

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Контрольні завдання та методичні рекомендації
до їх виконання з навчальної дисципліни
"ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ"
для студентів напряму підготовки 6.030504
"Економіка підприємства"
всіх форм навчання**

Харків. Вид. ХНЕУ, 2013

Затверджено на засіданні кафедри технології, екології та безпеки життєдіяльності.

Протокол № 6 від 14.01.2013 р.

Укладач Орехов В. М.

К65 Контрольні завдання та методичні рекомендації до їх виконання з навчальної дисципліни "Основи технологічних систем" для студентів напряму підготовки 6.030504 "Економіка підприємства" всіх форм навчання / укл. В. М. Орехов. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2013. – 68 с. (Укр. мов.)

Наведено контрольні завдання, які охоплюють основний теоретичний та практичний матеріал навчальної дисципліни. На окремих прикладах розкрито методи, підходи, які необхідні для виконання контрольних завдань, а також подано послідовність проведення розрахунків. Контрольні завдання можуть бути використані для оцінки рівня засвоєння матеріалу навчальної дисципліни на практичних і лабораторних заняттях та у процесі самостійної роботи студентів.

Рекомендовано для студентів напряму підготовки 6.030504 "Економіка підприємства".

Вступ

У своїй професійній діяльності економісти напряму підготовки "Економіка підприємства" використовують технологічні знання. Так, для дослідження роботи підприємства, розрахунку техніко-економічних показників підприємства вони повинні знати види матеріалів, методи їх одержання, принципи конструювання механізмів, машин, їх класифікацію. Крім того, такі знання потрібні в процесі вивчення інших технологічних та економічних дисциплін.

Однією з дисциплін, яка формує у студентів економічного профілю необхідні технологічні знання, є навчальна дисципліна "Основи технологічних систем". Вона забезпечує базові теоретичні знання в галузі техніки та технології.

Навчальна дисципліна "Основи технологічних систем" належить до циклу загальноосвітніх технологічних дисциплін у процесі підготовки фахівців за напрямом 6.030504 "Економіка підприємства". За допомогою цієї дисципліни студенти одержують знання, які стосуються структури, властивостей матеріалів, взаємозв'язку між будовою та властивостями матеріалів за різних зовнішніх впливів. Також розглядаються загальні закони рівноваги, руху твердих тіл, методи розрахунку елементів конструкцій на міцність, жорсткість, стійкість за різних видів деформацій, принципи конструювання механізмів, загальні відомості щодо деталей, машин [15].

Особливістю дисципліни "Основи технологічних систем" є те, що вивчення її матеріалу пов'язане з основними напрямками розвитку науки і техніки. Ця дисципліна дає знання щодо отримання нових матеріалів, шляхів створення устаткування для використання його в технологічних процесах виробництва продукції. Опанування навчальної дисципліни "Основи технологічних систем" дає змогу студентам сформувані певні технічні, технологічні професійні компетентності, котрі необхідні в процесі засвоєння економічних дисциплін.

Удосконалення навчального процесу відбувається шляхом підвищення частки самостійної роботи студентів. Виділяють аудиторну та позааудиторну роботу студентів [14].

Для закріплення знань з даної дисципліни в процесі аудиторної та позааудиторної роботи пропонується виконання контрольних завдань.

Основною метою контрольних завдань є формування технологічного мислення в процесі їх виконання на основі засвоєного матеріалу дисципліни. Тому контрольні завдання складені таким чином, що вони охоплюють основні теми дисципліни, включають питання діагностичного та евристичного характеру.

Підготовку до виконання контрольного завдання треба розпочинати з вивчення певної частини теоретичного й експериментального матеріалу дисципліни "Основи технологічних систем". Цей матеріал складає основу для творчого підходу до вирішення розрахункових, розрахунково-графічних питань контрольного завдання. У процесі виконання контрольного завдання потрібно хід рішення супроводжувати діаграмами стану матеріалів, елементним складом матеріалів, схемами допусків, посадок, схемами дії сил у навантажених балках та епюрами сил.

Наведені контрольні завдання потребують використання довідкової технічної та технологічної літератури. Для виконання контрольних завдань потрібні знання математики, природничих наук, технічних дисциплін.

Дана робота покликана допомогти студентам у процесі виконання контрольних завдань. Тому в ній наведені методичні рекомендації до виконання завдань. На конкретних прикладах розглядається послідовність виконання завдань. Вирішення розрахунково-графічних завдань супроводжується теоретичними положеннями, на основі яких складаються формули і проводяться розрахунки.

Складені контрольні завдання та методичні рекомендації до їх виконання з навчальної дисципліни "Основи технологічних систем" можуть бути використані на практичних, лабораторних заняттях, у процесі самостійної підготовки студентів.

Методичні рекомендації до виконання контрольних завдань

Контрольні завдання включають теоретичні та практичні питання. Усі питання складені таким чином, щоб у процесі їх виконання студенти одержували практичні навички в галузі дослідження технологічних систем. Це потрібно для формування компетентності у спеціалістів економічного профілю.

Контрольні завдання виконуються згідно з вихідними даними з використанням знань математики, фізики, хімії, матеріалознавства, розділів технічної механіки, стандартизації. Частково вихідні дані потрібно приймати при виконанні контрольних завдань.

Пропонуються такі приклади виконання контрольних завдань.

Приклад 1.

Провести дослідження діаграми стану залізо – цементит. Встановити й охарактеризувати критичні точки та лінії, котрі має діаграма стану залізо – цементит. За допомогою діаграми стану залізо – цементит провести дослідження складу та структури металевого сплаву, якій вміщує 1,3 % вуглецю.

Для виконання завдання необхідно розглянути діаграму стану залізо – цементит [8; 16]. Така діаграма наведена на рис. 1.

На діаграмі стану точка А відповідає сплаву, якій вміщує 100 % заліза. Точка С характеризує сплав – цементит. Цементит вміщує 6,67 % вуглецю і має температуру плавлення 1600 °С. Точка В є точкою евтектичного перетворення рідкого сплаву в ледебурит. Як видно з рис. 1, у точці В температура становить 1147 °С, а вміст вуглецю – 4,3 %.

Точка Д є точкою граничної розчинності вуглецю в аустеніті. Цій точці відповідає температура 1147 °С і вміст вуглецю – 2,14 %. Евтектоїдне перетворення аустеніту в перліт проходить у точці Л за температури 727 °С і вмісту вуглецю 0,8 %. Алотропне перетворення α -заліза у γ -заліза проходить у точці К, де присутнє 100-процентне залізо, а температура дорівнює 911 °С.

Важливими критичними лініями є лінії АВС і АДВЕ. Лінія АВС має назву лінія ліквідусу, а лінія АДВЕ – лінія солідуса.

Евтектичне та евтектоїдне перетворення йдуть відповідно до ліній ДВЕ і МЛН.

частини сплавів чавунів утворюється механічна суміш – евтектика. Евтектика включає кристали аустеніту і цементиту. Евтектика має назву "ледебурит".

Для розгляду процесів, які проходять у сплавах з заданою концентрацією вуглецю, пропонується порядок дослідження, запропонований у роботі [16].

На осі концентрації діаграми стану визначається точка, яка відповідає вмісту вуглецю у сплаві. Із цієї точки проводиться перпендикуляр таким чином, щоб він проходив через усі лінії діаграми стану залізо – цементит. Далі розглядають перетворення, які відбуваються в процесі охолодження сплаву.

Відповідно до вказаного підходу на осі концентрації діаграми стану (див. рис. 1) встановлюється концентрація вуглецю 1,3 % і проводиться перпендикуляр. Точки перетину позначаються буквами або цифрами.

В області, яка розташована вище від точки 1, сплав знаходиться в рідкому стані. Якщо охолоджувати сплав нижче точки 1, то розпочинається процес кристалізації. Як видно з діаграми стану, у сплаві утворюються кристали аустеніту. Продовження охолодження призводить до збільшення кристалів аустеніту, при цьому зменшується кількість рідкої фази. Точка 2 характеризує стан сплаву, коли проходить повне затвердіння аустеніту.

Проведення охолодження сплаву в інтервалі температур між точками 2 і 3 не супроводжується ніякими фізико-хімічними перетвореннями. Діаграма стану вказує, що йде просте охолодження аустеніту. Подальше зниження температури призводить до зменшення розчинності вуглецю в залізі. Тому в точці 3 розпочинається вторинна кристалізація. Вона супроводжується виділенням кристалів вторинного цементиту із аустеніту. Охолодження між точками 3 і 4 призводить до збільшення кристалів цементиту. Треба відзначити, що в точці 4 аустеніт розпадається, при цьому утворюється перліт. Охолодження сплаву нижче точки 4 не призводить до фізико-хімічних перетворень. У твердому сплаві присутні вторинний цементит і перліт.

Приклад 2.

Провести дослідження діаграми стану сплаву свинець – сурма і визначити кількість рідкої та твердої фази у сплаві, який вміщує 60 % сурми.

Для проведення дослідження необхідно розглянути діаграму стану сплаву свинець – сурма [16]. Така діаграма наведена на рис. 2.

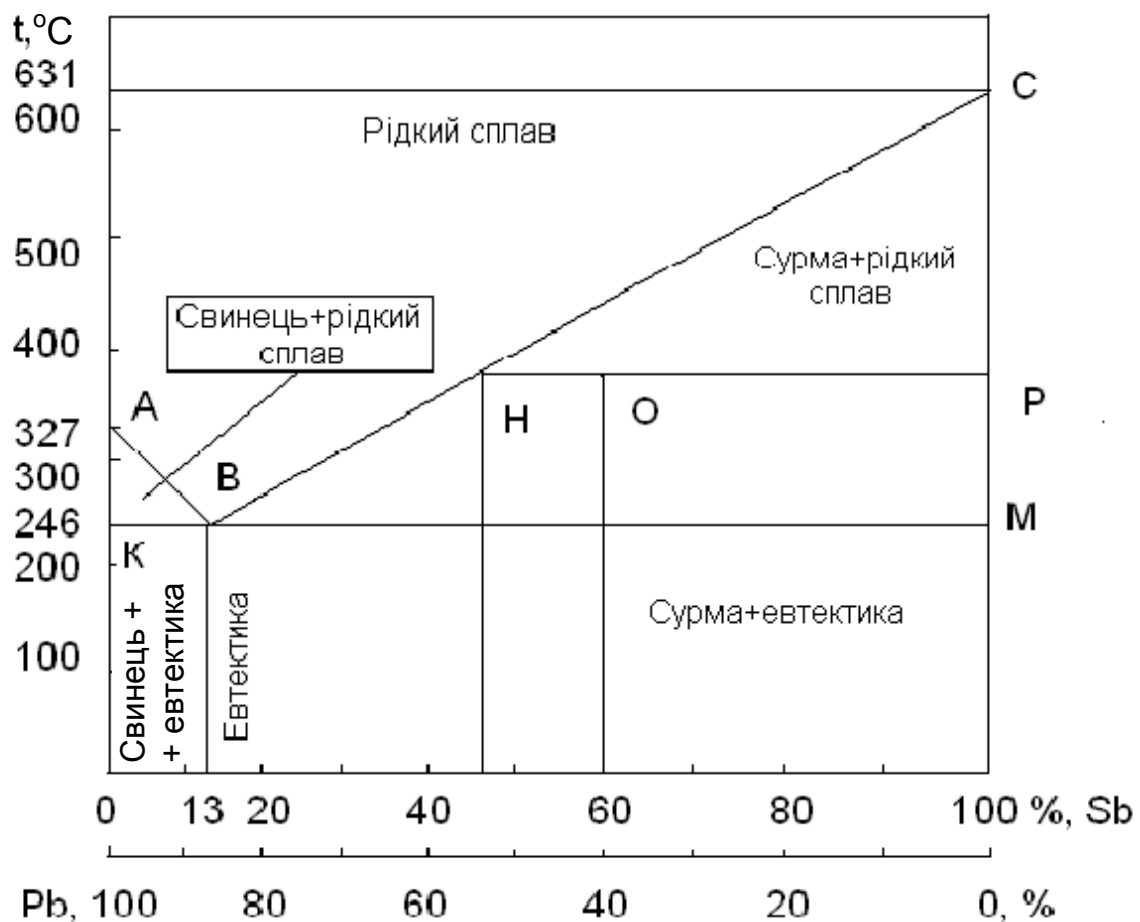


Рис. 2. **Діаграма стану сплаву свинець – сурма**

На діаграмі стану свинець – сурма лінія ABC є лінією ліквідусу. Лінія KVM є лінією солідуса. Вище від лінії ABC сплав перебуває в рідкому стані.

На лінії ABC розпочинається процес кристалізації компонентів сплаву. На ділянці AB лінії ліквідусу із рідкого сплаву йде кристалізація свинцю, а на ділянці BC проходить виділення кристалів сурми.

У результаті між лініями AB і KB у сплаві присутні рідка фаза та кристали свинцю. Між лініями BC і BM знаходяться кристали сурми та рідка фаза.

На лінії солідуса, KVM, розпочинається процес евтектичного перетворення. Із рідкого сплаву одночасно кристалізується механічна суміш кристалів свинцю і сурми. Така суміш є евтектикою. У точці евтектики, B, утворюється евтектичний сплав. Діаграма стану вказує на склад такого сплаву.

Діаграма стану на рис. 2 дозволяє характеризувати склад усіх сплавів, свинець – сурма, які утворюються в разі повного повільного охолодження.

Для визначення кількості фаз у сплаві заданого складу використовується правило важеля [16]. Спочатку необхідно встановити перпендикуляр із точки на осі концентрації, котра відповідає концентрації 60 %.

Далі проводиться горизонтальна лінія до перетину з перпендикуляром та лініями діаграми. Точка перетину з лінією ліквідусу, Н, відповідає рідкій фазі, а точка Р характеризує тверду фазу в дослідженому сплаві.

Кількість твердої фази визначається відношенням довжини плеча важеля, яке примикає до рідкої фази, до довжини всього важеля, тобто відрізка НО до відрізка НР. Кількість рідкої фази дорівнює відношенню довжини плеча, ОР, яка примикає до твердої фази, до довжини важеля, НР. Це дозволяє зробити наступні розрахунки:

$$\text{Тверда фаза} = \frac{13}{53} \cdot 100\% = 24,53\%; \quad (1)$$

$$\text{Рідка фаза} = \frac{40}{53} \cdot 100\% = 75,47\%. \quad (2)$$

Таким чином, у дослідженому сплаві присутня значна кількість рідкої фази. Діаграма стану підтверджує, що в області між лініями ВС і ВМ у сплавах знаходяться рідка фаза та кристали компонентів сплаву.

Приклад 3.

Провести розрахунково-графічне дослідження розмірів охопленої поверхні, які наведені в табл. 1. Визначити граничні розміри, відхилення, допущення для охопленої поверхні, характер положення поля допущення відносно номінального розміру. Встановити вид спряження з отвором. Вказати зазор або натяг та позначити посадки за допомогою кількісних значень граничних розмірів.

Таблиця 1

Дійсні та номінальні розміри вала та отвору

Найменування параметра	Позначення розмірів поверхні на кресленику			
	Вал			Отвір
	$18^{+0,05}_{-0,03}$	$18^{+0,03}_{+0,02}$	$18^{+0,02}_{-0,02}$	$18^{+0,03}$
Дійсний розмір, мм	18,02	18,01	17,9	

У процесі конструювання деталей механізмів проводяться розрахунки на міцність, жорсткість, зносостійкість, при цьому враховують техноло-

гічні, експлуатаційні вимоги. У результаті одержують номінальні розміри кожної поверхні деталей. На основі цих розмірів із ряду нормальних лінійних розмірів приймають найближчі розміри, котрі вказують на креслениках [4; 7].

У процесі виготовлення деталей розміри їх поверхонь будуть відрізнятися від номінальних розмірів. Тому для виготовлення деталей вводяться дійсні розміри.

Для забезпечення функціональної придатності деталей, виключення подорожчання технологічного процесу їх виробництва визначають граничні розміри поверхонь деталей. Це найбільший та найменший розміри, між якими повинні знаходитися дійсні розміри придатних деталей.

На креслениках також вказують граничні відхилення: верхнє та нижнє. Після виготовлення деталей ще визначають дійсне відхилення. Для характеристики точності виробництва деталей вводиться поняття – допуск. Його значення встановлюється за величиною різниці між граничними розмірами або між граничними відхиленнями розмірів поверхонь деталей.

Для першого завдання табл. 1 номінальний розмір вала 18 мм, верхнє та нижнє відхилення відповідно складають +0,05 мм і –0,03 мм. Найбільший та найменший граничні розміри дорівнюють 18,05 мм та 17,97 мм.

Вказаний у табл. 1 дійсний розмір вала становить 18,02 мм. Цей розмір знаходиться в інтервалі між граничними розмірами. Тому поверхня вала є придатною. Для підтвердження цього висновку визначається допущення. Воно дорівнює 0,08 мм. За величиною допущення проводиться економічна оцінка технологічного процесу виготовлення деталей. Чим більше допущення, тим дешевший технологічний процес, хоча знижується точність виготовлення деталей. На практиці економічно вигідно використовувати великі допущення за умови забезпечення функціональної придатності деталей.

Для графічного зображення валів, отворів застосовується схема, на якій вказують граничні розміри. Побудова схеми розпочинається з проведення нульової лінії. Це горизонтальна лінія, котра відповідає номінальному розміру. Від цієї лінії відкладаються граничні розміри. Вгору вказують розміри зі знаком плюс, вниз – зі знаком мінус. Графічна схема для вала наведена на рис. 3, для отвору – на рис. 4.

