

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА  
АКАДЕМІЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до самостійної роботи з дисципліни

“ДИНАМІКА ТА МІЦНІСТЬ МЕТАЛУРГІЙНИХ МАШИН”

Розглянуто і схвалено  
на засіданні кафедри автоматизованих  
металургійних машин та обладнання  
Протокол № 16 от 09.10.2019

Краматорськ 2019

## ЗМІСТ

Загальні вказівки .....	5
1 Розгорнута програма курсу .....	6
1.1 Основи прикладної динаміки машин .....	6
1.1.1 Вступ. Загальні відомості про динамічні навантаження металургійних машин .....	6
1.1.2 Основні положення прикладної динаміки машин .....	6
1.1.3 Складання рівнянь руху системи. Визначення основних характеристик механічних систем. Стійкість станів рівноваги і руху .....	7
1.2 Динамічні процеси в металургійних машинах .....	7
1.2.1 Динамічні навантаження і вплив на головну лінію привода та робочу кліть прокатного стану .....	7
1.2.2 Динамічні процеси в безперервних прокатних станах .....	8
1.2.3 Способи зниження динамічних навантажень .....	8
1.3 Міцність металургійних машин .....	9
1.3.1 Основні передумови і методи розрахунку на міцність. Розрахунок на міцність при статичних навантаженнях. Малоциклова стомленість .....	9
1.3.2 Оцінка розрахункових характеристик опору втоми і експлуатаційної навантаженості машин. Розрахунки на міцність і довговічність при напругах, перемінних у часі .....	9
2 Домашнє завдання .....	10
3 Питання для підготовки до іспитів .....	11
Список рекомендованої літератури .....	12

## **ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ**

Дисципліна «Динаміка та міцність металургійних машин» є однією з дисциплін, що розширює і поглиблює пізнання студентів в області розрахунку і проектування основного і допоміжного обладнання металургійних цехів, дає можливість розраховувати не тільки технологічні, але і динамічні навантаження, що виникають у машинах при різних режимах роботи.

Самостійна робота над курсом містить у собі пророблення лекційного матеріалу і рекомендованої літератури; підготовку до виконання і захисту лабораторних робіт; підготовку до практичних занять; виконання домашнього завдання. Самостійну роботу з вивчення курсу студент повинен систематично контролювати. З цією метою після вивчення чергового розділу варто ставити питання для самоперевірки і відповідати на них.

Мета викладання дисципліни “Динаміка та міцність металургійних машин” – розширити та поглибити знання студентів в області розрахунків і проектування металургійних машин з урахуванням динамічних процесів у лініях приводу та елементах конструкцій машин.

Вивчення дисципліни базується на матеріалах таких дисциплін, як “Вища математика”, “Теоретична механіка”, “Теорія механізмів і машин”, “Опір матеріалів”, “Розрахунок і конструювання прокатних станів” і “Металургійне обладнання заводів чорної металургії”.

Програмою дисципліни передбачене вивчення динамічних характеристик металургійних машин, методів розрахунку на міцність при напругах, перемінних у часі, факторів, що викликають коливальні процеси і шляхи зниження динамічних навантажень у машинах.

В області динаміки і міцності металургійних машин студент повинен знати: основи аналітичного й експериментального аналізу коливальних процесів у приводах і елементах конструкцій машин; основні фактори, що викликають коливальні процеси і способи зниження динамічних навантажень; основи розрахунку деталей машин на міцність при перемінних у часі напругах.

При вивченні дисципліни застосовується рейтингова оцінка рівня підготовки студентів за п'ятибальною системою. Якщо студент протягом вивчення дисципліни має середній бал вище 4,5, то він автоматично отримує відмітку “відмінно”, якщо має бал вище 4,0, то може отримати автоматично відмітку “добре”. Студент отримує допуск до екзамену у разі виконання усіх контрольних точок згідно семестрового графіку.

