

**МЕХАНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра механіки і проектування машин**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до самостійного вивчення  
дисципліни**

***«ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА»***

**Харків – 2019**

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри механіки і проектування машин 11 лютого 2019 р., протокол № 10.

Методичні вказівки призначені для студентів всіх форм навчання спеціальностей «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», «Залізничний транспорт» (освітні програми: «Електричний транспорт», «Електропостачання та ресурсозберігаючі технології», «Альтернативні джерела енергії та екологічно чистий транспорт», «Електромобілі та електропривод автономного транспорту», «Електровози та електропоїзди»).

Укладачі:

професори В. І. Мороз,  
О. В. Братченко,  
доц. О. А. Логвіненко

Рецензент

доц. В. В. Захарченко

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійного вивчення  
дисципліни

*«ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА»*

Відповідальний за випуск Логвіненко О. А.

Редактор Третьякова К. А.

---

Підписано до друку 25.03.19 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк. арк. 3,0. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет  
залізничного транспорту,  
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| Вступ.....  | 4  |
| 1 Модульна структура теоретичного курсу і методичні поради до вивчення дисципліни «Прикладна механіка»..... | 5  |
| 2 Технології контролю знань студентів з теоретичного курсу дисципліни «Прикладна механіка».....             | 10 |
| 3 Приклади тестових питань для контролю та самоконтролю знань з дисципліни «Прикладна механіка».....        | 11 |
| 4 Приклади інженерних задач з розрахунків на міцність.....  | 38 |
| Список літератури.....  | 54 |

## ВСТУП

Навчальна дисципліна «Прикладна механіка» (ПМ) посідає важливе місце в загальноінженерній підготовці фахівців залізничного транспорту і викладається на кафедрі механіки і проектування машин Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ) для студентів механіко-енергетичного факультету спеціальностей 141 *«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»* і 273 *«Залізничний транспорт»* (освітні програми: *«Електричний транспорт»*, *«Електропостачання та ресурсозберігаючі технології»*, *«Альтернативні джерела енергії та екологічно чистий транспорт»*, *«Електромобілі та електропривод автономного транспорту»*, *«Електровози та електропоїзди»*). Для денної повної та скороченої форм навчання дисципліна «Прикладна механіка» викладається відповідно на II-му (4 семестр) та I-му (2 семестр) курсах. Навчальними планами передбачено 30 год. лекцій, 15 год. практичних занять, а також виконання курсової роботи. Форма остаточного контролю – іспит.

Впровадження кредитно-модульної системи організації навчального процесу визначило необхідність вирішення важливих питань, пов'язаних в першу чергу з раціональним поділом курсів дисциплін на змістові модулі і перевіркою якості засвоєння теоретичного та практичного матеріалу кожного модуля. У зв'язку з цим виникла необхідність розроблення і впровадження у навчальний процес даної методичної розробки, яка містить модульну структуру теоретичного курсу, методичні поради до вивчення дисципліни ПМ, опис технологій поточного та підсумкового контролю знань студентів, приклади тестових завдань для контролю і самоконтролю знань, а також інженерні задачі з розрахунків на міцність.

## **1 Модульна структура теоретичного курсу і методичні поради до вивчення дисципліни «Прикладна механіка»**

Навчальна дисципліна «Прикладна механіка» є важливою складовою циклу загальноінженерних дисциплін і спрямована на підготовку спеціалістів залізничного транспорту за теоретичними основами проектування та надійної експлуатації машин, які є типовими для відповідної галузі. Теоретичний курс дисципліни ПМ передбачає вивчення студентами основних положень теорії механізмів і машин, опору матеріалів, основ конструювання деталей машин.

Подані методичні вказівки узагальнюють багаторічний досвід викладання дисципліни ПМ і спрямовані на підвищення ефективності самостійної роботи при засвоєнні теоретичного курсу. Їхнім основним елементом є наведена нижче послідовність, яка дає повне уявлення про обсяг, основні і додаткові розділи курсу, можливість проробки теоретичних питань в рамках курсового проектування, а також форми контролю знань.

Оцінювання кожного модуля за прийнятою в УкрДУЗТ шкалою балів проводиться на підставі виконання запланованого обсягу виконання курсової роботи з урахуванням активності роботи студента на заняттях (поточний контроль – 60 % модульної оцінки) і результатів контролю знань з теоретичного курсу (модульний контроль – 40 % модульної оцінки). Підсумкова оцінка знань за семестровим контролем (іспит) виставляється як середньоарифметична оцінка змістових модулів. При цьому слід зазначити, що з метою підвищення оцінки студент має можливість скласти іспит за теоретичним курсом.

Нижче подано рекомендовану послідовність вивчення курсу ПМ, який з урахуванням 120 год загального обсягу часу з дисципліни згідно із ціною кредиту ECTS розділено на 3 змістові модулі. Змістові модулі в свою чергу структурно поділені на 12 тематичних модулів.

## ***Змістовий модуль 1. Основи проектування механізмів і машин***

### ***Тема 1. Структурний аналіз механізмів***

Машина. Класифікація машин. Поняття машинного агрегату, автоматичної лінії, маніпулятора, промислового робота та механізму. Структура елементів механізмів та їхня класифікація. Рухомі та нерухомі ланки механізму. Основні види ланок механізмів. Класифікація кінематичних пар. Кінематичні ланцюги та з'єднання. Ступінь рухомості механізму (структурні формули). Класифікація механізмів за структурними ознаками.

***Тема 2. Основи проектування раціональних механізмів. Сучасні методи розрахунку кінематичних параметрів механізмів. Силовий розрахунок механізмів***

Основи проектування раціональних механізмів. Виявлення надлишкових зв'язків. Структурні формули А. П. Малишева та О. Г. Озола.

Задачі кінематичного аналізу механізмів. Огляд сучасних методів кінематичного аналізу (графічні, графоаналітичні, аналітичні) та їхня порівняльна оцінка.

Силовий розрахунок механізмів. Задачі і загальні принципи проведення силового аналізу механізмів. Класифікація сил, що діють у механізмах. Визначення сил і моментів інерції ланок механізмів. Аксиома зв'язків і принцип Д'Аламбера. Визначення реакцій у кінематичних парах. Поняття про «жорсткий важіль» Жуковського.

***Тема 3. Класифікація передач. Механізми для передачі безперервного обертального руху. Методи виготовлення зубчастих коліс. Багатоланкові зубчасті механізми***

Види передач та їхні функції. Основні та похідні характеристики передач. Механічні передачі та їхня класифікація. Зубчасті механізми. Поняття зубчастого зачеплення. Передаточне відношення простого зубчастого механізму. Класифікація зубчастих механізмів за взаємним розташуванням осей обертання зубчастих коліс.

Основна теорема плоского зачеплення (теорема Вілліса). Визначення передаточного відношення та числа. Види зачеплення за формою бокового профілю зубців. Поняття

евольвенти. Геометричний розрахунок зубчастих передач. Стандартні параметри зубчастих коліс з евольвентними профілями зубців. Основні елементи геометрії евольвентного зачеплення. Показники якості зубчастих передач.

**Тема 4.** *Методи виготовлення зубчастих коліс. Багатоланкові зубчасті механізми. Кулачкові механізми*

Сучасні методи виготовлення зубчастих коліс. Їхня порівняльна оцінка. Урахування зміщення при виготовленні зубчастих коліс. Багатоланкові зубчасті механізми. Їхній кінематичний аналіз.

Класифікація кулачкових механізмів (КМ). Типи штовхачів. Види замикання в кулачкових механізмах. Фази руху штовхача. Урахування кута тиску при проектуванні КМ. Удари в КМ.

**Тема 5.** *Основи динамічного удосконалення механізмів і машин*

Динамічний аналіз механізмів. Поняття «динамічної моделі» механізму. Визначення основних параметрів динамічної моделі. Зведення сил і мас в механізмі. Рівняння руху механізму в енергетичній та диференціальній формах. Основні періоди руху машин. Регулювання періодичних коливань швидкості машини на встановленому режимі. Регулятори швидкості.

Врівноваження механізмів. Неврівноваженість роторів та їхнє балансування. Математичне моделювання вібраційних характеристик транспортних технічних засобів. Умова віброзахистності. Системи віброзахисту.

Триботехнічні характеристики машин. Різновиди і методи оцінки змащування деталей машин. Фізична природа та основні закономірності прояву тертя ковзання і тертя кочення в механізмах.

Зношування в механізмах. Види зношування. Механічний коефіцієнт корисної дії (ККД). Визначення механічного ККД складних механізмів.

## ***Змістовий модуль 2. Основи опору матеріалів***

**Тема 6.** *Основні поняття і визначення основ розрахунків на міцність. Розрахунки на міцність при деформації «центрального розтягання – стискання». Механічні характеристики матеріалів*

Працездатність елементів конструкції та її основні критерії – міцність, жорсткість і стійкість. Основні форми конструктивних елементів. Зовнішні та внутрішні сили. Внутрішні силові фактори в перерізах. Метод перерізів. Механічні напруження. Деформації. Основні гіпотези та припущення.

Розрахунки на міцність при деформації «розтягання-стискання». Визначення повздовжньої сили та нормальних напружень. Відносні деформації. Коефіцієнт поперечної деформації. Закон Гука при деформації «розтягання-стискання». Абсолютне подовження стрижня і жорсткість при деформації «розтягання-стискання». Допустимі напруження, коефіцієнти запасу, умови міцності. Урахування власної ваги при розтяганні.

Механічні характеристики матеріалів. Діаграма розтягу. Границі пропорційності, пружності, текучості, міцності. Пластичність і хрупкість матеріалів. Методи визначення твердості матеріалів.

*Тема 7. Розрахунки на міцність при деформації «зсув». Геометричні характеристики плоских перерізів. Розрахунки на міцність при деформаціях «кручення» і «згинання».*

Розрахунки на міцність при деформації «зсув». Визначення поперечної сили та дотичних напружень. Закон Гука при деформації «зсув». Абсолютний зсув і жорсткість при деформації «зсув». Умова міцності при зсуві.

Геометричні характеристики плоских перерізів. Статичні моменти перерізу. Осьові, полярний та відцентровий моменти інерції перерізу.

Розрахунки на міцність при деформації «кручення». Визначення крутного моменту та дотичних напружень. Відносний та повний кут закручування. Жорсткість поперечного перерізу при крученні. Закон Гука при деформації «кручення». Умови міцності і жорсткості при крученні.

Розрахунки на міцність при деформації «згинання». Чисте та поперечне згинання. Види балок. Правила розрахунку та знаків згинального моменту і поперечної сили. Диференціальні залежності, встановлені професором Журавським. Нормальні та дотичні напруження при згинанні. Жорсткість балки при згинанні. Умова міцності при деформації «згинання». Диференціальне рівняння пружної лінії балки.



**Тема 8.** *Основи теорії напруженого та деформованого стану. Теорії міцності. Розрахунки на стійкість*

Напружений стан у точці. Тензор напружень. Головні площадки та напруження. Лінійний, плоский та об'ємний напружені стани. Закон парності дотичних напружень. Узагальнений закон Гука. Еквівалентні напруження. Основні теорії міцності – найбільших нормальних напружень, найбільших лінійних деформацій, найбільших дотичних напружень, найбільшої потенційної енергії формозміни.

Розрахунки на стійкість. Поняття стійкої та нестійкої пружної рівноваги. Основна задача розрахунків на стійкість. Формула Ейлера для визначення критичної сили. Критичне напруження (емпірична залежність Ясинського). Умова стійкості.

**Тема 9.** *Міцність матеріалів при циклічно-змінних напруженнях. Цикли напружень. Розрахунки при ударних навантаженнях. Контактні напруження. Розрахунок тонкостінних резервуарів*

Міцність матеріалів при циклічно-змінних напруженнях. Поняття циклічних навантажень, втомленого руйнування, втомленості матеріалу, витривалості. Основні параметри циклу напружень. Цикли напружень: симетричний, асиметричний, пульсаційний, постійного статичного навантаження. Границя витривалості. Крива втомленості (крива Велера). Діаграма граничних напружень. Вплив конструктивно-технологічних факторів на границю витривалості. Розрахунок на міцність при змінних напруженнях. Шляхи підвищення границі витривалості.

Розрахунки при ударних навантаженнях. Динамічна і статична деформації. Коефіцієнт динамічності. Повздовжній та поперечний удари. Контактні напруження. Принципи розрахунків на міцність тонкостінних резервуарів. Меридіальні та колові напруження. Рівняння Лапласа.

### ***Змістовий модуль 3. Основи конструювання деталей машин***

**Тема 10.** *Класифікація і техніко-економічні показники продукції машинобудування. Основні види та характеристики сучасних матеріалів*

Класифікація продукції машинобудівних підприємств (деталі, збірні одиниці, комплекти і комплекси). Техніко-економічні показники технічних засобів – працездатність, надійність, економічність та ін.

Матеріали для виготовлення деталей машин (ДМ): сталі (вуглецеві, леговані), чавуни, сплави на основі міді (латуні, бронзи), алюмінію, титану, пластмаси. Їхні основні властивості.