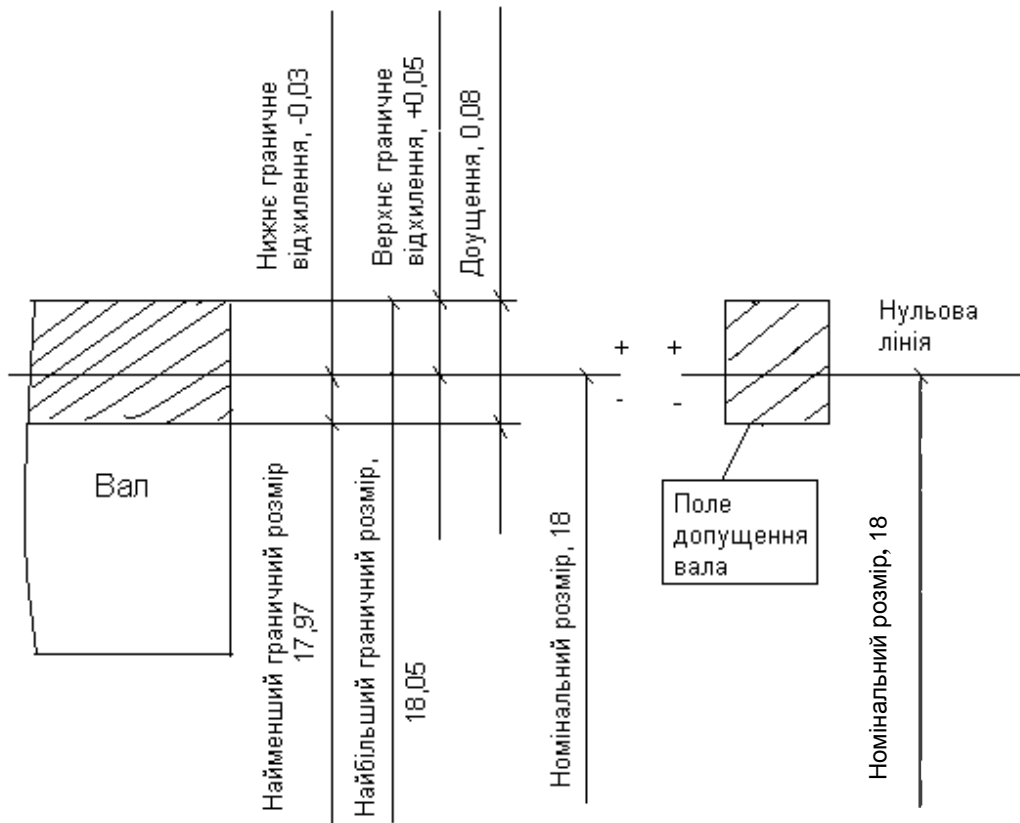


Рис. 3. Графічне зображення граничних розмірів, відхилень, поля допущення вала

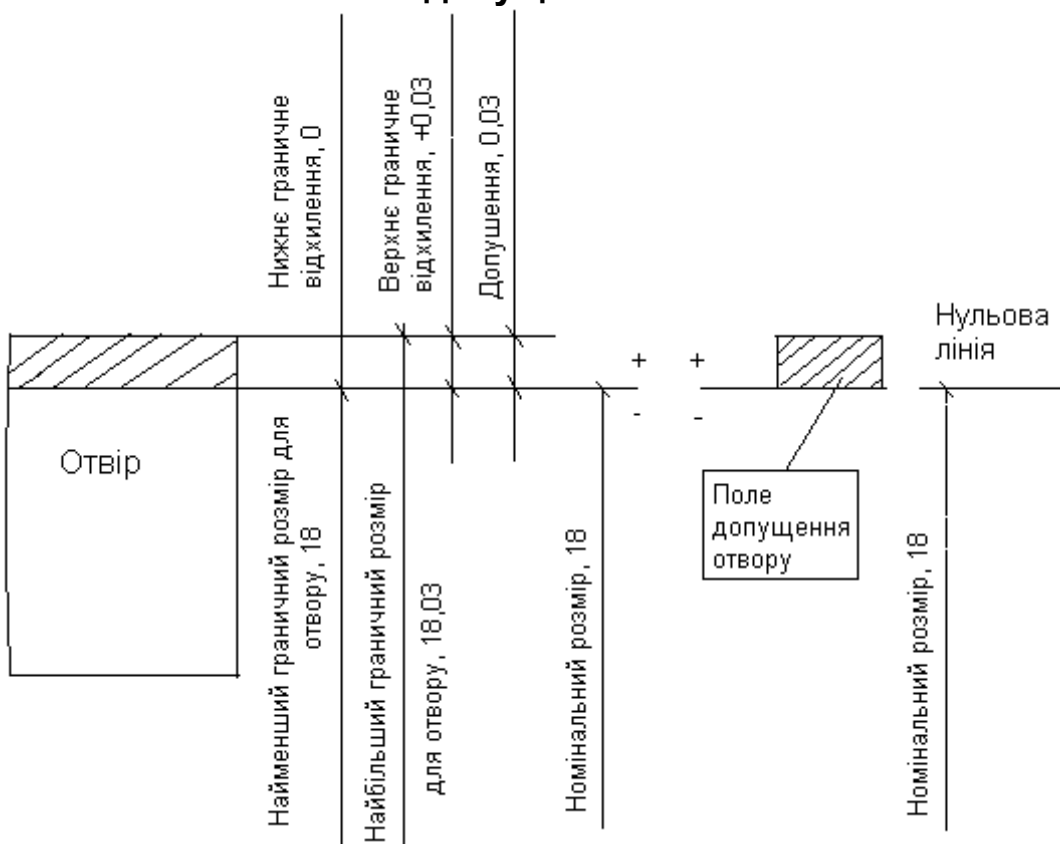


Рис. 4. Графічне зображення граничних розмірів, відхилень, поля допущення отвору

На рис. 3 і 4 одержані поля допущень вала й отвору, які вказують величину та положення допущення відносно номінального розміру. Відносно номінального розміру поле допущення вала є асиметричним двостороннім, а поле допущення отвору – асиметричним одностороннім з нижнім відхиленням, котре дорівнює нулю.

Для оцінки характеру спряження вала з отвором необхідно розглянути граничні розміри їх поверхонь. Якщо спряженню підлягає отвір з найбільшим граничним розміром і вал із найменшим граничним розміром, тоді утворюється зазор (S). Величина зазору дорівнює:

$$S_{\max} = 18,03 - 17,97 = 0,06 \text{ мм.} \quad (3)$$

У процесі спряження отвору з найменшим граничним розміром та вала з найбільшим граничним розміром утворюється посадка з натягом (N). Величина натягу складає:

$$N_{\max} = 18,05 - 18,00 = 0,05 \text{ мм.} \quad (4)$$

Для графічного зображення виду посадки отвору з валом застосовуються поля допущень отвору та вала, які наведено на рис. 3 і 4. Графічна схема посадки показана на рис. 5.

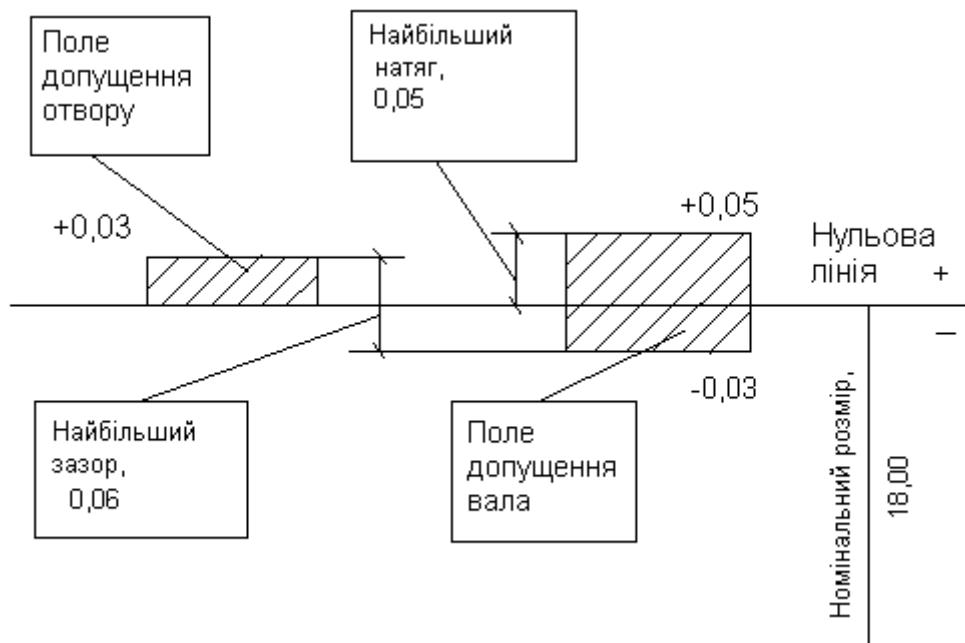


Рис. 5. Графічне зображення перехідної посадки

Із рис. 5 видно, що поля допущень отвору та вала перекриваються. Це вказує на наявність перехідної посадки.

З технологічної та експлуатаційної точок зору вигідно, щоб було постійним положення поля допущення однієї деталі. Так, у табл. 1 наведено дані з різними значеннями розмірів для поверхонь вала і одне значення розміру для отвору. Тому положення поля допущення отвору є базовим і не залежить від характеру з'єднання з валом. Деталь-отвір є основною деталлю системи спряження.

Зазор і натяг утворюються з основним отвором. Такі дані вказують, що в дослідженому прикладі посадка проводиться в системі отвору.

Способи обробки поверхонь вала та отвору мають різну точність. Для задання ступеня точності обробки поверхонь деталей використовуються квалітети (ряди точності). Спряження вала з отвором відноситься до відповідальних посадок. Для вала приймається 6 квалітет, для отвору – 7 квалітет. Це дає змогу застосовувати для обробки поверхонь вала та отвору, наприклад, точне точіння, чистове протягування та інші способи. На кресленіку досліджені поля допущень вала та отвору можуть умовно позначатися у вигляді цифр і букв, наприклад, 18h6, 18H7. У збірному кресленіку посадка вказується у вигляді дробу: $18 \frac{H7}{h6}$.

Подібним чином досліджено інші числові значення поверхонь вала, котрі представлено в табл. 1. Одержані результати наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати дослідження спряження поверхонь вала з отвором

Найменування параметра	Позначення розмірів поверхні на кресленіку			
	Вал			Отвір
	$18 \begin{smallmatrix} +0,05 \\ -0,03 \end{smallmatrix}$	$18 \begin{smallmatrix} +0,03 \\ +0,02 \end{smallmatrix}$	$18 \begin{smallmatrix} +0,02 \\ -0,02 \end{smallmatrix}$	$18 \begin{smallmatrix} +0,03 \\ \end{smallmatrix}$
1	2	3	4	5
Дійсний розмір, мм	18,02	18,01	17,9	
Номинальний розмір, мм	18	18	18	18
Верхнє граничне відхилення, мм	+0,05	+0,03	+0,02	+0,03
Нижнє граничне відхилення, мм	-0,03	+0,02	-0,02	0

1	2	3	4	5
Дійсне відхилення, мм	+0,02	+0,01	-0,1	-
Найбільший граничний розмір, мм	18,05	18,03	18,02	18,03
Найменший граничний розмір, мм	17,97	18,02	17,98	18
Допущення, мм	0,08	0,01	0,04	0,03
Поле допущення	асиметричне двобічне	асиметричне одностороннє з плюсовими відхиленнями	симетричне двобічне	асиметричне одностороннє з нижнім відхиленням, що дорівнює нулю
Посадка	перехідна	перехідна	перехідна	
Найбільший зазор, мм	0,06	0,01	0,05	
Найбільший натяг, мм	0,05	0,03	0,02	

Виконання наступних прикладів потребує знання систем одиниць вимірювання величин. Для вимірювання механічних величин застосовуються дві системи одиниць: фізичну й технічну [12].

У фізичній системі механічних одиниць за основні одиниці приймаються одиниці довжини, маси, часу. Сила (F) є похідною величиною і має наступну розмірність $[L^1 M^1 T^{-2}]$.

У технічній системі механічних одиниць за основні одиниці прийнято одиниці довжини, сили, часу. Маса є похідною величиною. Для неї характерна розмірність $[L^{-1} F^1 T^2]$.

У державах СНД прийнята міжнародна система вимірювання одиниць СІ. В механіці використовується система одиниць МКС. Ця система, як і система СГС, являється фізичною системою одиниць.

Система одиниць вимірювання МКГСС є технічною системою одиниць.

За одиницю маси в системі МКС прийнята маса, яка дорівнює одному кілограму (кг) платиного еталона, що зберігається в архіві Франції. За одиницю сили приймається ньютон (Н). Це така сила, котра додає масі 1 кг прискорення 1 м/с^2 .

1 Н = 10 дециньютон = 100 сантиньютон. 1 кілоньютон = 10 гектаньютон = 1000 ньютон.

У системі СГС за одиницю маси приймається один грам, за одиницю сили – одна діна. Діна – це сила, яка масі один грам додає прискорення 1 см/с^2 .

У системі МКГСС за одиницю сили приймається кілограм – сила (кгс). Кілограм-сила додає масі 1 кг прискорення $9,8 \text{ м/с}^2$.

За одиницю маси в цій системі прийнята технічна одиниця маси (т.о.м.). Т.о.м. є масою, якій сила $1 \text{ кг} \cdot \text{с}$ додає прискорення 1 м/с^2 .

Співвідношення між одиницями вимірювання буде таким: $1 \text{ Н} = 10^5 \text{ дін} = 0,102 \text{ кгс}$. $1 \text{ кгс} = 9,81 \text{ ньютон} = 981 \text{ 000 дін}$. $1 \text{ т.о.м.} = 9,81 \text{ кг}$.

У системі МКС за одиницю потужності приймається один ват (Вт). $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с} = 0,102 \text{ кгс} \cdot \text{м/с}$. У системі СГС одиницею потужності є 1 ерґ/с . У системі МКГСС за одиницю потужності прийнята одиниця $1 \text{ кгс} \cdot \text{м/с}$.

Крім того, прийнято такі одиниці потужності: $1 \text{ кіловат} = 10^3 \text{ Вт} = 102 \text{ кгс} \cdot \text{м/с} = 1,36 \text{ кінської сили (к.с.)}$, $1 \text{ к.с.} = 75 \text{ кгс} \cdot \text{м/с} = 736 \text{ Вт}$.

У техніці за одиницю роботи приймається 1 кіловат-година. Це така робота, яка виконується за одну годину рухливою силою машини, потужність якої дорівнює один кіловат. $1 \text{ кВт} \cdot \text{год.} = 1000 \text{ В} \cdot 3600 \text{ с} = 36 \cdot 10^5 \text{ Дж}$.

Приклад 4.

Визначити реакції балки довжиною 5 м, яка встановлена на двох опорах. Одна опора є нерухомою, а друга – рухомою. На відстані 1 м від центра нерухомої опори прикладена сила величиною 14 кН. На відстані 1 м від центра рухової опори діє сила величиною 9 кН. Кут на пряму дії сили 9 кН складає 60° . Відстань між центрами опор дорівнює 4 м. Між опорами на балку діє момент сили, який протилежний руху часової стрілки. Величина моменту сили становить $15 \text{ кН} \cdot \text{м}$. Схема опор балки і розподіл дії сил наведені на рис. 6.

Виконання завдання розпочинається з побудови розрахунково-графічної схеми двоопорної балки [2; 9]. Для цього паралельно балці проводиться пряма лінія ABCD. Через центр нерухомої опори та лінію ABCD проводяться осі координат. До лінії ABCD переносяться всі сили, які діють на балку, та момент сил. У місцях розташування опор вказуються напрями реакцій опор за осями координат.

Для визначення величини реакцій опор балки насамперед необхідно оцінити діючі сили. Усі сили та момент сил діють в одній площині й

різних місцях балки. Отже, на балку впливає плоска система вільно розташованих сил. Це дозволяє застосувати умови рівноваги плоскої системи вільно розташованих сил.

Для плоскої системи сил, що діють на балку, рівняння рівноваги записуються у вигляді:

$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; \quad \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; \quad \sum_{i=1}^n M_A(F_i) = 0. \quad (5)$$

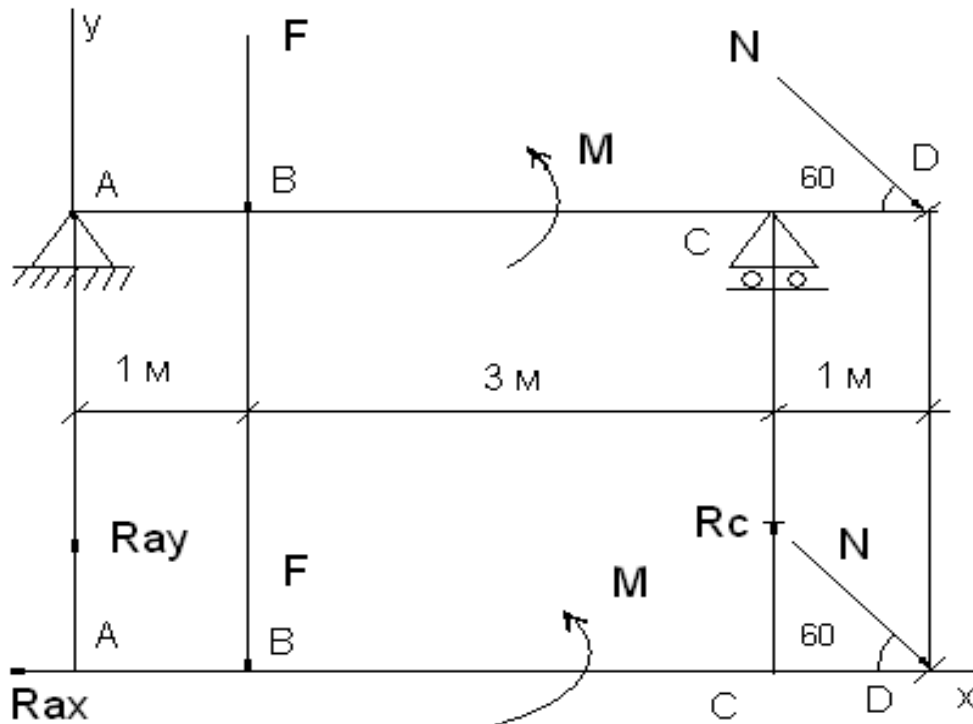


Рис. 6. Двоопорна балка та її розрахунково-графічна схема

Рівняння, відповідно до якого сума проєкцій усіх сил на вісь X дорівнює нулю, для даного завдання записується так:

$$R_{ax} + N \cdot \cos 60 = 0; \quad R_{ax} = N \cdot \cos 60; \quad R_{ax} = 9 \cdot 0,5 = 4,5 \text{ (кН)}.$$

Рівняння, яке характеризує суму моментів сил, що діють на балку, має вигляд:

$$F \cdot AB - M - R_c \cdot AC + N \cdot \sin 60 \cdot AD = 0;$$

$$R_c = (F \cdot AB - M + N \cdot \sin 60 \cdot AD) / AC;$$

$$R_c = (14 \cdot 1 - 15 + 9 \cdot 0,87 \cdot 5) / 4 = 9,54 \text{ (кН)}.$$

Для визначення реакції R_{ay} використовується рівняння, що відображає суму проєкцій усіх сил на вісь Y і яке дорівнює нулю:

$$R_{ay} - F + R_c - N \cdot \sin 60 = 0; \quad R_{ay} = F - R_c + N \cdot \sin 60;$$

$$R_{ay} = 14 - 9,54 + 9 \cdot 0,87 = 12,83 \text{ (кН)}.$$

Приклад 5.

На один із поверхів будинку робочий піднімає вантаж 5 кН за допомогою канату, який перекинуто через шків. Шків нерухомо закріплений на станині підйомного пристрою. Робочий натягує канат під кутом 50° . Встановити вид системи сил, визначити напрям, величину реакції, що виникає в опорі шківів.

Для виконання завдання необхідно скласти схему сил, які діють у підйомному пристрої. Така схема наведена на рис. 7.

