити впливу хвилястості оброблюваної поверхні на стійкість процесу.

Питання для самоперевірки

1. Які чинники впливають на зміни сили різання в процесі обробки?
2. Як впливають зміни швидкості різання на зміну сили різання?
3. Які основні причини автоколивань в процесі різання?
4. В якому випадку при обробці хвилястої поверхні процес різання буде стійким?

5. Як впливає величина подачі різання на зміну вібростійкості системи?

6. Як впливає величина глибини різання на зміну вібростійкості системи?

7. Який вплив чинить геометрія різального інструменту на стійкість системи?

2.1.7 Динаміка приводу верстатів – 8 (9) години

Складання розрахункової схеми.

Визначення зведених моментів інерції і зведених піддатливостей.

Перехід від конструктивної схеми до ступінчастої зведеної схеми, лінійної зведеної схеми і до спрощеної схеми.

Динамічні навантаження в приводі в перехідних процесах. Власна частота крутильних коливань системи. Максимальний динамічний момент під час пуску (гальмування).

Шляхи підвищення вібростійкості системи.

Методичні вказівки

Розглянути особливості зведення моментів інерції розподілених мас до моментів інерції зосереджених мас та зведення піддатливостей валів і сполучень. Звернути увагу на зведення мас і піддатливостей до однієї ланки.

Приділити увагу визначенню власної частоти крутильних коливань приводу та максимальних динамічних навантажень в приводі.

Питання для самоперевірки

1 Яким чином здійснюється зведення мас і піддатливостей в приводі верстата?

2 Як відбувається зведення мас і піддатливостей до однієї ланки?

3 Як визначається власна частота крутильних коливань приводу?

4 Як визначається максимальний динамічний момент приводу під час пуску (гальмування)?

5 З якою метою доцільно установлювати маховик на шпинделі верстата?

2.2. Перелік лабораторних робіт та їх тривалість

2.2.1 Визначення частотних характеристик динамічної системи верстата - 6 год.

2.2.2 Визначення динамічних характеристик приводу обертового руху верстата - 6 год.

Методичні вказівки

Для підготовки до виконання лабораторних робіт слід користуватися методичним посібником, а також відповідними розділами робочої програми.

3 КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ

3.1 Вказівки з виконання та оформлення контрольних завдань.

Контрольна робота з дисципліни “Динаміка металорізальних верстатів” виконується студентами заочної форми навчання в 8 семестрі, в якому і вивчається дана дисципліна. Відповіді на контрольні питання мають бути повними та свідчити про поглиблене опрацювання студентом відповідного розділу курсу.

При оформленні контрольної роботи необхідно дотримуватися ДСТУ: ДСТУ 3008-95, СТП 15-11 ЗНТУ. Відповідно до вимог цих документів, контрольна робота повинна бути написана в рукописному вигляді на одній стороні стандартних аркушів паперу формату А4 (297 x 210). Текст відповідей на питання контрольної роботи доцільно розділити на пункти, які повинні мати порядкові номери.

Відповіді на контрольні питання, в разі потреби, повинні супроводжуватися необхідними кресленнями, ескізами, схемами, описами і розрахунками. Наведені ілюстрації повинні бути чіткими і виконані в зручному для читання масштабі.

Всі наведені в контрольній роботі ілюстрації повинні бути пронумеровані арабськими цифрами в межах одного питання. Номер ілюстрації повинен складатися з номера питання і номера рисунка, розділених крапкою.

В тексті контрольної роботи зазначаються посилання на довідники, підручники та інші матеріали використані для виконання роботи.

Контрольна робота повинна бути зброшурована в зошит з щільною обкладинкою і титульним аркушем, на якому в обов’язковому порядку повинен бути зазначений шифр (номер залікової книжки) студента. Усі аркуші контрольної роботи повинні бути пронумеровані, причому першим - титульний лист. За ним поміщають текст

контрольних питань. В кінці роботи наводять перелік використаної літератури

Контрольна робота повинна бути подана на перевірку викладачеві і в разі відсутності зауважень захищена студентом до початку екзаменаційної сесії. Номер варіанта завдання вибирається студентом відповідно до шифру його залікової книжки.

Визначення варіанту контрольної завдання

Останні дві цифри залікової книжки	Номер варіанту
01...20, 21...40, 41...60, 61...80, 81...100	01...20

3.2 Контрольні завдання

Варіанти контрольних завдань з дисципліни «Динаміка металорізальних верстатів»

Варіант 1

Динамічна система верстата. Складові системи. Її особливості.

Варіант 2.

Статичні характеристики динамічної системи і основних елементів.

Варіант 3.

Пружна система верстата. Статичні характеристики пружної системи.

Варіант 4.

Експериментальне визначення характеристик еквівалентної пружної системи верстатів.

Варіант 5.

Характеристика процесу різання. Статична характеристика процесу.