**Тема 11. Технічні умови на виготовлення деталей машин.**  
*З'єднання деталей машин*

Технічні умови на виготовлення ДМ. Взаємозамінність і стандартизація в машинобудуванні. Поняття розміру та поля допуску. Єдина система допусків та посадок. Одиниця допуску. Ступені точності (квалітети). Посадки. Системи утворення посадок. Види посадок. Допуски форми, розташування та сумарні. Поняття бази та шорсткості поверхні.

З'єднання ДМ. Огляд різноманітних (різьбові, шпонкові, шліцьові, профільні, штифтові) і нерознімних (зварні, заклепкові, з натягом, паяні, клейові) ДМ; принципи їхніх розрахунків.

**Тема 12. Вали та осі. Підшипники. Муфти**

Вали та осі: призначення, різновиди, використовувані матеріали, термічна та хіміко-термічна обробка. Принципи розрахунків на міцність, жорсткість і витривалість.

Підшипники: опорні (радіальні), опорно-упорні, упорні (підп'ятники). Підшипники ковзання: типи, конструкція, матеріали, розрахунки. Підшипники кочення: шарикові, роликові, голчаті. Характеристики, розрахунки та вибір.

Муфти: призначення, класифікація, характеристики та сфери використання. Принципи конструювання, розрахунків на міцність, вибору муфт.

## **2 Технології контролю знань студентів з теоретичного курсу дисципліни «Прикладна механіка»**

При вивченні дисципліни ПМ значна роль відводиться системі тестового (модульного) контролю знань студентів. Слід зазначити, що використання ПЕОМ дає можливість суттєво підвищити оперативність, незалежність і об'єктивність оцінок за

окремими тематичними модулями теоретичного курсу. Тому в УкрДУЗТ найбільш поширеним є комп'ютерне тестування знань студентів, яке проводиться з використанням відповідних програм на базі спеціалізованих класів.

Кожна з програм для модульного контролю з дисципліни ПМ передбачає автоматичне (за допомогою генератора випадкових чисел) формування студенту тестового завдання (12 тестових питань як на перший модуль, так і на другий) з відповідного банку тестових питань (на перший модуль база складає 218 тестових питань, а на другий – 238), контроль витраченого на тестування часу, оцінювання результатів тестування з виведенням кількості отриманих балів на монітор. У програмах для семестрового контролю знань (іспиту) тестові завдання формуються аналогічно і містять в середньому 21 питання.

У наступному розділі в достатній кількості подані приклади тестових питань у прив'язці до наведеної модульної структури теоретичного курсу дисципліни ПМ, а також посилання на літературні джерела, за якими можна знайти відповіді на них. Використання даного матеріалу доцільне для самоконтролю засвоєння теоретичного курсу, а також підготовки до складання відповідного модульного (семестрового) контролю, що проводиться студентами за допомогою конспектів лекційних занять і рекомендованих літературних джерел.

### **3 Приклади тестових питань для контролю та самоконтролю знань з дисципліни «Прикладна механіка»**

#### ***Змістовий модуль 1. Основи проектування механізмів і машин [1-4]***

##### ***Тема 1. Структурний аналіз механізмів***

1 Як називається штучний пристрій, що виконує механічний рух для перетворення енергії, матеріалів та інформації з метою

полегшення фізичної та розумової праці людини, а також підвищення її продуктивності?

2 За допомогою чого відбувається перетворення будь-якої енергії в механічну?

3 Яку назву мають машини, призначені для перетворення матеріалів?

4 Як називаються машини, призначені для зміни форми, властивостей і стану матеріалів?

5 За допомогою яких машин відбувається отримання і перетворення інформації?

6 Як називається технічна система, що складається з однієї або декількох машин, з'єднаних послідовно або паралельно, і призначена для виконання будь-яких необхідних функцій?

7 Як називається технічний пристрій, призначений для відтворення робочих функцій рук людини?

8 Як називається система тіл, призначена для перетворення руху одного або декількох тіл у потрібні рухи інших тіл?

9 Яку назву мають тверді тіла, що входять до складу механізму?

10 Як називається ланка механізму, що здійснює обертальний рух?

11 Як називається ланка механізму, що здійснює поступальний рух?

12 Як називається ланка механізму, що здійснює плоский рух?

13 Як називається ланка механізму, що здійснює обертальний рух на неповний оберт (гойдальний рух)?

14 Як називають нерухому ланку в механізмі?

15 Як називається ланка, до якої підводиться рух?

16 Як називається ланка, що здійснює рух, для отримання якого призначений механізм?

17 Як називаються ланки, які безпосередньо перетворюють рух у механізмі?

18 Що є вхідною ланкою кривошипно-шатунного механізму, при його використанні у складі двигуна внутрішнього згорання?

19 Що є вихідною ланкою кривошипно-шатунного механізму, при його використанні у складі двигуна внутрішнього згорання?

20 Що є вхідною ланкою кривошипно-шатунного механізму, при його використанні у складі поршневого повітряного компресора?

21 Що є вихідною ланкою кривошипно-шатунного механізму, при його використанні у складі поршневого повітряного компресора?

22 Як називається рухоме з'єднання двох контактуючих ланок?

23 Що розуміють під елементом кінематичної пари?

24 Яку назву отримала кінематична пара (залежно від виду її елементів), ланки якої стикаються по лінії або в точці?

25 Яку назву отримала кінематична пара (залежно від виду її елементів), ланки якої стикаються по поверхні?

26 До якого класу належить поступальна кінематична пара?

27 До якого класу належить обертальна кінематична пара?

28 До якого класу належить циліндрична кінематична пара?

29 До якого класу належить кінематична пара «кульовий шарнір»?

30 До якого класу належить кінематична пара «циліндр на площині»?

31 До якого класу належить кінематична пара «куля на площині»?

32 Як називається система ланок, які з'єднані між собою кінематичними парами?

33 Яку назву має кінематичний ланцюг, у якого кожна його ланка утворює не більше двох кінематичних пар?

34 Яку назву має кінематичний ланцюг, у якого всі точки його ланок здійснюють рух в одній або паралельних площинах?

35 Як називаються кінематичні ланцюги, які утворені тільки парами V класу й еквівалентно замінюють кінематичні пари I – IV класів?

36 За якою формулою визначається ступінь рухомості для плоского механізму?

37 За якою формулою визначається ступінь рухомості для просторового механізму?

38 Як називається координата, яка визначає положення усіх ланок механізму?

39 Як називається ланка, до якої відноситься узагальнена координата?

40 Механізмом якого класу є з'єднання початкової ланки і стояка за допомогою кінематичної пари  $V$  класу?

41 Чим визначається клас механізму?

*Тема 2. Основи проектування раціональних механізмів. Сучасні методи розрахунку кінематичних параметрів механізмів. Силовий розрахунок механізмів*

1 Що є ознакою механізмів з оптимальною структурою?

2 Які механізми отримали назву «раціональних»?

3 Який вигляд має формула Малишева з визначення надлишкових зв'язків?

4 За рахунок чого відбувається усунення надлишкових зв'язків у механізмах з метою отримання їхньої оптимальної структури?

5 Що є метою кінематичного аналізу механізмів?

6 З чого починається кінематичний аналіз механізму?

7 Що розуміють під «планом механізму»?

8 Які методи кінематичного аналізу використовують для визначення переміщень, швидкостей та прискорень точок і ланок механізму?

9 Який метод є найбільш наочним методом кінематичного аналізу?

10 Який метод є найбільш зручним методом кінематичного дослідження для використання в системах автоматизованого проектування?

11 При якому методі кінематичного аналізу будуються плани швидкостей та прискорень?

12 Яке значення приймає швидкість в полюсі плану швидкостей (точці  $P_V$ )?

13 Яке значення приймає прискорення в полюсі плану прискорень (точці  $P_a$ )?

14 Яким рівнянням описується зв'язок між лінійною швидкістю вихідної ланки  $V$ , аналогом цієї швидкості  $V_q$  і кутовою швидкістю початкової ланки  $\omega$ ?

15 Яку розмірність має аналог швидкості  $V_q$ ?

16 Яким рівнянням описується зв'язок між лінійним прискоренням вихідної ланки  $a$ , аналогом цього прискорення  $a_q$  і постійною кутовою швидкістю початкової ланки  $\omega$ ?

17 Яку розмірність має аналог прискорення  $a_q$ ?

18 Як визначається кутова швидкість  $\omega$  кривошипа за відомою величиною частоти його обертання  $n$ ?

19 Яким чином скеровується вектор лінійного прискорення кривошипа, який обертається з постійною кутовою швидкістю ( $\omega = const$ )?

20 Який метод можна застосувати для аналітичного кінематичного аналізу кривошипно-шатунного механізму?

21 Як скерований вектор лінійної швидкості кривошипа при обертанні його навколо стояка?

22 Який недолік властивий аналітичному методу кінематичного дослідження?

23 Яка перевага притаманна аналітичним методам кінематичного дослідження?

24 Чому дорівнює кутове прискорення  $\varepsilon$  кривошипа, який обертається з постійною кутовою швидкістю  $\omega = const$  і має довжину  $l$ ?

25 Чому дорівнює аналог прискорення  $a_q$ ?

26 Чому дорівнює аналог швидкості  $V_q$ ?

27 За якою формулою визначається лінійна швидкість  $V_{кр}$  кривошипа довжиною  $l$ , який обертається з кутовою швидкістю  $\omega$ ?

28 За якою формулою визначається лінійне прискорення  $a_{кр}$  кривошипа довжиною  $l$ , який обертається з кутовою швидкістю  $\omega$ ?

29 Як називаються сили, які діють у бік руху тіла і намагаються прискорити його рух?

30 Як називаються сили, які діють проти руху тіла і намагаються сповільнити його рух?

31 Як називаються зовнішні сили, що прикладені до вхідних ланок і за напрямком співпадають з вектором переміщення точки прикладання (або які утворюють з ним гострий кут)?

32 Як називаються зовнішні сили, що прикладені до вихідних ланок і за напрямком протилежні вектору переміщення точки прикладання (або які утворюють з ним тупий кут)?

33 Яку роботу здійснюють рушійні сили?

34 Яку роботу здійснюють сили опору?

35 Як називаються сили, що завжди спрямовані вертикально вниз?

36 Для визначення яких сил використовується план прискорень?

37 За якою формулою визначається величина головного вектора сил інерції  $F_i$  для ланки масою  $m$ , що рухається з прискоренням центра мас  $a_s$ ?

38 Як визначається величина головного моменту сил інерції  $M_i$  ланки, яка має момент інерції відносно центра мас  $I_s$  та обертається з кутовим прискоренням  $\varepsilon$ ?

39 Як називаються сили, що виникають при взаємодії ланок у місцях їхнього зіткнення (кінематичних парах)?

40 Що є теоретичною основою силового розрахунку?

41 Чому відповідає зведене рівняння векторної суми всіх зовнішніх сил, внутрішніх реакцій та сил інерції

$$\left( \sum_{i=1}^n \bar{F}_i^{3B} + \sum_{j=1}^k \bar{R}_j + \sum_{m=1}^l \bar{F}_m^{iH} = 0 \right)?$$

42 Який параметр є відомим при визначенні реакцій в поступальних кінематичних парах 5-го класу?

43 Який параметр є відомим при визначенні реакцій в обертальних кінематичних парах 5-го класу?

44 Який параметр є невідомим при визначенні реакцій у вищих кінематичних парах 4-го класу?

45 Яким чином можна визначити зрівноважений момент без розрахунку реакцій зв'язків?

**Тема 3. Класифікація передач. Механізми для передачі безперервного обертального руху**

1 Як називається пристрій, що служить для передачі енергії на відстані?

2 Як називається пристрій, який служить для передачі або перетворення механічного руху?



- 3 Які два основних вали розрізняють у передачах?
- 4 Які вали розташовані між вхідним і вихідним валами в багатоступінчатих передачах?
- 5 Які характеристики передач відносяться до основних?
- 6 Які характеристики передач відносяться до похідних?
- 7 Як визначається коефіцієнт корисної дії передачі за відомими значеннями потужності на вході ( $P_1$ ) та на виході ( $P_2$ )?
- 8 Як визначається передаточне відношення передачі при відомих частотах обертання на вході  $n_1$  та на виході  $n_2$ ?
- 9 В якому випадку передачу називають знижувальною (редуктором)?
- 10 Яким для редукторів є співвідношення між кутовою швидкістю вхідного  $\omega_{вх.}$  та вихідного  $\omega_{вих.}$  валів?
- 11 В разі виконання яких умов передача називається підвищувальною (мультиплікатором)?
- 12 Яким для мультиплікаторів є співвідношення між кутовою швидкістю вхідного  $\omega_{вх.}$  та вихідного  $\omega_{вих.}$  валів?
- 13 Які види механічних передач розрізняють за принципом передачі руху від ведучого валу до веденого вала?
- 14 Які передачі відносяться до передач тертям?
- 15 Які передачі відносяться до передач зачепленням?
- 16 Які передачі відносяться до передач, що перетворюють обертальний рух у поступальний?
- 17 Як називаються механізми, в яких передача та перетворення руху від однієї ланки до другої здійснюються за допомогою виступів, які нарізані на їхніх поверхнях?
- 18 Як називається процес передачі та перетворення руху від однієї ланки до другої за рахунок попарної взаємодії зубців?
- 19 Як визначається передаточне відношення для простого зубчастого механізму  $i_{1-2}$  (при відомих кутових швидкостях шестірні  $\omega_1$  і колеса  $\omega_2$ )?
- 20 Залежно від чого обирається знак передаточного відношення простого зубчастого механізму?
- 21 Як називається зубчасте колесо зубчастої передачі з меншою кількістю зубців?
- 22 Як називається зубчасте колесо зубчастої передачі з більшою кількістю зубців?