# **1 РОЗГОРНУТА ПРОГРАМА КУРСУ**

## **1.1 Основи прикладної динаміки машин**

### **1.1.1 Вступ. Загальні відомості про динамічні навантаження металургійних машин**

Історія розвитку науки про динаміку. Загальні відомості про динамічні навантаження металургійних машин. Перевантажувальні грейферні козлові крани (рудні двори доменних цехів). Механізм повороту кисневих конверторів. Безперервні прокатні стани. Обтискні стани. Загальні властивості металургійних машин. Основні напрямки зниження динамічності металургійних машин.

Література: [1, с. 350-430; 2, с. 71-73, с. 87-89].

#### **Питання для самостійної перевірки**

- 1 Які основні задачі курсу “Динаміка та міцність металургійних машин”?
- 2 Основні шляхи збільшення ефективності металургійного обладнання.
- 3 Назвіть динамічні особливості при пуску козлового грейферного крану.
- 4 Які конструктивні заходи застосовують у механізмах кисневих конвертерів для зниження динамічних навантажень?
- 5 Які динамічні процеси відбуваються при прокатці смуг на безупинних станах?
- 6 Назвіть особливості роботи обтискних станів.
- 7 Які обов'язкових три елементи включає динамічна модель будь-якої машини?
- 8 Назвіть основні напрямки зниження динамічності металургійних машин.

### **1.1.2 Основні положення прикладної динаміки машин**

Коливання й удар в елементах конструкцій металургійних машин. Основні закони динаміки. Схематизація механічної системи. Число ступенів вільності механічної системи. Класифікація сил.

Література: [1, с.7-13; 2, с.73-86; 3, с.26-51; 4, с. 10-49].

#### **Питання для самостійної перевірки**

- 1 Дайте визначення механічним коливанням і механічним ударам.
- 2 Які види коливань ви знаєте?
- 3 Назвіть чотири основних закони динаміки.
- 4 У чому розходження між динамічними і статистичними моделями механічної системи?
- 5 Які види схематизації механічних систем існують?
- 6 Дайте визначення зосередженої маси, зосередженої сили і пружного механічного зв'язку.
- 7 Що входить у математичну модель реальної механічної системи?
- 8 Чим визначається число ступенів вільності механічної системи?

- 9 Дайте визначення позиційним, дисипативним силам і силам, що змушують.  
10 Що називають характеристикою жорсткості та що називають коефіцієнтом жорсткості?

**1.1.3 *Складання рівнянь руху системи. Визначення основних характеристик механічних систем. Стійкість станів рівноваги і руху***

Способи складання рівнянь руху. Основне рівняння вільних коливань лінійної системи. Основні характеристики механічних систем. Стійкість станів рівноваги і режимів руху.

Література: [1, с.13-50; 4, с. 124-131, 22-61].

**Питання для самостійної перевірки**

- 1 Які існують способи складання диференціальних рівнянь руху механічної системи?
- 2 Складіть і вирішіть диференціальне рівняння руху для системи з однією масою і пружним зв'язком, котра робить вільні коливання.
- 3 Що розуміють під періодом і фазою коливань?
- 4 Що називають власною частотою коливань системи?
- 5 Як визначаються коефіцієнти жорсткості для систем з послідовним і рівнобіжним розташуванням пружних зв'язків?
- 6 Як визначити стійкість рівноважного стану системи?
- 7 Як визначити стійкість системи, що знаходиться в русі?

**1.2 Динамічні процеси в металургійних машинах**

**1.2.1 *Динамічні навантаження і вплив на головну лінію привода та робочу кліть прокатного стану***

Хитливий процес прокатки і його динамічних впливів на головну лінію прокатного стану. Коливання низької частоти. Автоколивання, близькі до гармонійних. Релаксаційні автоколивання. Вплив динамічного навантаження на зміну пружної деформації робочої кліті та точність прокату.

Література: [1, с.84-106;232-238].

