

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА)

ОПР МАТЕРІАЛІВ

Методичні вказівки до самостійної роботи

**для студентів усіх механічних спеціальностей
заочної форми навчання**

Затверджено
на засіданні методичної ради
Протокол № 3 від 19.12.19

Краматорськ
ДДМА
2019

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ТЕМИ І ПИТАННЯ КУРСУ ОПОРУ МАТЕРІАЛІВ, ЇХ МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	5
1.1 Вступ. Метод перерізів	5
1.2 Теорія напруженого стану. Теорії міцності	5
1.3 Розтягання-стискання	5
1.4 Геометрія плоских перерізів	6
1.5 Зсув. Кручення	6
1.6 Плоский згин	7
1.7 Складний опір	7
1.8 Стійкість стиснутих стрижнів	7
1.9 Переміщення в пружних системах	8
1.10 Динамічне навантаження	8
1.11 Витривалість	9
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИВЧЕННЯ ТЕОРІЇ І ЗАСВОЄННЯ МЕТОДІВ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ. ЕКЗАМЕНАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ	9
3 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ	11
4 ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ І ЕКЗАМЕНАЦІЙНИХ БІЛЕТІВ	13
4.1 Задача контрольної роботи 1 повного курсу опору матеріалів і контрольної роботи прискореного курсу (тема 3)	13
4.2 Задача контрольної роботи 2 повного курсу опору матеріалів (тема 7)	16
4.3 Задача екзаменаційних білетів до модуля 1 повного курсу опору матеріалів (тема 6)	21
4.4 Задача екзаменаційних білетів до модуля 2 повного курсу опору матеріалів і екзаменаційних білетів прискореного курсу (теми 6, 9)	25
ЛІТЕРАТУРА	30
Додаток А. Мікропитання для самоперевірки	32
Додаток Б. Зразки екзаменаційних матеріалів	44
Додаток В. Схеми конструкцій до контрольної роботи 1 повного курсу опору матеріалів і контрольної роботи прискореного курсу	47
Додаток Г. Схеми валів до контрольної роботи 2 повного курсу опору матеріалів	50
Додаток Д. Схеми балок до екзаменаційних білетів повного курсу опору матеріалів (модуль 1)	53
Додаток Е. Схеми балок до екзаменаційних білетів повного курсу опору матеріалів (модуль 2) і екзаменаційних білетів прискореного курсу	56
Додаток Ж. Теоретичні питання до екзаменаційних білетів	59
Додаток И. Довідкові матеріали	64

ВСТУП

У 2012-2013 навчальному році академія перейшла на новий порядок проведення занять і підсумкового контролю на заочному відділенні. Було максимально скорочено кількість занять в міжсесійний період і відмінено як малоефективне традиційне виконання студентами контрольних робіт у домашніх умовах. Згідно з "Методикою організації і проведення заліків і екзаменів студентів заочної форми навчання", яку затверджено розпорядженням по академії від 26.09.2012 №14, контрольні роботи стали складовою частиною екзамену або заліку. Передбачалось, що контрольні роботи повинні складатись із теоретичних або практичних завдань і виконуватись в академії безпосередньо перед написанням відповідей на завдання екзаменаційного або залікового білета.

Така система проіснувала до початку 2016 – 2017 навчального року, після чого була впроваджена система дистанційного навчання Moodle DDMA, головною відмінністю якої був перевід контрольних робіт на тестовий режим, який включав відповіді на ряд невеликих теоретичних запитань з можливістю дистанційної (в домашніх умовах) їх підготовки в електронному вигляді й передачі в академію через Інтернет. Наприкінці 2018 - 2019 навчального року ця система з ряду причин перестала існувати і було прийняте рішення про повернення до попередньої системи з урахуванням новітніх методичних досягнень і можливостей.

Метою даних методичних вказівок є максимальне спрощення і підвищення ефективності самостійної роботи студентів-заочників по засвоєнню дисципліни "Опір матеріалів". Вони стосуються рівною мірою як повного курсу цієї дисципліни, що вивчається студентами з загальною (шкільною) середньою освітою, так і прискореного курсу, який викладається студентам зі спеціальною середньою освітою.

Методичні вказівки містять тематику обох курсів, необхідні джерела інформації для вивчення теорії і методів розв'язання задач, склад і зразки екзаменаційних матеріалів, критерії оцінювання контрольних робіт і відповідей по екзаменаційним білетам, приклади розв'язання задач з екзаменаційних матеріалів. У додатках наводяться мікропитання для самоперевірки знань з теорії, конструктивні схеми до контрольних робіт і екзаменаційних білетів, теоретичні питання до білетів, також довідкові дані для розв'язання задач.

Інформаційні матеріали, на яких переважно базуються методичні вказівки, розроблені викладачами академії і є в достатній кількості в її бібліотечному фонді. Всі вони виставлені також в Інтернеті на сайті академії <http://www.dgma.donetsk.ua/>.

1 ТЕМИ І ПИТАННЯ КУРСУ ОПОРУ МАТЕРІАЛІВ, ЇХ МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

СКЛАД ПОВНОГО КУРСУ ОПОРУ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Вступ. Метод перерізів

Основні поняття, задачі та місце дисципліни «Опір матеріалів» у системі інженерної підготовки. Прийняті допущення. Реальні об'єкти і розрахункові схеми. Типові елементи конструкцій.

Зовнішні сили та їх класифікація. Внутрішні зусилля, метод перерізів. Напруження повні, нормальні та дотичні. Зв'язок напружень з внутрішніми зусиллями.

1.1.1. Основні теоретичні відомості: /1/, с. 7-20.

Додаткові джерела: /2/, с. 9-16, 37-41, 80-82; /3/, с. 6-17; /4/, с. 13-16, 42-47, 91-93; /5/, с. 5-6.

1.2 Теорія напруженого стану. Теорії міцності

Напружений стан у точці тіла, його задавання і компоненти. Індекси нормальних і дотичних напружень. Закон парності дотичних напружень.

Головні площадки, головні напруження і головні напрямки. Типи напружених станів. Пряма і зворотна задачі теорії напруженого стану.

Аналітичне розв'язання прямої і зворотної задач теорії плоского напруженого стану. Напруження на похилих площадках при лінійному напруженому стані.

Графічне розв'язання прямої і зворотної задач теорії плоского напруженого стану, круги Мора.

Об'ємний напружений стан. Напруження і деформації. Узагальнений закон Гука. Питома потенційна енергія пружної деформації, її складові.

Теорії міцності, їх призначення. Критерії міцності та еквівалентні напруження. Перша і друга теорії міцності, їх області застосування і недоліки, умови міцності.

Третя і четверта теорії міцності, їх області застосування і недоліки, умови міцності. Теорія міцності Мора.

1.2.1. Основні теоретичні відомості: /1/, с. 68-94.

Додаткові джерела: /2/, с. 152-192; /3/, с. 60-82; /4/, с. 170-208; /5/, с. 16-23.

1.2.2. Методи і приклади розв'язання задач:

/6/, с. 35-41; /7/, с. 62-73, 328-332.

1.3 Розтягання-стискання

Розтягання – стискання. Визначення напружень. Зв'язок напружень і деформацій, закон Гука. Коефіцієнт Пуассона.

Побудова епюр поздовжніх сил і напружень при розтяганні – стисканні. Умови міцності. Визначення допустимих напружень. Умова жорсткості.

Механічні випробування матеріалів на розтягання і стискання. Діаграми розтягання і стискання, їх особливі точки. Показники міцності та пластичності. Матеріали крихкі та пластичні.

Статично визначувані та статично невизначувані стрижневі системи, що працюють на розтягання – стискання. Ступінь статичної невизначуваності, план її розкриття.

1.3.1. Основні теоретичні відомості: /1/, с. 20-37.

Додаткові джерела: /2/, с. 42-43, 83-99, 130-140; /3/, с. 18-32; /4/, с. 48-50, 93-109, 127-139, 147-152; /5/, с. 7-15; /8/, с. 7-27; /17/, с. 9-10.

1.3.2. Методи і приклади розв'язання задач:

/6/, с. 7-32; /7/, с. 16-51; /9/, с.5-33; /10/, с. 7-22; /17/, с. 10-33.

1.4 Геометрія плоских перерізів

Статичні моменти площини. Центральні осі та центр ваги плоскої фігури. Положення центрів ваги найпростіших фігур. Способи визначення центрів ваги фігур складної конфігурації.

Моменти інерції плоскої фігури, їх види. Зв'язок полярного і осьових моментів інерції. Головні осі інерції. Формули для моментів інерції найпростіших фігур.

Залежність між моментами інерції плоскої фігури при паралельному переносі та повороті осей координат.

Головні центральні осі плоскої фігури, їх положення. Визначення головних моментів інерції.

1.4.1. Основні теоретичні відомості: /1/, с. 104-123.

Додаткові джерела: /2/, с. 17-36; /3/, с. 91-107; /4/, с. 21-42; /5/, с. 23-34; /17/, с. 56-60.

1.4.2. Методи і приклади розв'язання задач:

/6/, с. 44-49; /7/, с. 114-129; /9/, с.74-91; /10/, с. 46-52; /17/, с. 61-76.

1.5 Зсув. Кручення

Чистий зсув, напруження і деформації. Закон Гука при зсуві. Умова міцності, допустимі напруження.

Кручення. Зв'язок потужності з крутним моментом. Побудова епюр крутних моментів. Характер деформації і напружений стан стрижнів при крученні.

Визначення напружень і деформацій при крученні. Умови міцності та жорсткості.

1.5.1. Основні теоретичні відомості: /1/, с. 94-104, 123-132.

Додаткові джерела: /2/, с. 44-46, 193-216; /3/, с. 83-90, 108-115; /4/, с. 50-52, 214-237; /5/, с. 34-49; /17/, с. 141-143.

1.5.2. Методи і приклади розв'язання задач:

/6/, с. 50-60; /7/, с. 81-88, 96-101; /10/, с. 23-28; /17/, с. 143-161.

1.6 Плоский згин

Балки і рами, їх елементи і різновиди. Типи опор і опорні реакції. Внутрішні зусилля, правила знаків. Диференційні залежності при згині.

Правила побудови епюр внутрішніх зусиль для балок. Особливості епюр у місцях прикладення до балки зосереджених сил і моментів, також на ділянках, де є розподілене навантаження і де воно відсутнє. Визначення екстремальних значень згинальних моментів.

Особливості та правила побудови епюр внутрішніх зусиль для плоских рам. Перевірка правильності епюр.

Плоский згин, його різновиди. Чистий згин, визначення нормальних напружень. Умова міцності.

Поперечний згин. Визначення дотичних напружень, формула Журавського.

Еквівалентні напруження в стрижні при поперечному згині. Повна перевірка міцності балки; умови міцності, допустимі напруження.

1.6.1. Основні теоретичні відомості: /1/, с. 42-68, 132-162.

Додаткові джерела: /2/, с. 46-66, 237-261; /3/, с. 36-59, 116-143; /4/, с. 53-75, 259-284; /5/, с. 51-76; /11/, с. 5-11, 34-36; /17/, с. 34, 77-79, 116-118.

1.6.2. Методи і приклади розв'язання задач:

/6/, с. 62-78; /7/, с. 133-159, 174-186; /9/, с. 34-73, 92-103; /10/, с. 28-46; /11/, с. 12-18, 37-49; /12/, с. 5-10; /17/, с. 35-55, 79-116, 118-140.

1.7 Складний опір

Складний і косий згини. Визначення напружень. Положення нейтральної лінії. Умови міцності для стрижня з довільним перерізом.

Згин з крученням. Умова міцності. Послідовність проектного і перевірного розрахунків. Особливості вибору допустимого напруження.

Згин з розтяганням – стискуванням. Визначення напружень. Положення нейтральної лінії. Умови міцності для стрижня з довільним перерізом.

Позацентрове розтягання – стискування. Визначення напружень. Положення нейтральної лінії. Умови міцності для стержня з довільним перерізом. Ядро перерізу.

1.7.1. Основні теоретичні відомості: /1/, с. 162-186.

Додаткові джерела: /2/, с. 325-347; /3/, с. 144-165; /4/, с. 352-371; /5/, с. 107-123.

1.7.2. Методи і приклади розв'язання задач:

/6/, с. 132-152; /7/, с. 288-299, 303-309, 346-350; /9/, с. 103-135; /12/, с. 11-22.

1.8 Стійкість стиснутих стрижнів

Поняття стійкості стиснутого стрижня. Види пружної рівноваги. Критична сила і критичне напруження. Задача Ейлера.

Межі застосування формули Ейлера для критичного напруження. Формула Ясинського. Розрахунки на стійкість стиснутого стрижня з використанням коефіцієнта зменшення основного допустимого напруження.

1.8.1. Основні теоретичні відомості: /3/, с. 60-81.

Додаткові джерела: /2/, с. 492-506; /4/, с. 560-577; /5/, с. 149-165; /14/, с. 64-87.

1.8.2. Методи і приклади розв'язання задач:

/6/, с. 211-217; /7/, с. 413-422; /9/, с.191-205; /12/, с.34-40.

1.9 Переміщення в пружних системах

Потенційна енергія пружної деформації стрижня і стрижневої системи в загальному випадку навантаження. Потенційна енергія балок і плоских рам.

Теорема Кастіліано, її недоліки при визначенні переміщень в стрижневих системах.

Метод і інтеграли Мора для визначення переміщень в стрижневих системах.

Чисельні методи визначення переміщень в стрижневих системах. Спосіб Верещагіна, формула крайніх ординат.

Статично невизначувані балки і рами, ступень їх статичної невизначуваності і послідовність розрахунку. Особливості багатопрогонних нерозрізних балок.

Канонічні рівняння методу сил, їх коефіцієнти і фізична сутність. Деформаційна перевірка. Визначення переміщень у статично невизначуваних балках і рамах.