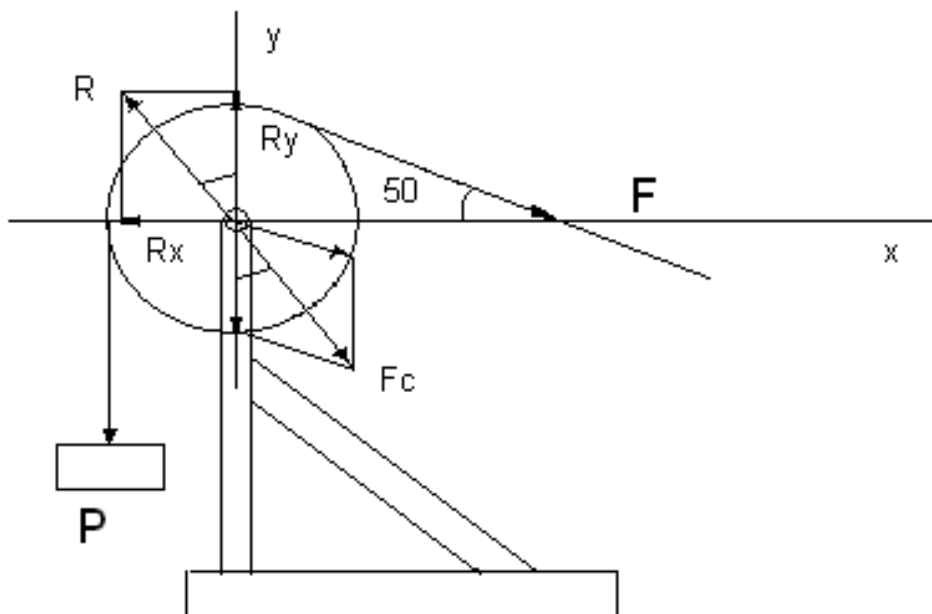


Рис. 7. Схема розподілу сил та реакцій у підйомному пристрої

Із рис. 7 видно, що сили, які діють на шків, можна розглядати як плоску систему сил, які сходяться в одній точці. Для цієї системи застосовується аналітичний спосіб дослідження. Сили P і F діють на шків під кутом. Тоді рівнодійна сила відповідає діагоналі паралелограма, який побудований на силах P та F як на сторонах [3; 9; 11]. Величина рівнодійної сили F_c визначається за формулою:

$$F_c = \sqrt{P^2 + F^2 + 2 \cdot P \cdot F \cos 50} \quad (6)$$

$$F_c = \sqrt{5^2 + 5^2 + 2 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 0,64} = 9,05 \text{ (кН)}.$$

Необхідно зауважити, що на рис. 7 рівнодійна сила спрямована в протилежному напрямі відносно реакції опори шківів. Також сили F_c та R рівні за величиною, оскільки виникають у результаті дії одних і тих же сил P і F .

Відповідно до даних завдань сили P і F теж рівні за величиною. Тоді рівнодійна сила F_c поділяє навпіл кут між напрямками дії сил P і F . У результаті кут між напрямком сили F_c та віссю Y буде складати 25° і дорівнювати куту між реакцією опори шківів та її проекцією на вісь Y . Наведені міркування дозволяють знайти величини проекцій реакції опори шківів на осі координат за наступними формулами:

$$R_x = R \cdot \sin 25 \qquad R_y = R \cdot \cos 25 \quad (7)$$

$$R_x = 9,05 \cdot 0,423 = 3,83 \text{ (кН)} \qquad R_y = 9,05 \cdot 0,91 = 8,24 \text{ (кН)}.$$

Порівняння величин проекцій реакції опори шківів показує, що найбільшу величину має проекція на вісь ординат Y .

Приклад 6.

Провести кінематичне дослідження руху вантажу, який піднімається за допомогою підйомного ліфта на висоту 30 м. Найбільша швидкість підйому складає 1,4 м/с, а прискорення – 0,1 м/с². Встановити види руху вантажу в процесі підйому. Визначити кількісні характеристики кожного виду руху вантажу.

Дослідження розпочинається з побудови схеми руху вантажу. Така схема наведена на рис. 8.

Насамперед необхідно зазначити, що рух вантажу розпочинається зі стану спокою. Наявність величини прискорення характеризує рівноприскорений рух до значення найбільшої швидкості. На рис. 8 шлях такого руху позначається як S_y . Далі розпочинається сповільнення руху вантажу від значення максимальної швидкості до швидкості, рівної нулю, на шляху S_z . Оскільки в рівноприскореному і рівносповільненому рухах найбільша швидкість однакова, то S_y буде дорівнювати S_z .

Після досягнення найбільшої швидкості вантаж рухається рівномірно. Перехід від прискореного руху до сповільненого руху проходить через рівномірний рух. Шлях такого руху на рис. 8 позначається як S_p .

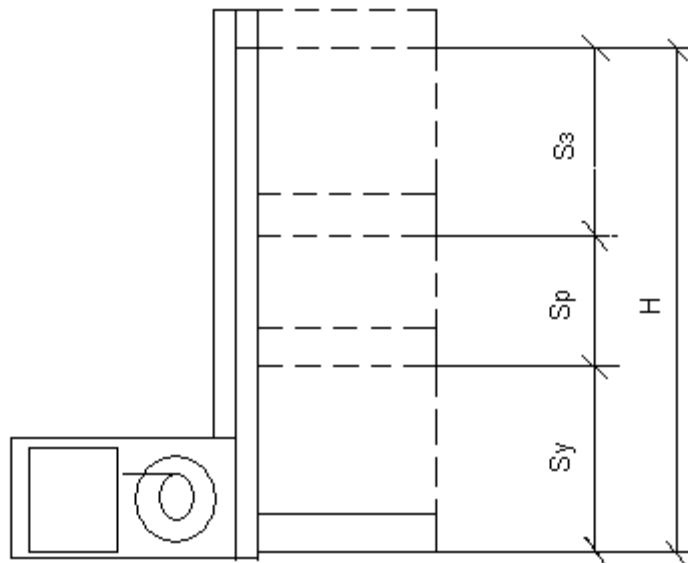


Рис. 8. **Схема підйому вантажу**

Шлях та час прискореного руху визначається за допомогою формул, наведених у роботі [11]:

$$S = \frac{v^2}{2 \cdot a}; \quad t = \frac{v}{a}; \quad (8)$$

$$S = \frac{1,4^2}{2 \cdot 0,1} = 9,8 \text{ (м)}; \quad t = \frac{1,4}{0,1} = 14 \text{ (с)}.$$

Час 14 секунд і шлях 9,8 м будуть характеризувати також і рівносповільнений рух вантажу в процесі підйому на висоту 30 м. Тоді характеристики рівномірного руху вантажу визначаються так:

$$S_p = 30 - 2 \cdot 9,8 = 10,4 \text{ (м)}; \quad t = \frac{S}{v} = \frac{10,4}{1,4} = 7,43 \text{ (с)}. \quad (9)$$

Приклад 7.

Маневрений тепловоз рухається на закругленій ділянці залізничного шляху. Перед закругленням тепловоз має швидкість 30 км/год.

На виході із закругленої ділянки шляху швидкість тепловозу знизилася до 10 км/год. За якою складовою йде зміна повного прискорення тепловозу? На скільки змінюється повне прискорення тепловозу на закругленій ділянці залізничного шляху? Який шлях проходить тепловоз на цій ділянці за 25 секунд? Радіус закругленої ділянки залізничного шляху складає 150 м.

Для виконання завдання будується схема руху маневреного тепловозу на закругленій ділянці залізничного шляху. Така схема наведена на рис. 9.

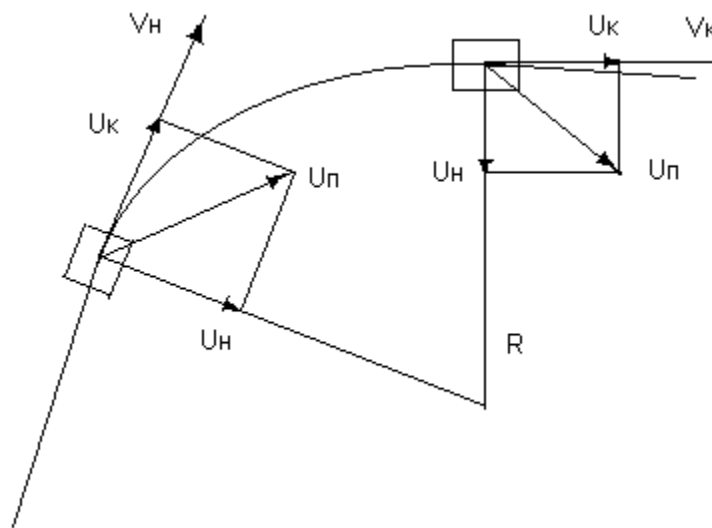


Рис. 9. **Схема руху тепловозу на закругленій ділянці залізничного шляху**

Відповідно до рис. 9, повне прискорення є геометричною сумою дотичного прискорення і нормального прискорення. На основі величин початкової та кінцевої швидкостей визначається дотичне прискорення за формулою, запропонованою авторами робіт [6; 11; 13]:

$$a_T = \frac{V_H - V_K}{t}; \quad a_T = \frac{8,33 - 2,78}{25} = 0,22 \text{ (м/с}^2\text{)}. \quad (10)$$

Дотичне прискорення не змінює свого значення на всій закругленій ділянці шляху. Нормальне прискорення буде неоднаковим на початку і в кінці ділянки. Це впливає з наступних формул:

$$a_H = \frac{V_H^2}{R}; \quad a_H = \frac{V_K^2}{R}; \quad (11)$$

$$a_H = \frac{8,33^2}{150} = 0,46 \text{ (м/с}^2\text{)}; \quad a_H = \frac{2,78^2}{150} = 0,052 \text{ (м/с}^2\text{)}.$$

Значення нормального прискорення впливають на величину повного прискорення на початку і в кінці ділянки залізничного шляху [9]. Повне прискорення визначається за формулою:

$$a_{\Pi} = \sqrt{a_T^2 + a_H^2}; \quad (12)$$

$$a_{\Pi} = \sqrt{0,22^2 + 0,46^2} = 0,510 \text{ (м/с}^2\text{)};$$

$$a_{\Pi} = \sqrt{0,22^2 + 0,052^2} = 0,226 \text{ (м/с}^2\text{)}.$$

Зміна повного прискорення маневреного тепловозу становить:

$$\Delta a_{\Pi} = 0,510 \cdot 0,226 = 0,284 \text{ (м/с}^2\text{)}.$$

Для визначення відстані, яку проходить тепловоз на закругленій ділянці залізничного шляху, застосовується рівняння для рівнозмінного руху:

$$S = \frac{V_H - V_K}{2} \cdot t; \quad S = \frac{8,33 - 2,78}{2} \cdot 25 = 69,37 \text{ (м)}. \quad (13)$$

Таким чином, повне прискорення тепловозу на закругленій ділянці залізничного шляху змінюється за рахунок зміни нормального прискорення в кінці ділянки шляху.

Приклад 8.

На валу електродвигуна встановлений шків для плоскопасової передачі. За допомогою такого гнучкого зв'язку електродвигун передає крутільний момент на механізм. Діаметр шківа складає 200 мм. Через 6 секунд кількість оборотів електродвигуна досягає 600 об./хв. Вказати лінійні та кутові характеристики шківа й визначити їх кількісне значення.

Насамперед треба зазначити, що рух двигуна розпочинається зі стану спокою. Обертання вала двигуна та шківа йде рівноприскорено. Тому кутовими характеристиками шківа є кутове прискорення, кутова швид-

кість, нормальне, дотичне прискорення точок на поверхні шківа, та їх лінійна швидкість [5; 11].

Вихідні дані завдання дозволяють визначити кутову швидкість шківа за формулою:

$$\omega = \frac{\pi n}{30}; \quad \omega = \frac{3,14 \cdot 600}{30} = 62,8 (\text{с}^{-1}). \quad (14)$$

Знання кутової швидкості є основою для визначення кутового прискорення шківа через 6 секунд після початку руху електродвигуна:

$$\varepsilon = \frac{\omega}{T}; \quad \varepsilon = \frac{62,8}{6} = 10,47 (\text{с}^{-2}). \quad (15)$$

Лінійна швидкість точок на поверхні шківа знаходиться за формулою:

$$v = \omega \cdot R; \quad v = 62,8 \cdot 0,2 = 12,56 (\text{м/с}). \quad (16)$$

Нормальне прискорення точок на поверхні шківа складає:

$$a_n = \frac{v^2}{R}; \quad a_n = \frac{12,56^2}{0,2} = 788,77 (\text{м/с}^2). \quad (17)$$

Дотичне прискорення точок на поверхні шківа через 6 секунд після початку руху електродвигуна буде дорівнювати:

$$a_T = \frac{v}{T}; \quad a_T = \frac{12,56}{6} = 2,093 (\text{м/с}^2). \quad (18)$$

Приклад 9.

Охарактеризувати плоскопаралельний рух твердого тіла. Провести дослідження поведінки точок плоскої фігури за такого руху. Знайти швидкості точок плоскої фігури.

Плоскопаралельний рух твердого тіла розглядається як рух, за якого траєкторії всіх точок розташовані у площинах, які паралельні одній нерухомій площині [1; 17; 19]. Нерухома площина є основною площиною.

Якщо у твердому тілі провести перпендикуляр до основної площини, то всі точки на цьому перпендикулярі рухаються за однаковими траєкторіями і мають геометричні рівні швидкості та прискорення. Графічно це вказано на рис. 10.

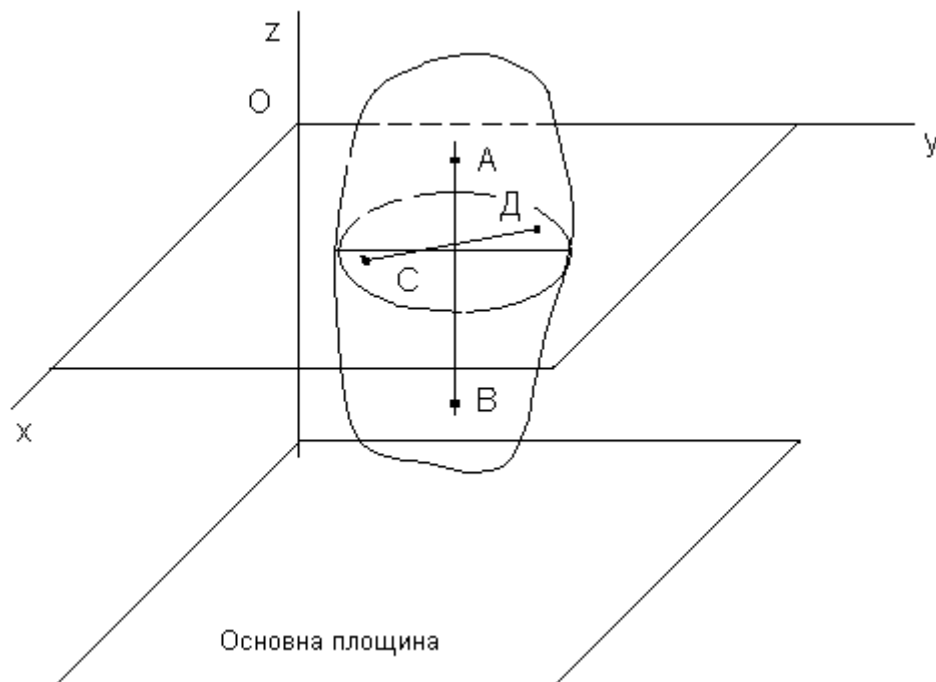


Рис. 10. Графічне дослідження руху твердого тіла

Для визначення руху твердого тіла достатньо знати рух однієї точки кожної прямої, яка перпендикулярна до основної площини. Ця точка знаходиться у площині, яка паралельна основній площині.

Плоскопаралельний рух твердого тіла повністю характеризується рухом плоскої фігури у своїй площині. На рис. 10 показано, що така плоска фігура одержується в результаті перетину твердого тіла площиною XOY , яка паралельна основній площині. Рух плоскої фігури у своїй площині називається плоским.

Положення плоскої фігури у своїй площині XOY задається або визначається положенням двох її точок. Оберемо дві точки C і D із координатами: X_c, Y_c, X_d, Y_d . Якщо плоска фігура рухається у площині XOY , то відстань між точками не змінюється.

Для встановлення параметрів, які описують рух плоскої фігури, необхідно зв'язати систему координат з плоскою фігурою. Для цього переноситься система координат XOY у точку C . Графічно це показано на рис. 11.

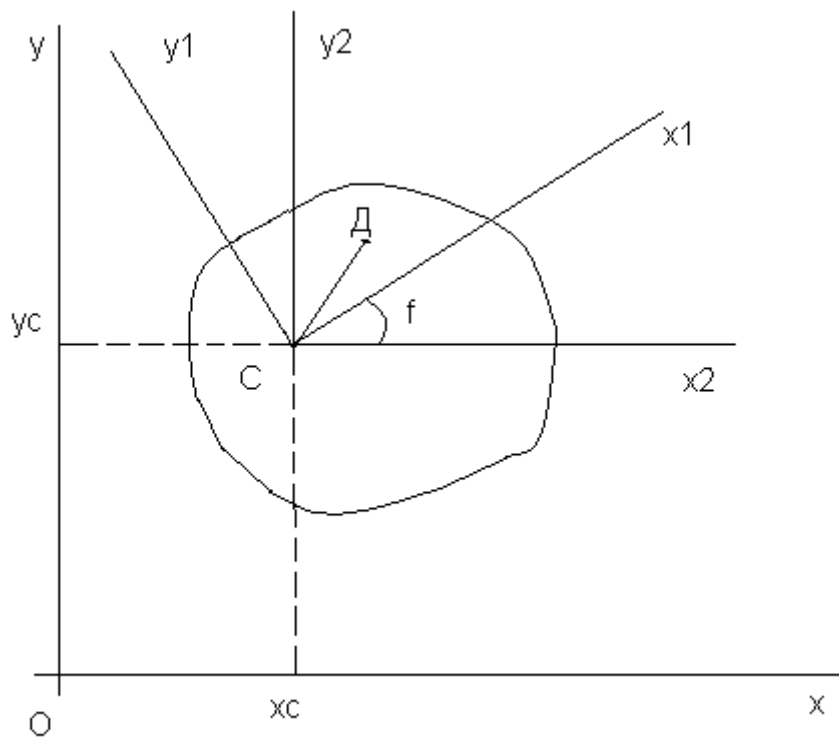


Рис. 11. Зв'язування системи координат з плоскою фігурою

Із рис. 11 видно, що положення системи X_1Y_1 , як і положення всієї плоскої фігури відносно системи координат XOY , визначається координатами X_c , Y_c , кутом повороту між осями координат CX_1 і CX_2 . Тоді параметрами, якими визначається положення плоскої фігури у своїй площині у будь-який момент часу, є три функції від часу:

$$X_c = X_c(\tau); \quad Y_c = Y_c(\tau); \quad f = f(\tau). \quad (19)$$

Наведені рівняння є рівняннями плоскопаралельного руху твердого тіла, оскільки вони характеризують рух плоскої фігури в цьому тілі.