**Питання для самостійної перевірки**

- 1 Назвіть види буксувань валків при прокатці.
- 2 У чому полягає основна причина хитливого процесу прокатки?
- 3 Які причини виникнення буксувань валків?
- 4 Проаналізуйте вплив одного з факторів на виникнення буксування.
- 5 У яких випадках у приводних лініях станів виникають коливання низької частоти при пробуксовці валків?
- 6 Як визначити частоту зривів і захоплення металу валками при хитливому процесі прокатки?
- 7 Які види автоколивань виникають при пробуксовці валків?

- 8 Назвіть характерні риси автоколивань.
- 9 Назвіть причини виникнення автоколивань.
- 10 Дайте приклад осцилограми релаксаційних автоколивань.
- 11 Які фактори впливають на зміну тиску при прокатці?
- 12 Складіть диференціальне рівняння руху робочої кліті при прокатці.
- 13 Проаналізуйте залежність пружної деформації кліті від геометричних параметрів робочої кліті.

### **1.2.2 Динамічні процеси в безперервних прокатних станах**

Аналіз виходу з стану рівноваги однієї кліті стану. Складання рівнянь руху. Аналіз динамічних процесів в стані.

Література: [1, с. 226-232].

#### **Питання для самостійної перевірки**

- 1 У чому полягають особливості прокатки в безупинних станах з погляду динамічних процесів?
- 2 Які фактори необхідно враховувати при динамічному аналізі процесу прокатки в безупинних групах?
- 3 Проаналізуйте поведінку робочих клітей у безупинній групі, якщо одна з них вийшла зі стаціонарного режиму руху.
- 4 Як пояснити виникнення двочастотних коливань?
- 5 Який вид коливань найчастіше виникає в безупинних станах відповідно до експериментальних досліджень?

### **1.2.3 Способи зниження динамічних навантажень**

Принципи дії віброізоляторів, поглиначів (демпферів) і амортизаторів. Віброізолятори. Поглиначі коливань (демпфери). Динамічні гасителі коливань. Амортизатори, буфери. Запобіжні пристрої.

Література: [4, с. 198-219].

#### **Питання для самостійної перевірки**

- 1 Назвіть основні способи зниження динамічних навантажень в області обладнання, в області технології й в області автоматизації.
- 2 На яких теоретичних положеннях ґрунтуються віброізолятори і поглиначі коливань?
- 3 Які існують системи віброізоляції?
- 4 Назвіть найбільш розповсюджені варіанти установки віброізоляторів.
- 5 Які існують схеми поглиначів коливань?
- 6 Назвіть основні типи ударних демпферів.
- 7 У чому полягає принципова відмінність амортизаторів і буферів?
- 8 Пояснить основні конструктивні виконання амортизаторів і буферів.
- 9 Які типи запобіжних пристроїв ви знаєте?

- 10 Які типи запобіжних пристроїв дістали найбільшого поширення в металургійних машинах?
- 11 Поясніть варіанти конструктивного виконання запобіжників, що саморуйнуються.

### **1.3 Міцність металургійних машин**

#### **1.3.1 Основні передумови і методи розрахунку на міцність. Розрахунок на міцність при статичних навантаженнях. Малоциклова стомленість**

Основні передумови і методи розрахунку на міцність. Розрахунок на міцність при статичних навантаженнях. Малоциклова стомленість. Види руйнувань і основні механічні властивості матеріалів. Розрахунок на міцність за коефіцієнтами запасу міцності. Розрахунок на міцність при статичних навантаженнях.

Література: [2, с.89-100; 3, с.54-56].

#### **Питання для самостійної перевірки**

- 1 Назвіть основні параметри, що використовуються при аналізі перемінних навантажень.
- 2 Які існують закони зміни перемінних навантажень?
- 3 Назвіть види руйнувань.
- 4 Що розуміють під живучістю і залишковою міцністю?
- 5 Дайте визначення межі витривалості та бази іспиту.
- 6 Що показує крива втоми і яким рівнянням вона описується?
- 7 Які існують види розрахунків за коефіцієнтами запасу міцності?
- 8 У залежності від чого вибираються нормативні коефіцієнти запасу міцності?
- 9 Як вибирається гранична напруга для деталі, що розраховується?