1.9.1. Основні теоретичні відомості: /3/, с. 6-60.

Додаткові джерела: /2/, с. 354-413; /4/, с. 381-445; /5/, с. 87-98, 124-145; /11/, с. 75-79, 101; /14/, с. 6-63.

1.9.2. Методи і приклади розв'язання задач:

/6/, с. 114-128, 160-175; /7/, с. 211-234, 245-265; /9/, с.136-190; /11/, с.75-93, 101-111; /12/, с.22-33.

1.10 Динамічне навантаження

Особливості динамічного режиму навантаження. Визначення напружень і деформацій при ударі і заданих прискореннях точок системи.

Власні коливання пружної системи з одним ступенем свободи без опору середовища. Визначення напружень і деформацій.

Власні коливання пружної системи з одним ступенем свободи і лінійним опором середовища, їх особливості і основні параметри.

Вимушені коливання пружної системи з одним ступенем свободи. Визначення напружень і деформацій. Резонанс.

1.10.1. Основні теоретичні відомості: /3/, с. 82-111.

Додаткові джерела: /2/, с. 516-538, 590-601; /4/, с. 587-610, 690-700; /5/, с. 166-189; /14/, с. 88-119.

1.10.2. Методи і приклади розв'язання задач:

/6/, с. 226-229, 240-257; /7/, с. 508-528, 539-543; /9/, с.205-217.

1.11 Витривалість

Механізм руйнування при циклічно змінюваних напруженнях. Основні характеристики і види циклів. Межа витривалості матеріалу і методи її визначення.

Діаграма граничних амплітуд при циклічно змінюваних напруженнях, її особливі точки і схематизація.

Вплив концентрації напружень, розмірів і стану поверхні деталі на межу витривалості, урахування цього впливу.

Розрахунки на міцність при циклічно змінюваних напруженнях.

1.11.1. Основні теоретичні відомості: /3/, с. 112-139.

Додаткові джерела: /2/, с. 562-589; /4/, с. 652-682; /14/, с. 120-148.

1.11.2. Методи і приклади розв'язання задач:

/7/, с. 497-507.

Зазначені теми розбиті на 2 змістових модуля. Модуль 1 містить теми 1...6, модуль 2 – теми 7...11.

СКЛАД ПРИСКОРЕНОГО КУРСУ ОПОРУ МАТЕРІАЛІВ

Прискорений курс складається із частини тем, зазначених у розділі 1, а саме з тем 1-9, які є найбільш важливими для практичного застосування. Тематика цього курсу на модулі не розбивається.

2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИВЧЕННЯ ТЕОРІЇ І ЗАСВОЄННЯ МЕТОДІВ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ. ЕКЗАМЕНАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

При вивченні теоретичних питань до кожної з тем слід орієнтуватись в першу чергу на конспекти лекцій /1/, /3/, /13/ і /14/, які підготовлені викладачами кафедри технічної механіки ДДМА і містять в доступній формі всі необхідні матеріали для засвоєння курсу. Цього достатньо, щоб студент міг з розумінням підійти до вивчення практичної частини дисципліни. При бажанні поглибити знання теорії слід звернутись до підручників і посібників з курсу /2/, /4/, /5/ та інших, які є доступними для студентів. Ці видання подають теорію в супроводі великої кількості корисних прикладів і задач.

Щоб проконтролювати своє засвоєння теорії, студенту слід відповісти на ряд мікропитань, які містяться в додатку А.

При засвоєнні методів розв'язання задач доцільно звернутись до посібників /6/, /7/ або інших, доступних студентам, також до розробок кафедри /9/-/12/, в яких даються методи і приклади розв'язання ряду практично важливих задач. В цих розробках містяться і багатоваріантні завдання для самостійного розв'язання їх студентами в плані підготовки до екзаменів. Корисними тут можуть стати також задачі, наведені в /15/ і /16/.

Згідно з навчальним планом тривалість повного курсу опору матеріалів – один рік, прискореного – півроку. У зв'язку з цим є різною і кількість екзаменів на цих курсах: два – на повному (за модулі 1 і 2) і один – на прискореному.

Підсумковий контроль на заочному відділенні академії згідно з діючим положенням передбачає виконання контрольної роботи безпосередньо перед екзаменом, на якому студенту пропонується виконати завдання екзаменаційного білета. Таким чином, в комплект екзаменаційних матеріалів входять екзаменаційні білети і завдання для контрольної роботи. На повному курсі опору матеріалів таких комплектів – два (по числу екзаменів), на прискореному – один.

Склад завдань для контрольних робіт і екзаменаційних білетів наведений в таблицях 2.1–2.3.

Таблиця 2.1 – Завдання для контрольних робіт повного курсу опору матеріалів

Номер контрольної роботи	Зміст завдання	Кількість балів
КР1	Розв'язання задачі на визначення діаметра і абсолютного подовження (або скорочення) найбільше навантаженого стрижня сталеві статично визначуваної конструкції, яка працює на розтягання-стискання	100
КР2	Розв'язання задачі на визначення діаметра вала редуктора в умовах складного згину з крученням	100

Таблиця 2.2 – Завдання для екзаменаційних білетів повного курсу опору матеріалів

Модуль	Зміст завдань	Кількість балів
1	1. Теоретичне питання (з тем 1...6)	20
	2. Розв'язання задачі на побудову епюр внутрішніх зусиль консольної балки і підбір її перерізу (варіанти перерізів: двотавр, швелер, круг, квадрат, прямокутник з відношенням сторін 2:1).	80
2	1. Теоретичне питання (з тем 7...11)	20
	2. Розв'язання задачі на побудову епюр внутрішніх зусиль двохопорної статично визначуваної сталеві балки, підбір її перерізу (двотавра) і визначення лінійного або кутового переміщення в заданому місці цієї балки.	80

Таблиця 2.3 – Завдання для підсумкового контролю прискореного курсу опору матеріалів

Вид контролю	Зміст завдань	Кількість балів
Контрольна робота	Розв'язання задачі на визначення діаметра і абсолютного подовження (або скорочення) найбільше навантаженого стрижня сталеві статично визначуваної конструкції, яка працює на розтягання-стискання	100
Екзамен	1. Теоретичне питання (з тем 1...9) 2. Розв'язання задачі на побудову епюр внутрішніх зусиль двохопорної статично визначуваної сталеві балки, підбір її перерізу (двотавра) і визначення лінійного або кутового переміщення в заданому місці цієї балки.	20 80

Зразки екзаменаційних матеріалів для повного і прискореного курсів наведені в додатку Б, схеми до них – у додатках В, Г, Д, Е, числові дані до цих схем – у таблиці 2.4, теоретичні питання до білетів – у додатку Ж, довідкові матеріали – у додатку З.

Таблиця 2.4 – Варіанти числових даних до екзаменаційних матеріалів

Номери варіантів	Значення величин								
	$a, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$c, \text{ м}$	$d, \text{ м}$	$P, \text{ кН}$	$M, \text{ кН}\cdot\text{м}$	$q, \text{ кН/м}$	$K, \text{ кВт}$	$n, \text{ об/хв.}$
1	2	3	1	2	18	12	10	60	200
2	3	2	2	1	12	18	8	50	300
3	1	2	3	3	6	24	12	40	400
4	2	1	1	3	18	18	10	50	200
5	3	1	2	2	6	12	8	60	300
6	1	3	2	1	12	24	10	40	200
7	2	2	3	1	6	18	12	50	400
8	3	3	1	1	12	12	10	40	200
9	1	1	3	2	18	24	8	40	300
10	2	3	1	3	12	18	12	60	400

3 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Кількість балів, що виставляється за контрольну роботу, визначається як різниця між максимальним числом балів за роботу і кількістю балів, які знімаються за недоліки в її виконанні (табл. 3.1). Аналогічно визначаються кількості балів за відповідь на теоретичне питання і розв'язання задачі екзаменаційного білета (табл. 3.1, 3.2).

Таблиця 3.1 – Критерії оцінювання контрольних робіт

Максимальна кількість балів	Недоліки роботи	Кількість балів, що знімається
100	1. Відсутність роботи	100
	2. Недосконале або неповне зображення розрахункової схеми (відсутність розмірів, сил, осей координат тощо)	до 20
	3. Непослідовний або нелогічний хід розрахунку	до 20
	4. Відсутність пояснень до формул	до 15
	5. Відсутність числових результатів або їх розмірностей	до 20
	6. Відсутність перевірки, арифметичні помилки	до 20
	7. Незадовільний вигляд роботи	до 5

Таблиця 3.2 – Критерії оцінювання відповідей на теоретичні питання екзаменаційних білетів

Максимальна кількість балів	Недоліки роботи	Кількість балів, що знімається
20	1. Відсутність відповіді або її невідповідність теоретичному питанню екзаменаційного білета	20
	2. Відсутність потрібних викладок і пояснень	до 10
	3. Наявність помилок у викладанні матеріалу	до 8
	4. Незадовільний вигляд відповіді	до 2

Таблиця 3.3 – Критерії оцінювання задач екзаменаційних білетів

Максимальна кількість балів	Недоліки роботи	Кількість балів, що знімається
80	1. Відсутність роботи	80
	2. Недосконале або неповне зображення розрахункової схеми (відсутність розмірів, сил, осей координат тощо)	до 16
	3. Непослідовний або нелогічний хід розрахунку	до 16
	4. Відсутність пояснень до формул	до 12
	5. Відсутність числових результатів або їх розмірностей	до 16
	6. Відсутність перевірки, арифметичні помилки	до 16
	7. Незадовільний вигляд роботи	до 4

Підсумкова екзаменаційна оцінка в балах визначається як половина суми балів, отриманих студентом за контрольну роботу і завдання екзаменаційного білета. Вона переводиться в оцінку за національною шкалою і шкалою ECTS згідно з таблицею 3.4.

Таблиця 3.4 – Підсумкові екзаменаційні оцінки

Оцінка		
у балах	за шкалою ECTS	за національною шкалою
90-100	A	Відмінно
81-89	B	Добре
75-80	C	Добре
65-74	D	Задовільно
55-64	E	Задовільно
30-54	FX	незадовільно
0-29	F	незадовільно

Примітка: В разі, коли оцінка контрольної роботи або сумарна оцінка завдань екзаменаційного білета є меншою за 55 балів, підсумкова екзаменаційна оцінка не може перевищувати 54 балів, тобто бути задовільною.

4 ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ І ЕКЗАМЕНАЦІЙНИХ БІЛЕТІВ

4.1 Задача контрольної роботи 1 повного курсу опору матеріалів і контрольної роботи прискореного курсу (тема 3).

Умова задачі: визначити діаметр і абсолютне подовження (скорочення) найбільше навантаженого стрижня сталевій конструкції (рис. 4.1), якщо $[\sigma] = 160$ МПа. Числові дані до задачі: $a = 2$ м, $b = 3$ м, $c = 4$ м, $P = 20$ кН, $M = 25$ кНм, $q = 30$ кН/м.

Розв'язання задачі

1 Позначаємо осі координат і номери стрижнів. Стрижні відкидаємо, а їхню дію на тіло, яке є заштрихованим, замінюємо силами N_1 , N_2 і N_3 , котрі спрямовані вздовж відповідних стрижнів (від тіла, якщо вважати стрижні розтягнутими) і дорівнюють поздовжнім силам у цих стрижнях. Позначаємо також потрібні точки і кут α (рис. 4.2).

2 Спростуємо систему сил. Розподілене навантаження замінюємо його рівнодійною, яка дорівнює площі епюри цього навантаження і прикладена посередині навантаженої ділянки тіла. Силу N_2 розкладаємо на скла-

дові уздовж осей координат - N_2^y і N_2^z (див. рис. 4.2). Значення цих складових визначаємо таким чином:

$$N_2^y = N_2 \cdot \cos \alpha, \quad (4.1)$$

$$N_2^z = N_2 \cdot \sin \alpha. \quad (4.2)$$

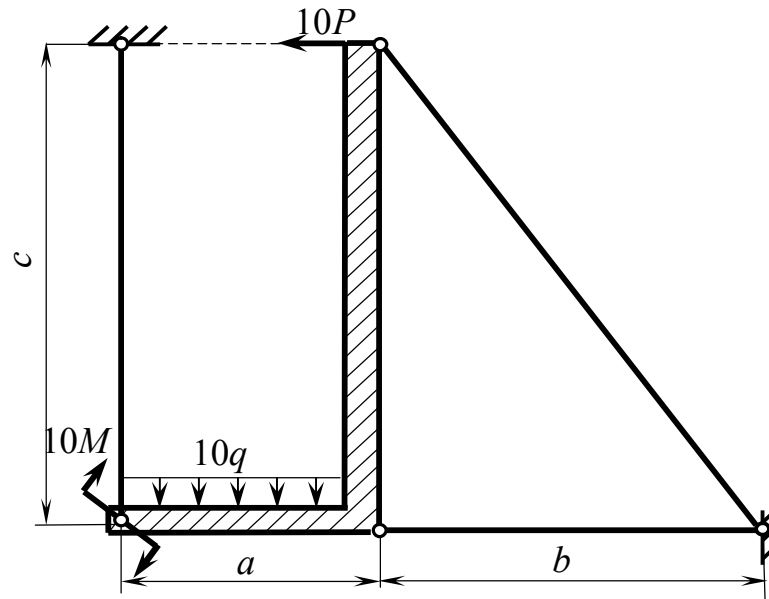


Рисунок 4.1 – Схема конструкції до задачі 4.1

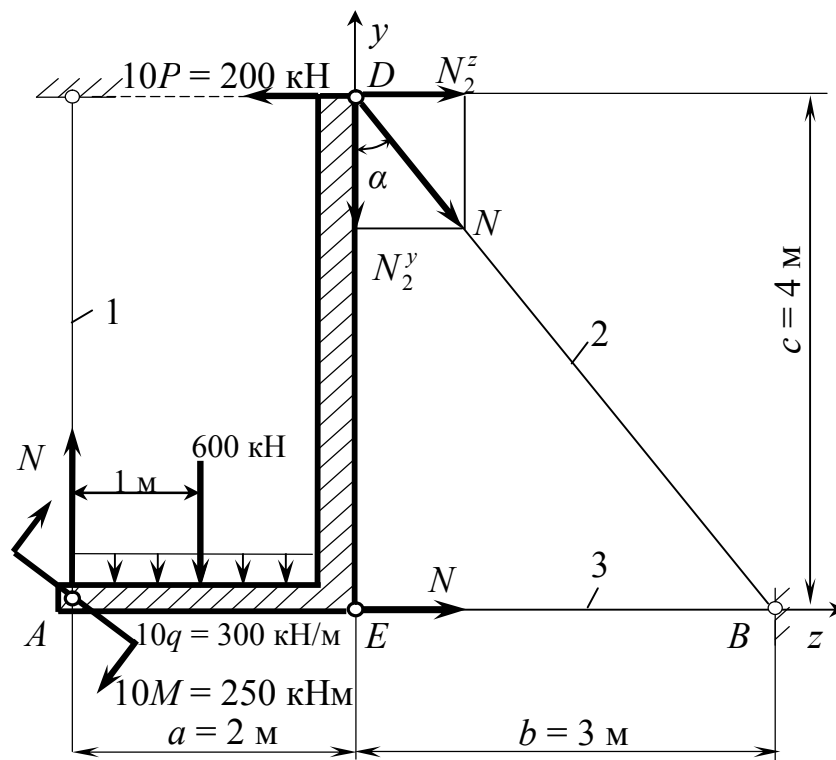


Рисунок 4.2 – Розрахункова схема до задачі 4.1

Значення $\sin \alpha$ і $\cos \alpha$ підраховуємо, використовуючи прямокутний трикутник DBE :

$$\sin \alpha = \frac{BE}{BD} = \frac{3}{\sqrt{3^2 + 4^2}} = \frac{3}{5} = 0,6, \quad (4.3)$$

$$\cos \alpha = \frac{DE}{BD} = \frac{4}{\sqrt{3^2 + 4^2}} = \frac{4}{5} = 0,8. \quad (4.4)$$

3 Класифікуємо діючу систему сил. Вона є довільною плоскою, для якої можна скласти три незалежних рівняння рівноваги, саме стільки, скільки невідомих реакцій присутнє в даній задачі. Таким чином, задача є статично визначуваною, бо для визначення всіх невідомих сил достатньо зазначеної кількості рівнянь рівноваги.

4 Складаємо ці рівняння. З усіх можливих варіантів (/18/, с. 63-65) вибираємо такі, які забезпечують найбільш просте розв'язання рівнянь рівноваги, а саме:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum m_A = 0: \quad -10M - 10q \cdot 2 \cdot 1 + 10P \cdot 4 - N_2 \cdot \cos \alpha \cdot 2 - N_2 \cdot \sin \alpha \cdot 4 = 0; \quad (4.5) \\ \sum m_B = 0: \quad -10M + 10q \cdot 2 \cdot 4 + 10P \cdot 4 - N_1 \cdot 5 = 0; \quad (4.6) \\ \sum P_z = 0: \quad N_3 + N_2 \cdot \sin \alpha - 10P = 0 \quad (4.7) \end{array} \right.$$

5 Розв'язуємо систему рівнянь рівноваги.

З рівняння (4.5) знаходимо значення N_2 :

$$-250 - 600 + 800 - N_2 \cdot 0,8 \cdot 2 - N_2 \cdot 0,6 \cdot 4 = 0;$$

$$-50 - 4 \cdot N_2 = 0;$$

$$N_2 = -\frac{50}{4} = -12,5 \text{ кН.}$$

З рівняння (4.6) знаходимо значення N_1 :

$$N_1 = \frac{1}{5} \cdot (-10M + 10q \cdot 2 \cdot 4 + 10P \cdot 4) = \frac{1}{5} \cdot (-250 + 2400 + 800) = \frac{2950}{5} = 590 \text{ кН.}$$

З рівняння (4.7) знаходимо значення N_3 :

$$N_3 = -N_2 \cdot \sin \alpha + 10P = -(-12,5) \cdot 0,6 + 200 = 207,5 \text{ кН.}$$

6 Виконуємо перевірку розв'язання системи рівнянь (4.5)-(4.7). Для цього складаємо додаткове рівняння рівноваги і підставляємо в нього знайдені величини зусиль у стрижнях конструкції:

$$\sum P_y = N_1 - 10q \cdot 2 - N_2 \cdot \cos \alpha = 590 - 600 - (-12,5) \cdot 0,8 = 600 - 600 = 0.$$

Оскільки і ця умова рівноваги виконується, робимо висновок про вірність знайдених зусиль. Їхні знаки вказують на те, що стрижні 1 і 3 розтягнуті (бо N_1 , і N_3 - додатні), а стрижень 2 – стиснутий (бо N_2 – від’ємне).

7 Визначаємо найбільше навантажений стрижень конструкції, тобто такий, в якому діє максимальне (за модулем) зусилля. Ним у даній задачі є стрижень 1:

$$|N_{\max}| = N_1 = 590 \text{ кН.}$$

8 Визначаємо діаметр стрижня 1, використовуючи умову міцності:

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{0,785 \cdot d_1^2} \leq [\sigma], \quad (4.8)$$

де $0,785 \cdot d_1^2 = F_1$ – площа поперечного перерізу стрижня 1.

З цієї умови маємо:

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{N_1}{0,785 \cdot [\sigma]}} = \sqrt{\frac{590 \cdot 10^3}{0,785 \cdot 160}} = 68,5 \text{ мм.}$$

Значення d_1 приймаємо з нормального ряду (додаток Ж):

$$d_1 = 71 \text{ мм.}$$

9 Визначаємо абсолютне подовження стрижня 1:

$$\Delta \ell_1 = \frac{N_1 \cdot \ell_1}{E \cdot F_1} = \frac{590 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,785 \cdot 71^2} = 3,0 \text{ мм,}$$

де $\ell_1 = c = 4$ м – довжина стрижня 1 (див. рис. 4.2),

$E = 2 \cdot 10^5$ МПа – модуль пружності першого роду для сталі.

4.2 Задача контрольної роботи 2 повного курсу опору матеріалів (тема 7).

Умова задачі: визначити за III теорією міцності діаметр вала редуктора, який обертається з частотою n і передає потужність K , якщо $[\sigma] = 100$ МПа. Діаметри зубчастих коліс: $D_1 = 0,15a$, $D_2 = 0,15b$. Співвідношення між силами: $T_i = 0,364P_i$.

Схема вала зображена на рисунку 4.3. Числові дані до задачі: $a = 2$ м, $b = 3$ м, $c = 4$ м, $n = 400$ об/хв, $K = 30$ кВт.

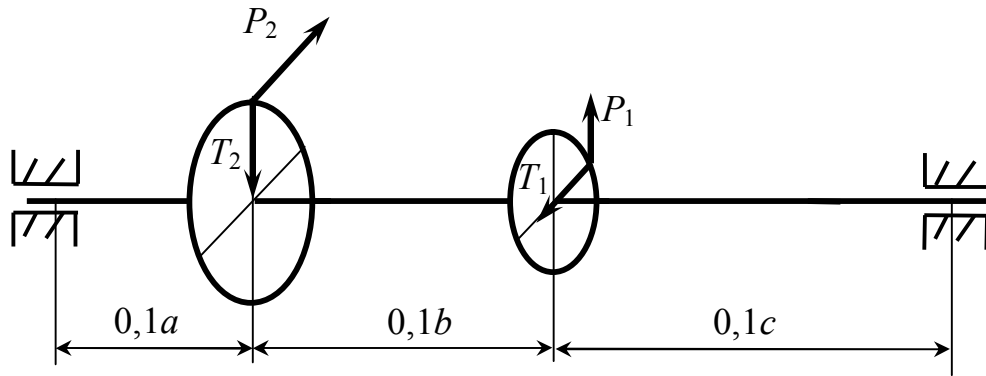


Рисунок 4.3 – Схема вала до задачі 4.2

Розв'язання задачі

1 Пов'язуємо з валом систему координат, позначаємо його опори (рис. 4.4,а).

2 Визначаємо крутний момент, який передається валом, і сили, що діють на зубчасті колеса:

$$M_{кр} = \frac{30 \cdot K}{\pi \cdot n} = \frac{30 \cdot 30}{3,14 \cdot 400} = 0,717 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$P_1 = \frac{2 \cdot M_{кр}}{D_1} = \frac{2 \cdot 0,717}{0,15 \cdot 2} = 4,780 \text{ кН};$$

$$T_1 = 0,364 \cdot P_1 = 0,364 \cdot 4,780 = 1,740 \text{ кН};$$

$$P_2 = \frac{2 \cdot M_{кр}}{D_2} = \frac{2 \cdot 0,717}{0,15 \cdot 3} = 3,187 \text{ кН};$$

$$T_2 = 0,364 \cdot P_2 = 0,364 \cdot 3,187 = 1,160 \text{ кН}.$$

3 Приводимо всі сили, що діють на зубчасті колеса, до осі вала.

Сили P_1 і P_2 , які не перетинають вісь, переносимо з додаванням їх моментів відносно нових точок прикладання (рис. 4.4, б):

$$M_C(P_1) = P_1 \cdot \frac{D_1}{2} = M_{кр};$$

$$M_E(P_2) = P_2 \cdot \frac{D_2}{2} = M_{кр}.$$

Сили T_1 і T_2 перетинають вісь вала, тому переносимо їх у точки C і E без додавання відповідних моментів.

Прикладаємо до осі вала також опорні реакції в горизонтальній (XAZ) і вертикальній (YAZ) площинах (див. рис. 4.4,б).

4 Визначаємо реакції вала у вертикальній площині (рис. 4.4,в) і будемо в певному масштабі епюру згинальних моментів у цій площині – M_x (рис. 4.4,г):

$$\sum m_A = 0: -T_2 \cdot 0,2 + P_1 \cdot 0,5 - Y_B \cdot 0,9 = 0;$$

$$Y_B = \frac{1}{0,9}(-T_2 \cdot 0,2 + P_1 \cdot 0,5) = \frac{1}{0,9}(-1,160 \cdot 0,2 + 4,780 \cdot 0,5) = 2,398 \text{ кН};$$

$$\sum m_B = 0: Y_A \cdot 0,9 + T_2 \cdot 0,7 - P_1 \cdot 0,4 = 0;$$

$$Y_A = \frac{1}{0,9}(-T_2 \cdot 0,7 + P_1 \cdot 0,4) = \frac{1}{0,9}(-1,160 \cdot 0,7 + 4,780 \cdot 0,4) = 1,222 \text{ кН}.$$

Перевірка:

$$\sum P_y = -Y_A - T_2 + P_1 - Y_B = -1,222 - 1,160 + 4,780 - 2,398 = -4,780 + 4,780 = 0.$$

Таким чином, рівновага вертикальних сил підтверджується; реакції Y_A і Y_B визначені вірно.

Епюра M_x : $M_1 = M_6 = 0$; $M_2 = M_3 = -Y_A \cdot 0,2 = -1,222 \cdot 0,2 = -0,244 \text{ кН}\cdot\text{м}$;
 $M_4 = M_5 = -Y_B \cdot 0,4 = -2,398 \cdot 0,4 = -0,959 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

5 Визначаємо реакції вала у горизонтальній площині (рис. 4.4,д) і будемо в певному масштабі епюру згинальних моментів у цій площині – M_y (рис. 4.4,е):

$$\sum m_A = 0: P_2 \cdot 0,2 - T_1 \cdot 0,5 + X_B \cdot 0,9 = 0;$$

$$X_B = \frac{1}{0,9}(-P_2 \cdot 0,2 + T_1 \cdot 0,5) = \frac{1}{0,9}(-3,187 \cdot 0,2 + 1,740 \cdot 0,5) = 0,258 \text{ кН};$$

$$\sum m_B = 0: X_A \cdot 0,9 - P_2 \cdot 0,7 + T_1 \cdot 0,4 = 0;$$

$$X_A = \frac{1}{0,9}(P_2 \cdot 0,7 - T_1 \cdot 0,4) = \frac{1}{0,9}(3,187 \cdot 0,7 - 1,740 \cdot 0,4) = 1,705 \text{ кН}.$$

Перевірка:

$$\sum P_x = -X_A + P_2 - T_1 + X_B = -1,705 + 3,187 - 1,704 + 0,258 = 3,445 - 3,445 = 0.$$

Таким чином, і у горизонтальній площині рівновага сил підтверджується. Це свідчить про те, що реакції X_A і X_B визначені вірно.