23 Як розташовані у просторі осі обертання зубчастих коліс циліндричної зубчатої передачі?

24 Як розташовані у просторі осі обертання зубчастих коліс конічної передачі?

25 Як розташовані у просторі осі обертання ланок гіперболоїдних передач?

26 Як розташовані у просторі осі обертання ланок черв'ячних передач?

27 Як називаються сили, що діють на зубчасті колеса, а також опори їхніх валів?

28 В яких циліндричних зубчастих передачах мають місце осьові сили?

29 Використання яких зубчастих передач дозволяє передачу та перетворення обертального руху між ланками з осями, що перетинаються?

30 Яка теорема закладена в основу проектування зубчастих передач із сталим передаточним відношенням?

31 Як згідно з основною теоремою зачеплення (при відомих значеннях радіусів початкових кіл шестірні  $r_{w1}$  та колеса  $r_{w2}$ ) визначається передаточне відношення?

32 Як називається траєкторія, яку описує будь-яка точка прямої лінії при її обкатуванні по основному колу без ковзання?

33 З якого кола починається евольвента зубця зубчастого колеса?

34 Як визначається передаточне число простої зубчатої передачі (при відомій кількості зубців шестірні  $z_w$  та колеса  $z_k$ )?

35 Як при відомих значеннях модуля зачеплення  $m$  і кількості зубців  $z$  зубчастого колеса визначається ділительний діаметр?

36 Як визначається ділительний модуль зубців  $m$  (для ділительного кроку  $p$ )?

37 Яку розмірність має ділительний модуль зубців  $m$ ?

38 Чому дорівнює коефіцієнт висоти головки зубців  $h_a^*$ ?

39 Чому дорівнює коефіцієнт висоти ніжки зубців  $h_f^*$ ?

40 Чому дорівнює коефіцієнт радіального зазору  $c_0^*$ ?

41 Як в зубчастій передачі визначається радіальний зазор?

42 Як називається траєкторія точки контакту евольвент, необмежених колами вершин (з моменту початку контакту в т.  $N_1$  до моменту його закінчення в т.  $N_2$ )?

43 Як називається траєкторія точки контакту активних профілів зубців (з моменту початку контакту в т.  $B_1$  до моменту його закінчення в т.  $B_2$ )?

44 Як називаються ділянки профілів зубців, які контактують у процесі зачеплення?

45 Який показник якості характеризує плавність і безперервність зачеплення в зубчастій передачі?

46 Яким чином оцінюється відносна інтенсивність зношення активних профілів зубців?

47 Який показник якості характеризує контактну міцність зубця?

48 Який показник якості характеризує згинальну міцність зубця?

49 Коли коефіцієнти питомих ковзань в передачі дорівнюють нулю?

#### *Тема 4. Методи виготовлення зубчастих коліс. Багатоланкові зубчасті механізми. Кулачкові механізми*

1 Який матеріал використовується для виготовлення зубчастих коліс високонавантажених зубчастих передач?

2 Який матеріал використовується для виготовлення крупногабаритних тихохідних зубчастих коліс, а також коліс відкритих зубчастих передач?

3 Який матеріал використовується для виготовлення зубчастих коліс малонавантажених і кінематичних передач?

4 Як називається метод виготовлення зубчастих коліс, який базується на тому, що конфігурація різального інструменту відповідає формі западини між двома сусідніми зубцями?

5 Як називається метод нарізання зубчастих коліс, в якому реалізується верстатне зачеплення, а саме поверхня різальних кромки інструменту та поверхня зубця, що нарізується, мають такий же рух, який би мали зубчасті ланки при зачепленні одна з одною?

6 До переваг якого методу відноситься можливість нарізання зубців на універсальному фрезерному обладнанні?

7 Який інструмент використовується при нарізанні зубчастих коліс із застосуванням методу копіювання?

8 Який інструмент використовується при нарізанні зубчастих коліс із застосуванням методу обкатування?

9 Як розраховується абсолютне зміщення різального інструменту, якщо відомі модуль зубців  $m$  і коефіцієнт зміщення  $x$ ?

10 Як називається передача, в якій при нарізанні зубчастих коліс зміщення різального інструменту йде від центра заготовки?

11 Як називається передача, в якій при нарізанні зубчастих коліс зміщення різального інструменту йде до центра заготовки?

12 Яка умова повинна виконуватись в рівнозміщених зубчастих передачах між кутом зачеплення  $\alpha_w$  і кутом профілю вихідного контура  $\alpha_0$ ?

13 Яка умова повинна виконуватись в додатних зубчастих передачах між кутом зачеплення  $\alpha_w$  і кутом профілю вихідного контура  $\alpha_0$ ?

14 Яка умова повинна виконуватись у від'ємних зубчастих передачах між кутом зачеплення  $\alpha_w$  і кутом профілю вихідного контура  $\alpha_0$ ?

15 Які механізми відносяться до багатоланкових зубчатих механізмів з нерухомими осями обертання всіх зубчастих коліс?

16 Які механізми відносяться до багатоланкових зубчастих механізмів з рухомими осями обертання окремих зубчастих коліс?

17 Як визначається загальне передаточне відношення  $i_{1-j}$  ступінчатого багатоланкового зубчастого механізму?

18 Як визначається загальне передаточне відношення  $i_{1-j}$  рядового багатоланкового зубчастого механізму (з паразитними зубчатими колесами)?

19 Чому дорівнює ступінь рухомості диференціальних зубчастих механізмів?

20 Чому дорівнює ступінь рухомості планетарних зубчастих механізмів?

21 Яку назву отримали проміжні зубчасті колеса в рядових зубчастих механізмах, які не мають жодного впливу на значення загального передаточного відношення?

22 Яка ланка в кулачковому механізмі є вхідною?

23 Яка ланка в кулачковому механізмі є вихідною?

24 Яку назву в кулачковому механізмі отримав кут між нормаллю (проведеною через точку контакту штовхача з профілем кулачка) і вектором швидкості штовхача?

25 Чому дорівнює найбільший припустимий кут тиску в кулачковому механізмі з роликівим штовхачем, що рухається поступально?

26 Чому дорівнює найбільший припустимий кут тиску в кулачковому механізмі з коромисловим штовхачем?

27 Чому дорівнює найбільший припустимий кут тиску в кулачковому механізмі з плоским штовхачем?

28 Як змінюються габарити кулачкового механізму зі збільшенням кута тиску?

29 Використання якої деталі забезпечує силове замкнення в кулачковому механізмі привода клапанів двигуна внутрішнього згоряння?

30 Які види замкнення мають місце в кулачкових механізмах?

31 Що розуміють під кутом заклинювання в кулачковому механізмі?

32 Які відносні рухи може здійснювати кулачок в однойменному механізмі?

33 При якому фазовому куті в кулачковому механізмі переміщення штовхача є постійним?

34 Зі збільшенням якого фазового кута в кулачковому механізмі переміщення штовхача збільшується?

35 Зі збільшенням якого фазового кута в кулачковому механізмі переміщення штовхача зменшується?

36 Що розуміють під ударами в кулачкових механізмах?

37 В яких випадках в кулачкових механізмах мають місце удари?

38 Що розуміють під «жорстким» ударом в кулачковому механізмі?

39 Що розуміють під «м'яким» ударом в кулачковому механізмі?

40 Що розуміють під безударним характером роботи кулачкового механізму?

41 Яку назву має проміжна ланка, що вводиться у конструкцію кулачкових механізмів, з метою усунення тертя ковзання у вищій кінематичній парі?

### *Тема 5. Основи динамічного удосконалення механізмів і машин*

1 Задачею якого аналізу є визначення законів руху ланок з урахуванням їхніх мас (моментів інерції) і діючих навантажень?

2 Як називається умовна початкова ланка, яка має інерційні властивості, що еквівалентні властивостям всього механізму, і зазнає навантаження, яке еквівалентне дії навантажень на всі ланки механізму?

3 Яка умова повинна виконуватись в механізмах при зведенні сил (*моментів сил*)?

4 Яка умова повинна виконуватись в механізмах при зведенні мас?

5 Теорему про зміну якої енергії покладено в основу складання рівняння руху механізму?

6 Як при поступальному русі визначається кінетична енергія?

7 Як при обертальному русі визначається кінетична енергія?

8 Чому дорівнює робота рушійних сил на етапі пуску машини?

9 Чому дорівнює робота рушійних сил на етапі сталого руху машини?

10 Чому дорівнює робота рушійних сил на етапі зупинки (*вибігу*) машини?

11 Як називається рух машини без корисного навантаження?

12 Для якого періоду руху машини визначається коефіцієнт нерівномірності руху?

13 Як визначається коефіцієнт нерівномірності руху машини  $\delta$  (при відомих для циклу коливань максимальній  $\omega_{max}$  та мінімальній  $\omega_{min}$  кутових швидкостей)?

- 14 Яким чином скорочують час зупинки машини?
- 15 Яка ланка найбільше деформується у кривошипно-шатунному механізмі двигуна внутрішнього згоряння?
- 16 При яких значеннях головного вектора та головного моменту сил інерції механізм вважається врівноваженим?
- 17 В якому випадку механізм вважається статично неуврівноваженим?
- 18 В якому випадку механізм вважається динамічно неуврівноваженим?
- 19 Дайте визначення поняттю «ротор».
- 20 Яку назву отримав процес зрівноваження обертальних частин машин, який включає до себе визначення значень і кутів дисбалансу ротора, а також їхнє зменшення за допомогою коригування розміщення його мас?
- 21 Яку назву має незначна неуврівноваженість, що проявляється, як правило, внаслідок технологічних факторів?
- 22 Як визначається коефіцієнт віброзахисності?
- 23 Який вигляд має умова віброзахисності транспортних засобів?
- 24 Дайте визначенню поняттю «вібрація».
- 25 Яку назву отримав комплекс робіт із зниження вібрацій технічного засобу до небезпечного рівня з точки зору його нормальної роботи, а також впливу на навколишнє середовище та людей?
- 26 Які системи використовують в напрямку віброзахисту технічних засобів при їхньому конструюванні?
- 27 Що передбачають системи віброізоляції?
- 28 Як називається опір, що виникає при переміщенні одного тіла відносно іншого у місці їхнього дотику?
- 29 Тертям якого роду є тертя, що виникає при ковзанні одного тіла по поверхні іншого (наприклад рух поршня в циліндрі)?
- 30 Тертям якого роду є тертя, що виникає при коченні одного тіла по поверхні іншого (наприклад кочення колеса по рейці)?
- 31 Як при відомих значеннях коефіцієнта тертя руху  $f_p$  і нормальної реакції  $N$  визначається модуль сили тертя ковзання під час руху?

32 Як змінюється сила тертя зі збільшенням часу попереднього контакту тертьових поверхонь?

33 Яку розмірність має коефіцієнт тертя ковзання  $f$ ?

34 Як при відомих значеннях коефіцієнта тертя кочення  $k$  і нормальної реакції  $N$  визначається момент тертя кочення?

35 Яку розмірність має коефіцієнта тертя кочення  $k$ ?

36 Назвіть умову чистого кочення.

37 Назвіть умову чистого ковзання.

38 Назвіть умову спільного кочення і ковзання.

39 Як називається процес руйнування і відділення матеріалу з поверхні твердого тіла, який проявляється у поступовій зміні розмірів і форми?

40 Як називається вид зношування, при якому виріб зберігає працездатність?

41 Як називається вид зношування, який має місце у випадку тертя кочення і ковзання, а його основною причиною є те, що реальне навантаження перевищує допустиме?

42 Як називається вид зношування, основною причиною якого є наявність у зоні тертя великих температур і який має місце у випадку тертя ковзання?

43 Як називається вид зношування, основною причиною якого є наявність значних питомих навантажень, що змінюються за циклічним законом, і який має місце у випадку тертя кочення?

44 Яка формула використовується при визначенні механічного ККД в механізмі  $\eta_m$  при відомих величинах роботи рушійних сил  $A_{p.c.}$  і роботи сил корисного опору  $A_{к.о.}$ ?

45 Співвідношення яких величин називається механічним коефіцієнтом втрат  $\psi$ ?

46 Яким чином при послідовному з'єднанні механізмів визначається загальний коефіцієнт корисної дії?

47 Яким чином при паралельному з'єднанні механізмів визначається загальний коефіцієнт корисної дії?