#### **1.3.2 Оцінка розрахункових характеристик опору втоми і експлуатаційної навантаженості машин. Розрахунки на міцність і довговічність при напругах, перемінних у часі**

Визначення величини опору втоми. Фактори, що знижують опір втоми.

Розрахункові характеристики опору втоми. Розрахункові характеристики експлуатаційної навантаженості машин. Розрахунки на міцність і довговічність при напругах, перемінних у часі.

Література: [3, с.56-70].

#### **Питання для самостійної перевірки**

- 1 Чому межа витривалості для деталі натуральних розмірів може істотно відрізнятись від межі витривалості лабораторного зразку?
- 2 Що показує ефективний коефіцієнт концентрації напруг?

- 3 З чим пов'язаний вплив масштабного фактору на межу витривалості?
- 4 Що називають фретинг-корозією?
- 5 Як враховують вплив фретинг-корозії на межу витривалості?
- 6 Які конструктивні заходи дозволяють знизити вплив фретинг-корозії на межу витривалості?
- 7 При якій шорсткості спостерігається зниження межі витривалості?
- 8 Що називають корозійною втомою?
- 9 Назвіть найбільш поширені методи поверхневого зміцнення.
- 10 Як визначаються коефіцієнти запасу тривалості (і лінійний, і плоский напружений стан) при регулярних режимах перемінних напруг?
- 11 Як визначити можливість руйнації деталі, що відчуває регулярні перемінні навантаження?
- 12 Чому дорівнює втомлене ушкодження для деталі, що відчуває дії нерегулярних перемінних напруг?
- 13 Як визначити число блоків до появи першої втомленої тріщини?

## 2 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Студенти спеціальності 7.090218 "Металургійне обладнання" у дев'ятому семестрі виконують курсовий проект з дисципліни "Механічне обладнання заводів чорної металургії. Частина II" і курсовий проект з дисципліни "Розрахунок і конструювання прокатних станів". Тому в якості домашнього завдання з дисципліни "Динаміка і міцність металургійних машин" студентам спеціальності 7.090218 пропонується виконати динамічний аналіз машини або агрегату, що являється об'єктом курсового проектування.

Основні етапи виконання домашнього завдання:

- розрахувати технологічні навантаження, визначити характер наростання технологічного навантаження й описати його аналітично, визначити характер зміни технологічного навантаження при сталому режимі роботи машини й описати його аналітично;
- виходячи з призначення машини та її конструктивних особливостей, вибрати розрахункову схему для динамічного розрахунку (дво-, тримасову або ін.);
- на підставі енергосилового розрахунку машини визначити характер зміни моменту електродвигуна в період пуску або в період сталого руху;
- на основі проектувальних розрахунків визначити масу та податливість пружних елементів обраної динамічної розрахункової схеми;
- у залежності від режиму роботи машини скласти диференціальні рівняння руху мас розрахункової схеми відповідно для періоду пуску або для сталого руху;
- на основі рішення диференціальних рівнянь визначити рівень динамічних навантажень і коефіцієнт динамічності;



- на основі отриманих даних зробити перевірочний розрахунок на міцність найбільше слабкої ланки приводної лінії машини з урахуванням динамічних навантажень.

Домашнє завдання виконується в процесі роботи над курсовим проектом, віддається для перевірки викладачу, що читає курс "Динаміка та міцність металургійних машин" за два тижні до захисту і захищається разом із курсовим проектом з відповідної дисципліни.