Перші два рівняння визначають положення полюса C на площині. Ці рівняння характеризують поступальний рух твердого тіла при $f = \text{const}$. Третє рівняння вказує кут повороту плоскої фігури навколо полюса. Воно характеризує обертальний рух твердого тіла, коли полюс є нерухомим. Обертальний рух не залежить від вибору полюса. Поступальний рух характеризується рухом полюса.

Для визначення швидкостей точок плоскої фігури використовується залежність між швидкостями двох точок цієї фігури.

Швидкість точки Д (див. рис. 11) дорівнює геометричній сумі швидкості точки С, яку прийнято в якості полюса, та швидкості точки Д (V_{DC}) в обертальному русі навколо цього полюса [19]. Математично це записується наступним чином:

$$\overline{V_d} = \overline{V_c} + \overline{V_{dc}} \quad (20)$$

Розглянуті теоретичні положення реалізуються в практичному завданні. Потрібно визначити швидкості точок, які розташовані на колесі платформи трамвая. Трамвай рухається прямолінійно трамвайним шляхом. Швидкість точки центра колеса дорівнює 3 м/с. Визначити швидкості точок К і М, які розташовані на колесі згідно з рис. 12.

Для визначення швидкості точки К записується наступне рівняння:

$$\overline{V_k} = \overline{V_o} + \overline{V_{ko}} \quad (21)$$

Із рис. 12 видно, що швидкості V_o , V_{ko} , спрямовані по одній прямій, рівні за модулем. Тоді швидкість точки К дорівнює:

$$\overline{V_k} = 2 \cdot \overline{V_o}; \quad \overline{V_k} = 2 \cdot 3 = 6 \text{ м/с.} \quad (22)$$

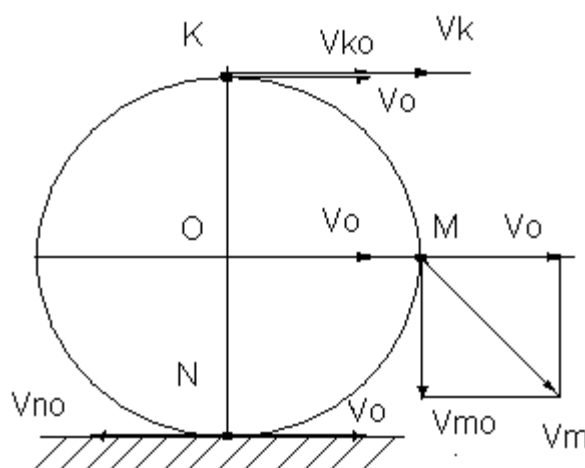


Рис. 12. Схема швидкостей точок трамвайного колеса

Для точки М швидкість записується у вигляді:

$$\bar{V}_m = \bar{V}_o + \bar{V}_{mo}. \quad (23)$$

Враховуючи, що швидкість обертального руху V_{mo} спрямована перпендикулярно до відрізка MO і за модулем розраховується на основі величини кутової швидкості, можна записати формулу:

$$\bar{V}_{mo} = \omega \cdot MO = \omega \cdot R. \quad (24)$$

Далі розглядається точка N. Швидкість точки N визначається за формулою:

$$\bar{V}_n = \bar{V}_o + \bar{V}_{no}. \quad (25)$$

Швидкість V_{no} , так само, як і V_{mo} , визначається за формулою 24, оскільки відповідно до рис. 12 $NO = MO = R$.

Якщо колесо трамвая не ковзає по рейці, то швидкість точки N дорівнює нулю. Швидкості V_o та V_{no} у точці N знаходяться на одній прямій і спрямовані в протилежні сторони. Тоді формула 24 записується у вигляді:

$$\bar{V}_n = \bar{V}_o + \bar{V}_{no} = 0; \quad \bar{V}_o = \bar{V}_{no} = \omega \cdot R; \quad \omega = \frac{V_o}{R}. \quad (26)$$

Одержана формула для визначення кутової швидкості підставляється у формулу 24. У результаті вдається знайти швидкість V_{mo} , яка дорівнює V_o .

Таким чином, плоска фігура, яка побудована на векторах швидкостей V_o і V_{mo} як на сторонах, є квадратом. Тоді швидкість точки М буде визначатися за формулою:

$$V_m = \sqrt{2} \cdot V_o = 1,43 \cdot 3 = 4,23 \text{ м/с}. \quad (27)$$

Приклад 10.

Водій машини, яка рухається зі швидкістю 40 км/год, за 700 м до перехрестя розпочинає гальмування. Перехрестя розташоване на підйомі заввишки 3 м. Визначити силу опору руху машини, яка виникає у процесі гальмування машини. Маса машини 1500 кг. Машина рухається рівносповільнено. Сила тертя дорівнює 600 кН.

Для виконання завдання будується схема дії сил у процесі руху машини на підході до перехрестя. Така схема наведена на рис. 13.

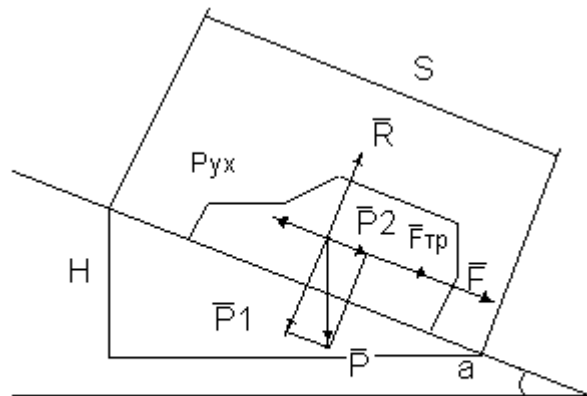


Рис. 13. **Схема дії сил у процесі гальмування машини, яка рухається на підйом**

Умови завдання дозволяють використовувати для його виконання теорему щодо зміни кінетичної енергії [12; 18]. Це пов'язано з тим, що вказана величина шляху гальмування. Змінення кінетичної енергії характеризується формулою:

$$T_1 - T_0 = \sum A_{10}(\bar{F}). \quad (28)$$

Рівносповільнений рух машини дозволяє розглядати тільки рух центра ваги машини.

Відповідно до рис. 13 у центрі ваги машини діють зовнішні та внутрішні сили. Так, вага машини розподіляється на дві складові: P_1 і P_2 . Складова P_1 спрямована перпендикулярно до руху машини. У сторону, яка протилежна руху машини, прикладені наступні сили: складова ваги машини, P_2 , сила тертя, $F_{тр}$, сила опору руху машини, F . Рівнодійна сила

вказаних сил дорівнює сумі цих сил. Рівнодійна спрямована в сторону, протилежну швидкості руху машини. Тоді можна записати формулу:

$$(P_2 + F_{\text{тр}} + F). \quad (29)$$

Робота всіх вказаних сил визначається за формулою:

$$A_{10} = (P_2 + F_{\text{тр}} + F) \cdot S. \quad (30)$$

Водночас робота дорівнює зміні кінетичної енергії машини. Це характеризується формулою:

$$A_{10} = \frac{m \cdot V_1^2}{2} - \frac{m \cdot V_0^2}{2}. \quad (31)$$

Оскільки $V_1 = 0$, тоді можна порівняти формули, які характеризують роботу всіх вказаних сил:

$$(P_2 + F_{\text{тр}} + F) \cdot S = \frac{mV_0^2}{2}. \quad (32)$$

Із одержаного рівняння знаходиться сила опору руху машини, F :

$$F = \frac{m \cdot V_0^2}{2} - F_{\text{тр}} - P_2. \quad (33)$$

Складова ваги машини P_2 виражається через вагу машини за допомогою формули:

$$P_2 = P \cdot \sin \alpha = P \frac{h}{S}. \quad (34)$$

Тоді кінцева формула для розрахунку сили опору руху машини буде мати вигляд:

$$F = \frac{m \cdot v_0^2}{2} - F_{\text{тр}} - P \frac{h}{S}; \quad F = \frac{m \cdot v_0^2}{2} - F_{\text{тр}} - mg \frac{h}{S}. \quad (35)$$

Величина сили опору руху машини складає:

$$F = \frac{1500 \cdot 11,11^2}{2} - 17700 - 1500 \cdot 9,8 \frac{3}{700} = 74\,809,5 \text{ (Н)}.$$

Приклад 11.

Мостовий кран цеху піднімає вантаж – металеву заготовку масою 100 кг. Підйом вантажу здійснюється рівноприскорено. Величина прискорення становить $1,2 \text{ м/с}^2$. Вантаж утримується за допомогою двох бокових і одного центрального тросів, як вказано на рис. 14а. За допомогою принципу Даламбера визначити реакції бокових тросів.

Використання принципу Даламбера потребує проведення послідовних розрахунково-логічних дій [2; 3]. Тому виконання завдання розпочинається з визначення сил, які діють на вантаж. Сили, котрі діють на вантаж та кути їх напрямку, вказані на рис. 14а.

Далі звільняють вантаж від зв'язків і вказують реакції зв'язків. Реакціями зв'язків є реакції бокових тросів. Крім того, вказується сила інерції вантажу, F_i . Це показано на рис. 14б.

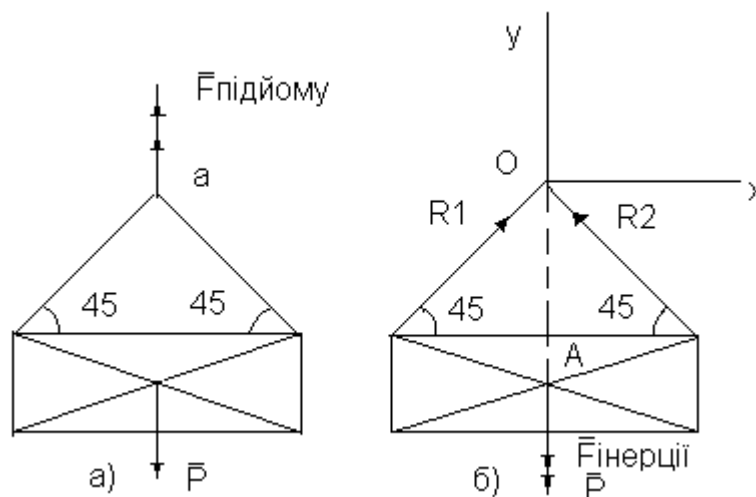


Рис. 14. Схема дії сил у процесі підйому вантажу

Оскільки вантаж піднімається рівноприскорено, тоді рівнодійна сила інерції всіх точок вантажу буде прикладена в центрі вантажу. Напрямок сили інерції співпадає з напрямком дії сили ваги.

Потім вибирається система координат і складається рівняння рівноваги. Тому на рис. 14б продовжують лінію дії сили інерції до перетину з лініями дії сил реакції бокових тросів. Вказані лінії перетинаються в точці О. У результаті одержують плоску систему сил, які сходяться в одній точці. Відповідно до принципу Даламбера така система сил може бути врівноважена. Для цього система координат розміщується в точці О. Проведені графічні побудови на рис. 14б дозволяють записати рівняння рівноваги для плоскої системи сил, які сходяться в одній точці:

$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; \quad \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; \quad (36)$$

$$R_1 \cdot \cos 45 - R_2 \cdot \cos 45 = 0; \quad R_1 \cdot \sin 45 + R_2 \cdot \sin 45 - F_i - P = 0; \quad (37)$$

$$R_1 = R_2; \quad 2R_1 \sin 45 - F_i - P = 0. \quad (38)$$

Оскільки підйом вантажу – металевої заготовки – здійснюється рівноприскорено, то абсолютна величина сили інерції визначається за формулою:

$$F_i = ma. \quad (39)$$

Тоді реакції бокових тросів у процесі підйому вантажу – металевої заготовки – будуть мати такий вигляд:

$$R_1 = R_2 = \frac{ma + P}{2 \cdot \sin 45} = \frac{(ma + mg) \cdot 2}{2 \cdot \sqrt{2}} = \frac{m(a + g)}{\sqrt{2}}; \quad (40)$$

$$R_1 = R_2 = \frac{100 \cdot (1,2 + 9,8)}{1,41} = 780,14 \text{ (Н)}. \quad (41)$$

Приклад 12.

Вагонетка масою 2000 кг за допомогою підйомного пристрою піднімається по похилій площині. Площина утворює з горизонтальною поверхнею кут 30° . Визначити величину роботи підйомного пристрою, якщо переміщення вагонетки складає 50 м, коефіцієнт тертя, f , дорівнює 0,2.

Для виконання завдання складається схема руху вагонетки за похилою площиною. Така схема наведена на рис. 15.

Спочатку визначається вид руху вагонетки. Якщо підйомний пристрій рухає вагонетку з постійною швидкістю, то рух вагонетки буде рівномірним. Відповідно до рис. 15, сила, з якою підйомний пристрій піднімає вагонетку, співпадає з напрямом руху. Тому така сила буде рушійною силою ($F_{рх}$) [3; 13].

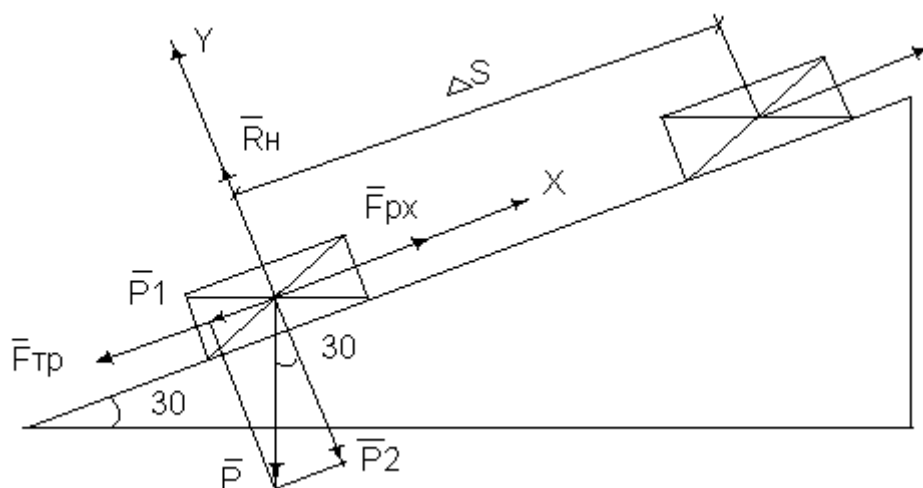


Рис. 15. **Схема руху вагонетки в процесі підйому по похилій площині**

Сила тертя ($F_{тр}$) спрямована в бік, протилежний руху вагонетки. Ця сила є силою опору руху.

У процесі рівномірного підйому вагонетки по похилій площині рушійна сила дорівнює сумі сил опору руху.

Для запису формули вводиться система координат у центр ваги вагонетки. Тоді формула запишеться у вигляді:

$$F_{рх} = R_n + P_1 + F_{тр}. \quad (42)$$

Як видно з рис. 15, нормальна реакція, R_n , дорівнює складовій ваги вагонетки, P_2 , на вісь Y , однак має протилежний напрям. Це дозволяє виразити нормальну реакцію похилої площини через вагу вагонетки. Складова ваги вагонетки, P_1 , є проекцією сили ваги на вісь X . Ця складова також виражається через вагу вагонетки. У результаті одержують формули:

$$R_n = P_2 = P \cdot \cos 30; \quad P_1 = P \cdot \sin 30. \quad (43)$$

Сила тертя знаходиться з формули коефіцієнта тертя:

$$F_{тр} = R_n \cdot f = f \cdot P \cdot \cos 30. \quad (44)$$

Наведені результати вказують, що рушійна сила є рівнодійною силою. Таке положення дає основу для застосування теореми про роботу рівнодійної сили [9; 13]. Робота рівнодійної сили на певному переміщенні, ΔS , дорівнює алгебраїчної сумі робіт на цьому переміщенні:

$$A(F_{\Sigma}) = \sum_{i=1}^n A(F_i) = A(R_n) + A(P_1) + A(F_{тр}). \quad (45)$$

Нормальна реакція, R_n , похилої площини спрямована перпендикулярно до переміщення. Робота такої сили дорівнює нулю. У результаті одержується наступна формула для визначення роботи рушійної сили:

$$A(F_{рх}) = A(F_{\Sigma}) = \sum_{i=1}^n A(F_i) = A(P_1) + A(F_{тр}); \quad (46)$$

$$\begin{aligned} A(F_{рх}) &= P \cdot \sin 30 \cdot \Delta S + f \cdot P \cdot \cos 30 = P \cdot \Delta S \cdot (\sin 30 + f \cdot \cos 30) = \\ &= 2000 \cdot 9,81 \cdot 50 \cdot 0,5(1 + 0,2 \cdot 1,41) = 1873,71 \text{ кДж.} \end{aligned}$$

Приклад 13.

На верстаті проводиться обробка деталі діаметром $d = 200$ мм. Кутова частота обертання вала, n , на якому закріплена деталь, становить 110 об./хв. Обробка проводиться за допомогою сили різання, величина

якої дорівнює 450 кН. Визначити потужність верстата, яку він витрачає на обробку деталі, якщо коефіцієнт корисної дії (ККД) верстата складає 0,83.

Виконання завдання потребує розгляду напрямку дії сил та параметрів обертального руху. Це наведено на рис. 16.

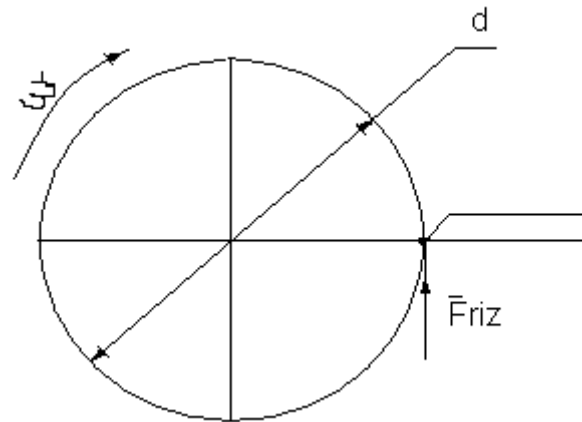


Рис. 16. Схеми обробки деталі на верстаті

Відповідно до рис. 16, точка дії сили різання, Friz, знаходиться на відстані радіуса деталі. Напрямок дії сили різання вказує, що ця сила є оточуючою силою. Оскільки деталь виконує обертальний рух, то робота в такому русі виконується оточуючою силою. Добуток оточуючої сили і радіуса обертання дає обертальний момент [6; 13].

Тоді для сили різання обертальний момент визначається за допомогою формули:

$$M_{об.} = Friz \cdot d/2. \quad (47)$$

Робота сили різання дорівнює добутку обертального моменту і кута повороту деталі:

$$A(Friz) = M_{об.} \cdot \alpha = Friz \cdot d/2 \cdot \alpha. \quad (48)$$

Потужністю є робота, яка виконується за одиницю часу. Потужність сили різання в процесі обертання деталі на верстаті визначається за формулою:

$$W = \frac{A(\text{Friz})}{\tau} = \frac{\text{Friz} \cdot \frac{d}{2} \cdot \alpha}{\tau} = \text{Friz} \cdot \frac{d}{2} \cdot \omega, \quad (49)$$

де ω – середня кутова швидкість деталі.