## ***Змістовий модуль 2. Основи опору матеріалів [5, 6]***

***Тема 6. Головні поняття і визначення основ розрахунків на міцність. Розрахунки на міцність при деформації «центральне розтягання – стискання». Механічні характеристики матеріалів***



- 1 Дайте визначення поняттю «міцність».
- 2 Дайте визначення поняттю «жорсткість».
- 3 Дайте визначення поняттю «стійкість».
- 4 Яке тіло називається оболонкою?
- 5 Яке тіло називається стрижнем або брусом?
- 6 Як називається оболонка, серединна поверхня якої являє собою площину?
- 7 Яку розмірність має розподілене по площі елемента конструкції навантаження?
- 8 Яку розмірність має розподілене навантаження по довжині?
- 9 Яка розмірністю об'ємних навантажень?
- 10 Як називаються навантаження, які діють протягом всього періоду експлуатації конструкції?
- 11 Як називаються динамічні навантаження, які діють протягом дуже короткого проміжку часу?
- 12 Як називаються навантаження, що викликають в конструкції або окремих її елементах великі прискорення, якими при розрахунках неможливо знехтувати?
- 13 Як називаються динамічні навантаження, які дуже швидко сягають своєї повної величини?
- 14 Як називаються динамічні навантаження, які змінюються за циклічним законом?
- 15 Як називаються сили міжмолекулярної взаємодії, які протидіють зовнішнім силам і намагаються повернути частинки тіла в положення, яке вони займали до деформації?
- 16 За допомогою якого методу визначаються внутрішні силові фактори в розрахунках на міцність?
- 17 Як називається локальна міра внутрішніх сил, яка характеризує їхню інтенсивність на нескінченно малій площадці перерізу?
- 18 Назвіть одиницю вимірювання механічних напружень.
- 19 Як називається зміна форми і розмірів деталі чи споруди під дією зовнішніх сил або теплового впливу?
- 20 Як називаються деформації, які зникають після припинення дії зовнішніх навантажень, що спричинили їх?
- 21 Як називаються деформації, які не зникають після припинення дії зовнішніх навантажень, що спричинили їх?

22 Чому дорівнює подовжня сила  $N$  у поперечному перерізі стрижня?

23 Як визначаються нормальні напруження  $\sigma$  для деформації «центральне розтягання (стискання)» в перерізі бруса (відома площа перерізу  $A$  і нормальна сила  $N$ )?

24 Як визначається відносна подовжня деформація?

25 Як визначається відносна поперечна деформація?

26 Як визначається коефіцієнт поперечної деформації (коефіцієнт Пуассона)?

27 Як визначаються нормальні напруження  $\sigma$  для деформації «центральне розтягання (стискання)» при відносній подовжній деформації бруса  $\varepsilon$  (модуль пружності 1-го роду матеріалу  $E$ ) за законом Гука?

28 Яку розмірність має модуль пружності 1-го роду  $E$ ?

29 Як визначається абсолютне подовження  $\Delta l$  горизонтального стрижня довжиною  $l$  з постійним поперечним перерізом площі  $A$ , який знаходиться під дією зовнішньої сили  $F$ ?

30 Як визначається жорсткість бруса з постійним поперечним перерізом площі  $A$  (модуль пружності 1-го роду матеріалу  $E$ ) при деформації «центральне розтягання (стискання)»?

31 Яка умова міцності при деформації «центральне розтягання (стискання)»?

32 Як називається максимально безпечне напруження для відповідного матеріалу?

33 Яку границю приймають за небезпечне напруження  $\sigma_{нб}$  для пластичних матеріалів при визначенні допустимих напружень  $[\sigma]$ ?

34 Яку границю приймають за небезпечне напруження  $\sigma_{нб}$  для крихких матеріалів при визначенні допустимих напружень  $[\sigma]$ ?

35 Як визначається власна вага поперечного перерізу довжиною  $x$  при заданих значеннях питомої ваги матеріалу  $\gamma$  та площі поперечного перерізу  $A$ ?

36 Як називається напруження, після якого для матеріалу порушується закон Гука?

37 Яку назву отримав процес зростання деформації без підвищення навантаження?

38 Як називається властивість матеріалу сприймати великі залишкові деформації без руйнування?

39 Як називається властивість матеріалу руйнуватися без утворення помітних залишкових деформацій?

40 Як називається властивість матеріалу опиратися проникненню в його поверхню більш твердого тіла за рахунок пружних і пластичних деформацій?

41 Що застосовують як індендор при визначенні твердості матеріалу за Роквеллом?

42 Що застосовують як індендор при визначенні твердості матеріалу за Брінеллем?

43 Що застосовують як індендор при визначенні твердості матеріалу за Віккерсом?

44 В якому методі як індендор при визначенні твердості використовується алмазна пірамідка?

45 В якому методі як індендор при визначенні твердості використовується сталева загартована кулька?

*Тема 7. Розрахунки на міцність при деформації «зсув». Геометричні характеристики плоских перерізів. Розрахунки на міцність при деформаціях «кручення» та «згинання»*

1 Якої деформації зазнає брус, в поперечних перерізах якого діє тільки поперечна сила  $Q_y$ ?

2 Якими величинами зсуву з геометричної точки зору характеризується зсув?

3 Як визначається кут зсуву при відомих значеннях абсолютного зсуву  $\Delta$  і відстані між лініями дії перерізувальних сил  $h$ ?

4 Як визначаються дотичні напруження  $\tau$  для кута зсуву  $\gamma$  при деформації «чистий зсув» (модуль пружності 2-го роду матеріалу  $G$ ) відповідно до закону Гука?

5 Який вигляд має закон Гука при зсуві?

6 Яку розмірність має модуль пружності другого роду (модуль зсуву)  $G$ ?

7 Яке співвідношення має місце між модулем зсуву  $G$ , модулем Юнга  $E$  і коефіцієнтом Пуассона  $\mu$ ?

8 За якою формулою визначається абсолютний зсув?

9 Як визначається жорсткість бруса з постійним поперечним перерізом площі  $A$  (модуль пружності 2-го роду матеріалу  $G$ ) при деформації «зсув»?

10 Який вигляд має умова міцності при деформації «зсув»?

11 Як визначаються статичні моменти перерізу відносно осей  $x$  та  $y$ ?

12 Яку розмірність мають статичні моменти перерізу?

13 Як визначаються осьові моменти інерції перерізу відносно осей  $x$  та  $y$ ?

14 Яку розмірність має осьовий момент інерції перерізу?

15 Інтеграл якого виду називається полярним моментом інерції перерізу відносно даної точки?

16 Яку розмірність має полярний момент інерції перерізу?

17 Як при відомих значеннях моментів інерції перерізу  $I_x$  та  $I_y$  визначається полярний момент інерції?

18 Інтеграл якого виду називається відцентровим моментом інерції перерізу?

19 Як називаються осі, відносно яких відцентровий момент інерції дорівнює нулю?

20 Як називаються дві взаємно перпендикулярні осі, з яких хоча б одна є віссю симетрії фігури?

21 За яким законом змінюються дотичні напруження  $\tau$  у перерізах вала при деформації «кручення»?

22 Чому дорівнює внутрішній крутний момент  $T_x$  у довільному перерізі при деформації «кручення»?

23 Як визначається полярний момент інерції для круглого перерізу?

24 Як визначається жорсткість перерізу вала діаметром  $d$  (модуль пружності 2-го роду матеріалу  $G$ ) для деформації «кручення»?

25 Чому дорівнює повний кут закручення, якщо вал має декілька ділянок, що відрізняються розмірами перерізів і значенням крутного моменту?

26 За якою формулою при деформації кручення визначаються дотичні напруження для перерізу вала (з полярним моментом опору перерізу  $W_\rho$ ), в якому діє крутний момент  $T$ ?

27 Яку розмірність має полярний момент опору перерізу  $W_p$ ?

28 Який вигляд має умова міцності при деформації «кручення»?

29 Яких деформацій зазнає балка, якщо в будь-якому її перерізі мають місце тільки згинальні моменти  $M_z$ ?

30 Яких деформацій зазнає балка, якщо в будь-якому її перерізі мають місце як згинальні моменти  $M_z$ , так і поперечна сила  $Q_y$ ?

31 Які навантаження може сприймати шарнірно-нерухома опора балки?

32 Які навантаження може сприймати шарнірно-рухома опора балки?

33 Яку назву має прямолінійний стрижень, який працює на згинання?

34 Чому чисельно дорівнює поперечна сила  $Q_y$  при деформації «згинання»?

35 Чому чисельно дорівнює згинальний момент  $M_z$  при деформації «згинання»?

36 Який вигляд має диференціальна залежність між згинальним моментом  $M_z$  і поперечною силою  $Q_y$  при деформації «згинання»?

37 Як буде змінюватись значення згинального моменту  $M_z$  в перерізі, якщо в ньому прикладений зовнішній момент пари сил  $M$ ?

38 Яким графіком буде обмежена еюра згинальних моментів  $M_z$  на ділянці балки з постійним значенням поперечної сили?

39 Як називається шар волокон (при деформації «згинання»), який не відчуває ні розтягання, ні стискання?

40 Пропорційно чого змінюються нормальні напруження  $\sigma$  у поперечному перерізі балки, яка зазнає деформації «згинання»?

41 Як при деформації «згинання» визначається жорсткість перерізу балки, який характеризується площею  $A$  й осьовими моментами опору  $W_z$  та інерції  $I_z$  (модуль пружності 1-го роду матеріалу балки  $E$ )?

42 В яких точках балки при деформації «згинання» мають місце максимальні нормальні напруження?

43 Як при деформації «згинання» визначаються максимальні нормальні напруження  $\sigma_{max}$  для небезпечного перерізу (в якому діє згинальний момент  $M_{zmax}$ )?

44 Як при деформації «згинання» визначається осьовий момент опору перерізу балки (при відомих значеннях моменту інерції відносно нейтральної осі  $I_z$  та максимальної відстані від нейтрального шару  $y_{max}$ )?

45 Як при деформації «згинання» визначаються дотичні напруження  $\tau$ ?

46 Який вигляд має умова міцності при деформації «згинання»?

*Тема 8. Основи теорії напруженого та деформованого стану. Теорії міцності. Розрахунки на стійкість*

1 Дайте визначення поняттю «напружений стан в точці».

2 Як називаються вільні від дотичних напружень площадки, за якими діють екстремальні нормальні напруження?

3 Яка нерівність повинна виконуватись для головних напружень  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  і  $\sigma_3$  при розгляді напружено-деформованого стану?

4 Які напруження діють на гранях паралелепіпеда при лінійному напруженому стані?

5 Які напруження діють на гранях паралелепіпеда при плоскому напруженому стані?

6 Які напруження діють на гранях паралелепіпеда при об'ємному напруженому стані?

7 Який вигляд має закон парності дотичних напружень  $\tau$ ?

8 Як повинні бути спрямовані дотичні напруження  $\tau$ , щоб закон парності дотичних напружень був справедливим?

9 Яка формула використовується для визначення еквівалентних напружень  $\sigma_{екв}$  в розрахунках валів при використанні теорії максимальних дотичних напружень?

10 Яка формула використовується для визначення еквівалентних напружень  $\sigma_{екв}$  в розрахунках валів при використанні енергетичної теорії міцності?

11 Якою є пружна рівновага, якщо при малому відхиленні від стану рівноваги система після припинення дії сил, що викликали це відхилення, повертається до початкового положення?

12 Якою є пружна рівновага, якщо система після припинення дії сил, що викликали її відхилення, не повертається до початкового положення, а відхиляється від нього ще більше?

13 Як при розрахунках на стійкість називається перехідний стан між стійкою та нестійкою пружними рівновагами?

14 Як називається навантаження, перевищення якого спричиняє втрату стійкості вихідної форми тіла?

15 За якою формулою проводять розрахунки на стійкість стиснених стрижнів при співвідношенні критичних напружень  $\sigma_{кр}$  і границі пропорційності  $\sigma_{pr}$   $\sigma_{кр} \leq \sigma_{pr}$  ?

16 Від чого в розрахунках на стійкість залежить коефіцієнт зведеної довжини  $\nu$  ?

17 За якої умови можна скористатися формулою Ейлера для визначення критичної сили?

18 За якою емпіричною формулою визначається критичне напруження у випадку, коли гнучкість стрижня менша за граничну ( $\lambda < \lambda_{2p}$ )?

19 Який вигляд має емпірична формула Ясинського при визначенні критичного напруження?

20 Який вигляд має умова стійкості?

*Тема 9. Міцність матеріалів при циклічно-змінних напруженнях. Цикли напружень. Розрахунки при ударних навантаженнях. Контактні напруження. Розрахунок тонкостінних резервуарів*

1 Яку назву має найбільше (граничне) напруження циклу, при якому не відбувається втомлене руйнування зразка після довільно великої кількості циклів?

2 За якою формулою визначається амплітудне напруження циклу  $\sigma_a$  при відомих максимальних  $\sigma_{max}$  і мінімальних  $\sigma_{min}$  напруженнях?

3 За якою формулою знаходиться коефіцієнт асиметрії циклу при відомих значеннях максимального  $\sigma_{max}$  та мінімального  $\sigma_{min}$  напружень?

4 Цикл яких напружень є найбільш небезпечним для деталей з точки зору міцності?

5 Для якого циклу коефіцієнт асиметрії циклу  $R_a = -1$ ?

6 Для якого циклу коефіцієнт асиметрії циклу  $R_a = 0$ ?

7 Для якого циклу коефіцієнт асиметрії циклу  $R_a = +1$ ?

8 Як називається найбільша кількість циклів, при якій проводиться випробування зразків на втомленість?