Епюра M_y : $M_1 = M_6 = 0$; $M_2 = M_3 = -X_A \cdot 0,2 = -1,705 \cdot 0,2 = -0,341 \text{ кН}\cdot\text{м}$;
 $M_4 = M_5 = X_B \cdot 0,4 = 0,258 \cdot 0,4 = 0,103 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

6 Будуємо в певному масштабі епюру крутних моментів – $M_{кр}$ (рис. 4.4, ж):

$$M_1 = M_2 = M_5 = M_6 = 0; M_3 = M_4 = M_{кр} = 0,717 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

7 Визначаємо небезпечний переріз вала, тобто такий, у якому діє максимальний приведений момент – M_{np}^{\max} . Для цього аналізуємо епюри M_x , M_y і $M_{кр}$ й підраховуємо значення приведенного моменту в кожному з характерних перерізів вала за формулою

$$M_{np}^{III} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_{кр}^2}.$$

$$\text{Перерізи 1 і 6: } M_{np}^{III} = \sqrt{0^2 + 0^2 + 0^2} = 0;$$

$$\text{переріз 2: } M_{np}^{III} = \sqrt{0,244^2 + 0,341^2 + 0^2} = 0,419 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$\text{переріз 3: } M_{np}^{III} = \sqrt{0,244^2 + 0,341^2 + 0,717^2} = 0,831 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$\text{переріз 4: } M_{np}^{III} = \sqrt{0,959^2 + 0,103^2 + 0,717^2} = 1,202 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$\text{переріз 5: } M_{np}^{III} = \sqrt{0,959^2 + 0,103^2 + 0^2} = 0,965 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Порівнюючи між собою розраховані значення приведенного моменту, бачимо, що небезпечним перерізом вала є переріз 4, в якому приведений момент є максимальним:

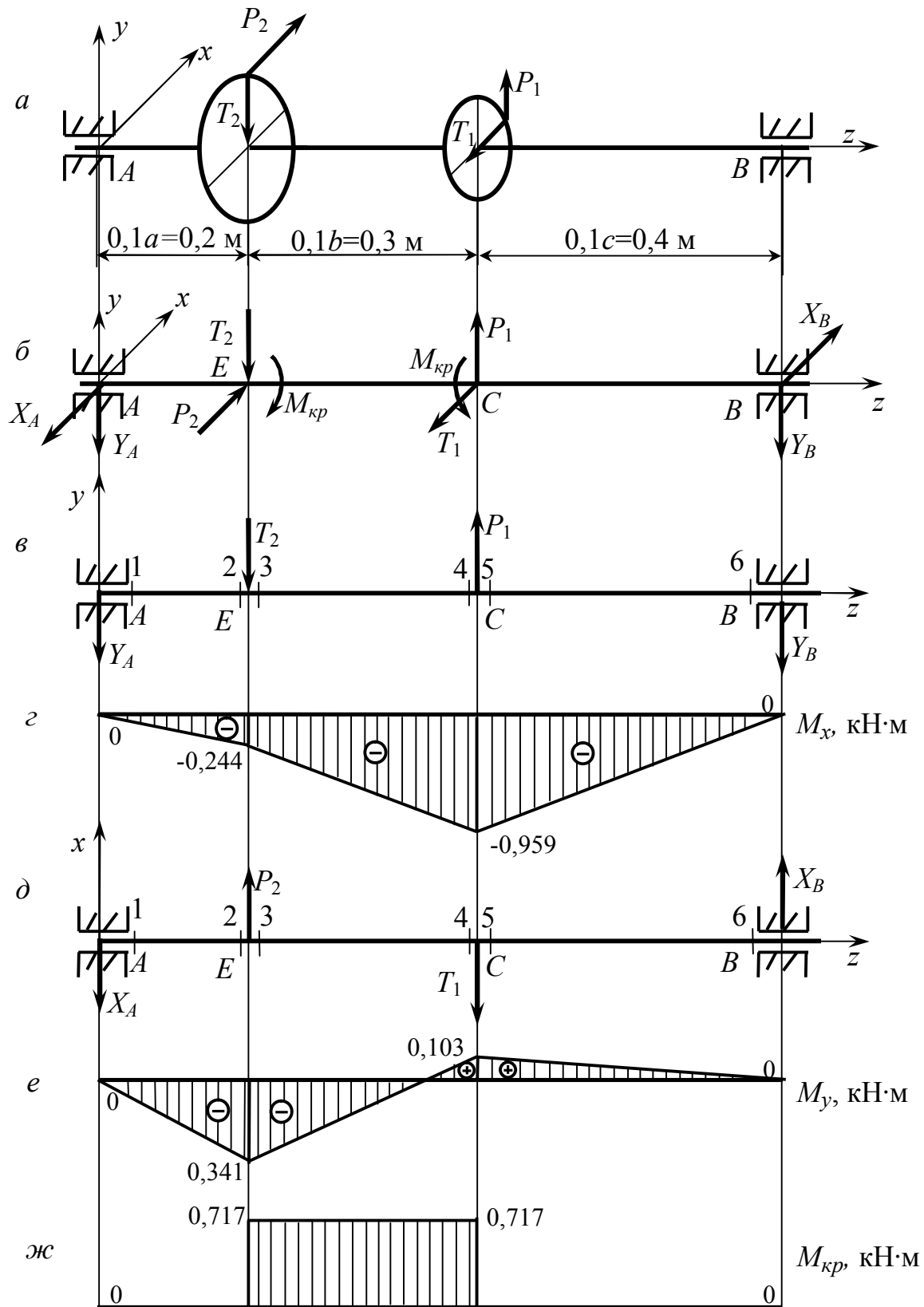
$$M_{np}^{\max} = 1,202 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

8 Визначаємо потрібний діаметр вала:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{np}^{\max}}{\pi \cdot [\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 1,202 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 100}} = 49,7 \text{ мм}.$$

Значення d приймаємо із нормального ряду (див. додаток Ж):

$$d = 50 \text{ мм}.$$



а – робоча схема вала; б – приведення сил до осі вала; в,г – навантаження вала і епюра згинальних моментів у вертикальній площині; д,е - навантаження вала і епюра згинальних моментів у горизонтальній площині; ж – епюра крутних моментів

Рисунок 4.4 – Графічні побудови до задачі 4.2

4.3 Задача екзаменаційних білетів до модуля 1 повного курсу опору матеріалів (тема 6).

Умова задачі: побудувати епюри внутрішніх зусиль для балки і підібрати розміри її перерізу, якщо $[\sigma] = 160$ МПа (варіанти перерізів¹: двотавр, швелер, круг, квадрат, прямокутник з відношенням сторін 2:1).

Схема балки зображена на рисунку 4.5. Числові дані задачі: $a = 3$ м, $b = 2$ м, $c = 4$ м, $d = 1$ м, $P = 16$ кН, $M = 12$ кН·м, $q = 10$ кН/м.

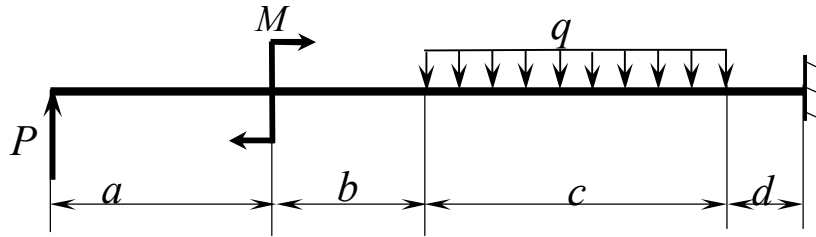


Рисунок 4.5 – Схема балки до задачі 4.3

Розв'язання задачі

1 Позначаємо осі координат і характерні перерізи балки (тобто ті, які розташовані у безпосередній близькості від сили і моменту, також на початку і в кінці ділянки з розподіленим навантаженням). Нумеруємо ці перерізи в напрямі від вільного кінця балки до жорсткого кріплення; при цьому відпадає потреба у попередньому визначенні опорних реакцій. Розподілене навантаження заміняємо його рівнодійною (рис. 4.6,а).

2 Будуємо епюру поперечних сил – Q . Значення цих сил у кожному з характерних перерізів визначаємо як алгебраїчну суму сил, які прикладені до частини балки зліва від перерізу; при цьому додатними вважаємо ті сили, що намагаються обернути залишену частину балки по ходу годинникової стрілки, а від'ємними – сили протилежного напрямку:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = P = 16 \text{ кН}; Q_5 = Q_6 = Q_4 - q \cdot c = 16 - 10 \cdot 4 = -24 \text{ кН}.$$

Знайдені величини поперечних сил відкладаємо від бази (нульової лінії) в певному масштабі у вигляді окремих точок; точки з'єднуємо прямими лініями (рис. 4.6,б).

Оскільки побудована епюра перетинає базу, визначаємо місце цього перетину, тобто положення перерізу D , в якому поперечна сила дорівнює нулю (див. рис. 4.6,б):

$$Q_D = Q_4 - q \cdot \ell_D = 0; \ell_D = Q_4 / q = 16 / 10 = 1,6 \text{ м}.$$

¹ Примітка: в кожному із білетів – один із означених варіантів перерізу.

3 Будуємо епюру згинальних моментів – M . Значення цих моментів у кожному з характерних перерізів визначаємо як суму алгебраїчних моментів відносно перерізу від сил, які прикладені зліва від нього, при цьому додатними вважаємо моменти, що спричиняють стискання верхніх волокон балки, а від’ємними – стискання нижніх:

$$M_1 = 0; \quad M_2 = P \cdot a = 16 \cdot 3 = 48 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_3 = M_2 + M = 48 + 12 = 60 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_4 = P \cdot (a + b) + M = 16 \cdot 5 + 12 = 92 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_5 = P \cdot (a + b + c) + M - q \cdot c \cdot \frac{c}{2} = 16 \cdot 9 + 12 - 10 \cdot 4 \cdot 2 = 76 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_6 = P \cdot (a + b + c + d) + M - q \cdot c \cdot \left(\frac{c}{2} + d \right) = 16 \cdot 10 + 12 - 10 \cdot 4 \cdot 3 = 52 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Додатково визначимо згинальний момент у перерізі D (в якому епюра Q перетинає базу і згинальний момент є екстремальним):

$$M_D = P \cdot (a + b + \ell_D) + M - q \cdot \ell_D \cdot \frac{\ell_D}{2} = 16 \cdot 6,6 + 12 - 10 \cdot 1,6 \cdot 0,8 = 104,8 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Знайдені величини згинальних моментів відкладаємо у вигляді окремих точок від нульової лінії епюри, притримуючись певного масштабу. На ділянках бази, де нема розподіленого навантаження, точки з’єднуємо прямими лініями, а де воно є – квадратичною параболою, опуклість якої спрямована проти дії цього навантаження (рис. 4.6,в).

4 Аналізуючи епюру згинальних моментів, знаходимо максимальне (за модулем) значення згинального моменту:

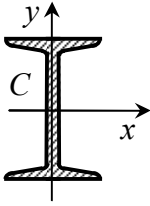
$$M_{\max} = M_D = 104,8 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

5 Виходячи з умови міцності (за нормальними напруженнями), знаходимо потрібний осьовий момент опору перерізу балки – W_x :

$$W_x \geq \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{104,8 \cdot 10^3}{160} = 655 \text{ см}^3.$$

6 Визначаємо мінімально необхідні розміри перерізів балки по кожному із зазначених їх варіантів:

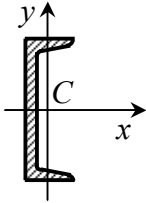
Переріз – двотавр:



Необхідний номер двотавра беремо із відповідної таблиці сортаменту (див. додаток Ж).

Це - двотавр 36 ГОСТ 8239-89 ($W_x = 743 \text{ см}^3$).

Переріз – швелер:



Необхідний номер швелера підбираємо із відповідної таблиці сортаменту (див. додаток Ж).

Це - швелер 40 ГОСТ 8240-89 ($W_x = 761 \text{ см}^3$).

Переріз – круг:

Необхідний діаметр круга визначаємо із формули:

$$W_x = \frac{\pi \cdot d^3}{32}. \quad (4.9)$$

З неї маємо:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot W_x}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 655}{3,14}} = 18,8 \text{ см} = 188 \text{ мм}.$$

Значення d приймаємо з нормального ряду (див. додаток Ж):

$$d = 200 \text{ мм}.$$

Переріз – квадрат:

Необхідний розмір сторони квадрата визначаємо із формули:

$$W_x = \frac{1}{6} \cdot k \cdot k^2 = \frac{k^3}{6}. \quad (4.10)$$

З неї маємо:

$$k \geq \sqrt[3]{6 \cdot W_x} = \sqrt[3]{6 \cdot 655} = 15,8 \text{ см} = 158 \text{ мм}.$$

Значення d приймаємо з нормального ряду (див. додаток Ж):

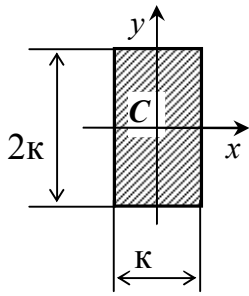
$$k = 160 \text{ мм}.$$

Переріз – прямокутник:

Необхідну ширину прямокутника визначаємо із формули:

$$W_x = \frac{1}{6} \cdot k \cdot (2k)^2 = \frac{4}{6} k^3 = \frac{2}{3} k^3. \quad (4.11)$$