З метою вираження середньої кутової швидкості в радіанах за секунду застосовується формула, яка включає кутову частоту обертання, n :

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}. \quad (50)$$

У результаті формула для розрахунку корисної потужності верстата в процесі обробки деталі має вигляд:

$$W_{\text{кор}} = \text{Friz} \cdot \frac{d}{2} \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} = 450\,000 \cdot \frac{0,2}{2} \cdot \frac{3,14 \cdot 110}{30} = 51,81 \text{ кВт}. \quad (51)$$

На основі взаємозв'язку між корисною потужністю, ККД і повною потужністю верстата визначається повна або витрачена потужність верстата:

$$W_{\text{п}} = \frac{W_{\text{кор}}}{\text{ККД}} = \frac{51,81}{0,83} = 62,42 \text{ кВт}. \quad (52)$$

Приклад 14.

Охарактеризувати умову міцності під час розтягування, стиснення та типи розрахунків на міцність і жорсткість під час розтягування і стиснення. Встановити тип розрахунку фундаменту споруди прямокутної форми, який несе рівномірно-розподілене навантаження $q = 500 \text{ кН/м}$, довжиною $l = 4 \text{ м}$ і шириною $b = 2,5 \text{ м}$. Який параметр необхідно визначити, якщо допущене напруження для ґрунту, $[\sigma_c]$, дорівнює $0,25 \text{ МПа}$.

У процесі дослідження елементів конструкцій на міцність і жорсткість під час розтягування та стиснення виділяють три типи розрахунків: перевірний, проектний, перевірно-уточнений [3; 9; 10; 13].

Умова міцності під час розтягування та стиснення характеризується тим, що робоче напруження, σ , яке визначається як відношення поздовжнього навантаження, N , до площі поперечного перерізу, S , не може пе-

ревищувати допущене напруження, $[\sigma]$, за вказаних деформацій. Математично це записується у вигляді:

$$\sigma = \frac{N}{S} \leq [\sigma]. \quad (53)$$

Перевірний розрахунок передбачає перевірку міцності за заданим робочим навантаженням та розміром перерізу. У результаті визначається робоче напруження, яке порівнюється з допущеним напруженням.

У проектному розрахунку за заданим робочим навантаженням і допущеним напруженням підбирається розмір площі перерізу.

Метою перевірно-уточненого розрахунку є визначення робочого навантаження за заданою величиною площі перерізу та допущеним напруженням.

У завданні вказано навантаження, розміри та характер перерізу фундаменту споруди і допущене напруження. Це дозволяє визначити робоче напруження та порівняти його з допущеним напруженням. Отже, розрахунок у даному завданні належить до перевірного розрахунку.

На основі даних завдання розраховується навантаження на фундамент та робоче напруження у фундаменті:

$$F = q \cdot l = 500 \cdot 4 = 2000 \text{ кН}; \quad \sigma_c = \frac{F}{S} = \frac{2000 \cdot 10^3}{4 \cdot 2,5 \cdot 10^6} = 0,20 \text{ МПа}. \quad (54)$$

Порівняння робочого напруження з допущеним напруженням приводить до наступних результатів:

$$0,20 \text{ МПа} < 0,25 \text{ МПа}. \quad (55)$$

Це визначає, що фундамент споруди витримує прикладені навантаження.

Особливості проектного розрахунку добре ілюструються на прикладі розтягування сталевого зразка за допомогою сили, F , величина якої, наприклад, дорівнює 30 кН. Модуль пружності (Юнга) для сталі, $E_{ст}$, складає $2 \cdot 10^5$ МПа. У результаті розтягування довжина сталевого зразка збільшилася з $l_0 = 150$ мм до $l_1 = 150,45$ мм.

Як було вказано раніше, метою проектного розрахунку є визначення величини площі поперечного перерізу зразка.

Оскільки умови завдання містять подовження сталевго зразка, то це вказує на необхідність застосування закону Гука. Цей закон встановлює, що нормальне напруження, яке виникає в поперечному перерізі зразка під час розтягування, прямо пропорційне подовжній деформації [9]. Вираз закону Гука, який включає подовження зразка, записується у вигляді:

$$\Delta l = (l_1 - l_0) = \frac{N \cdot l_0}{E \cdot S}, \quad (56)$$

де N – внутрішній силовий фактор у поперечному перерізі зразка під час розтягування – подовжня сила. Величина її дорівнює величині сили, F .

Тоді площа поперечного перерізу сталевго зразка знаходиться за формулою:

$$S = \frac{F \cdot l_0}{E \cdot \Delta l} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 150}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,45} = 50 \text{ мм}^2. \quad (57)$$

Величина нормального напруження в перерізі сталевго зразка буде складати:

$$\sigma_H = \frac{30 \cdot 10^3}{50} = 600 \text{ МПа}. \quad (58)$$

Приклад 15.

Сталевий брус включає два перерізи. Більший переріз має площу $S_2 = 3,0 \text{ см}^2$. Площа меншого перерізу, S_1 , складає $2,0 \text{ см}^2$. Частина бруса з більшим перерізом жорстко закріплена в стіні. У місцях бруса з більшим і меншим перерізом прикладені сили: $F_1 = 16 \text{ кН}$, $F_2 = 19 \text{ кН}$, $F_3 = 11 \text{ кН}$. Напрями дії цих сил вказано на рис. 17. За довжиною бруса необхідно побудувати епюри подовжніх сил та нормальних напружень.

Виконання завдання розпочинається з поділу бруса на ділянки навантаження. У межах таких ділянок подовжні сили не змінюються. За ділянку навантаження приймають частину бруса між точками прикладення

зовнішніх сил [10; 13; 20]. Визначення ділянок навантаження розпочинається з вільного кінця бруса. У результаті на рис. 17 одержують чотири ділянки навантаження.

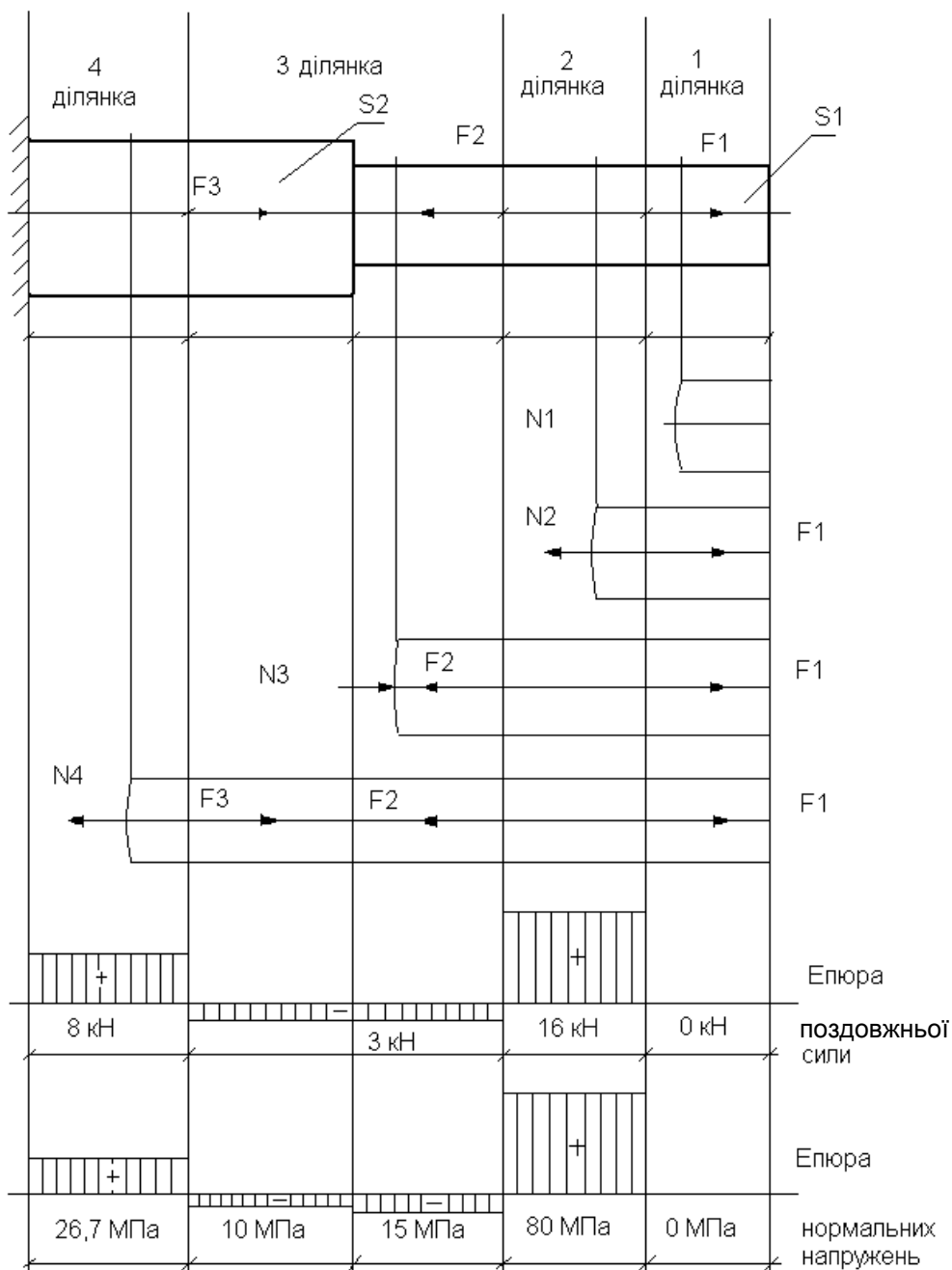


Рис. 17. Схема сталевго бруса та еюри поздовжніх сил і нормальних напружень

Розтягування та стиснення – це такі види деформації, за яких у поперечному перерізі бруса виникає один внутрішній силовий фактор – поздовжня сила [9; 13].

У процесі дослідження деформації розтягування та стиснення приймається, що поперечний переріз бруса є плоским і перпендикулярним поздовжній осі.

Після деформації переріз залишається плоским і перпендикулярним до вказаної осі. Це гіпотеза плоских перерізів, відповідно до якої внутрішні сили пружності рівномірно розподілені за перерізом. За допомогою даної гіпотези спрощується розрахунок поздовжніх сил.

Розрахунок величини поздовжніх сил розпочинається з вільного кінця бруса. На всіх ділянках розрахунок проводиться на основі умов рівноваги сталевих брусів. Це означає, що сума всіх сил, що діють у місці перерізу на ділянці, дорівнює нулю. На першій ділянці, в результаті умовного проведення перерізу, не діють зовнішні сили. Тому поздовжня сила, N_1 , дорівнює нулю. На другій, третій, четвертій ділянках поздовжні сили визначаються за формулами:

$$-N_2 + F_1 = 0; \quad N_2 = F_1 = 16 \text{ кН}; \quad (59)$$

$$N_3 - F_2 + F_1 = 0; \quad N_3 = F_2 - F_1 = 19 - 16 = 3 \text{ кН}; \quad (60)$$

$$F_1 - F_2 + F_3 - N_4 = 0; \quad N_4 = F_1 - F_2 + F_3 = 16 - 19 + 11 = 8 \text{ кН}. \quad (61)$$

Одержані поздовжні сили мають різний знак. Поздовжні сили, N_2 і N_4 , на ділянках бруса викликають деформацію розтягування. Тому вони мають додатний знак. Сила, N_3 , викликає стиснення ділянки бруса. Для неї характерний від'ємний знак.

На основі величин поздовжніх сил будується графік розподілу цих сил уздовж осі бруса. Цей графік є епюрою поздовжніх сил. Вісь епюри проводиться паралельно осі бруса. Нульова лінія проходить уздовж осі епюри поздовжніх сил. Додатні значення величини поздовжніх сил відкладаються вгору від нульової лінії у відносно вибраному масштабі.

Із рис. 17 видно, що величина поздовжньої сили в межах однієї ділянки не змінюється. У результаті епюра поздовжніх сил відображається

відрізками паралельними осі нульової лінії. Епюра заштриховується, як вказано на рис. 17.

Для побудови епюри нормальних напружень визначаються ділянки напружень. Для цього аналізуються ділянки навантаження та межі зміни площі перерізу бруса. Сталевий брус має два різних перерізи, тому виділяється п'ять ділянок напружень. Величини напружень на цих ділянках визначаються за формулою:

$$\sigma = \frac{N}{S}. \quad (62)$$

Тоді величини напружень на ділянках складають:

$$\sigma_1 = 0 \text{ МПа}; \quad \sigma_2 = \frac{16\,000}{200} = 80 \text{ МПа}; \quad \sigma_3 = \frac{-3000}{200} = -15 \text{ МПа};$$

$$\sigma_4 = \frac{-3000}{300} = -10 \text{ МПа}; \quad \sigma_5 = \frac{8000}{300} = 2,67 \text{ МПа}.$$

Одержані величини нормальних напружень мають додатні і від'ємні значення. Це враховується в разі побудові епюри напружень, яка наведена на рис. 17. Спочатку проводиться вісь епюри нормальних напружень паралельно осі епюри поздовжніх сил. Угору відкладаються додатні значення нормальних напружень. Епюра нормальних напружень не змінюється в межах ділянки напруження і відображається в іншому масштабі, ніж епюра поздовжніх сил.

Приклад 16.

Два сталевих аркуша з'єднані п'ятьма заклепками. Кожна заклепка має діаметр, $d = 10$ мм. Заклепки розташовані в ряд. Крок між заклепками складає 30 мм. На таке з'єднання аркушів за допомогою заклепок діють сили, F , величина яких становить 100 кН. Допустиме напруження у процесі зсуву (зрізу), зминання, розтягування відповідно дорівнює: $[\tau_{зр}] = 90$ МПа; $[\sigma_{зм}] = 250$ МПа; $[\sigma_p] = 140$ МПа.

Провести перевірку міцності з'єднаних аркушів, якщо товщина аркушів, δ , дорівнює 9 мм, ширина аркушів, b , складає 170 мм.

Виконання завдання розпочинається з розгляду схеми з'єднання сталевих аркушів. Така схема наведена на рис. 18.

Із рис. 18 видно, що на з'єднання аркушів діють сили, \bar{F} , у паралельних площинах на близькій відстані одна від одної. Ці сили спрямовані у протилежні сторони.

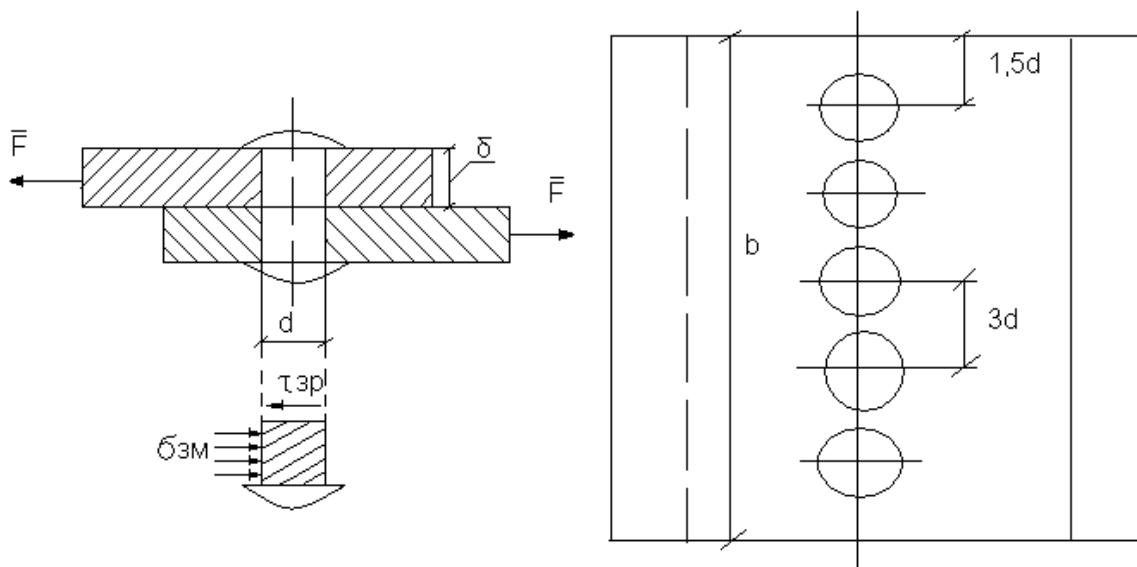


Рис. 18. **Схема з'єднання аркушів за допомогою заклепок**

Відповідно до рис. 18, переріз, де виникає деформація, співпадає зі стиком аркушів.

Зсувом (зрізом) є такий вид деформації, за якого в поперечному перерізі бруса виникає один внутрішній силовий фактор – поперечна сила, \bar{Q} . У процесі зсуву (зрізу) поперечна сила викликає дотичне напруження, τ_{cp} [9; 10; 13].

У процесі проведення розрахунків деталей на зсув (зріз) приймається ряд припущень [9; 10; 13]. Так, не враховується згинання деталей. Це пов'язано з тим, що діючі сили утворюють пару сил. Також приймається, що сили пружності рівномірно розподіляються за перерізом кожної заклепки. У разі застосування декількох заклепок зовнішня сила рівномірно розподіляється між заклепками.

Таким чином, у разі застосування методу перерізів до заклепки, поперечна сила, \bar{Q} , є рівнодієюною силою внутрішніх сил. Така рівнодіяна внутрішніх сил дорівнює зовнішній силі, \bar{F} .

Внутрішні сили мають такий напрям, що з'являються дотичні напруження зсуву (зрізу). Тому умова міцності під час зсуву (зрізу) характеризується наступною формулою:

$$\tau_{зр} = \frac{Q}{S_{зр} \cdot n} \leq [\tau_{зр}]; \quad Q = \frac{F}{m}, \quad (63)$$

де $S_{зр}$ – площа зсуву (зрізу) у заклепки;

n – кількість зрізів у заклепки;

m – кількість заклепок у з'єднанні.

Величина дотичного напруження складає:

$$\tau_{зр} = \frac{4F}{\pi \cdot d^2 \cdot n \cdot m} \leq [\tau_{зр}]; \quad \tau_{зр} = \frac{4 \cdot 100 \cdot 1000}{3,14 \cdot 10^2 \cdot 5 \cdot 5} = 50,95 \text{ МПа.}$$

Отримане значення дотичного напруження порівнюється зі значенням допущеного дотичного напруження для зсуву (зрізу), яке складає 90 МПа. Із порівняння дотичних напружень видно, що п'ять заклепок надійно забезпечують міцність з'єднання двох сталевих аркушів.

Наступним кроком є перевірка міцності з'єднання двох аркушів на основі умови міцності під час зминання. Це обумовлено тим, що спільно зі зсувом (зрізом) відбувається зминання бокової поверхні заклепок у місці її контакту з аркушами. У цьому місці йде передача навантаження. В результаті на поверхні заклепок виникають напруження зминання, $\sigma_{зм}$, які за сутністю є напруженнями стиснення. На рис. 18 показано напрям і розподіл напружень зминання по поверхні заклепки.