9 Як називаються цикли напружень, які мають однакові коефіцієнти асиметрії?

10 До чого призводить наявність концентраторів напружень (отворів, проточок, пазів на ін.)?

11 Чому сприяє покращення чистоти обробки поверхні деталі?

12 До чого призводить підвищення температури поверхні деталі?

13 За якою величиною оцінюється міцність при циклічних навантаженнях?

14 Назвіть шляхи підвищення границі витривалості.

15 В якому випадку спостерігається явище удару?

16 Яким чином визначається коефіцієнт динамічності  $k_d$ , якщо відомими є динамічна  $\delta_d$  і статична  $\delta_{ст}$  деформації?

173а якою формулою в розрахунках при ударних навантаженнях знаходиться статична деформація (при відомих значеннях статичного навантаження  $F_{ст}$  і жорсткості стрижня  $c$ )?

183а якою формулою в розрахунках при ударних навантаженнях знаходиться динамічна деформація (при відомих значеннях динамічного навантаження  $F_d$  і жорсткості стрижня  $c$ )?

19 Як називаються деформації і напруження, що виникають при взаємному натисканні двох статичних тіл, обмежених криволінійними поверхнями?

20 Яку форму буде мати площадка контакту при взаємному стисканні зовнішніми силами двох куль?

21 Яку форму буде мати площадка контакту при стисканні зовнішніми силами двох циліндрів?



### ***Змістовий модуль 3. Основи конструювання деталей машин [7-9]***

***Тема 10. Класифікація і техніко-економічні показники продукції машинобудування. Основні види та характеристики сучасних матеріалів***

1 Як називається елемент конструкції, який виготовлено з матеріалу однієї марки без використання складальних операцій?

2 Як називається сукупність деталей, які з'єднані на підприємстві-виробникові з використанням складальних операцій (із забезпеченням відповідної сумісної роботи)?

3 Як називається стан технічного засобу, при якому він здатний виконувати задані функції (функціонувати), зберігаючи значення основних параметрів у межах, установлених відповідними нормативними документами?

4 Назвіть критерії працездатності.

5 Метою яких розрахунків є визначення основних розмірів деталей, які задовольняють найбільш важливі критерії працездатності?

6 Метою яких розрахунків є визначення запасів міцності в небезпечних перерізах деталей технічних засобів залізничного транспорту?

7 Яку назву має здатність технічного засобу працювати на експлуатаційних режимах без неприпустимих рівнів вібрацій?

8 Як називають прояв механічних коливань в рухомих технічних системах?

9 Який вигляд має умова віброзахисності технічного засобу?

10 Як називається властивість технічного засобу виконувати задані функції (зберігати працездатність) протягом необхідного часу (або необхідного напрацювання – мотогодин для двигуна, кілометражу пробігу для автомобіля та ін.)?

11 Який показник використовують при вирішенні техніко-економічних завдань для оцінки надійності функціонування технічного засобу?

12 Як при відомій кількості випробувальних технічних засобів, в яких були зафіксовані відмови  $N(t)$ , та загальній

кількості випробувальних технічних засобів  $N$  можна визначити ймовірність безвідмовної роботи технічного засобу?

13 Як визначається ймовірність безвідмовної роботи механічної системи, яка складається з  $n$  паралельно з'єднаних технічних засобів?

14 Як визначається ймовірність безвідмовної роботи механічної системи, що складається з  $n$  послідовно з'єднаних технічних засобів?

15 Як називається подія, пов'язана з порушенням працездатності об'єкта?

16 Як називається здатність деталей технічного засобу зберігати працездатність у заданих межах зміни температурного режиму, обумовленого робочим процесом і проявом тертя в його механізмах і вузлах?

17 Як називається здатність технічного засобу зберігати працездатність до граничного стану, при якому подальша його експлуатація або неможлива або недоцільна?

18 Яку назву отримала здатність забезпечення працездатності протягом і після встановлених термінів збереження і транспортування технічного засобу?

19 Що є основним кількісним показником економічної ефективності?

20 Які метали відносять до чорних?

21 Які метали відносять до кольорових?

22 Які матеріали відносять до комбінованих?

23 Які сплави відносять до сплавів на основі олова?

24 Які сплави відносять до сплавів на основі алюмінію?

25 Які сплави відносять до сплавів на основі міді?

26 Як називається залізовуглецевий сплав, у якому вміст вуглецю не перевищує 2%?

27 Якою є сталь, якщо вміст вуглецю знаходиться в межах від 0,60% до 2%?

28 Якою є сталь, якщо вміст вуглецю знаходиться в межах від 0,25% до 0,6%?

29 Якою є сталь, якщо вміст вуглецю знаходиться в межах від 0% до 0,25%?

30 В якому випадку сталь вважається низьколегованою?

31 В якому випадку сталь вважається високолегованою?

- 32 На які види поділяються леговані сталі?
- 33 Як називається залізовуглецевий сплав, у якому вміст вуглецю перевищує 2%?
- 34 Які чавуни розрізняють залежно від структури?
- 35 Які чавуни характеризуються відносно високою міцністю, зносостійкістю і демпфівальною здатністю (віброгасінням)?
- 36 Які розрізняють бронзи за вмістом основного легувального елемента?
- 37 Які сплави на основі олова, свинцю та алюмінію з високими антифрикційними властивостями, належать до легкоплавких і застосовуються у якості антифрикційного матеріалу для вкладишів підшипників ковзання?
- 38 Які сплави найбільш поширені як ливарний матеріал для виготовлення деталей складної конфігурації, а також різноманітних корпусів, кожухів, ємностей, трубопроводів та ін.?
- 39 Які сплави відносяться до матеріалів, що головним чином використовуються в авіації, ракетній техніці та хімічному машинобудуванні для виготовлення відповідних деталей з високою міцністю, жаростійкістю, корозійною стійкістю, але з невеликими антифрикційними властивостями та низькою теплопровідністю?

*Тема 11. Технічні умови на виготовлення деталей машин.  
З'єднання деталей машин*

- 1 Як називається принцип конструювання і виробництва, при якому забезпечується складання незалежно виготовлених деталей, вузлів без застосування додаткової обробки з виконанням вимог якості та економічності?
- 2 Якою вважається взаємозамінність, що передбачає з'єднання без додаткової обробки всіх зв'язаних деталей, які приходять на складальні операції?
- 3 Якою вважається взаємозамінність, що передбачає з'єднання без додаткової обробки тільки частини деталей, виготовлених з меншою точністю?
- 4 Як називається числове значення лінійної величини в обраних одиницях вимірювання?

5 Як називається розмір ділянки деталі, що вказується на робочому кресленні?

6 Як називається розмір, відносно якого визначаються граничні розміри і який використовується для відліку відхилень?

7 Як визначається нижнє граничне відхилення отвору?

8 Як визначається верхнє граничне відхилення отвору?

9 Як називається різниця між найбільшим і найменшим граничними розмірами або абсолютна величина алгебраїчної різниці між верхнім і нижнім відхиленнями?

10 Якою системою регламентується призначення допусків на розміри деталей?

11 Як називається поле, обмежене верхнім і нижнім граничними відхиленнями?

12 Скільки квалітетів (ступенів точності) встановлено стандартами для розмірів до 500 мм?

13 Від чого залежить і як визначається характер посадки?

14 В яких системах єдина система допусків та посадок (ЕСДП) передбачає утворення посадок?

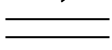
15 Які допуски належать до допусків форми?

16 Які допуски належать до допусків розташування?

17 Які допуски належать до сумарних допусків форми та розташування?

18 Який допуск відповідає позначенню  ?

19 Який допуск відповідає позначенню  ?

20 Який допуск відповідає позначенню  ?

21 Який допуск відповідає позначенню  ?

22 Який допуск відповідає позначенню  ?

23 Який допуск відповідає позначенню  ?

24 Який допуск відповідає позначенню  ?

25 Який допуск відповідає позначенню  ?

26 Що призначають для оцінки точності розташування поверхонь?

27 Яку назву отримали нерівності, в яких відношення кроку нерівностей до їхньої висоти не перевищує 50?

28 Яку назву отримали нерівності, в яких відношення кроку нерівностей до їхньої висоти перевищує 50?

29 Як в техніці називаються нерухомі зв'язки?

30 Які з'єднання відносяться до нерознімних?

- 31 Які з'єднання відносяться до рознімних?
- 32 Яке нерознімне з'єднання має найбільшу навантажувальну здатність?
- 33 Як називаються з'єднання, які можуть розбиратися без руйнування їхніх складових деталей?
- 34 Як називаються з'єднання, які не можуть розбиратися без руйнування їхніх складових деталей?
- 35 Які з'єднання застосовуються для передачі значного крутного моменту?
- 36 Яка різьба має кут профілю  $\alpha = 60^\circ$  ?
- 37 Яка різьба має кут профілю  $\alpha = 55^\circ$  ?
- 38 Яка різьба має кут профілю  $\alpha = 30^\circ$  ?
- 39 Які різьби розрізняють за формою основної поверхні?
- 40 Які різьби розрізняють залежно від напрямку гвинтової лінії?
- 41 Які з'єднання здійснюються за рахунок додаткових деталей?
- 42 Які розрізняють види шліцьових з'єднань?
- 43 В яких з'єднаннях мають місце найбільші концентратори напружень?
- 44 В яких з'єднаннях мають місце найменші концентратори напружень?
- 45 В яких з'єднаннях теплостійкість є найнижчою?
- 46 Які з'єднання знайшли широке використання в електричних машинах, приладах і радіоапаратурі?

## *Тема 12. Вали та осі. Підшипники. Муфти*

- 1 Дайте визначення поняттю «осі».
- 2 Дайте визначення поняттю «вали».
- 3 Як називається опорна ділянка вала?
- 4 Як виконується зниження концентрації напружень між сусідніми ділянками валів?
- 5 На які види поділяються вали залежно від форми повздовжньої осі?
- 6 Чим є підшипники для валів та осей, що обертаються?
- 7 Які підшипники розрізняють залежно від виду тертя?
- 8 Який елемент підшипника ковзання є основним?

9 На які види поділяють підшипники залежно від форми тіл кочення?

10 Як називається елемент підшипника кочення, який розділяє і скеровує тіла кочення?

11 З чого складаються підшипники ковзання?

12 Дайте визначення поняттю «муфта».

13 Для чого призначені муфти?

14 Що являють собою муфти приводів?

#### 4 Приклади інженерних задач з розрахунків на міцність

Невід’ємною частиною підготовки фахівців у галузях «Електрична інженерія» і «Транспорт» є вивчення питань щодо міцностної надійності елементів конструкцій пристроїв і деталей машин технічних засобів транспорту. При цьому особлива увага приділяється їхнім розрахункам на міцність. Нижче наведено приклади розрахунків на міцність конструктивних елементів при простих видах їхнього деформування, а саме «розтяганні», «крученні» та «згинанні».

##### *Приклад розрахунку на міцність при деформації «розтягання»*

Затиснений вгорі вертикальний сталевий стрижень (рисунок 1) знаходиться під дією зовнішньої сили  $F$  і власної ваги  $\gamma$ . Необхідно скласти рівняння для визначення поточних значень нормальної подовжньої сили та нормальних напружень на ділянках розрахункової схеми; виконати розрахунки і побудувати епюри внутрішніх подовжніх сил і нормальних напружень; визначити абсолютне подовження стрижня.

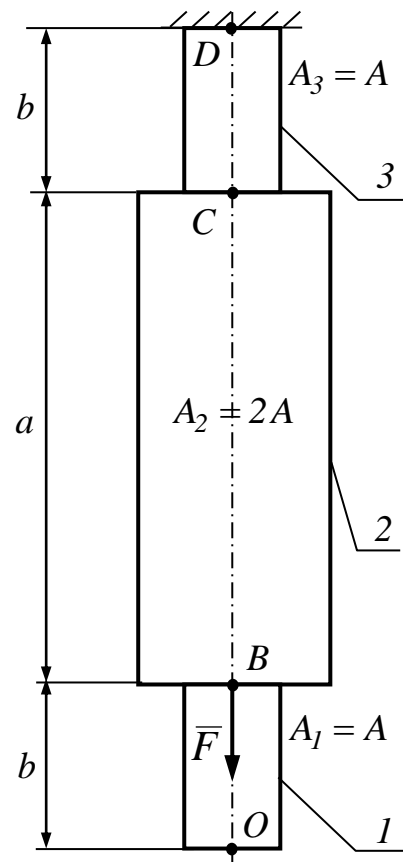


Рисунок 1

**Вихідними даними** є такі величини: площа поперечного перерізу  $A = 10 \text{ см}^2$ ; довжини ділянок стрижня  $a = 4,5 \text{ м}$ ,  $b = 1 \text{ м}$ ; зовнішня сила  $F = 1,4 \text{ кН}$ ; модуль пружності першого роду (модуль Юнга) сталі  $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ; питома вага сталі  $\gamma = 77 \text{ кН/м}^3$ .

Нижче наведено етапи розв'язання вказаної задачі.