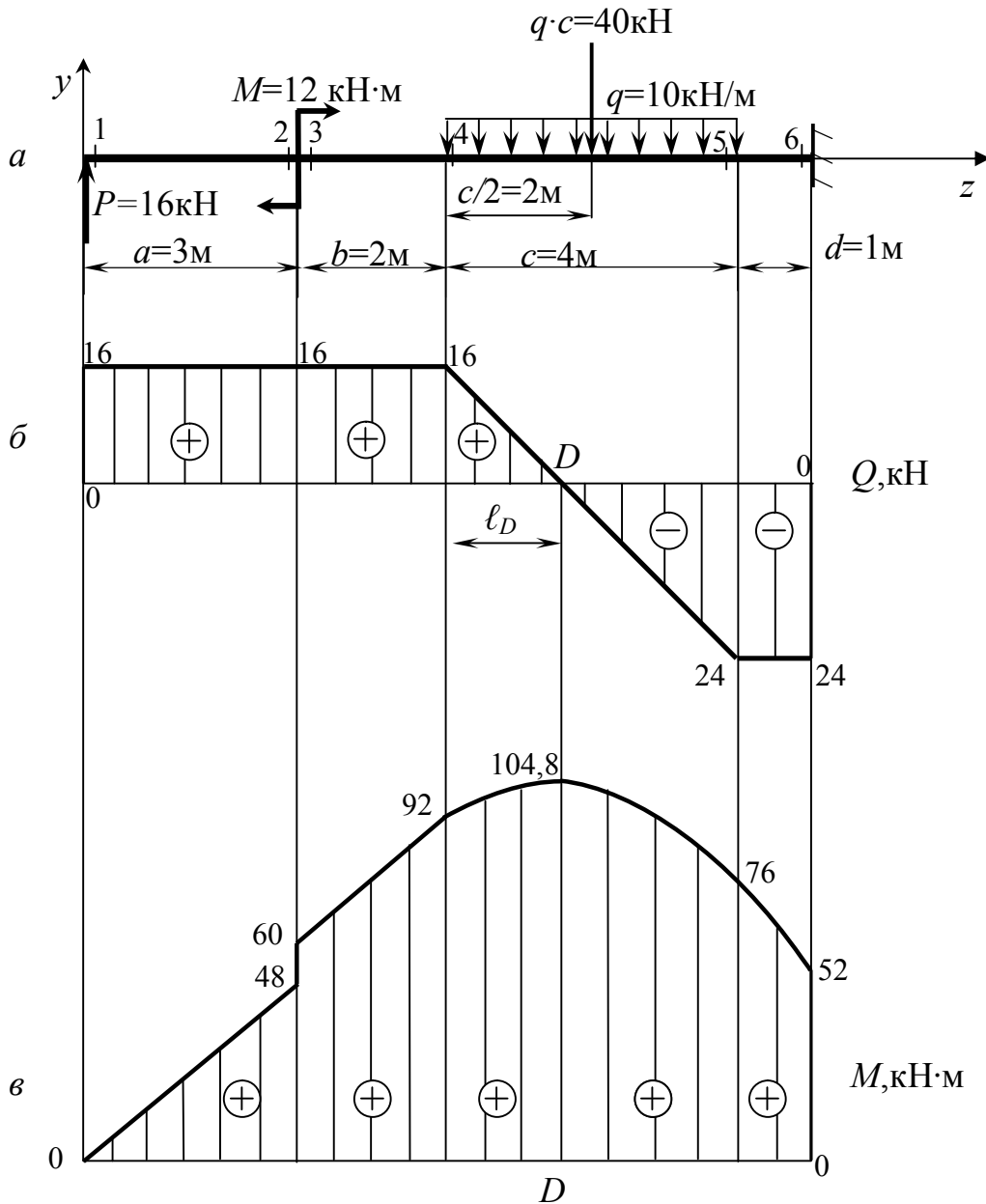
З неї маємо:



$$k \geq \sqrt[3]{\frac{3}{2} \cdot W_x} = \sqrt[3]{\frac{3}{2} \cdot 655} = 9,9 \text{ см} = 99 \text{ мм.}$$

Значення d приймаємо з нормального ряду (див. додаток Ж):

$$k = 100 \text{ мм.}$$



a – розрахункова схема балки; $б$ – еюра поперечних сил; $в$ – еюра згинальних моментів.

Рисунок 4.6 – Графічні побудови до задачі 4.3

4.4 Задача екзаменаційних білетів до модуля 2 повного курсу опору матеріалів і екзаменаційних білетів прискореного курсу (теми 6, 9)

Умова задачі: для заданої сталеві балки побудувати епюри внутрішніх зусиль і підібрати її переріз (двотавр), якщо $[\sigma] = 160$ МПа. Визначити переміщення точки K балки (або кут повороту перерізу K балки)².

Схема балки зображена на рисунку 4.7. Числові дані задачі: $a = 2$ м, $b = 3$ м, $c = 4$ м, $P = 20$ кН, $M = 25$ кН·м, $q = 30$ кН/м.

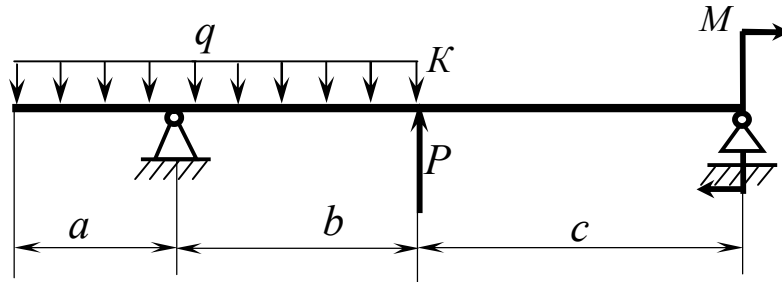


Рисунок 4.7 – Схема балки до задачі 4.4

Розв'язання задачі

1 Позначаємо осі координат, опорні точки і реакції, нумеруємо характерні перерізи балки (тобто ті, які розташовані у безпосередній близькості від сил і моменту, на початку і в кінці ділянок з розподіленим навантаженням). Обидві ділянки розподіленого навантаження замінюємо їх рівнодійними (рис. 4.8,а).

2 Визначаємо опорні реакції балки із рівнянь рівноваги.

$$\sum m_A = 0: \quad q \cdot a \cdot \frac{a}{2} - q \cdot b \cdot \frac{b}{2} + P \cdot b - M + R_B \cdot (b + c) = 0; \quad (4.12)$$

$$R_B = \frac{1}{b + c} \left(-q \cdot a \cdot \frac{a}{2} + q \cdot b \cdot \frac{b}{2} - P \cdot b + M \right) = \frac{1}{7} (-60 + 135 - 60 + 25) = 5,714 \text{ кН.}$$

$$\sum m_B = 0: \quad q \cdot a \cdot \left(\frac{a}{2} + b + c \right) - R_A \cdot (b + c) + q \cdot b \cdot \left(\frac{b}{2} + c \right) - P \cdot c - M = 0. \quad (4.13)$$

$$\begin{aligned} R_A &= \frac{1}{b + c} \left(q \cdot a \cdot \left(\frac{a}{2} + b + c \right) + q \cdot b \cdot \left(\frac{b}{2} + c \right) - P \cdot c - M \right) = \\ &= \frac{1}{7} (480 + 495 - 60 + 25) = 124,286 \text{ кН.} \end{aligned}$$

² Примітка: в кожному білеті – один із означених варіантів визначення переміщень

Виконаємо перевірку:

$$\begin{aligned}\sum P_y &= -q \cdot a + R_A - q \cdot b + P + R_B = \\ &= -60 + 124,286 - 90 + 20 + 5,714 = -150 + 150 = 0.\end{aligned}$$

Перевірка дає позитивний результат, тому робимо висновок про вірність визначення опорних реакцій.

3 Будуємо епюру поперечних сил для балки – Q (рис. 4.8,б):

$$Q_1 = 0; \quad Q_2 = -q \cdot a = -30 \cdot 2 = -60 \text{ кН};$$

$$Q_3 = Q_2 + R_A = -60 + 124,286 = 64,286 \text{ кН};$$

$$Q_4 = Q_3 - q \cdot b = 64,286 - 30 \cdot 3 = -25,714 \text{ кН};$$

$$Q_5 = Q_4 + P = -25,714 + 20 = -5,714 \text{ кН};$$

$$Q_6 = Q_5 = -5,714 \text{ кН};$$

$$\ell_D = Q_3 / q = 64,286 / 30 = 2,143 \text{ м}.$$

4 Будуємо епюру згинальних моментів для балки – M (рис. 4.8,в):

$$M_1 = 0; \quad M_2 = M_3 = -q \cdot a \cdot \frac{a}{2} = -30 \cdot 2 \cdot \frac{2}{2} = -60 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$\begin{aligned}M_4 = M_5 &= -q \cdot a \cdot \left(\frac{a}{2} + b\right) + R_A \cdot b - q \cdot b \cdot \frac{b}{2} = \\ &= -30 \cdot 2 \cdot \left(\frac{2}{2} + 3\right) + 124,286 \cdot 3 - 30 \cdot 3 \cdot \frac{3}{2} = -2,142 \text{ кН}\cdot\text{м};\end{aligned}$$

$$M_6 = -M = -25 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$\begin{aligned}M_D &= -q \cdot a \cdot \left(\frac{a}{2} + \ell_D\right) + R_A \cdot \ell_D - q \cdot \ell_D \cdot \frac{\ell_D}{2} = \\ &= -30 \cdot 2 \cdot \left(\frac{2}{2} + 2,143\right) + 124,268 \cdot 2,143 - 30 \cdot 2,143 \cdot \frac{2,143}{2} = 8,878 \text{ кН}\cdot\text{м}.\end{aligned}$$

5 Виходячи з умови міцності за нормальними напруженнями, знаходимо потрібний осьовий момент опору перерізу балки – W_x :

$$W_x \geq \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{60 \cdot 10^3}{160} = 375 \text{ см}^3.$$

Номер двотавра підбираємо з відповідної таблиці сортаменту (див. додаток Ж). Це - двотавр 27а ($W_x = 407 \text{ см}^3$; $J_x = 5500 \text{ см}^4$).

6 Переміщення точки K балки – δ_K визначаємо за методом Мора.

Прикладаємо в зазначеній точці одиничну силу $P' = 1$ (рис. 4.8, г) і будуємо від її дії епюру згинальних моментів – M_1' (рис. 4.8, д), визначаючи попередньо реакції опор балки – R_1 і R_2 :

$$\sum m_A = 0: P' \cdot b - R_2 \cdot (b + c) = 0; \quad (4.14)$$

$$R_2 = \frac{P' \cdot b}{b + c} = \frac{1 \cdot 3}{7} = 0,429.$$

$$\sum m_B = 0: R_1 \cdot (b + c) - P' \cdot c = 0. \quad (4.15)$$

$$R_1 = \frac{P' \cdot c}{b + c} = \frac{1 \cdot 4}{7} = 0,571.$$

Перевірка:

$$\sum P_y = -R_1 + P' - R_2 = -0,571 + 1 - 0,429 = -1 + 1 = 0.$$

Результат перевірки свідчить про правильність визначення R_1 і R_2 .

Згинальні моменти у характерних перерізах балки в даному разі мають такі значення:

$$M_1 = M_2 = M_3 = M_6 = 0; M_4 = M_5 = -R_1 \cdot b = -1,713 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Для визначення δ_K застосуємо універсальну формулу крайніх ординат (див. додаток Ж):

$$\begin{aligned} \delta_K = M \times \bar{M} &= \frac{3}{6EJ_x} [(2 \cdot (-60) \cdot 0 + 2 \cdot (-2,142) \cdot (-1,713) + (-60) \cdot (-1,713) + (-2,142) \cdot 0)] + \\ &+ \frac{30 \cdot 3^3}{24EJ_x} (0 - 1,713) + \frac{4}{6EJ_x} [2 \cdot (-2,142) \cdot (-1,713) + 2 \cdot (-25) \cdot 0 + (-25) \cdot (-1,713)] = \\ &= \frac{184126}{6EJ_x} = \frac{186126 \cdot 10^{12}}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 5500 \cdot 10^4} = 2,8 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Оскільки величина δ_K має знак плюс, точка K переміщується в напрямку дії одиничної сили, тобто вгору.

7 Кут повороту перерізу K балки – θ_K також визначаємо за методом Мора.

Прикладаємо в точці K балки одиничний момент $M' = 1$ і визначаємо від його дії опорні реакції – R_3 і R_4 (рис. 4.8, е):

$$\sum m_A = 0: M' + R_4 \cdot (b + c) = 0; \quad (4.16)$$

$$R_4 = \frac{M'}{b+c} = \frac{1}{7} = 0,143 \text{ М}^{-1}.$$

$$\sum m_B = 0: R_3 \cdot (b+c) - M' = 0. \quad (4.17)$$

$$R_3 = \frac{M'}{b+c} = \frac{1}{7} = 0,143 \text{ М}^{-1}.$$

Перевірка:

$$\sum P_y = -R_3 + R_4 = -0,143 + 0,143 = 0.$$

Результат перевірки підтверджує вірність значень R_3 і R_4 .