Основне припущення у процесі розрахунку деталей під час зминання полягає в тому, що замість бокової циліндрової поверхні заклепок приймається плоска поверхня, яка проходить через діаметр заклепок.

Умова міцності під час зминання характеризується формулою:

$$\sigma_{зм} = \frac{F_i}{S_{зм}} \leq [\sigma_{зм}], \quad (64)$$

де F_i – величина навантаження на одну заклепку;

$S_{зм}$ – площа зминання.

Відповідно до припущення також приймається, що зовнішня сила рівномірно розподіляється між заклепками. Тоді сила навантаження на одну заклепку визначається за формулою:

$$F_i = \frac{F}{m}. \quad (65)$$

Виходячи з умови міцності під час змінання кількість заклепок складає:

$$m = \frac{F}{[\sigma_{3M}] \cdot S_{3M}} = \frac{F}{[\sigma_{3M}] \cdot d \cdot \delta}; \quad m = \frac{100 \cdot 1000}{250 \cdot 10 \cdot 9} = 4,44. \quad (66)$$

Приймається, що одержана кількість заклепок дорівнює п'яти. Отже, для з'єднання двох сталевих аркушів за допомогою п'яти заклепок виконується умова міцності під час змінання.

Необхідно зауважити, що у з'єднанні сталевих аркушів, яке зображено на рис. 18, аркуші піддаються деформації розтягування. На це вказує напрям дії зовнішніх сил, які прикладені до аркушів. Тому проводиться перевірка міцності аркушів у процесі розтягування.

Раніше було зазначено, що розтягування – це вид деформації, за якого в поперечному перерізі бруса виникає один внутрішній силовий фактор – поздовжня сила. Для даного завдання прийнято, що розтягування – це додатна деформація [13]. У результаті дії поздовжньої сили в поперечному перерізі аркуша виникає нормальне напруження, $\sigma_{нр}$. Таке напруження в перерізі аркуша розподіляється рівномірно, якщо переріз віддалений від точки прикладення сили. У разі розташування перерізу близько до точки прикладення сили, напруження розподіляється нерівномірно.

Для виконання завдання застосовується гіпотеза плоских перерізів. Така гіпотеза встановлює, що переріз аркуша є плоским і перпендикулярним до лінії дії сили. Величина нормального напруження не змінюється в межах перерізу.

На сталевих аркушах зроблено п'ять отворів під заклепки. Ці отвори послаблюють переріз аркушів у місці їх розташування.

Тому для оцінки міцності аркушів у процесі розтягування має значення ширина аркушів та площа перерізу в місці розташування отворів.

На основі даних рис. 18 розраховується мінімальна ширина аркушів за формулою:

$$b = 2 \cdot 1,5 \cdot d + 4 \cdot 3 \cdot d = 2 \cdot 1,5 \cdot 10 + 4 \cdot 3 \cdot 10 = 150 \text{ мм.} \quad (67)$$

Знайдена величина ширини аркушів порівнюється з величиною, яка вказана в умові задачі. Результати порівняння свідчать, що прийнята ширина 170 мм є достатньою, оскільки перевищує мінімальну ширину аркушів.

Площа перерізу аркушів у місці розташування отворів визначається за формулою:

$$S = (b - m \cdot d) \cdot \delta = (170 - 5 \cdot 10) \cdot 9 = 1080 \text{ мм}^2. \quad (68)$$

На основі величини площі перерізу в найбільш ослабленому місці аркушів знаходиться нормальне напруження під час розтягування:

$$\sigma_{\text{нр}} = \frac{N}{S} = \frac{100 \cdot 1000}{1080} = 92,59 \text{ МПа.} \quad (69)$$

Одержане нормальне напруження значно менше від допустимого нормального напруження під час розтягування, яке дорівнює 140 МПа. Це означає, що в процесі деформації розтягування забезпечується міцність аркушів.

Таким чином, з'єднання із двох сталевих аркушів відповідає умовам міцності під час деформацій зсуву (зрізу), зминання, розтягування.

Приклад 17.

Провести дослідження вала механізму, який обертається з постійною кутовою швидкістю, ω , котра складає 20 рад/с. На валу розташовуються чотири шків. На цей вал через перший шків передається потужність, яка дорівнює 3 кВт. Така потужність розподіляється між шківками. У результаті величина потужності на другому, третьому, четвертому шківках відповідно дорівнює: 1,5 кВт, 1 кВт, 0,5 кВт. Охарактеризувати деформа-

цію, якій піддається вал механізму. Знайти найбільш доцільне розташування шківів на валу механізму.

Вал механізму зазнає впливу деформації кручення. Це такий вид деформації, за якої в поперечному перерізі вала виникає один внутрішній силовий фактор, яким є крутильний момент, M_k . Крутильні моменти діють у площинах, які перпендикулярні до поздовжньої осі [3; 13; 20].

Крутильні моменти на валу механізму виникають в результаті прикладення рушійного моменту до першого шківів. На решті шківів з'являються крутильні моменти опору. Одна з можливих схем розташування шківів на валу наведена на рис. 19.

Закручення вала відбувається за рахунок дії рушійного моменту M_1 та моментів опору M_2, M_3, M_4 . Тому моменти на рис. 19 мають різний напрям.

Для визначення зовнішніх моментів на шківів вала використовується пряма залежність між потужністю та кутовою швидкістю. На основі такої залежності знаходяться величини моментів на шківів, котрі відповідно дорівнюють:

$$M_1 = \frac{W}{\omega} = \frac{3000}{20} = 150 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad M_2 = \frac{1500}{20} = 75 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (70)$$

$$M_3 = \frac{1000}{20} = 50 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad M_4 = \frac{500}{20} = 25 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (71)$$

Для визначення крутильних моментів за перерізом вала застосовується метод перерізів. На рис. 19 вказано місця проведення перерізів. Кількість перерізів складає чотири. У кожному перерізі відзначається напрям дії зовнішніх моментів і крутильних моментів.

Для розрахунку крутильних моментів за перерізом вала виходять із умови рівноваги вала. Тоді крутильні моменти в перерізах дорівнюють сумі моментів зовнішніх сил, котрі діють на відсічену частину вала.

У перерізі 1-1 величина крутильного моменту дорівнює:

$$\sum_{i=2}^n M_i = 0; \quad -M_4 + M_{k1} = 0; \quad M_{k1} = M_4 = 25 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (72)$$

У перерізі 2-2 крутильний момент складає:

$$-M_4 - M_3 + M_{к2} = 0; \quad M_{к2} = M_4 + M_3 = 25 + 50 = 75 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (73)$$

Для перерізу 3-3 умова рівноваги вала записується у вигляді:

$$\begin{aligned} -M_4 - M_3 + M_1 - M_{к3} &= 0; \\ M_{к3} &= M_1 - M_4 - M_3 = 150 - 25 - 50 = 75 \text{ Н}\cdot\text{м}. \end{aligned} \quad (74)$$

У четвертому перерізі крутильний момент становить:

$$\begin{aligned} -M_4 - M_3 + M_1 - M_2 - M_{к4} &= 0; \\ M_{к4} &= M_1 - M_2 - M_3 - M_4 = 150 - 75 - 50 - 25 = 0. \end{aligned} \quad (75)$$

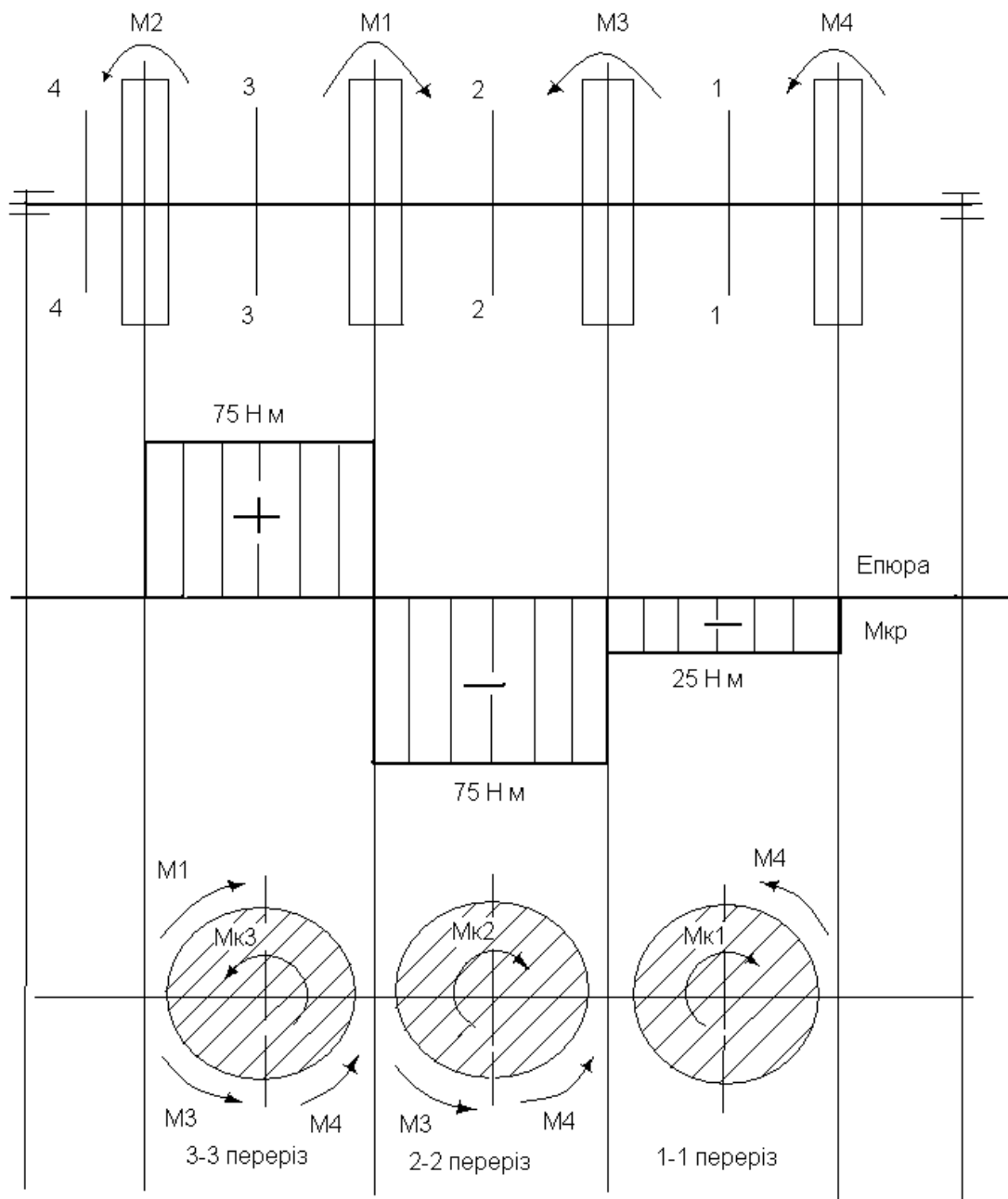


Рис. 19. Перша схема розміщення шківів на валу механізму

У процесі дослідження деформації велике значення має знак крутильного моменту. Крутильний момент приймається додатним тоді, коли зовнішні сили спрямовані за годинниковою стрілкою [13]. При цьому сам крутильний момент спрямований у протилежний бік.

Тоді на рис. 19 у перерізах 1-1 і 2-2 крутильні моменти є від'ємними. У перерізі 3-3 крутильний момент – додатний, оскільки рушійний момент перевищує моменти M_3 і M_4 .

На основі знайдених значень крутильних моментів будується еюра крутильних моментів, наведена на рис. 19. Із рис. 19 видно, що крутильні моменти мають найбільші значення на ділянках між шківками, де проходять перерізи 2-2 і 3-3.

Еюра крутильних моментів на рис. 19 характеризує зміну величини цих моментів за довжиною вала механізму. Отже, шляхом зміни положення рухового шківка досягається найбільш оптимальне розташування шківків на валу механізму. За оптимальне розміщення шківків на валу механізму приймається таке розташування, за якого досягаються найменші значення крутильних моментів. Відповідно до другого підходу необхідно, щоб близькими були найбільші значення додатних і від'ємних крутильних моментів.

На рис. 19 наведена схема розташування шківків на валу, на якій руханий шків розміщується в центрі вала. Другою схемою розташування шківків на валу механізму є схема, яка включає розміщення рушійного шківка біля опори вала. Така схема наведена на рис. 20.

На рис. 20 вказаний напрям моментів зовнішніх сил та виникнення і напрям крутильних моментів у перерізах вала. На основі даних рис. 20 визначаються величини крутильних моментів у перерізах.

У перерізі 1-1 величина крутильного моменту дорівнює:

$$-M_4 + M_{k1} = 0; \quad M_{k1} = M_4 = 25 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (76)$$

Для перерізу 2-2 умова рівноваги вала має вигляд:

$$-M_4 - M_3 + M_{k2} = 0; \quad M_{k2} = M_4 + M_3 = 25 + 50 = 75 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (77)$$

У перерізі 3-3 величина крутильного моменту складає:

$$-M_4 - M_3 - M_2 + M_{k3} = 0; \quad M_{k3} = M_2 + M_4 + M_3 = 75 + 25 + 50 = 150 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (78)$$

Відповідно до рис. 20, крутильні моменти в перерізах вала є від'ємними.

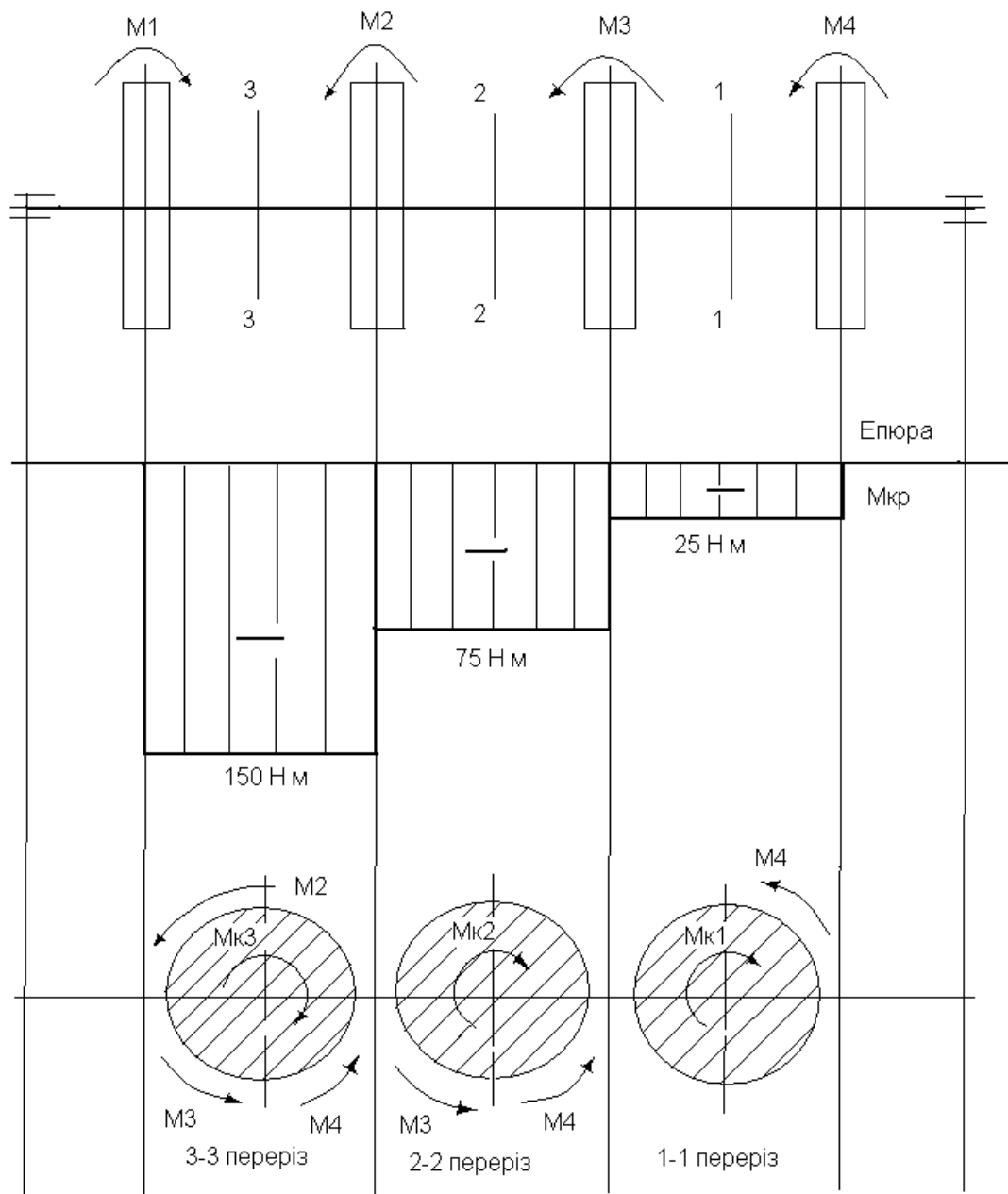


Рис. 20. Друга схема розташування шківів на валу механізму

Це обумовлено тим, що моменти M_2 , M_3 , M_4 спрямовані проти годинникової стрілки. На основі величини крутильних моментів та їх знака будується епюра крутильних моментів, яка наведена на рис. 20.

Із рис. 20 видно, під час розміщення рушійного шківя біля опори вала виникає значний крутильний момент на ділянці, де проходить переріз 3-3, тобто порядок із рушійним шківом.

Для вибору оптимальної схеми розташування шківів на валу механізму проводиться порівняння епюр крутильних моментів, які наведені на

рис. 19 і 20. Менші значення крутильних моментів одержуються в разі розміщення рушійного шківa близько до центра вала, тобто відповідно до схеми, наведеної на рис. 19. Крім того, на схемі рис. 19 досягається найменша різниця між найбільшими додатним і від'ємним крутильними моментами.

Приклад 18.

Балка квадратного перерізу заземлена з правого кінця. Матеріалом балки є вуглецева сталь. До незакріпленого кінця балки прикладений момент M , який дорівнює 20 кН·м. На відстані 2 і 4 м від точки дії моменту прикладені сили, F_1 і F_2 , які відповідно складають 18 та 40 кН. Встановити характер деформації, якої зазнає балка. Побудувати епюри сил та моментів сил. Встановити небезпечний переріз балки та визначити розміри балки, якщо допущене напруження сталі під час розтягування і стиснення складає 160 МПа.

Для виконання завдання спочатку будується схема закріплювання балки та дії зовнішніх сил і моментів. Така схема наведена на рис. 21.

Спосіб закріплення балки та характер навантаження балки вказують, що балка піддається деформації згинання. Згинання виникає від дії моментів зовнішніх сил, які діють у площині, що проходить через геометричну вісь балки. Якщо в поперечному перерізі балки виникає тільки один внутрішній силовий фактор – згинальний момент, то це буде чисте згинання. У разі виникнення в поперечному перерізі балки двох внутрішніх силових факторів – поперечної сили і згинального моменту, проявляється поперечне згинання [9; 13].