**Етап 1.** Границями розрахункових ділянок стрижня ( $O-B$ ,  $B-C$ ,  $C-D$ ) є місця зміни площі перерізів і точки прикладання зовнішньої сили  $F$ . Поточні значення внутрішньої подовжньої сили  $N$  і нормальних напружень  $\sigma$  визначаються довжинами ділянок стрижня, їхніми поперечними перерізами, питомою вагою матеріалу і точками прикладання зовнішньої сили. Для визначення сил  $N$  використовується метод перерізів: на кожній ділянці робиться переріз, в якому величина внутрішніх подовжніх сил  $N$  визначається за умов рівноваги нижньої «відсіченої» частини стрижня.

**1 ділянка ( $O-B$ ):**  $0 \leq x_1 \leq b$ ,  $0 \leq x_1 \leq 1 \text{ м}$ ,

$$N_1 = A \cdot x_1 \cdot \gamma, \quad \sigma_1 = \frac{N_1}{A_1}, \quad A_1 = A.$$

При  $x_1 = 0 \text{ (т. } O)$   $N_{1O} = 10 \cdot 10^{-4} \cdot 0 \cdot 77 = 0 \text{ кН}$ ,

$$\sigma_{1O} = \frac{0}{10 \cdot 10^{-4}} = 0 \text{ Па}.$$

При  $x_1 = 1 \text{ м (т. } B)$   $N_{1B} = 10 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 77 = 0,077 \text{ кН}$ ,

$$\sigma_{1B} = \frac{0,077 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^{-4}} = 77000 \text{ Па} = 0,077 \text{ МПа}.$$

**2 ділянка ( $B-C$ ):**  $b \leq x_2 \leq (b+a)$ ,  $1 \text{ м} \leq x_2 \leq 5,5 \text{ м}$ ,

$$N_2 = A \cdot b \cdot \gamma + 2A \cdot (x_2 - b) \cdot \gamma + F, \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{A_2}, \quad A_2 = 2 \cdot A.$$

При  $x_2 = 1 \text{ м (т. } B)$

$$N_{2B} = 10 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 77 + 2 \cdot 10 \cdot 10^{-4} \cdot (1 - 1) \cdot 77 + 1,4 = 1,477 \text{ кН}$$

$$\sigma_{2B} = \frac{1,4 \cdot 10^3}{2 \cdot 10 \cdot 10^{-4}} = 738500 \text{ Па} = 0,7385 \text{ МПа}.$$

При  $x_2 = 5,5 \text{ м (т. } C)$

$$N_{2C} = 10 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 77 + 2 \cdot 10 \cdot 10^{-4} \cdot (5,5 - 1) \cdot 77 + 1,4 = 2,17 \text{ кН}$$

$$\sigma_{2C} = \frac{2,17 \cdot 10^3}{2 \cdot 10 \cdot 10^{-4}} = 1085000 \text{ Па} = 1,085 \text{ МПа}.$$

**3 ділянка (C–D):**  $(b+a) \leq x_3 \leq (2b+a)$ ,  $5,5 \text{ м} \leq x_3 \leq 6,5 \text{ м}$ ,

$$N_3 = A \cdot b \cdot \gamma + 2A \cdot a \cdot \gamma + A \cdot (x_3 - a - b) \cdot \gamma + F, \quad \sigma_3 = \frac{N_3}{A_3}, \quad A_3 = A.$$

При  $x_3 = 5,5 \text{ м (т. C)}$

$$N_{3C} = 10 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 77 + 2 \cdot 10 \cdot 10^{-4} \cdot 4,5 \cdot 77 + \\ + 10 \cdot 10^{-4} \cdot (5,5 - 1 - 4,5) \cdot 77 + 1,4 = 2,17 \text{ кН},$$

$$\sigma_{3C} = \frac{2,17 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^{-4}} = 2170000 \text{ Па} = 2,17 \text{ МПа}.$$

При  $x_3 = 6,5 \text{ м (т. D)}$

$$N_{3D} = 10 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 77 + 2 \cdot 10 \cdot 10^{-4} \cdot 4,5 \cdot 77 + \\ + 10 \cdot 10^{-4} \cdot (6,5 - 1 - 4,5) \cdot 77 + 1,4 = 2,247 \text{ кН},$$

$$\sigma_{3D} = \frac{2,247 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^{-4}} = 2470000 \text{ Па} = 2,247 \text{ МПа}.$$

**Етап 2.** За виконаними розрахунками для кожної ділянки стрижня у прийнятому масштабі будуються епюри  $N$  і  $\sigma$  (рисунок 2).



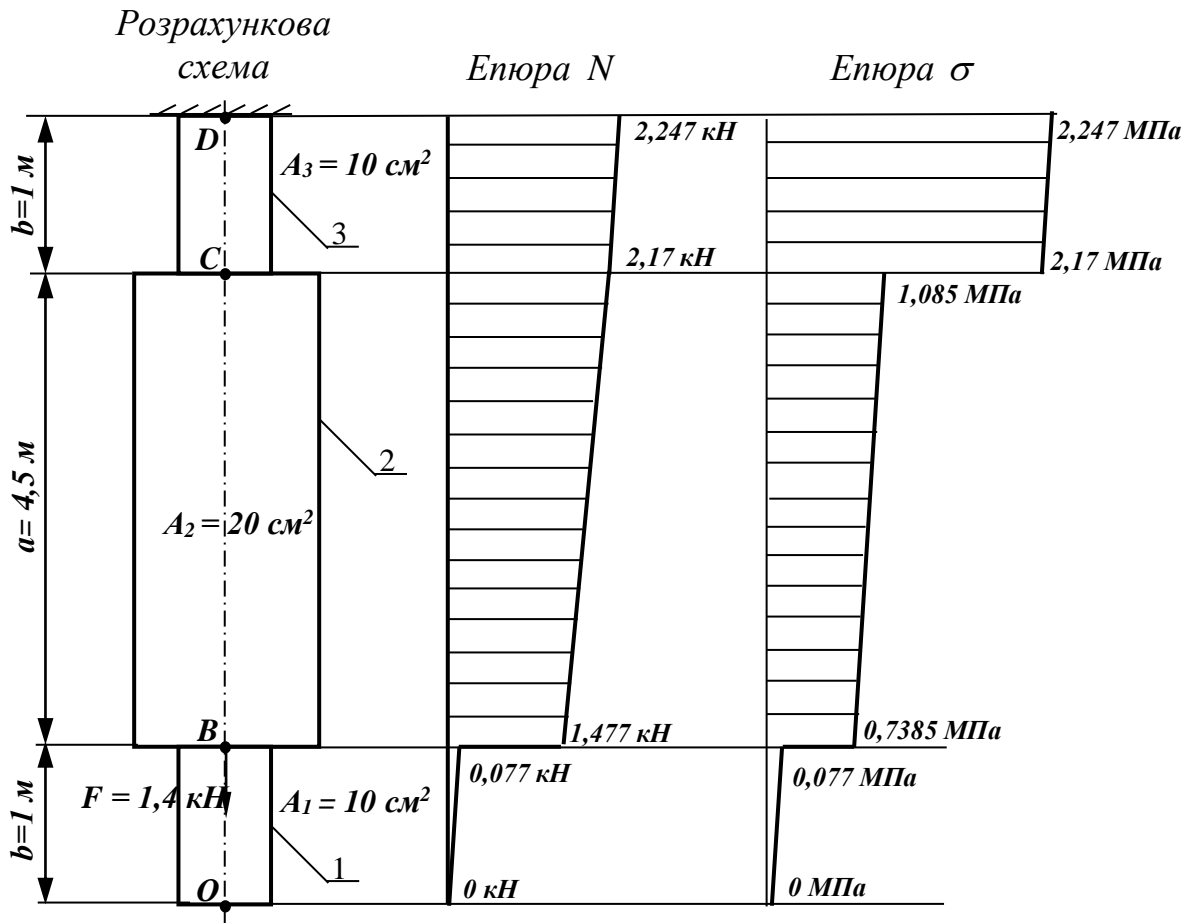


Рисунок 2

**Етап 3.** Абсолютне подовження стрижня (переміщення точки  $O - \Delta l_O$ ) визначається сумою абсолютних подовжень кожної з виділених ділянок стрижня

$$\Delta l_O = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3.$$

Абсолютне подовження кожної ділянки стрижня визначається за формулою

$$\Delta l_i = \frac{N_{mi} \cdot l_i}{E \cdot A_i},$$

де  $N_{mi}$  – середнє значення внутрішньої подовжньої сили  $N$  на  $i$ -й ділянці

$$N_{mi} = \frac{N_{ni} + N_{ki}}{2},$$

де  $N_{ni}$ ,  $N_{ki}$  – значення нормальної сили  $N$  на початку і в кінці  $i$ -ої ділянки;

$l_i$  – довжина  $i$ -ї ділянки;

$A_i$  – площа поперечного перерізу  $i$ -ї ділянки.

**Подовження ділянки 1 (O – B):**

$$l_1 = b = 1 \text{ м}, \quad A_1 = A = 10 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

$$\Delta l_1 = \frac{(N_{1O} + N_{1B}) \cdot l_1}{2 \cdot E \cdot A_1} = \frac{(0 + 0,077) \cdot 10^3 \cdot 1}{2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-4}} = 0,192 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

**Подовження ділянки 2 (B – C):**

$$l_2 = a = 4,5 \text{ м}, \quad A_2 = 2 \cdot A = 2 \cdot 10 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

$$\Delta l_2 = \frac{(N_{2B} + N_{2C}) \cdot l_2}{2 \cdot E \cdot A_2} = \frac{(1,477 + 2,17) \cdot 10^3 \cdot 4,5}{2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 10^{-4}} = 2,051 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

**Подовження ділянки 3 (C – D):**

$$l_3 = b = 1 \text{ м}, \quad A_3 = A = 10 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

$$\Delta l_3 = \frac{(N_{3C} + N_{3D}) \cdot l_3}{2 \cdot E \cdot A_3} = \frac{(2,17 + 2,247) \cdot 10^3 \cdot 1}{2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-4}} = 1,104 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

Тоді абсолютне подовження стрижня дорівнює

$$\Delta l_O = (0,192 + 2,051 + 1,104) \cdot 10^{-5} = 3,347 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

***Приклад розрахунку на міцність при деформації «кручення»***

До сталевого ступінчастого круглого вала з одним жорстко затисненим кінцем (рисунок 3) прикладені чотири обертальні моменти  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $M_4$ . Необхідно для кожної ділянки розрахункової схеми скласти рівняння для визначення крутних

моментів  $T_{кр}$  і виконати їхній розрахунок; визначити діаметри вала  $d_в$  за умов міцності при заданому значенні допустимого дотичного напруження  $[\tau]$ ; провести розрахунок максимальних дотичних напружень  $\tau_{max}$  на ділянках вала; скласти для кожної розрахункової ділянки схеми рівняння для визначення кутів закручення  $\varphi$  та виконати розрахунок цих кутів; побудувати епюри крутних моментів  $T_{кр}$ , максимальних дотичних напружень  $\tau_{max}$  і кутів закручення  $\varphi$ .

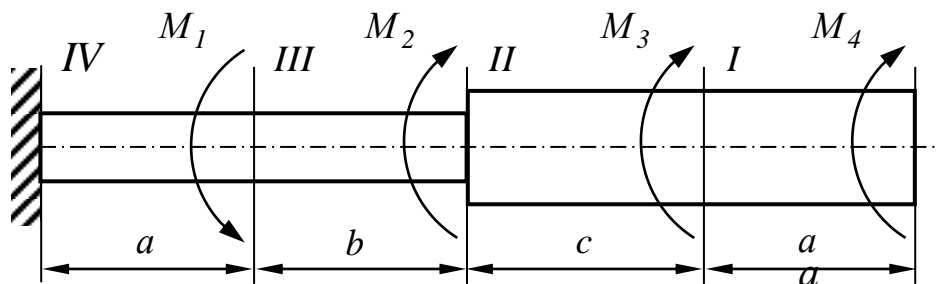


Рисунок 3

**Вихідними даними** є такі величини: довжини ділянок вала  $a = 1,6 \text{ м}$ ,  $b = 2,1 \text{ м}$ ,  $c = 1,1 \text{ м}$ ; обертальні моменти, прикладені на ділянках вала,  $M_1 = 2,2 \text{ кНм}$ ,  $M_2 = 1,6 \text{ кНм}$ ,  $M_3 = 1,8 \text{ кНм}$ ,  $M_4 = 1,9 \text{ кНм}$ ; допустиме значення дотичного напруження для сталевого вала  $[\tau] = 65 \text{ МПа}$ ; модуль пружності другого роду при крученні сталі  $G = 8 \cdot 10^4 \text{ МПа}$ .

Нижче наведено етапи розв'язання задачі.

**Етап 1.** Крутний момент у будь-якому перерізі вала кількісно дорівнює алгебраїчній сумі зовнішніх моментів, прикладених з одного боку від перерізу. Знак моменту вважається додатним, якщо зовнішній момент при погляді з правого (вільного) кінця вала спрямований за годинниковою стрілкою. Вал має чотири розрахункові ділянки (I, II, III, IV). Для визначення крутних моментів  $T_{кр}$  використовується метод перерізів: на кожній ділянці робиться переріз, в якому величина крутного моменту визначається за умов рівноваги правої «відсіченої» частини вала.