Визначаємо згинальні моменти в характерних перерізах балки від дії одиничного моменту ($M' = 1$) і будуємо епюру \bar{M}_2 (рис. 4.8, ж):

$$M_1 = M_2 = M_3 = M_6 = 0;$$

$$M_4 = -R_3 \cdot b = -0,143 \cdot 3 = -0,429;$$

$$M_5 = M_4 + M' = -0,429 + 1 = -0,571.$$

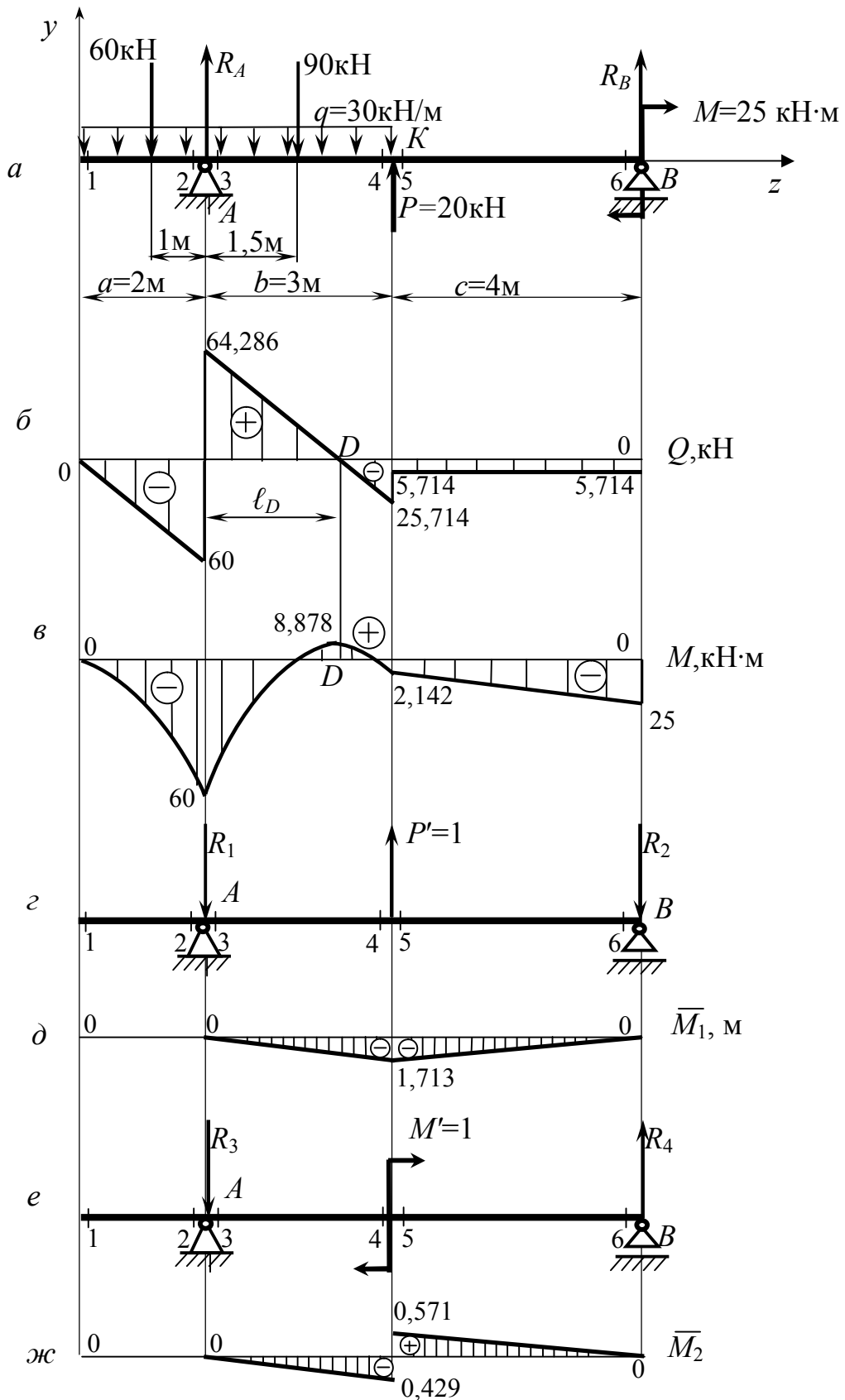
Значення θ_K підраховуємо за допомогою формули крайніх ординат (див. додаток Ж):

$$\theta_K = M \times \bar{M}_2 = \frac{3}{6EJ_x} [(2 \cdot (-60) \cdot 0 + 2 \cdot (-2,142) \cdot (-0,429) + (-60) \cdot (-0,429) + (-2,142) \cdot 0)] +$$

$$+ \frac{30 \cdot 3^3}{24EJ_x} (0 - 0,429) + \frac{4}{6EJ_x} [2 \cdot (-2,142) \cdot 0,571 + 2 \cdot (-25) \cdot 0 + (-2,142) \cdot 0 + (-25) \cdot 0,571] =$$

$$= -\frac{71024}{6EJ_x} = -\frac{71024 \cdot 10^9}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 550010^4} = -0,001 \text{ рад.} \approx -0,057 \text{ град.}$$

Величина θ_K є від'ємною, тож переріз K обертається проти напрямку одиничного моменту, тобто проти ходу годинникової стрілки.



а – розрахункова схема балки; б – еюра поперечних сил; в – еюра згинальних моментів; г, д – навантаження балки одиначною силою і еюра згинальних моментів від цього навантаження; е, ж – навантаження балки одиначним моментом і еюра згинальних моментів від нього.

Рисунок 4.8 – Графічні побудови до задачі 4.4

ЛІТЕРАТУРА

1. Конспект лекцій з дисципліни «Опір матеріалів» (для студентів всіх механічних спеціальностей денної і заочної форм навчання) / укл.: Л. В. Кутовий, Т. П. Зінченко, В. А. Овчаренко. – Краматорськ: ДДМА, 2007. Ч.1. – 196 с.
2. Писаренко Г. С. Опір матеріалів / Г. С. Писаренко, О. Л. Квітка, Є. С. Уманський. – К.: Вища шк., 2004. – 655 с.
3. Конспект лекцій по дисциплине «Сопротивление материалов». (для студентов всех механических специальностей очной и заочной формы обучения) / сост.: Л. В. Кутовой, Т. П. Зинченко, В. А. Овчаренко. – Краматорск: ДГМА, 2004. Ч.1.– 172 с.
4. Писаренко, Г. С. Сопротивление материалов / Г. С. Писаренко и др. – К.: Вища школа, 1986. – 775 с.
5. Шевченко Ф. Л. Курс опору матеріалів. Порада до вивчення теорії та розв'язання задач: навчальний посібник. / Ф. Л. Шевченко. – Донецьк: ДонНТУ, 2013. – 260 с.
6. Шевченко Ф. Л. Задачі з опору матеріалів: навчальний посібник / Ф. Л. Шевченко, С. М. Царенко. – Донецьк: ДонНТУ, 2010. – 356 с.
7. Ицкович Г. М. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов: Учебное пособие для вузов / Г. М. Ицкович, Л. С. Минин, А. И. Винокуров. – 3-е изд., перераб. и доп.– М.: Высш. шк., 2001. – 592 с.
8. Опір матеріалів : методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів усіх механічних спеціальностей / укл.: В. А. Овчаренко, Л. В. Кутовий – Краматорськ: ДДМА, 2008. – 80 с.
9. Кутовий Л. В. Збірник розрахунково-графічних завдань з курсу «Опір матеріалів»: навчальний посібник /Л. В. Кутовий, В. А. Овчаренко, Ю. С. Холодняк, М. О. Соломін, О. Ю. Деньщиков. – Краматорськ: ДДМА 2007. – 220 с.
10. Методические указания к контрольным работам №1 и №2 по дисциплине «Сопротивление материалов» (для студентов заочной формы обучения всех механических специальностей) / сост. В. А. Овчаренко – Краматорск: ДГМА, 2006. – 60 с.
11. Побудова епюр внутрішніх силових факторів для балок і плоских рам: навч. посібник / Ю. С. Холодняк [та ін.]. - Краматорськ ДДМА, 2010. - 128с.
12. Методические указания к контрольным работам №3 и №4 по дисциплине «Сопротивление материалов» (для студентов заочной формы обучения всех механических специальностей) / сост.: В. А. Овчаренко , Н. А. Соломин – Краматорск: ДГМА, 2007. – 48 с.

13. Конспект лекцій з дисципліни «Опір матеріалів» (для студентів всіх механічних спеціальностей денної і заочної форми навчання) / укл.: Л. В. Кутовий, Т. П. Зінченко, В. А. Овчаренко. – Краматорськ: ДДМА, 2008. Ч.2. – 168 с.

14. Конспект лекцій по дисциплине «Сопротивление материалов». (для студентов всех механических специальностей очной и заочной формы обучения) / сост. : Л. В. Кутовой, Т. П. Зинченко, В. А. Овчаренко. – Краматорск : ДГМА, 2005. Ч.2. – 176 с.

15. Овчаренко В. А. Самостійна робота студентів з дисципліни «Опір матеріалів». Навчальний посібник / В. А. Овчаренко, Л. В. Кутовий, М. О. Соломін, О. Ю. Деньщиков - Краматорськ: ДДМА, 2004.- 212 с.

16. Опір матеріалів : методичні вказівки до організації навчального процесу в умовах кредитно-модульної системи для викладачів і студентів усіх механічних спеціальностей денного відділення / укл. : Ю.С.Холодняк, В.А.Овчаренко, Л.В.Кутовий, О.Ю.Деньщиков. – Краматорськ : ДДМА, 2010. – 184 с.

17. Сопротивление материалов: методические указания по подготовке к практическим занятиям (для студентов всех механических специальностей очной и заочной форм обучения). / сост.: В. А. Овчаренко, С. В. Капорович. – Краматорск: ДГМА, 2008. Ч.1. – 172 с.

18. Іскрицький В. М. Теоретична механіка. Статика і кінематика: Навчальний посібник / В. М. Іскрицький, С. В. Подлесний, О. Г. Водолазська, Ю. О. Єрфорт. – Краматорськ: ДДМА, 2008. – 204 с.

Додаток А

Мікропитання для самоперевірки

Тема 1. Вступ. Метод перерізів.

1. Дайте визначення предмету «Опір матеріалів». На яких припущеннях він базується?
2. Яким методом визначаються внутрішні силові фактори в навантажених тілах? Назвіть його сутність.
3. Назвіть типові елементи конструкцій. Чим відрізняється розрахункова схема від реального об'єкта?
4. Скільки внутрішніх силових факторів виникає в поперечних перерізах стрижня при його довільному навантаженні? Назвіть їх.
5. Дайте визначення напружень. В яких одиницях вони вимірюються?
6. Які напруження виникають в поперечному перерізі стрижня при його довільному навантаженні? Запишіть і поясните формулу зв'язку між ними.
7. Наведіть і поясните формули зв'язку між напруженнями і внутрішніми силовими факторами в поперечному перерізі стрижня.

Тема 2. Теорія напруженого стану. Теорії міцності.

1. Дайте визначення напруженого стану в точці тіла. Як він задається?
2. Назвіть компоненти напруженого стану в точці тіла. Які індекси їм надають?
3. Сформулюйте закон парності дотичних напружень.
4. Дайте визначення головних напружень, головних площадок і головних напрямів.
5. Які типи напружених станів Вам відомі? Чим вони відрізняються один від одного?
6. Сформулюйте пряму задачу теорії напруженого стану.
7. Сформулюйте зворотню задачу теорії напруженого стану.
8. Якими методами розв'язують основні задачі теорії плоского і об'ємного напружених станів?
9. Як розв'язують пряму задачу теорії плоского напруженого стану за допомогою кругів Мора? Поясніть на прикладі.
10. Як розв'язують зворотню задачу теорії плоского напруженого стану за допомогою кругів Мора? Поясніть на прикладі.
11. В яких межах змінюються нормальні і дотичні напруження в точці тіла при об'ємному напруженому стані?
12. Наведіть і поясните формулу для визначення максимальних дотичних напружень в точці тіла. Як розташована площадка їх дії?
13. Дайте визначення головних деформацій. Як їх позначають?
14. Запишіть і поясните узагальнений закон Гука.
15. Дайте визначення питомої потенційної енергії пружної деформації. Назвіть її складові.

16. Назвіть призначення теорій міцності. Дайте визначення критерія міцності та еквівалентного напруження.
17. Сформулюйте першу теорію міцності. Назвіть область її застосування.
18. Запишіть і поясніть умову міцності за першою теорією міцності.
19. Наведіть формулу для підрахунку еквівалентного напруження за першою теорією міцності. Поясніть її.
20. Сформулюйте другу теорію міцності. Назвіть область її застосування.
21. Запишіть і поясніть умову міцності за другою теорією міцності.
22. Наведіть і поясніть формулу для підрахунку еквівалентного напруження за другою теорією міцності.
23. Сформулюйте третю теорію міцності. Вкажіть область її застосування.
24. Запишіть і поясніть умову міцності за третьою теорією міцності.
25. Наведіть і поясніть формулу для підрахунку еквівалентного напруження за третьою теорією міцності.
26. Сформулюйте четверту теорію міцності. Вкажіть область її застосування.
27. Запишіть і поясніть умову міцності за четвертою теорією міцності.
28. Наведіть і поясніть формулу для підрахунку еквівалентного напруження за четвертою теорією міцності.
29. Вкажіть область застосування теорії міцності Мора. Наведіть і поясніть умову міцності за цією теорією.
30. Наведіть і поясніть формулу для підрахунку еквівалентного напруження за теорією Мора.

Тема 3. Розтягання-стискання.

1. Який вид навантаження стрижня зветься розтяганням – стисканням? Наведіть і поясніть формулу для визначення напружень в стрижні при цьому навантаженні.
2. Що таке волокно стрижня? Як деформуються волокна стрижня при розтяганні – стисканні?
3. Запишіть і поясніть закон Гука при розтяганні – стисканні. Назвіть значення модуля пружності першого роду для сталі.
4. За якою формулою підраховується абсолютне подовження або укорочення стрижня при розтяганні – стисканні? Поясніть її.
5. Що таке коефіцієнт Пуассона? Вкажіть границі його змінювання та значення для сталі.
6. Дайте визначення пластичності та крихкості. Наведіть приклади пластичних і крихких матеріалів.
7. Запишіть і поясніть умови міцності при розтяганні – стисканні.
8. Що таке небезпечне і допустиме напруження? Наведіть і поясніть формулу зв'язку між ними.

9. Які напруження вважаються небезпечними для пластичних і крихких матеріалів?
10. Наведіть і поясніть формулу для визначення допустимих напружень для пластичних матеріалів.
11. Наведіть і поясніть формулу для визначення допустимих напружень для крихких матеріалів.
12. Які механічні властивості можна визначити з діаграми розтягання маловуглецевої сталі?
13. Що зветься границею пропорційності матеріалу? Наведіть і поясніть формулу для її обчислення.
14. Що зветься границею пружності матеріалу? Наведіть і поясніть формулу для її обчислення.
15. Що зветься границею текучості матеріалу? За якою формулою вона визначається?
16. Що зветься границею міцності матеріалу? За якою формулою вона визначається?
17. Коли з'являється шийка у зразку при випробуванні на розтягання?
18. Які показники визначають пластичність сталі? Наведіть і поясніть формули для їх обчислення.
19. Які механічні властивості можна визначити при стисканні маловуглецевої сталі та чавуну?
20. Дайте визначення статично визначуваних і статично невизначуваних стрижневих систем.
21. Наведіть послідовність розрахунку зусиль у статично невизначуваних стрижневих системах, що працюють на розтягання – стискання.
22. Назвіть зміст основних етапів розрахунку статично невизначуваних стрижневих систем при розтяганні – стисканні.