### **3 ПИТАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО ІСПИТІВ**

- 1 Коливання та удар в елементах конструкцій металургійних машин. Основні закони динаміки.
- 2 Схематизація механічної системи. Динамічні та статистичні фізичні моделі. Два види схематизації. Математична модель. Коректна модель. Вибір числа ступенів вільностей при рішенні практичних задач. Узагальнені координати та їхній правильний вибір. Приклади систем з однієї, двома і трьома ступенями свободи.
- 3 Класифікація сил. Позиційні сили. Характеристика жорсткості. Дисипативні сили. Характеристики тертя. Сили, що змушують. Сили змішаного характеру.
- 4 Засоби складання рівнянь руху. Прямий засіб. Обернений засіб.
- 5 Вільні подовжні коливання одномасової системи з одним ступенем вільності без дисипації енергії. Власна частота, її фізичний зміст. Період коливань. Коефіцієнти жорсткості при поступальному та обертальному русі. Послідовне, рівнобіжне і змішане з'єднання елементів. Власна частота двомасової системи.
- 6 Стійкі та хитливі стани рівноваги і режимів руху. Усталеність рівноваги консервативних систем. Теорема Лагранжа-Дирихле. Критерій Сильвестера.
- 7 Основні засоби зниження динамічних навантажень.
- 8 Віброізолятори. Принцип дії. Варіанти установки. Поглиначі коливань. Принцип дії. Типи поглиначів. Поглиначі ударної дії. Динамічні гасителі коливань. Амортизатори. Захисні пристрої.
- 9 Види навантаження. Основні характеристики перемінного навантаження. Грузла, крихка і квазикрихка руйнація від дії статичного навантаження. Живучість. Межа витривалості при симетричному та пульсаційному циклах навантаження. Коефіцієнт асиметрії циклу. Крива Велера. Побудова кривої втоми. Рівняння кривої втоми з правою горизонтальною ділянкою.
- 10 Основні методи розрахунку на витривалість. Розрахунок за напругами, що припускаються.

- 11 Розрахунок за коефіцієнтами запасу витривалості. Вибір нормативних коефіцієнтів запасу витривалості.
- 12 Розрахунок на тривкість при статичних навантаженнях.
- 13 Чинники, що впливають на опір втоми. Коефіцієнт, що враховує вплив усіх чинників.
- 14 Концентрація напруг. Теоретичний і ефективний коефіцієнти концентрації. Масштабний чинник. Причини прояву масштабного чинника. Фретинг-корозія. Заходи щодо зменшення впливів фретинг-корозії на опір втоми. Вплив якості обробки поверхні. Вплив корозії на опір втоми.
- 15 Вплив технологічних методів поверхневого зміцнення на опір втоми.
- 16 Оцінка розрахункових статистичних характеристик опору втоми.
- 17 Розрахунок на витривалість при регулярних режимах перемінних напруг за коефіцієнтами запасу тривкості. Формули Серенсена і Кинасошвілі.
- 18 Типи буксування при прокатці. Причини хитливого процесу прокатки та їхній вплив на головну лінію прокатного стану. Коливання низької частоти при прокатці. Автоколивання при прокатці.
- 19 Динамічні процеси в безупинних прокатних станах.
- 20 Вплив динамічного навантаження на зміну пружної деформації робочої кліті та точність прокату.

## **СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

- 1 Динамика и прочность прокатного оборудования / Ф.К. Иванченко, П.И. Полухин, М.А. Тылкин, В.П. Полухин. – М.: Metallurgiya, 1970. – 486 с.
- 2 Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Т.3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката: Учебник для вузов/ Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Metallurgiya, 1988. – 680 с.
- 3 Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. – М.: Машиностроение, 1977. – 232 с.
- 4 Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів: Навч. посібник / Ф.К. Иванченко, В.М. Гребеник, В.І. Ширяев. – К.: Вища школа, 1995. – 455 с.
- 5 Прочность и износостойкость деталей машин / В.П.Когаев, Ю.Н.Дроздов. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.

Методичні вказівки  
до самостійної роботи з дисципліни  
«Динаміка та міцність металургійних машин»  
для студентів спеціальності 7.090218

Укладач

Едуард Петрович Грибков

Редактор

Ірина Іванівна Дьякова

---

89/2004 Підп. до друку      Формат 60×84/16.  
Ризогр. друк. Умов. друк. л. Обл.-вид. л.  
Тираж 15 прим. Зам.№

---

ДДМА. 84313, Краматорськ, Шкадінова, 72