Для визначення внутрішніх силових факторів використовується метод перерізів. Балка розподіляється на ділянки. Кожна ділянка обмежується точками прикладення зовнішніх сил. На ділянках проводяться перерізи, і в кожному перерізі розглядаються внутрішні силові фактори.

Величина внутрішніх силових факторів визначається за правилами. Поперечна сила в перерізі дорівнює алгебраїчній сумі проекцій зовнішніх сил на вісь OY .

Згинальний момент у перерізі дорівнює алгебраїчній сумі моментів зовнішніх сил, які діють на відсічену частину балки. Моменти розглядаються відносно нейтральної осі, яка співпадає з віссю OX .

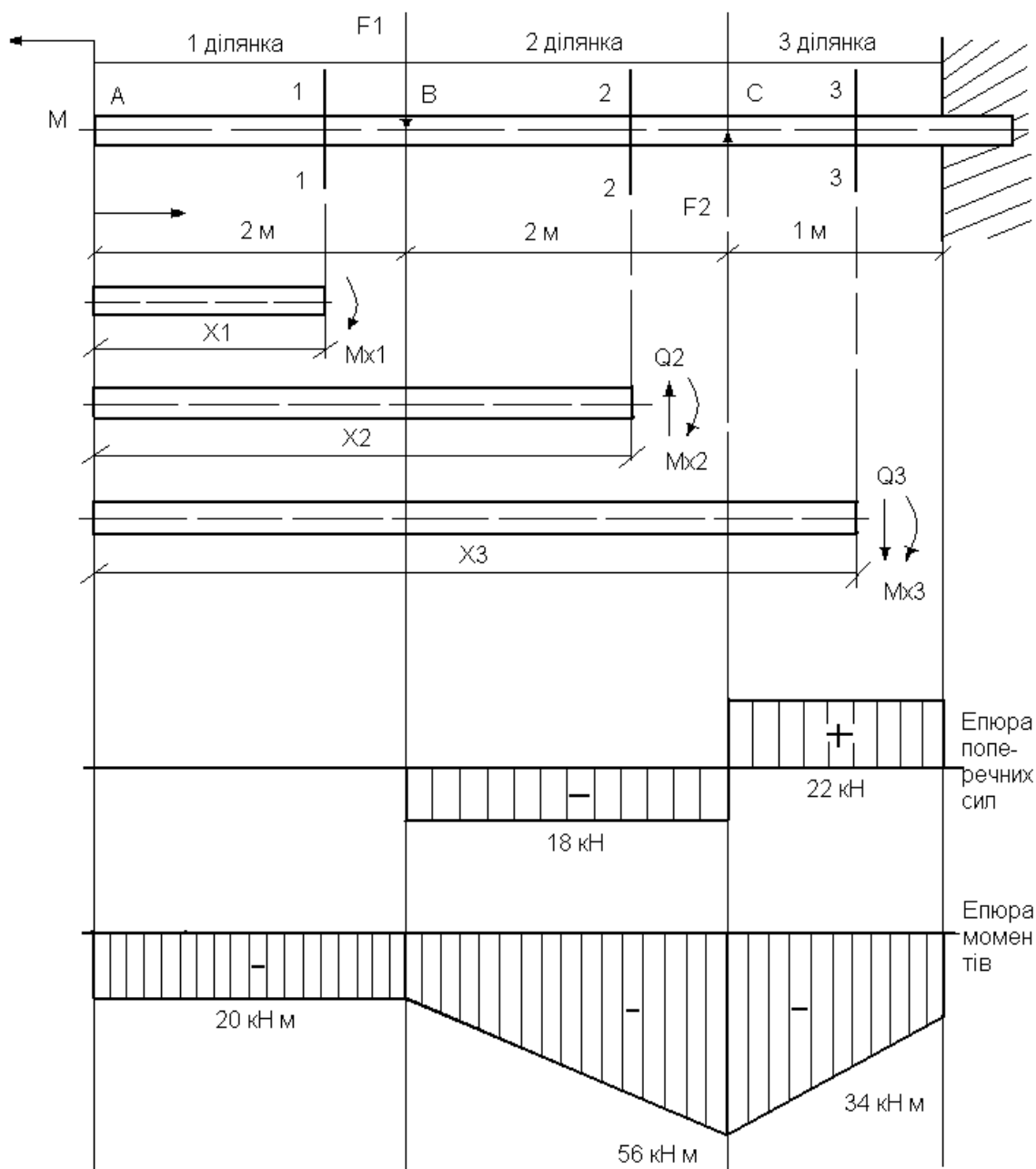


Рис. 21. Схема дії зовнішніх сил, моментів сил на балку та епюри поперечних сил і згинальних моментів

Знак поперечної сили приймається додатним, якщо поперечна сила намагається повернути переріз за годинниковою стрілкою. У разі орієнтування на зовнішні сили додатний знак поперечної сили з'являється тоді, коли зовнішні сили піднімають лівий кінець балки або опускають правий кінець балки [9; 13].

Згинальний момент приймається додатним, якщо зовнішні сили, які діють на лівий кінець балки, повертають його за годинниковою стрілкою,

а сили, які діють на правий кінець балки, обертають його проти годинникової стрілки. У результаті балка згинається випуклістю вниз [9; 13].

На основі правил визначення знака в кожному перерізі на рис. 21 вказується напрям поперечних сил і згинальних моментів.

На ділянці 1 діє тільки момент зовнішніх сил. Величина згинального моменту дорівнює:

$$M_{x1} = \sum_{i=1}^n M_i = -M = -20 \text{ кН}\cdot\text{м}. \quad (79)$$

Згинальний момент, M_{x1} , приймається від'ємним, оскільки зовнішній момент має напрям, протилежний руху годинникової стрілки. У результаті балка згинається випуклістю вгору.

Крім того, на першій ділянці згинальний момент незмінний. Сили пружності, які виникають у перерізі 1-1, утримують першу ділянку в рівновазі. У стані рівноваги поздовжня сила дорівнює нулю. Тому в поперечному перерізі балки виникає тільки один внутрішній силовий фактор – згинальний момент. У результаті на першій ділянці проявляється чисте згинання.

Друга ділянка балки на рис. 21 включає частину балки від вільного кінця до перерізу 2-2. Довжина цієї ділянки дорівнює, X_2 . На ділянці діють момент зовнішніх сил, M , та зовнішня сила, F_1 .

Величина поперечної сили в перерізі 2-2 дорівнює алгебраїчній сумі проєкцій зовнішніх сил на вісь ОУ:

$$Q_2 = \sum_{i=1}^n F_{iy} = -F_1 = -18 \text{ кН}. \quad (80)$$

Поперечна сила, Q_2 , незмінна уздовж усієї другої ділянки. Ця сила викликає деформацію зсуву. Знак поперечної сили приймається від'ємним, оскільки вона намагається розвернути переріз 2-2 проти годинникової стрілки, а зовнішня сила, F_1 , опускає лівий кінець балки.

Величина згинального моменту в перерізі 2-2 дорівнює алгебраїчній сумі моментів сил, які діють на другій ділянці балки:

$$M_{x2} = \sum_{i=1}^n M_{ix} = -M - F_1(X_2 - 2). \quad (81)$$

Із одержаної формули видно, що згинальний момент змінюється за лінійним законом. Це вказує на те, що епюра згинальних моментів на ділянці 2-2 описується прямою лінією.

Оскільки на другій ділянці X_2 змінюється за інтервалом від 2 до 4 м, то визначається згинальний момент у точках В і С:

$$M_{xB} = -20 - 18 \cdot (2 - 2) = -20 \text{ кН}\cdot\text{м}; \quad M_{xC} = -20 - 18 \cdot (4 - 2) = -56 \text{ кН}\cdot\text{м}. \quad (82)$$

Знак згинального моменту приймається від'ємним. Це обумовлено тим, що зовнішні сили обертають лівий кінець балки проти годинникової стрілки. У результаті балка згинається випуклістю вгору.

Отже, на другій ділянці, в поперечному перерізі 2-2, з'являються два внутрішніх силових фактора: поперечна сила і згинальний момент. Таке згинання є поперечним.

Третя ділянка балки на рис. 21 включає частину балки від вільного кінця до перерізу 3-3. Довжина цієї ділянки балки складає X_3 . На ділянці діють момент зовнішніх сил, M , та зовнішні сили: F_1 , F_2 .

Величина поперечної сили в перерізі 3-3 дорівнює алгебраїчній сумі проєкцій на вісь ОУ усіх зовнішніх сил, які діють на третій ділянці балки:

$$Q_3 = -F_1 + F_2 = -18 + 40 = 22 \text{ кН}. \quad (83)$$

Поперечна сила приймається додатною, оскільки вона намагається повернути переріз 3-3 за годинниковою стрілкою, а зовнішні сили піднімають лівий кінець балки.

Згинальний момент у перерізі 3-3 дорівнює алгебраїчній сумі моментів зовнішніх сил, які діють на третій ділянці балки:

$$M_{x3} = -M - F_1 \cdot (X_3 - 2) + F_2 \cdot (X_3 - 4). \quad (84)$$

Наведена формула характеризує змінення згинального моменту на ділянці 3-3 за лінійним законом. Це означає, що епюра моментів на третій ділянці балки теж відображається прямою лінією.

Положення перерізу 3-3 може змінюватися від $X_3 = 4$ м до $X_3 = 5$ м. При $X_3 = 4$ м величина згинального моменту в перерізі 3-3, тобто в точці С дорівнює:

$$M_{x3} = -20 - 18 \cdot (4 - 2) + 40 \cdot (4 - 4) = -56 \text{ кН}. \quad (85)$$

При $X_3 = 5$ м величина згинального моменту в перерізі 3-3 складає:

$$M_{x3} = -20 - 18 \cdot (5 - 2) + 40 \cdot (5 - 4) = -34 \text{ кН}. \quad (86)$$

Знак згинального моменту на третій ділянці приймається від'ємним. Це пояснюється тим, що зовнішній момент, M , і зовнішня сила, F_1 , які діють на лівий кінець балки, намагаються повернути його проти годинникової стрілки. Вони превалюють на третій ділянці над силою F_2 . Результати розрахунку величин поперечних сил та згинальних моментів використовуються для побудови епюри цих сил і моментів.

Спочатку будується епюра поперечних сил. Така епюра на рис. 21 зображена прямими лініями, які паралельні поздовжній осі балки. Відповідно до епюри на першій ділянці балки величина поперечної сили дорівнює нулю. На другій і третій ділянках балки, у перерізах, виникають поперечні сили, оскільки до балки прикладені зовнішні сили. На епюрі поперечних сил з'являються стрибки на величину прикладених сил.

Епюра згинальних моментів на першій ділянці балки характеризується прямою лінією, яка паралельна поздовжній осі балки. Це обумовлено тим, що на ділянці відбувається чисте згинання. На другій і третій ділянках згинальний момент змінюється за лінійним законом.

Із рис. 21 видно, що на епюрі згинальних моментів присутній екстремум. За модулем екстремум є найбільшою величиною згинального моменту. У місці найбільшого моменту знаходиться небезпечний переріз балки.

На основі умови міцності розраховуються розміри балки в небезпечному перерізі. Для цього визначається момент опору балки, W_x :

$$\sigma_{зг} = \frac{M_x}{W_x} \leq [\sigma_{зг}]; \quad W_x \geq \left[\frac{M_x}{\sigma_{зг}} \right] \geq \frac{56 \cdot 10^6}{160} \geq 350 \cdot 10^3 \text{ мм}^3. \quad (87)$$

Розміри квадратного перерізу балки складають:

$$W_x = \frac{a^3}{6}; \quad a \geq \sqrt[3]{6W_x} \geq \sqrt[3]{6 \cdot 350} \geq 12,8 \text{ см}; \quad (88)$$

$$S = a^2 = 12,8^2 = 163,8 \text{ см}^2. \quad (89)$$

Знайдені розміри балки відповідають умові міцності балки під час згинання.

Контрольне завдання № 1

1. Розкрити роль фазових переходів у визначенні агрегатного стану речовин. Залежно від яких параметрів існують різні агрегатні стани речовин?

2. Провести дослідження діаграми стану залізо – цементит. Встановити й охарактеризувати критичні лінії, які має діаграма стану залізо – цементит. За допомогою діаграми стану залізо – цементит дослідити склад і структуру металевго сплаву, який містить 3 % мас. вуглецю.

3. Дослідити дії сил на підйомний пристрій, який піднімається за допомогою каната. Вага каната складає 2000 Н. Підйомний пристрій вміщує 40 000 Н вугілля. Скласти схему дії сил на канат. Визначити реакції, які виникають у результаті дії сил.

Контрольне завдання № 2

1. Розкрити особливості кристалічних решіток металів. Чому неоднаковими є фізичні, механічні властивості кристалів у різних напрямках?

2. Охарактеризувати критичні точки та лінії діаграми стану залізо – графіт. Встановити особливості цієї діаграми порівняно з діаграмою стану залізо – цементит. На основі діаграми стану залізо – цементит провести дослідження металевго сплаву, який вміщує 2 % мас. вуглецю.

3. Дослідити дії сил у двоопорній балки. Лівою та правою опорою балки є нерухома опора. Довжина балки дорівнює 10 м. Праворуч від лівої опори, на відстані 1 м, прикладена сила 20 кН. Праворуч від правої опори, на відстані 1 м, діє сила 10 кН під кутом 45° . Скласти розрахунково-графічну схему дії сил і визначити реакції опор.

Контрольне завдання № 3

1. Провести обґрунтування виникнення дефектів кристалічних решіток. Які дефекти пов'язані з вакансіями і порушенням правильного чергування площин у кристалевій решітці?

2. Провести дослідження впливу вуглецю та інших постійних домішок на властивості сталей. За допомогою діаграми стану залізо – цементит дослідити склад та структуру металевго сплаву, котрий містить 4 % мас. вуглецю.

3. Провести дослідження дії сил, прикладених до твердого тіла в одній точці. Одна сила дорівнює 10 кН, друга сила – 15 кН. Кут між напрямками дії сил дорівнює 120° . Охарактеризувати методи дослідження дії сил.

Контрольне завдання № 4

1. Провести дослідження факторів, які визначають структуру матеріалів. З позицій термодинаміки вказати стан, який характерний для рідких речовин.

2. На основі діаграми стану залізо – цементит провести дослідження складу та структури металевго сплаву, котрий вміщує 5 % мас. вуглецю.

3. Дослідити дії сил на вагонетку для підйому людей. Вагонетка рухається за допомогою каната по похилій площині. Кут нахилу площини дорівнює 30° . Вага вагонетки складає 20 кН. У вагонетці знаходяться шість робітників. Середня вага робітника 700 Н. Скласти схему дії сил на вагонетку і визначити реакції зв'язків.

Контрольне завдання № 5

1. Дати характеристику компонентів залізобуглецевих сплавів. Вказати роль кожного компонента у формуванні властивостей сплавів.

2. За допомогою діаграми стану першого типу дослідити склад і структуру металевго сплаву, який вміщує 45 % мас. сурми. Температура кристалізації сплаву дорівнює 300°C .

3. На один із поверхів будинку робочий піднімає вантаж 3 кН за допомогою канату, який перекинутий через шків. Шків нерухомо закріплений на станині підйомного пристрою. Робочий натягує канат під кутом 60° . Встановити вид системи сил, визначити напрям, величину реакції, яка виникає в опорі шківа.

Контрольне завдання № 6

1. Охарактеризувати типи кристалічних решіток матеріалів. Які параметри використовуються в процесі дослідження кристалічних решіток матеріалів?

2. На основі діаграми стану залізо – цементит дослідити склад та структуру металевго сплаву, котрий містить 3 % мас. вуглецю?

3. Дослідити дії сил на вагонетку, яка переміщується за допомогою каната. Вага вагонетки 250 кН. Кріплення каната до вагонетки проведено на рівні осей коліс. Діаметр колеса дорівнює 300 мм. Відстань між осями передніх і задніх коліс дорівнює 1 м. Вагонетка переміщується під дією сили 700 кН. Скласти схему дії сил на вагонетку. Знайти силу опору руху вагонетки і силу тиску коліс на рейки.

Контрольне завдання № 7

1. Розкрити поняття фазових переходів. Охарактеризувати зміну термодинамічних властивостей речовин під час фазових переходів?

2. За допомогою діаграми стану другого типу дослідити склад і структуру металевго сплаву, якій вміщує 50 % мас. нікелю. Сплав кристалізується при температурі 1150 °С.

3. Прямокутна пластина важить 600 Н. Довжина пластини 3 м. Одним кінцем пластина спирається на гладку горизонтальну поверхню. На висоті 1 м пластина спирається на двогранний прямий кут. У результаті утворюється кут 60° із горизонтальною поверхнею. Скласти схему дії сил на пластину і реакції в опорах. Знайти реакції опор.

Контрольне завдання № 8

1. Охарактеризувати дефекти кристалічних решіток матеріалів. Розкрити вплив дефектів на фізичні та механічні властивості матеріалів.

2. На основі діаграми стану залізо – цементит досліджувати стан і структуру металевго сплаву, який містить 6 % мас. вуглецю.

3. Дослідити рух точок, які розташовані на колесі платформи трамваю. Трамвай рухається прямолінійно трамвайним шляхом. Швидкість точки центра колеса дорівнює 5 м/с. Скласти схему руху колеса і визначити швидкості точок, які розташовані на ободі колеса трамваю.

Контрольне завдання № 9

1. Провести порівняльні дослідження гомогенних і гетерогенних матеріалів. Вказати їх відмінні особливості. Як змінюються термодинамічні властивості речовин під час фазових переходів?

2. За допомогою діаграми стану першого типу дослідити склад та структуру металевого сплаву, який вміщує 4 % мас. вуглецю. Сплав кристалізується при температурі 290 °С.

3. Підйомний пристрій включає нерухому опору і блок, який прикріплений до опори. Через блок перекинутий ланцюг. До вертикальної частини ланцюга підвішений вантаж. Другий кінець ланцюга закріплено до вертикальної стіни. Кут між лініями дії реакції вертикальної частини ланцюга і реакції нерухомої опори дорівнює 45°. Вага вантажу 200 Н. Скласти схему роботи підйомного пристрою. Знайти реакції ланцюга та опори блока.

Контрольне завдання № 10

1. Розкрити роль фазових переходів у визначенні агрегатного стану речовин. Які параметри застосовуються для характеристики різних агрегатних станів речовин?

2. Охарактеризувати особливості діаграми стану першого типу. На основі діаграми стану свинець – сурма дослідити склад і структуру металевого сплаву, який включає 45 % мас. сурми. Температура кристалізації сплаву дорівнює 300 °С.

3. Дослідити роботу підйомного пристрою, який піднімає вантаж з глибини 200 м. До моменту досягнення найбільшої швидкості вантаж проходить шлях, який дорівнює 50 м. Найбільша швидкість 6 м/с. Прискорення складає 0,5 м/с². Охарактеризувати види руху вантажу у процесі його підйому і визначити час підйому вантажу.

Контрольне завдання № 11

1. Обґрунтувати фактори, які визначають фізичні властивості твердих тіл. У чому особливість структури кристалів?