Ділянка 1

$$T_{кр1} = M_4 = 1,9 \text{ кНм.}$$

Ділянка 2

$$T_{кр2} = M_4 + M_3 = 1,9 + 1,8 = 3,7 \text{ кНм.}$$

Ділянка 3

$$T_{кр3} = M_4 + M_3 + M_2 = 1,9 + 1,8 + 1,6 = 5,3 \text{ кНм.}$$

Ділянка 4

$$T_{кр4} = M_4 + M_3 + M_2 - M_1 = 1,9 + 1,8 + 1,6 - 2,2 = 3,1 \text{ кНм.}$$

**Етап 2.** Для визначення діаметрів вала за умови міцності при заданому значенні допустимого дотичного напруження  $[\tau]$  з чотирьох розрахованих на ділянках крутних моментів обираються максимальні (**максимальні значення крутного моменту обираються за модулем**):

- на ділянках I і II:  $T_{крmax I, II} = |T_{кр2}| = 3,7 \text{ кНм};$

- на ділянках III і IV:  $T_{крmax III, IV} = |T_{кр3}| = 5,3 \text{ кНм.}$

Умова міцності при крученні має вигляд

$$\tau = \frac{T_{крmax}}{W_\rho} \leq [\tau],$$

де  $W_\rho = \frac{\pi \cdot d_s^3}{16}$  – момент опору при крученні для круглого вала діаметром  $d_s$ .

Мінімальний діаметр вала за умов міцності при деформації кручення визначається за формулою

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_{крmax}}{\pi \cdot [\tau]}}$$

Отже, на ділянках I і II

$$d_{min I,II} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_{крmax I,II}}{\pi \cdot [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 3,7 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 65 \cdot 10^6}} = 0,0662 \text{ м},$$

а на ділянках III і IV

$$d_{min III,IV} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_{крmax III,IV}}{\pi \cdot [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 5,3 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 65 \cdot 10^6}} = 0,0746 \text{ м}.$$

У результаті приймаємо стандартне значення діаметра вала  $d_e$  (розрахункове значення мінімального діаметра вала округляємо до найближчого більшого значення з ряду  $R_a 40$  (ГОСТ 6636-69)) 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 45, 48, 50, 53, 56, 60, 63, 67, 71, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 120, 125, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 240), а саме:

- на ділянках I і II:  $d_{e I,II} = 67 \text{ мм}$ ;
- на ділянках III і IV:  $d_{e III,IV} = 75 \text{ мм}$ .

**Етап 3.** Максимальні дотичні напруження  $\tau_{max}$  на ділянках вала визначаються за формулою

$$\tau_{max i} = \frac{T_{кри}}{W_{\rho i}},$$

де  $T_{кри}$  – значення крутного моменту на  $i$ -й ділянці;

$W_{\rho i}$  – полярний момент опору при крученні на  $i$ -й ділянці,

$$W_{\rho i} = \frac{\pi \cdot d_{gi}^3}{16},$$

де  $d_{ei}$  – значення діаметра вала на  $i$ -й ділянці.

Полярні моменти опору при крученні на ділянках вала

$$W_{\rho 1} = W_{\rho 2} = \frac{\pi \cdot d_{e I, II}^3}{16} = \frac{3,14 \cdot 0,067^3}{16} = 59,03 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$W_{\rho 3} = W_{\rho 4} = \frac{\pi \cdot d_{e III, IV}^3}{16} = \frac{3,14 \cdot 0,075^3}{16} = 82,793 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Максимальні дотичні напруження на ділянках вала

$$\tau_{\max 1} = \frac{T_{кр1}}{W_{\rho 1}} = \frac{1,9 \cdot 10^3}{59,03 \cdot 10^{-6}} = 32187023,55 \text{ Па} = 32,19 \text{ МПа};$$

$$\tau_{\max 2} = \frac{T_{кр2}}{W_{\rho 2}} = \frac{3,7 \cdot 10^3}{59,03 \cdot 10^{-6}} = 62679993,22 \text{ Па} = 62,68 \text{ МПа};$$

$$\tau_{\max 3} = \frac{T_{кр3}}{W_{\rho 3}} = \frac{5,3 \cdot 10^3}{82,793 \cdot 10^{-6}} = 64015073,74 \text{ Па} = 64,02 \text{ МПа};$$

$$\tau_{\max 4} = \frac{T_{кр4}}{W_{\rho 4}} = \frac{3,1 \cdot 10^3}{82,793 \cdot 10^{-6}} = 37442778,98 \text{ Па} = 37,44 \text{ МПа}.$$

**Етан 4.** Якщо вал навантажений декількома крутними моментами, то для побудови епюри кутів закручування необхідно визначити для кожної ділянки кут закручування одного його кінця відносно до іншого. Потім ці кути складаються алгебраїчно. Кут закручування на кожній ділянці визначається за формулою

$$\varphi_i = \frac{T_{кри} \cdot l_i}{G \cdot I_{\rho i}},$$

де  $l_i$  – довжина  $i$ -ї ділянки;

$I_{\rho i}$  – полярний момент інерції на  $i$ -й ділянці.

Для гладкого вала полярний момент інерції розраховується за формулою

$$I_{\rho} = \frac{\pi \cdot d_{\epsilon}^4}{32}.$$

Полярні моменти інерції на ділянках вала

$$I_{\rho 1} = I_{\rho 2} = \frac{\pi \cdot d_{\epsilon I, II}^4}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,067^4}{32} = 1,977 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4;$$

$$I_{\rho 3} = I_{\rho 4} = \frac{\pi \cdot d_{\epsilon III, IV}^4}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,075^4}{32} = 3,106 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4.$$

Визначення кутів закручування починається з *IV*-ї ділянки

$$\varphi_{IV} = \frac{T_{кр4} \cdot a}{G \cdot I_{\rho 4}} = \frac{3,1 \cdot 10^3 \cdot 1,6}{8 \cdot 10^4 \cdot 10^6 \cdot 3,106 \cdot 10^{-6}} = 1,996 \cdot 10^{-2} \text{ рад};$$

$$\varphi_{III} = \varphi_{IV} + \frac{T_{кр3} \cdot b}{G \cdot I_{\rho 3}} = 1,996 \cdot 10^{-2} +$$

$$+ \frac{5,3 \cdot 10^3 \cdot 2,1}{8 \cdot 10^4 \cdot 10^6 \cdot 3,106 \cdot 10^{-6}} = 6,475 \cdot 10^{-2} \text{ рад},$$

$$\varphi_{II} = \varphi_{III} + \frac{T_{кр2} \cdot c}{G \cdot I_{\rho 2}} = 6,475 \cdot 10^{-2} +$$

$$+ \frac{3,7 \cdot 10^3 \cdot 1,1}{8 \cdot 10^4 \cdot 10^6 \cdot 1,977 \cdot 10^{-6}} = 9,048 \cdot 10^{-2} \text{ рад},$$

$$\varphi_I = \varphi_{II} + \frac{T_{кр1} \cdot a}{G \cdot I_{\rho 1}} = 9,048 \cdot 10^{-2} +$$

$$+ \frac{1,9 \cdot 10^3 \cdot 1,6}{8 \cdot 10^4 \cdot 10^6 \cdot 1,977 \cdot 10^{-6}} = 10,97 \cdot 10^{-2} \text{ рад}.$$

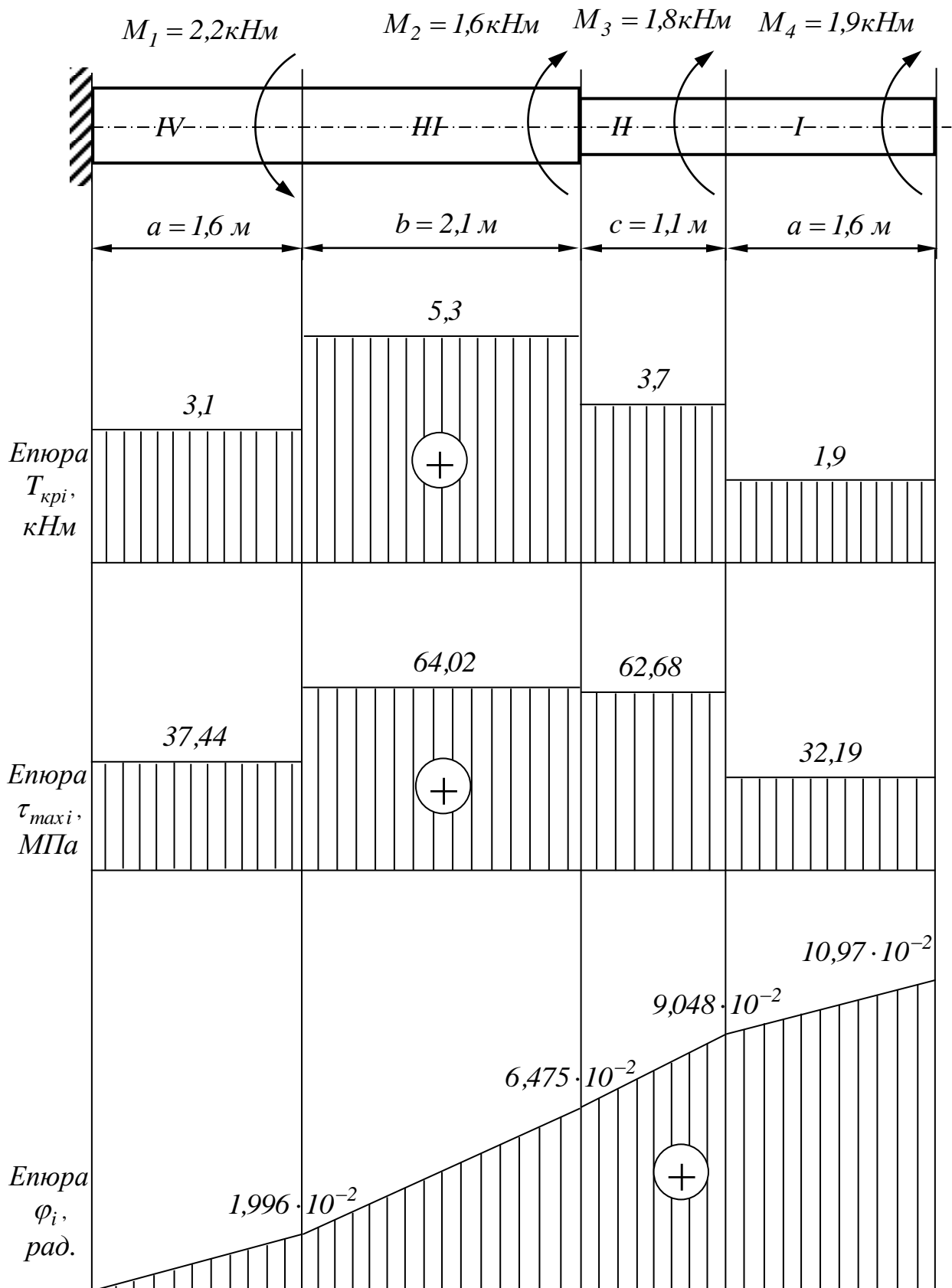


Рисунок 4



**Етап 5.** За виконаними розрахунками для кожної ділянки вала у прийнятому масштабі будуються епюри крутних моментів  $T_{кр}$ , максимальних дотичних напружень  $\tau_{max}$  і кутів закручення  $\varphi$  (рисунок 4).

### **Приклад розрахунку на міцність при деформації «згинання»**

Для заданої балки (рисунок 5) необхідно: визначити опорні реакції та виконати їхню перевірку; скласти для кожної розрахункової ділянки схеми рівняння для визначення згинальних моментів  $M_z$  і поперечних сил  $Q_y$  і виконати їхні розрахунки; побудувати епюри згинальних моментів і поперечних сил, знайти максимальний згинальний момент  $M_{zmax}$ ; за величиною максимального згинального моменту підібрати сталеву балку зі швелера при заданому допустимому нормальному напруженні  $[\sigma]$ .

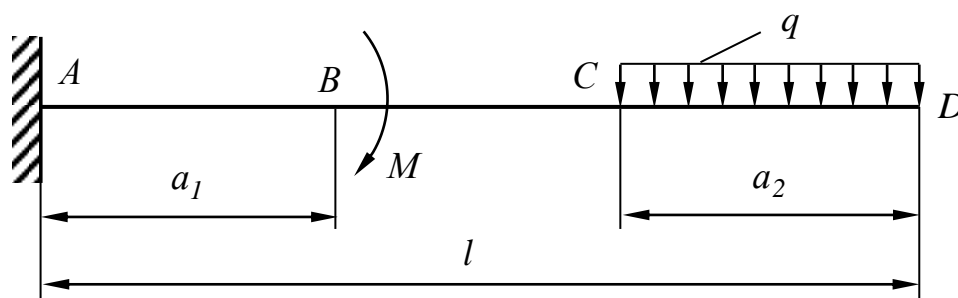


Рисунок 5

**Вихідними даними** є такі величини: довжини  $a_1 = 1 \text{ м}$ ,  $a_2 = 0,5 \text{ м}$ ,  $l = 2,5 \text{ м}$ ; зовнішній момент  $M = 3 \text{ кНм}$ ; розподілене навантаження  $q = 2 \text{ кН/м}$ ; допустиме нормальне напруження при згинанні сталі  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ .

Нижче наведено етапи розв'язання задачі.

**Етап 1.** Визначення опорних реакцій виконується за допомогою рівнянь рівноваги.

$$\text{Перша умова} - \sum_{i=1}^n X_i = 0; \quad \text{друга умова} - \sum_{i=1}^m M_i(A) = 0;$$

$$\text{третя умова} - \sum_{i=1}^k M_i(D) = 0.$$

З першої умови знаходимо  $X_A \sum_{i=1}^n X_i = X_A = 0$ .

З другої умови знаходимо  $M_A$

$$\sum_{i=1}^m M_i(A) = M_A - M - q \cdot a_2 \cdot \left(l - \frac{a_2}{2}\right) = 0.$$

Визначаємо значення моменту  $M_A$

$$M_A = M + q \cdot a_2 \cdot \left(l - \frac{a_2}{2}\right) = 3 + 2 \cdot 0,5 \cdot \left(2,5 - \frac{0,5}{2}\right) = 5,25 \text{ кНм}.$$

З третьої умови знаходимо  $Y_A$

$$\sum_{i=1}^k M_i(D) = -Y_A \cdot l + M_A - M + q \cdot a_2 \cdot \frac{a_2}{2} = 0.$$

Розрахуємо значення складової реакції жорсткого закріплення  $Y_A$

$$Y_A = \frac{M_A - M + q \cdot a_2 \cdot \frac{a_2}{2}}{l} = \frac{5,25 - 3 + 2 \cdot 0,5 \cdot \frac{0,5}{2}}{2,5} = 1 \text{ кН}.$$

*Якщо в результаті розрахунків опорна реакція або момент приймають від'ємні значення, то це свідчить про те, що вони скеровані у протилежний бік обраному.*

Правильність визначення реакцій перевіряємо з рівняння

$$\sum_{i=1}^j M_i(B) = -Y_A \cdot a_1 + M_A - M - q \cdot a_2 \cdot \left(l - a_1 - \frac{a_2}{2}\right) = 0,$$

$$-1 \cdot 1 + 5,25 - 3 - 2 \cdot 0,5 \cdot \left(2,5 - 1 - \frac{0,5}{2}\right) = 0.$$

Отриманий результат вказує на те, що опорні реакції визначені правильно.

**Етап 2.** Визначення згинальних моментів  $M_z$  і поперечних сил  $Q_y$ .

Балка має три розрахункові ділянки: ділянка 1 (A-B); ділянка 2 (B-C); ділянка 3 (D-C).

Для визначення згинальних моментів і поперечних сил використовуємо метод перерізів: на кожній ділянці робимо переріз і розглядаємо рівновагу будь-якої частини балки.

**ділянка 1 (A-B):**  $a_1 \geq x_1 \geq 0$ ,  $1 \text{ м} \geq x_1 \geq 0$ ;

$M_{z1} = Y_A \cdot x_1 - M_A$  – рівняння прямої лінії;

$Q_{y1} = Y_A = \text{const}$ .

При  $x_1 = 0$

$M_{z1} = 1 \cdot 0 - 5,25 = -5,25 \text{ кНм}$ ,

$Q_{y1} = 1 \text{ кН}$ .

При  $x_1 = 1 \text{ м}$

$M_{z1} = 1 \cdot 1 - 5,25 = -4,25 \text{ кНм}$ ,

$Q_{y1} = 1 \text{ кН}$ .

**ділянка 2 (B-C):**  $l - a_2 \geq x_2 \geq a_1$ ,  $2 \text{ м} \geq x_2 \geq 1 \text{ м}$ ;

$M_{z2} = Y_A \cdot x_2 - M_A + M$  – рівняння прямої лінії;

$Q_{y2} = Y_A = \text{const}$ .

При  $x_2 = 1 \text{ м}$

$M_{z2} = 1 \cdot 1 - 5,25 + 3 = -1,25 \text{ кНм}$ ,

$Q_{y2} = 1 \text{ кН}$ .

При  $x_2 = 2 \text{ м}$

$M_{z2} = 1 \cdot 2 - 5,25 + 3 = -0,25 \text{ кНм}$ ,

$Q_{y2} = 1 \text{ кН}$ .

**ділянка 3 (D-C):**  $a_2 \geq x_3 \geq 0$ ,  $0,5 \text{ м} \geq x_3 \geq 0$ ;

$M_{z3} = -\frac{q \cdot x_3^2}{2}$  – рівняння квадратної параболи;

$Q_{y3} = q \cdot x_3$  – рівняння прямої лінії.

При  $x_3 = 0 \text{ м}$

$$M_{z3} = -\frac{2 \cdot 0^2}{2} = 0 \text{ кНм},$$

$$Q_{y3} = 2 \cdot 0 = 0 \text{ кН}.$$

При  $x_3 = 0,5 \text{ м}$

$$M_{z3} = -\frac{2 \cdot 0,5^2}{2} = -0,25 \text{ кНм},$$

$$Q_{y3} = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ кН}.$$

**Етап 3.** За виконаними розрахунками для кожної ділянки у прийнятому масштабі будуються епюри згинальних моментів  $M_z$  і поперечних сил  $Q_y$  (рисунок 6).

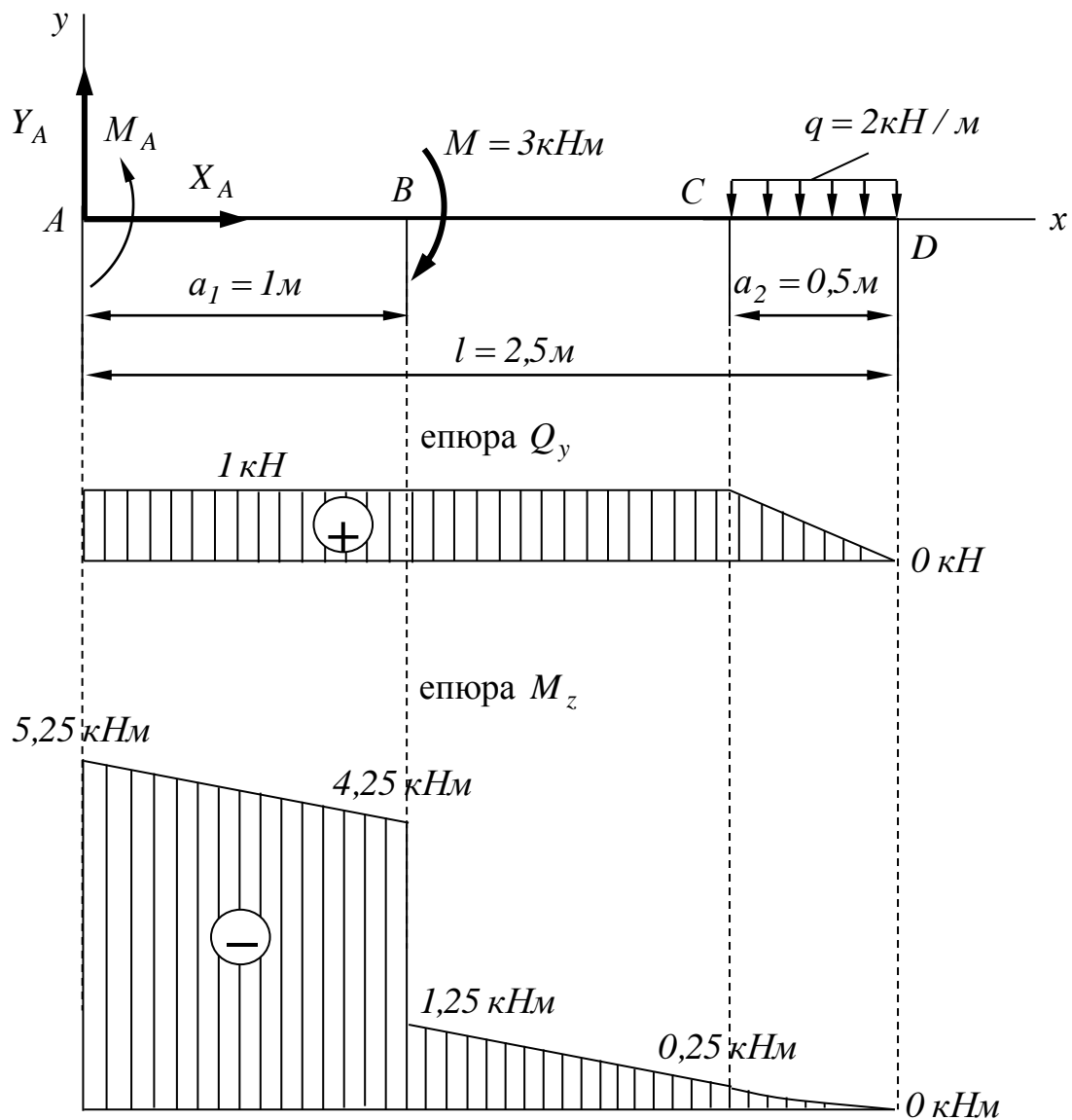


Рисунок 6

**Етап 4.** Розрахунковим перерізом у балці буде переріз у точці  $A$ , де має місце максимальний згинальний момент  $M_{z_{max}} = |M_{zI}| = 5,25 \text{ кНм}$ . (Максимальне значення згинального моменту обирається за модулем).

Переріз балки визначаємо з умови міцності

$$\sigma_{max} = \frac{M_{z_{max}}}{W_z} \leq [\sigma], \text{ звідки}$$

$$W_z = \frac{M_{z_{max}}}{[\sigma]} = \frac{5,25 \cdot 10^3}{160 \cdot 10^6} = 32,81 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 32,81 \text{ см}^3.$$

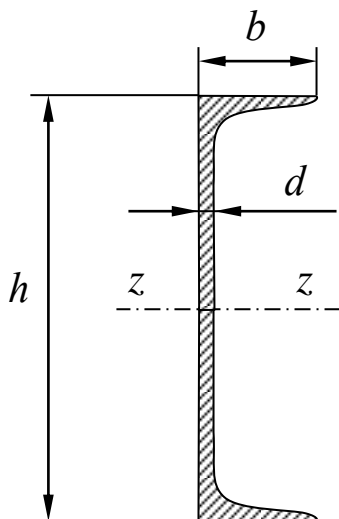
За сортаментом (див. таблицю 1) приймаємо швелер № 10 (рисунок 7), що має момент опору (найближчий у бік зростання в порівнянні з розрахунковим значенням)  $W_z = 34,8 \text{ см}^3$  та момент інерції  $I_z = 174 \text{ см}^4$ .

Максимальне напруження при цьому буде

$$\sigma_{max} = \frac{5,25 \cdot 10^3}{34,8 \cdot 10^{-6}} = 150,9 \cdot 10^6 \text{ Па} = 151 \text{ МПа}.$$

Таблиця 1 – Витяг із ГОСТ 8240 – 89

| Номер профілю       | 5    | 6,5  | 8    | 10   | 12   | 14   | 14а  | 16   |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $I_z, \text{ см}^4$ | 22,8 | 48,6 | 89,4 | 174  | 304  | 491  | 545  | 747  |
| $W_z, \text{ см}^3$ | 9,1  | 15,0 | 22,4 | 34,8 | 50,6 | 70,2 | 77,8 | 93,4 |



$h$  – висота швелера;  
 $b$  – ширина полиці;  
 $d$  – товщина стінки

Рисунок 7 – Швелер

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Гуліда Е. М., Дзюба Л. Ф., Ольховий І. М. Прикладна механіка. Львів : Світ, 2007. 384 с.

2 Кіницький Я. Т. Теорія механізмів і машин : підручник. Київ : Наукова думка, 2002. 660 с.

3 Мороз В. І., Братченко О. В., Павшенко А. В. Теорія механізмів і машин: Дослідження та проектування механізмів типових технічних засобів залізничного транспорту : навч. посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2013. 158 с.

4 Мороз В. І., Кудряш А. П., Братченко О. В., Павшенко А. В. Основи проектування механізмів і машин : опорний консп. лекцій з дисц. «Прикладна механіка». Харків : УкрДАЗТ, 2010. Ч. 3. 58 с.

5 Писаренко Г. С., Квітка О. Л., Уманський Е. С. Опір матеріалів : підручник; за ред. Г. С. Писаренка. Київ : Вища шк., 1993. 655 с.

6 Мороз В. І., Логвіненко О. А., Іщенко В. І., Фомін О. В. Основи розрахунків на міцність : опорний консп. лекцій з дисц. «Технічна механіка», «Прикладна механіка», «Прикладна механіка та основи конструювання», «Опір матеріалів та прикладна механіка». Харків : УкрДАЗТ, 2012. 124 с.

7 ДСТУ 3230-95. Управління якістю та забезпечення якості. Терміни та визначення. Введ. 1996-07-01. Офіц. вид. Київ : Держстандарт України, 1996. 37с.

8 Заблонський К. І. Деталі машин : підручник. Одеса : Астропринт, 1999. 404 с.

9 Мороз В. І., Захарченко В. В., Надтока О. В., Астахова К. В., Бобрицький С. В. Основи конструювання деталей машин : консп. лекцій з дисц. «Деталі машин». Харків : УкрДАЗТ, 2015. 150 с.