Варіант 6.

Процеси тертя в механізмах верстатів. Статичні характеристики процесу тертя.

Варіант 7.

Частотні методи аналізу динамічної системи верстата. АЧХ, ФЧХ, АФЧХ.

Варіант 8.

Показники динамічної якості верстата. Критерій стійкості динамічної системи.

Варіант 9.

Стійкості складної ЕПС, з двома ступенями свободи. Системи зі статичними в'язями. Центр жорсткості системи.

Варіант 10.

Статична і динамічна характеристика супортної групи токарного верстата.

Варіант 11.

Пружна система шпиндельної групи токарного верстата. Статична і динамічна характеристика шпиндельної групи.

Варіант 12.

Змушені коливання механічної системи з одним ступенем вільності.

Варіант 13.

Змушені коливання в верстатах при різанні.

Варіант 14.

Змушені коливання при переміщенні вузлів верстатів.

Варіант 15.

Критична швидкість обертання вала. Вплив жорсткості опор на критичну частоту обертання шпинделя.

Варіант 16.

Автоколивання в верстатах.

Варіант 17.

Динаміка приводу верстатів. Складання розрахункової схеми.

Варіант 18.

Динамічні навантаження в приводі в перехідних процесах.

Варіант 19.

Демпфування коливань. Демпфуючі властивості стиків.

Варіант 20.

Демпфування коливань. Демпфуючі властивості матеріалів.

4. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

1. Методичні вказівки до проведення лабораторних занять з дисциплін “Динаміка металорізальних верстатів” для студентів спеціальності 133 “Галузеве машинобудування” денної та заочної форм навчання /Укл. В.В. Солоха. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2022. – с. 16

2. Методичні вказівки з вивчення дисципліни “Динаміка металорізальних верстатів” та виконання контрольних робіт для студентів спеціальності 133 “Галузеве машинобудування” за освітньою програмою “Металорізальні верстати та системи” денної та заочної форм навчання /Укл. В.В. Солоха. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2025. – с. 17

5 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Тексти (конспект) лекцій з дисципліни “Динаміка металорізальних верстатів” для студентів спеціальності 133 “Галузеве машинобудування” спеціалізація “Металорізальні верстати та системи” /Укл. В.В. Солоха. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2025. - с. 102

2. Білоус П.О. Теорія коливань: Типові розрахунки елементів машинобудівних конструкцій: навчальний посібник / П.О. Білоус; за ред. О. Ф. Дашенка.- Одеса: Астропринт, 2012. – 312 с.

3. Орликов М. Л. Динамика станков [Текст]: учеб. пособие для ВУЗов / М. Л. Орликов. - К.: Вища школа, 1980. - 256 с.

4. Білоус П.А., Влазнева А.Ю., Дашенко А.Ф., Лазарева Д.В., Сурьянинов Н.Г. Экспериментальные исследования в динамике: учеб. пособие / Под. ред. Н.Г. Сурьянинова. – Одесса: Астропринт, 2008. – 296 с.

5. Внуков Ю. Н. Автоколебания при фрезеровании тонкостенных элементов деталей [Электронный ресурс] : монография / Ю. Н. Внуков, С. И. Дядя, Е. Б. Козлова и др.; под ред. Ю. Н. Внукова. – Запорожье: ЗНТУ, 2017. – 208 с.

6. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов [Текст]: / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев; отв. ред. Г.С. Писаренко. 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Наук. думка, 1988. – 736 с.

7. Бойко І.А., Солоха В.В., Івченко Л.Й. Динамічний аналіз поворотного стола 5-координатного обробного центру. Вісник ЧДТУ. № 1 (71), 2014, стор. 134-143.

8. Залога В. О. Методологічні основи підвищення ефективності оброблення деталей шляхом керування динамікою процесу високошвидкісного точіння з високими частотами обертання шпинделя: монографія / В. О. Залога, Ю. В. Шаповал. – Суми: Сумський державний університет, 2024. – 143 с.

9. Stephenson D. A. Metal Cutting Theory and Practice / D. A. Stephenson, J. S. Agapiou. - Third Edition. - CRC Press Taylor & Francis Group, - 2016.- chapter 12.

https://www.researchgate.net/publication/317081872_Metal_Cutting_Theory_And_Practice_3rd_by_D_A_Stephenson.

9. Budak E. Machining stability and machine tool dynamics / E. Budak. 11th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology", TMT 2007, Hammamet, Tunisia, 05-09 September, 2007. -30 p. <https://www.tmt.unze.ba/zbornik/TMT2007/U2-TMT07-444.pdf>

10. Altintas Y. Chatter Stability of Machining Operations / Y. Altintas, G. Stepan, E. Budak, etc. - Transactions of the ASME. Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 11. 2020, Vol. 142. -110801, 19 p. (<https://www.osti.gov/pages/biblio/1659597>)