2. За допомогою діаграми стану залізо – цементит дослідити склад і структуру металевого сплаву, який містить 5 % мас. вуглецю?

3. На валу електродвигуна встановлений шків для плоскопасової передачі. За допомогою такого гнучкого зв'язку електродвигун передає крутільний момент на механізм. Діаметр шківа складає 300 мм. Через 8 секунд кількість оборотів електродвигуна досягає 700 об./хв. Вказати лінійні та кутові характеристики шківа та визначити їх кількісне значення.

Контрольне завдання № 12

1. Провести дослідження діаграм стану для двокомпонентних систем. Пояснити, як створюються діаграми стану сплавів. За яких умов відбуваються процеси на діаграмах стану?

2. На основі діаграми стану четвертого типу дослідити вплив хімічної сполуки на склад і структуру металевих сплавів.

3. Дослідити систему з двох стрижнів. Верхній стрижень за допомогою шарніра одним кінцем прикріплено до вертикальної стіни під кутом 60° . Нижній стрижень під кутом 30° також одним кінцем прикріплено до вертикальної стіни. Вільні кінці стрижнів з'єднані за допомогою шарніра. У місці з'єднання стрижнів підвішено вантаж 200 Н. Скласти схему дії сил реакцій зв'язків і визначити їх величину.

Контрольне завдання № 13

1. Провести дослідження параметрів, які характеризують кристалічні решітки. Розкрити сутність явищ анізотропії, поліморфізму кристалічних фаз.

2. За допомогою діаграми стану залізо – цементит дослідити склад і структуру металевого сплаву, якій вміщує 2,14 % мас. вуглецю.

3. Провести дослідження руху локомотива на ділянці шляху, який має закруглення. Радіус закруглення дорівнює 100 м. Перед закругленням швидкість локомотива складала 3 м/с. За рахунок опору руху на закругленій ділянці швидкість локомотива знизилась до 2 м/с за 40 с. Скласти схему руху локомотива на закругленій ділянці шляху. Визначити величину зміни повного прискорення на вказаній ділянці шляху.

Контрольне завдання № 14

1. Обґрунтувати виникнення дефектів кристалічних решіток. Які дефекти пов'язані з вакансіями та порушенням правильного чергування площин у кристалічній решітці?

2. На основі діаграми стану третього типу дослідити склад та структуру металевго сплаву, який містить 5,5 % мас. міді.

3. Сталевий брус включає два перерізи. Площа меншого перерізу, S_1 , дорівнює $2,0 \text{ см}^2$, а площа більшого перерізу, S_2 , складає 4 см^2 . Частина бруса з більшим перерізом жорстко закріплена в стіні. У місцях бруса з меншим перерізом прикладені сили $F_1 = 20 \text{ кН}$, $F_2 = 30 \text{ кН}$. У місці бруса з більшим перерізом діє сила $F_3 = 17 \text{ кН}$. Скласти схему кріплення бруса. За довжиною бруса побудувати епюри поздовжніх сил та нормальних напружень.

Контрольне завдання № 15

1. Охарактеризувати дефекти кристалічної решітки, які знижують стійкість до деформації зсуву, зменшують пластичність, міцність, змінюють орієнтацію кристалічної решітки.

2. За допомогою діаграми стану другого типу дослідити склад і структуру металевго сплаву, який вміщує 35 % мас. нікелю.

3. Водій машини, яка рухається зі швидкістю 60 км/год , за 300 м до перехрестя розпочинає гальмування. Перехрестя розташоване на підйомі заввишки $2,5 \text{ м}$. Скласти схему руху машини і визначити силу опору руху машини, яка виникає у процесі гальмування машини. Маса машини становить 20 кН . Машина рухається рівносповільнено. Сила тертя дорівнює 70 кН .

Контрольне завдання № 16

1. Обґрунтувати ознаки, які характеризують тверді матеріали. Розкрити особливості структури кристалічних матеріалів.

2. На основі діаграми стану залізо – цементит дослідити склад і структуру металевго сплаву, який містить 4,3 % мас. вуглецю.

3. На верстаті проводиться обробка деталі діаметром 100 мм. Кутова частота обертання вала, на якому закріплена деталь, складає 100 об./хв. Обробка проводиться за допомогою сили різання, величина якої дорівнює 350 кН. Скласти схему обробки деталі на верстаті і визначити потужність верстата, яку він витрачає на обробку деталі, якщо коефіцієнт корисної дії (ККД) верстата складає 0,85.

Контрольне завдання № 17

1. Розкрити особливості структури некристалічних твердих тіл. Які речовини відносяться до некристалічних матеріалів? Як враховується кількість фаз у класифікації матеріалів?

2. За допомогою діаграми стану першого типу дослідити склад і структуру металевого сплаву, який вміщує 13 % мас. сурми.

3. Охарактеризувати умову міцності під час розтягування, стиснення та типи розрахунків на міцність. Встановити тип розрахунку фундаменту споруди прямокутної форми, який несе рівномірно-розподілене навантаження, $q = 900$ кН/м, довжиною $l = 6$ м і шириною $b = 2$ м. Допущене напруження для ґрунту має значення $[\sigma_c] = 0,25$ МПа.

Контрольне завдання № 18

1. Провести дослідження чинників, які застосовуються для класифікації металів. На основі результатів дослідження розкрити поняття металу. Чим визначаються властивості металів?

2. На діаграмі стану залізо – графіт знайти критичні точки та лінії і вказати їх параметри.

3. Два сталевих аркуша з'єднані чотирма заклепками. Кожна заклепка має діаметр 10 мм. Заклепки розташовані в ряд. Крок між заклепками складає 25 мм. На таке з'єднання аркушів діють сили, F , величина яких дорівнює 70 кН. Допущені напруження під час зсуву (зрізу), зминання, розтягування відповідно дорівнюють: $[\tau_{ср}] = 90$ МПа; $[\sigma_{см}] = 250$ МПа; $[\sigma_p] = 130$ МПа. Скласти схему з'єднання сталевих аркушів. Провести перевірку міцності з'єднаних аркушів, якщо товщина аркушів, δ , дорівнює 5 мм, ширина аркушів, b , складає 150 мм.

Контрольне завдання № 19

1. Обґрунтувати причини розробки металевих сплавів. Розкрити основні поняття, які характеризують склад і структуру металевих сплавів.

2. На основі діаграми стану третього типу дослідити склад і структуру металевого сплаву, який містить 33,6 % мас. міді.

3. Провести дослідження вала механізму, який обертається з постійною кутовою швидкістю, ω , яка складає 15 рад./с. На валу розташовуються три шків. На цей вал через перший шків передається потужність, яка дорівнює 2 кВт. Така потужність розподіляється між шківками. У результаті величина потужності на другому і третьому шківках відповідно дорівнює 1,25 кВт і 0,75 кВт. Скласти схему розташування шківів на валу механізму. Охарактеризувати деформацію, якої зазнає вал механізму. Знайти найбільш доцільне розташування шківів на валу механізму.

Контрольне завдання № 20

1. Провести дослідження залежності діаграми стану від властивостей металевих сплавів. Як змінюються властивості металевих сплавів?

2. Охарактеризувати утворення сірого та білого чавуну на основі складу і структури фаз. У чому відміна ковкого і високоміцного чавуну?

3. Балка квадратного перерізу защемлена з правого кінця. Матеріалом балки є вуглецева сталь. До незакріпленого кінця балки прикладений момент M , який дорівнює 30 кН·м. На відстані 2,5 м і 4 м від точки дії моменту прикладені сили F_1 і F_2 , які відповідно складають 20 кН та 30 кН. Встановити характер деформації, якої зазнає балка. Побудувати епюри сил та моментів сил. Визначити небезпечний переріз балки і розміри балки, якщо допущене напруження сталі під час розтягування і стиснення складає 140 МПа.

Контрольне завдання № 21

1. Охарактеризувати правило відрізків. Провести дослідження діаграм стану першого і другого типу на основі правила відрізків. Вказати

можливість визначення співвідношення фаз і кількість фаз у металевих сплавах.

2. Які діаграми стану характеризують сплави, компоненти яких необмежено розчинені один в одному. За допомогою діаграми стану мідь – нікель дослідити склад і структуру металевого сплаву, який містить 50 % мас. нікелю. Сплав кристалізується при температурі 1150 °С.

3. Мостовий кран цеха піднімає вантаж – металеву заготовку масою 3000 Н. Підйом вантажу здійснюється рівноприскорено. Величина прискорення складає 1,5 м/с². Вантаж утримується за допомогою двох бокових і одного центрального тросів. Скласти схему підйому вантажу за допомогою крану і визначити реакції бокових тросів.

Контрольне завдання № 22

Провести розрахунково-графічне дослідження розмірів поверхні вала, які наведені в табл. 3. Визначити граничні розміри, відхилення, допущення для поверхні вала, придатність дійсного розміру, характер положення поля допущення відносно номінального розміру вала. Встановити вид спряження вала з отвором. Вказати зазор або натяг та позначити посадки за допомогою численних значень граничних відхилень.

Таблиця 3

Вихідні розміри поверхонь вала та отвору

Варіант	Позначення розміру поверхні деталі на кресленні, мм			
	Дійсний розмір поверхні деталі, мм			
	Вал			Отвір
1	2	3	4	5
1	$10^{+0,02}_{-0,01}$	$10^{+0,03}_{+0,02}$	$10^{-0,01}_{-0,02}$	$10^{+0,01}$
	9,99	10,01	10,0	
2	$10^{+0,25}_{+0,1}$	$10^{+0,3}_{-0,1}$	$10^{-0,2}_{-0,3}$	$10^{+0,2}$
	10,3	10,2	9,7	

Закінчення табл. 3

1	2	3	4	5
3	$10_{+0,035}^{+0,05}$	$10_{+0,02}^{+0,04}$	$10_{-0,03}^{-0,01}$	$10^{+0,03}$
	10,0	10,2	9,8	
4	$10_{+0,1}^{+0,25}$	$10_{-0,1}^{+0,3}$	$10_{-0,3}^{-0,2}$	$10^{+0,2}$
	10,35	9,97	10,01	
5	$10_{-0,01}^{+0,02}$	$10_{+0,02}^{+0,03}$	$10_{-0,02}^{-0,01}$	$10^{+0,01}$
	9,99	10,04	9,97	
6	$10_{+0,035}^{+0,05}$	$10_{+0,02}^{+0,04}$	$10_{-0,03}^{-0,01}$	$10^{+0,03}$
	10,03	10,05	9,85	
7	$15_{-0,2}^{+0,3}$	$15_{-0,2}^{+0,2}$	$15_{-0,3}^{-0,1}$	$15^{+0,1}$
	14,90	14,70	15,10	
8	$18_{+0,03}^{+0,05}$	$18_{+0,02}^{+0,03}$	$18_{-0,02}^{+0,02}$	$18^{+0,03}$
	18,02	18,01	17,90	
9	$18_{+0,01}^{+0,04}$	$18_{+0,01}^{+0,03}$	$18_{-0,01}^{+0,02}$	$18^{+0,03}$
	18,00	18,05	18,02	
10	$30_{-0,1}^{+0,15}$	$30_{-0,3}^{-0,2}$	$30_{+0,1}^{+0,3}$	$30^{+0,1}$
	29,95	29,65	10,4	
11	$65_{-0,02}^{-0,01}$	$65_{-0,04}^{+0,03}$	$65_{+0,02}^{+0,04}$	$65^{+0,01}$
	64,97	65,01	65,03	
12	$80_{+0,01}^{+0,02}$	$80_{-0,01}^{+0,01}$	$80_{-0,02}^{-0,01}$	$80^{+0,015}$
	80,05	80,00	79,96	

Контрольні завдання № 23

Провести розрахунково-графічне дослідження розмірів отвору, що охоплює вал. Розрахункові та дійсні розміри отвору наведені в табл. 4. Визначити граничні розміри, відхилення, допущення для отвору, придат-

ність дійсного розміру, а також характер положення поля допущення відносно номінального розміру отвору. Встановити вид спряження отвору з валом. Вказати зазор або натяг і позначити посадки за допомогою числових значень граничних відхилень.

Таблиця 4

Вихідні розміри поверхонь отвору та вала

Варіант	Позначення розміру поверхні деталі на кресленні, мм			
	Дійсний розмір поверхні деталі, мм			
	Отвір			Вал
1	2	3	4	5
1	$10^{+0,02}_{-0,01}$	$10^{+0,03}_{+0,02}$	$10^{-0,01}_{-0,02}$	$10^{+0,01}$
	10,03	10,01	10,0	
2	$10^{+0,03}_{-0,01}$	$10^{+0,03}_{+0,02}$	$10^{-0,01}_{-0,03}$	$10^{+0,015}_{-0,01}$
	9,98	10,02	10,00	
3	$15^{-0,01}_{-0,03}$	$15^{+0,01}_{-0,01}$	$15^{+0,02}_{+0,01}$	$15_{\pm 0,02}$
	14,99	15,03	14,98	
4	$15^{-0,01}_{-0,04}$	$15^{+0,01}_{-0,02}$	$15^{+0,02}_{+0,01}$	$15^{+0,015}_{-0,02}$
	14,95	15,01	15,03	
5	$18^{+0,01}_{-0,03}$	$18^{+0,04}_{+0,02}$	$18^{-0,03}_{-0,05}$	$18^{+0,025}_{-0,02}$
	18,02	18,03	17,98	
6	$18^{+0,02}_{-0,03}$	$18^{+0,03}_{+0,01}$	$18^{-0,01}_{-0,04}$	$18^{+0,015}_{-0,02}$
	18,03	18,01	17,96	
7	$18^{+0,01}_{-0,03}$	$18^{+0,04}_{+0,02}$	$18^{-0,03}_{-0,05}$	$18^{+0,02}_{-0,03}$
	18,00	18,05	17,90	

Закінчення табл. 4

1	2	3	4	5
8	$30^{+0,01}_{-0,02}$	$30^{+0,03}_{+0,02}$	$30^{-0,015}_{-0,03}$	$30^{+0,02}_{-0,015}$
	29,97	30,03	29,96	
9	$30^{+0,04}_{-0,01}$	$30^{+0,03}_{+0,01}$	$30^{-0,02}_{-0,03}$	$30^{+0,025}_{-0,01}$
	29,98	30,04	29,97	
10	$30^{+0,03}_{+0,01}$	$30^{-0,01}_{-0,02}$	$30^{-0,02}_{-0,03}$	$30^{+0,03}_{-0,02}$
	30,04	29,93	29,98	
11	$40^{+0,03}_{+0,02}$	$40^{+0,04}_{+0,02}$	$40^{-0,03}_{-0,05}$	$40^{+0,035}_{+0,025}$
	40,04	40,02	39,97	
12	$40^{+0,04}_{+0,02}$	$40^{+0,03}_{+0,01}$	$40^{-0,02}_{-0,04}$	$40^{+0,025}_{-0,02}$
	40,02	40,04	39,90	

Використана література

1. Аркуша А. И. Техническая механика. Теоретическая механика. Сопротивление материалов : учебник / А. И. Аркуша. – М. : Высшая школа, 2003. – 352 с.
2. Баранов М. А. Расчетные задания по теоретической механике : учебн. пособ. / М. А. Баранов. – Барнаул : Изд. Алтайского гос. техн. ун-та им. И. И. Ползунова, 2011. – 256 с.
3. Валькова Т. А. Теоретическая механика в примерах и задачах : учебн. пособ. / Т. А. Валькова, Н. В. Еркаев, К. А. Редкоус ; под. общ. ред. Т. А. Вальковой. – Красноярск ; ИПЦ ПИ СФУ, 2007. – 184 с.
4. Ганевский Г. М. Допуски, посадки и технические измерения в машиностроении : учебник / Г. М. Ганевский, И. И. Гольдин. – М. : Профобриздат, 2002. – 288 с.
5. Губайдулина Р. Х. Сборник задач по теоретической механике с вариантами тестовых заданий : учебн. пособ. / Р. Х. Губайдулина. – Юрга : Изд. Юргинского технологического института (филиал) Томского политехнического университета, 2008. – 100 с.
6. Диевский В. А. Теоретическая механика. Сборник заданий : учебн. пособ. / В. А. Диевский, И. А. Малышева. – 2 изд., испр. – СПб. : Изд. "Лань", 2009. – 192 с.
7. Зайцев С. А. Допуски, посадки и технология измерения в машиностроении : учебник / С. А. Зайцев, А. Д. Куранов, А. Н. Толстов. – М. : Академия, 2002. – 238 с.
8. Елизаров Ю. Д. Материаловедение для экономистов : учебник / Ю. Д. Елизаров, А. Ф. Шепелев. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2008. – 576 с.
9. Ивченко В. А. Техническая механика : учебн. пособ. / В. А. Ивченко. – М. : ИНФРА-М, 2003. – 156 с.
10. Ицкович Г. М. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов : учебник / Г. М. Ицкович. – М. : Высшая школа, 2001. – 592 с.
11. Кострыкин М. И. Задачник по теоретической механике. – М. : Высшая школа, 1968. – 137 с.
12. Манжосов В. К. Теоретическая механика. Часть 2. Динамика. Аналитическая механика : учебн. пособ. / В. К. Манжосов, О. Д. Новикова, А. Н. Новиков. – Ульяновск : Ульяновский гос. техн. ун-т, 2011. – 194 с.

13. Олофинская В. П. Курс лекций с вариантами практических и тестовых заданий : учебн. пособ. / В. П. Олофинская. – 2-е изд. – М. : ФОРУМ; ИНФРА-М, 2007. – 349 с.

14. Орехов В. Н. Системы технологий: программа курса, практикум, рекомендации для выполнения технологической части дипломных проектов и работ : учебн. пособ. / В. Н. Орехов. – Х. : ИД "ИНЖЭК", 2005. – 208 с.

15. Платков В. Я. Робоча програма навчальної дисципліни "Основи технологічних систем" для студентів напряму підготовки 6.030504 "Економіка підприємства" / В. Я. Платков, В. М. Орехов, В. Ю. Вдовьонков. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2012. – 96 с.

16. Рогачева Л. В. Материаловедение : учебн. пособ. / Л. В. Рогачева. – М. : Колос-Пресс, 2002. – 136 с.

17. Тетерин Н. А. Плоскопараллельное движение твердого тела. Методические указания / Н. А. Тетерин. – Томск : Изд. Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2005. – 31 с.

18. Чеботарев А. С. Решение задач по теоретической механике. Часть 3. Динамика : учебн. пособ. / А. С. Чеботарев, Ю. Д. Щеглова. – Воронеж : Изд. ВГУ, 2007. – 54 с.

19. Черняховская Л. Б. Плоскопараллельное движение твердого тела : учебн. пособ. / Л. Б. Черняховская, Л. А. Шабанов. – Самара : Гос. техн. ун-т, 2008. – 27 с.

20. Чеченев Н. А. Руководство к решению задач по прикладной механике / Н. А. Чеченев, Е. А. Свистунов. – М. : Машиностроение, 1979. – 80 с.