Тема 4. Геометрія плоских перерізів.

1. Дайте визначення статичних моментів плоскої фігури.
2. Які осі плоскої фігури зветься центральними? Що таке центр ваги плоскої фігури?
3. Наведіть формули для визначення координат центру ваги плоскої фігури. Поясніть їх.
4. Покажіть на схемах положення центрів ваги круга, прямокутника, трикутника.
5. Якими методами визначається положення центрів ваги складних фігур? Назвіть сутність цих методів.
6. За якими формулами визначаються координати центру ваги складної фігури? Дайте необхідні пояснення.
7. Дайте визначення осьових моментів інерції плоскої фігури. Наведіть необхідну схему.
8. Дайте визначення полярного та відцентрового моментів інерції плоскої фігури. Наведіть необхідну схему.

9. Який зв'язок існує між осьовими і полярним моментами інерції плоскої фігури?
10. Наведіть одиниці виміру статичних моментів і моментів інерції плоскої фігури. Які з цих моментів можуть бути від'ємними?
11. Які осі зветься головними осями інерції плоскої фігури? Вкажіть на схемах їх положення у фігур з однією та двома осями симетрії.
12. Як визначити візуально знак відцентрового моменту інерції плоскої фігури відносно довільних осей координат? Покажіть на схемі.
13. Дайте визначення головних центральних осей і головних моментів інерції плоскої фігури.
14. Як підраховуються головні моменти інерції круга та прямокутника? Приведіть необхідні схеми і формули.
15. Запишіть і поясніть формули для перетворення осьових і відцентрового моментів інерції плоскої фігури при паралельному перенесенні осей координат.
16. Запишіть і поясніть формули для перетворення осьових моментів інерції плоскої фігури при повороті осей координат.
17. Запишіть і поясніть формулу для перетворення відцентрового моменту інерції плоскої фігури при повороті осей координат.
18. Як визначити кут, на який треба повернути довільні центральні осі плоскої фігури, щоб вони зробились головними? Наведіть і поясніть відповідну формулу.
19. Наведіть і поясніть схемою формули для підрахунку осьових і відцентрового моментів інерції складної фігури відносно довільно орієнтованих центральних осей.
20. Наведіть і поясніть схемою формули для визначення через кут повороту α_0 головних моментів інерції довільної плоскої фігури.
21. Наведіть і поясніть формули для визначення без використання кута повороту α_0 головних моментів інерції довільної плоскої фігури.

Тема 5. Зсув. Кручення.

1. Який вид напруженого стану зветься чистим зсувом? Чому?
2. Наведіть і поясніть закон Гука при зсуві.
3. Наведіть і поясніть формулу для визначення абсолютного зсуву.
4. Що визначає модуль пружності другого роду? Назвіть його значення для сталі.
5. Наведіть і поясніть формулу зв'язку модулів пружності першого і другого роду.
6. Наведіть і поясніть умову міцності при зсуві (зрізі).
7. Що зветься крученням? Як зветься стрижні, які працюють на кручення?
8. Яку форму поперечного перерізу мають стрижні, що працюють на кручення? Який її різновид більш доцільний?
9. Сформулюйте, як визначається крутний момент у довільному перерізі вала.

10. Запишіть і поясніть формулу зв'язку крутного моменту з потужністю, що передається валом.
11. Який вид напруженого стану і характер деформації виникають у валах при крученні?
12. Наведіть і поясніть формулу для визначення дотичних напружень у поперечному перерізі вала.
13. Наведіть і поясніть формулу для визначення максимальних дотичних напружень у поперечному перерізі вала.
14. Дайте визначення полярного моменту опору. Як він пов'язаний з осьовими моментами опору?
15. Наведіть і поясніть формули для обчислення полярних моментів опору для валів суцільного та пустотілого перерізів.
16. Зобразіть епюри дотичних напружень у поперечному перерізі суцільних та пустотілих валів, вкажіть на них місця максимуму цих напружень.
17. Наведіть і поясніть формулу для визначення погонного кута закручування вала.
18. Наведіть і поясніть умови міцності й жорсткості вала при крученні.

Тема 6. Плоский згин.

1. Дайте визначення балки, прогону, консолі.
2. Дайте визначення рами, стояка, ригеля.
3. Дайте визначення плоского, поперечного і чистого згинів.
4. Як поведуть себе волокна стрижня при згині? Що таке нейтральний шар?
5. Як розташований нейтральний шар при плоскому згині стрижня у вертикальній і горизонтальній площинах?
6. Скільки і яких внутрішніх силових факторів виникає в балках при плоскому згині в загальному випадку навантаження? Назвіть правила знаків для цих факторів.
7. Скільки і яких внутрішніх силових факторів виникає в рамах при плоскому згині в загальному випадку навантаження? Назвіть правила знаків для них.
8. Дайте визначення характерних перерізів балок і рам. Яким методом визначаються внутрішні силові фактори в цих перерізах?
9. Запишіть і поясніть диференційні залежності при плоскому згині стрижня.
10. Сформулюйте правило визначення поперечних сил в довільному перерізі балки.
11. Сформулюйте правило визначення згинального моменту в довільному перерізі балки.
12. Сформулюйте правило визначення поздовжньої сили в довільному перерізі рами.

13. Сформулюйте правило визначення поперечної сили в довільному перерізі рами.
14. Сформулюйте правило визначення величини і напрямку згинального моменту в довільному перерізі рами. З якого боку бази він відкладається на епюрі?
15. Якими лініями зображуються епюри поперечних сил і згинальних моментів на ділянках балок і рам з рівномірно розподіленим навантаженням?
16. Якими лініями зображуються епюри поперечних сил і згинальних моментів на ділянках балок і рам, де розподілене навантаження відсутнє?
17. Схарактеризуйте особливості епюр поперечних сил і згинальних моментів у місцях прикладання до балки або рами зосереджених сил.
18. Схарактеризуйте особливості епюри згинальних моментів у місці прикладання до балки або до рами зосередженого моменту.
19. Схарактеризуйте особливості епюри згинальних моментів у місці, де епюра поперечних сил перетинає базу.
20. Як визначити переріз балки або рами, в якому згинальний момент є екстремальним? Поясніть схемою.
21. Наведіть і поясніть формулу для визначення нормальних напружень при плоскому згині стрижня.
22. Наведіть і поясніть формулу для визначення максимальних нормальних напружень в стрижні при плоскому згині.
23. Дайте визначення осьових моментів опору.
24. Наведіть і поясніть формулу для обчислення осьових моментів опору круга і прямокутника.
25. Зобразіть епюру нормальних напружень в поперечному перерізі стрижня при плоскому згині, вкажіть на ній місця максимуму цих напружень.
26. Наведіть і поясніть формулу для визначення дотичних напружень при плоскому згині стрижня. Назвіть її автора.
27. Зобразіть епюри дотичних напружень при плоскому згині балки круглого і прямокутного перерізів, вкажіть на них місця максимуму цих напружень.
28. Наведіть і поясніть формули для обчислення максимальних дотичних напружень при плоскому згині балки круглого і прямокутного перерізів.
29. Зобразіть епюри дотичних напружень при плоскому згині швелера і двотаврової балки, вкажіть місця максимуму цих напружень.
30. Наведіть і поясніть формули для обчислення максимальних дотичних напружень при плоскому згині швелера і двотаврової балки.
31. Наведіть і поясніть формули для підрахунку еквівалентних напружень при плоскому згині стрижня за третьою та четвертою теоріями міцності.
32. Наведіть умови міцності стрижня при плоскому згині.

33. Запишіть формули для визначення допустимих дотичних напружень за третьою та четвертою теоріями міцності.

Тема 7. Складний опір.

1. Що зветься складним опором? Які його види Ви знаєте?
2. Дайте визначення складного і косоного згинів. Чим вони відрізняються один від одного?
3. Які напруження переважають в стрижнях при складному і косому згинах? Наведіть і поясніть формулу для їх визначення.
4. Наведіть і поясніть рівняння нейтральної лінії перерізу при складному і косому згинах стрижня. Зобразіть її на схемах.
5. Наведіть і поясніть умови міцності стрижня при складному і косому згинах. Як визначити найбільше напружені точки перерізу в зонах розтягання і стискання?
6. Наведіть і поясніть формулу для визначення максимальних за модулем нормальних напружень у поперечному перерізі стрижня при складному і косому згинах у випадку, коли переріз має дві осі симетрії і чотири крайні кути.
7. Скільки і яких внутрішніх силових факторів виникає у валах при складному згині з крученням? Які з них враховуються у розрахунках на міцність?
8. Вкажіть на схемі положення небезпечних точок перерізу вала при складному згині з крученням.
9. Наведіть і поясніть формули для визначення за третьою і четвертою теоріями міцності максимальних еквівалентних напружень у поперечному перерізі вала при складному згині з крученням.
10. Що таке приведений момент? Як він підраховується за третьою і четвертою теоріями міцності? Наведіть і поясніть необхідні формули.
11. Наведіть і поясніть умову міцності вала при складному згині з крученням. Які види розрахунків виконують з її застосуванням?
12. Наведіть послідовність проектного розрахунку вала при складному згині з крученням.
13. Наведіть послідовність перевірного розрахунку вала при складному згині з крученням.
14. Вкажіть особливість вибору допустимих напружень для валів при складному згині з крученням. Назвіть причини цієї особливості.
15. Наведіть і поясніть формулу для визначення нормальних напружень у поперечному перерізі стрижня при складному згині з розтяганням – стисканням.
16. Наведіть і поясніть формулу для визначення напружень в стрижні при позацентровому розтяганні – стисканні.
17. Наведіть і поясніть умови міцності при складному згині стрижня з розтяганням – стисканням і позацентровому розтяганні – стисканні. Як визначити найбільше напружені точки перерізу в зонах розтягання і стискання?

18. Покажіть на схемах, як будується нейтральна лінія перерізу при складному згині стрижня з розтяганням – стисканням і позацентровому розтяганні – стисканні.

19. Дайте визначення ядра перерізу. Який вид воно має у круга і прямокутника? Покажіть на схемах.

Тема 8. Стійкість стиснутих стрижнів.

1. Які види пружної рівноваги стиснутого стрижня Вам відомі? Який з них є небезпечним з точки зору поздовжнього згину?

2. Дайте визначення стійкої рівноваги стиснутого стрижня.

3. Дайте визначення нестійкої рівноваги стиснутого стрижня.

4. Дайте визначення байдужої рівноваги стиснутого стрижня.

5. Дайте визначення критичної сили і критичного напруження для стиснутого стрижня.

6. Наведіть і поясніть формулу Ейлера для критичної сили.

7. Наведіть і поясніть формулу Ейлера для критичного напруження.

8. Наведіть формулу для визначення приведеної довжини стиснутого стрижня. Назвіть фізичну сутність цієї величини.

9. Наведіть і поясніть формулу для визначення гнучкості стиснутого стрижня.

10. Вкажіть межі застосування формули Ейлера для критичного напруження.

11. Запишіть і поясніть формулу Ясинського для критичного напруження в сталевих стрижнях.

12. Вкажіть межі застосування формули Ясинського для критичного напруження.

13. Що таке коефіцієнт зменшення основного допустимого напруження? Від яких факторів він залежить?

14. Наведіть і поясніть умову стійкості стиснутого стрижня при використанні коефіцієнта зменшення основного допустимого напруження.

Тема 9. Переміщення в пружних системах.

1. Розтлумачте спосіб визначення потенційної енергії пружної деформації стрижня.

2. Скільки складових має потенційна енергія пружної деформації стрижня в загальному випадку його навантаження? Назвіть найбільше вагомі з них.

3. Як визначається потенційна енергія пружної деформації стрижневої системи? Наведіть відповідну формулу.

4. Наведіть і поясніть формулу для підрахунку потенційної енергії пружної деформації стрижня від дії поздовжньої сили.

5. Наведіть і поясніть формулу для підрахунку потенційної енергії пружної деформації стрижня від дії однієї з поперечних сил.

6. Наведіть і поясніть формулу для підрахунку потенційної енергії пружної деформації стрижня від дії одного із згинальних моментів.

7. Наведіть і поясніть формулу для підрахунку потенційної енергії пружної деформації стрижня від дії крутного моменту.
8. Наведіть і поясніть формулу, яку використовують звичайно для підрахунку потенційної енергії пружної деформації балки при плоскому згині.
9. Наведіть і поясніть формулу, яку використовують звичайно для підрахунку потенційної енергії пружної деформації плоскої рами.
10. Яка теорема встановлює зв'язок потенційної енергії пружної деформації з переміщеннями в системі? Сформулюйте її.
11. Що таке узагальнена сила і переміщення точки її прикладання в теоремі Кастіліано?
12. Назвіть причину обмеженого застосування теореми Кастіліано в інженерних розрахунках. Який метод усуває цю причину?
13. Розтлумачте сутність методу Мора для визначення переміщень у пружних системах.
14. Скільки інтегралів Мора можна записати для стрижня в разі його довільного навантаження? Який з них використовують звичайно при визначенні переміщень у балках і плоских рамах?
15. Назвіть чисельні способи обчислення інтегралів Мора.
16. Сформулюйте правило Вершагіна для обчислення інтегралів Мора.
17. Наведіть і поясніть схемою формулу крайніх ординат.
18. Як визначається знак поправки на кривизну в формулі крайніх ординат?
19. Дайте визначення статично визначуваних і статично невизначуваних стрижневих систем. Які переваги мають статично невизначувані системи в порівнянні з статично визначуваними?
20. Як визначається ступінь статичної невизначуваності стрижневої системи? Поясніть на прикладі плоскої рами.
21. Що таке розкриття статичної невизначуваності стрижневої системи? Назвіть його основні етапи.
22. Що таке основна система і еквівалентна система? Покажіть їх на прикладі один раз статично невизначуваної рами або балки.
23. Яке призначення канонічних рівнянь методу сил? Яка їх фізична сутність?
24. Запишіть канонічне рівняння методу сил для один раз статично невизначуваної системи. Як визначаються його коефіцієнти?
25. Запишіть канонічні рівняння методу сил для двічі статично невизначуваної системи. Вкажіть однакові коефіцієнти в цих рівняннях.
26. Яка основна система вважається оптимальною для багатопрогнних нерозрізних балок?
27. Як будуються епюри поперечних сил і згинальних моментів у багатопрогнних нерозрізних балках?
28. Назвіть сутність деформаційної перевірки розрахунку статично невизначуваної системи. Скільки раз вона виконується?

29. Назвіть основні етапи визначення лінійних переміщень у статично невизначуваних системах.

30. Назвіть основні етапи визначення кутових переміщень у статично невизначуваних системах.

Тема 10. Динамічне навантаження.

1. Дайте визначення динамічного режиму навантаження. Чим він відрізняється від статичного?

2. Який принцип є основою розрахунку напружень і деформацій при динамічному навантаженні? Сформулюйте його.

3. Яким чином визначаються напруження і деформації при ударі?

4. Наведіть і поясніть формулу для динамічного коефіцієнту при ударі? Назвіть його мінімальне значення.

5. Дайте визначення пружної системи.

6. Назвіть відомі Вам види коливань пружних систем.

7. Які коливання пружних систем зводяться до власних? Назвіть їх різновиди.

8. Наведіть і поясніть закон власних коливань пружної системи з одним ступенем свободи при відсутності опору середовища.

9. Наведіть і поясніть формули для амплітуди і початкової фази власних коливань пружної системи з одним ступенем свободи при відсутності опору середовища.

10. Наведіть і поясніть формули для колової частоти і періоду власних коливань пружної системи з одним ступенем свободи при відсутності опору середовища.

11. Зобразіть графік власних коливань пружної системи з одним ступенем свободи при відсутності опору середовища і покажіть на ньому амплітуду та період.

12. Наведіть і поясніть формулу для жорсткості стержня при поздовжніх коливаннях.

13. Наведіть і поясніть формулу для жорсткості стержня при поперечних коливаннях.

14. Що таке статична деформація пружного елемента? Як вона визначається?

15. Як визначається максимальна деформація пружного елемента під час коливань? Наведіть відповідну формулу.

16. Як визначається максимальне навантаження пружного елемента під час коливань? Наведіть відповідну формулу?

17. Що таке лінійний опір середовища? Як він впливає на процес коливань?

18. Наведіть і поясніть закон власних коливань пружної системи з одним ступенем свободи при наявності лінійного опору середовища.

19. Зобразіть графік власних коливань пружної системи з одним ступенем свободи при наявності лінійного опору середовища і покажіть на ньому умовну амплітуду та період.

20. Наведіть і поясніть формулу для умовної амплітуди і початкової фази власних коливань пружної системи з одним ступенем свободи при наявності лінійного опору середовища.

21. Наведіть і поясніть формулу для колової частоти та періоду власних коливань пружної системи з одним ступенем свободи при наявності лінійного опору середовища.

22. Наведіть і поясніть формули для декремента та логарифмічного декремента затухаючих коливань.

23. Що таке гармонійна збудуюча сила? Що є її джерелом?

24. Наведіть і поясніть закон коливань пружної системи з одним ступенем свободи при наявності гармонійної збудуючої сили і лінійного опору середовища.

25. Наведіть складові процесу коливань пружної системи з одним ступенем свободи при наявності гармонійної збудуючої сили і лінійного опору середовища. Яка з них з часом зникає?

26. Наведіть і поясніть формулу для амплітуди вимушених коливань пружної системи з одним ступенем свободи при наявності лінійного опору середовища.

27. Наведіть і поясніть формулу для зсуву фаз вимушених коливань пружної системи з одним ступенем свободи. Розтлумачте його сутність.

28. Як визначається максимальне навантаження пружного елемента при вимушених коливаннях? Наведіть відповідну формулу.

29. Дайте тлумачення коефіцієнта нарощування амплітуди вимушених коливань.

30. Наведіть і поясніть формулу для коефіцієнта нарощування амплітуди вимушених коливань.

31. Наведіть і поясніть формулу для коефіцієнта нарощування амплітуди вимушених коливань в разі нехтування опором середовища.

32. Наведіть і поясніть формулу для коефіцієнта розладу пружної системи.

33. Наведіть і поясніть формулу для безрозмірного коефіцієнта в'язкості середовища.

34. Дайте тлумачення резонансних кривих.

35. Дайте визначення резонансу.

36. Назвіть негативні наслідки резонансу та шляхи його усунення.

Тема 11. Витривалість.

1. Що таке втомленість та витривалість?

2. Що таке границя витривалості?

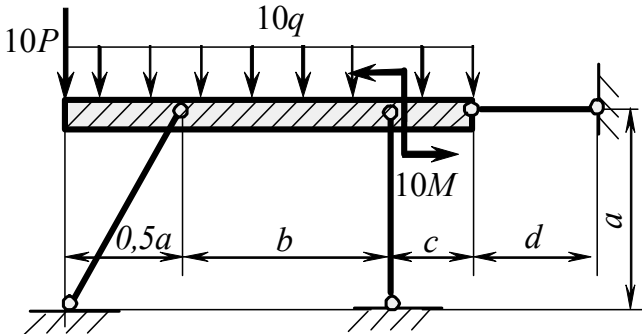
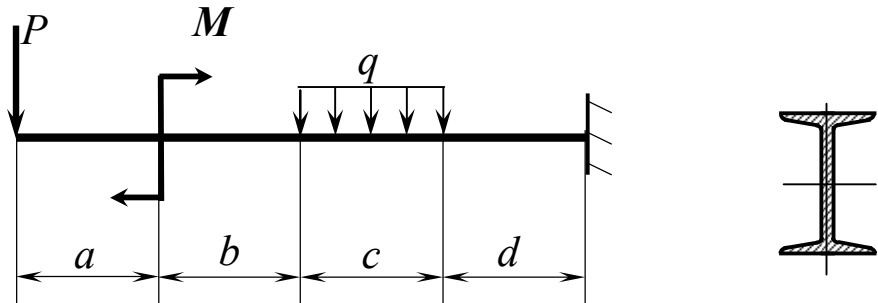
3. Від яких конструктивно-технологічних факторів залежить границя витривалості?

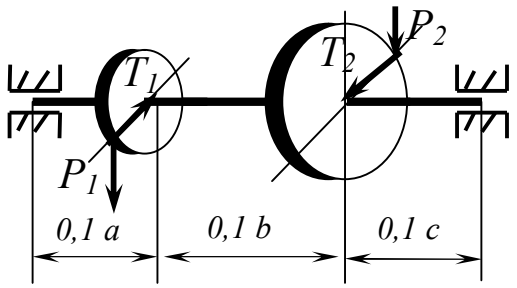
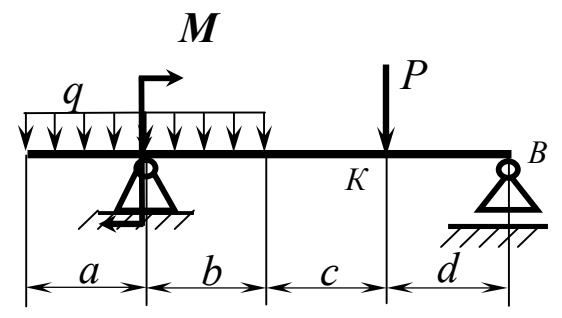
4. Що таке концентрація напружень? Якими коефіцієнтами вона враховується?

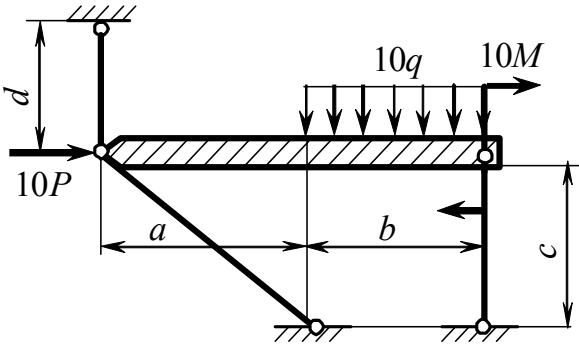
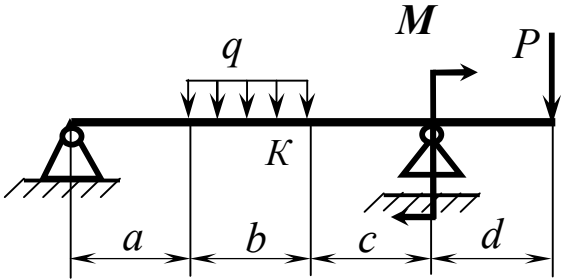
5. Що таке характеристика циклу? Назвіть її значення для пульсуючого та симетричного циклів?

6. Що таке концентратори напружень?
7. Як впливають розміри деталі на границю витривалості?
8. Як враховується дія конструктивно-технологічних факторів при розрахунках на витривалість?
9. Який вигляд має наближена діаграма граничних амплітуд?
10. Як визначається коефіцієнт запасу міцності за нормальними напруженнями при розрахунку на витривалість?
11. Як визначається коефіцієнт запасу міцності за дотичними напруженнями при розрахунку на витривалість?
12. Як визначається коефіцієнт запасу міцності при розрахунку на витривалість в разі одночасної дії нормальних і дотичних напружень?

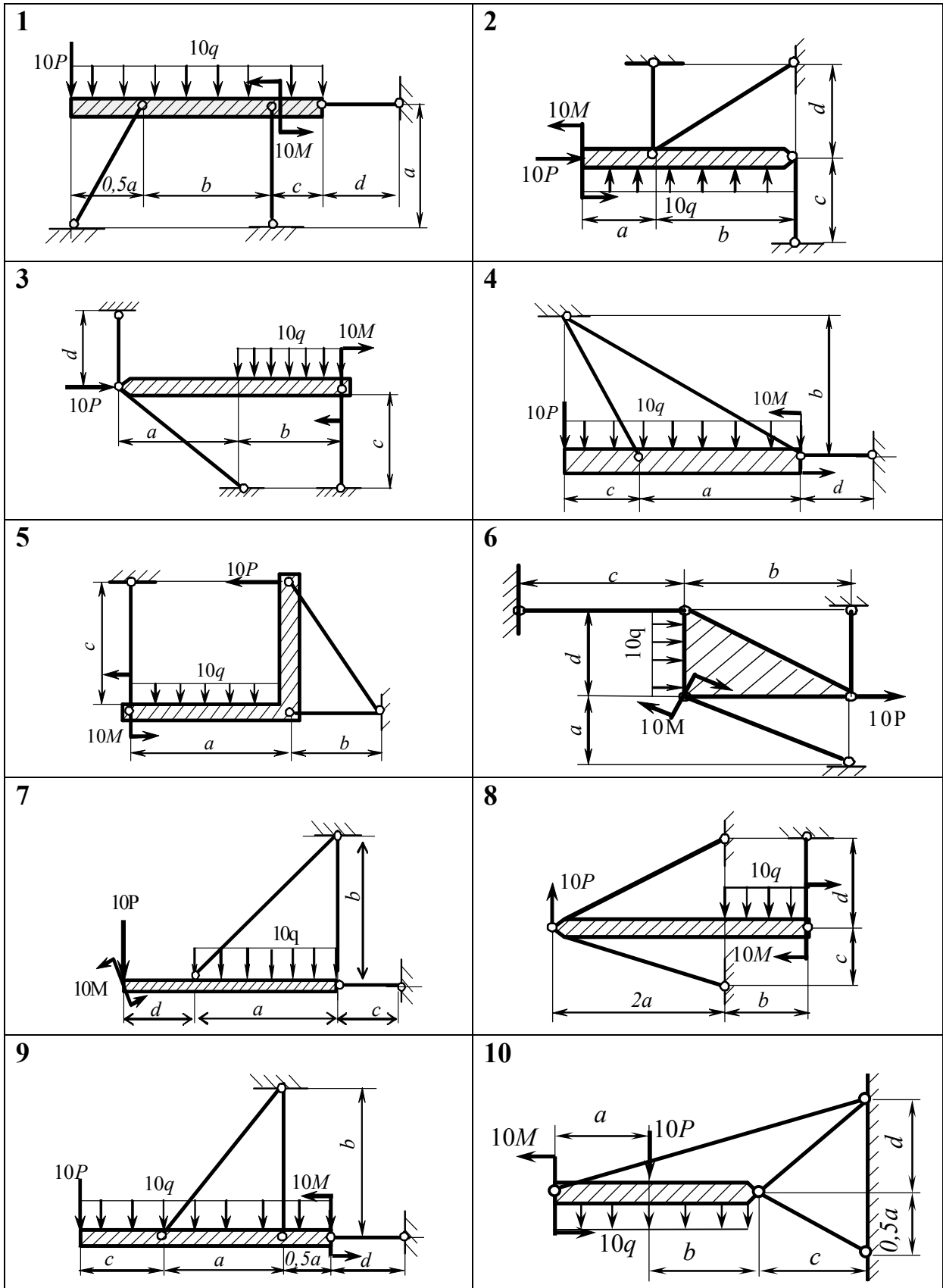
Додаток Б
Зразки екзаменаційних матеріалів

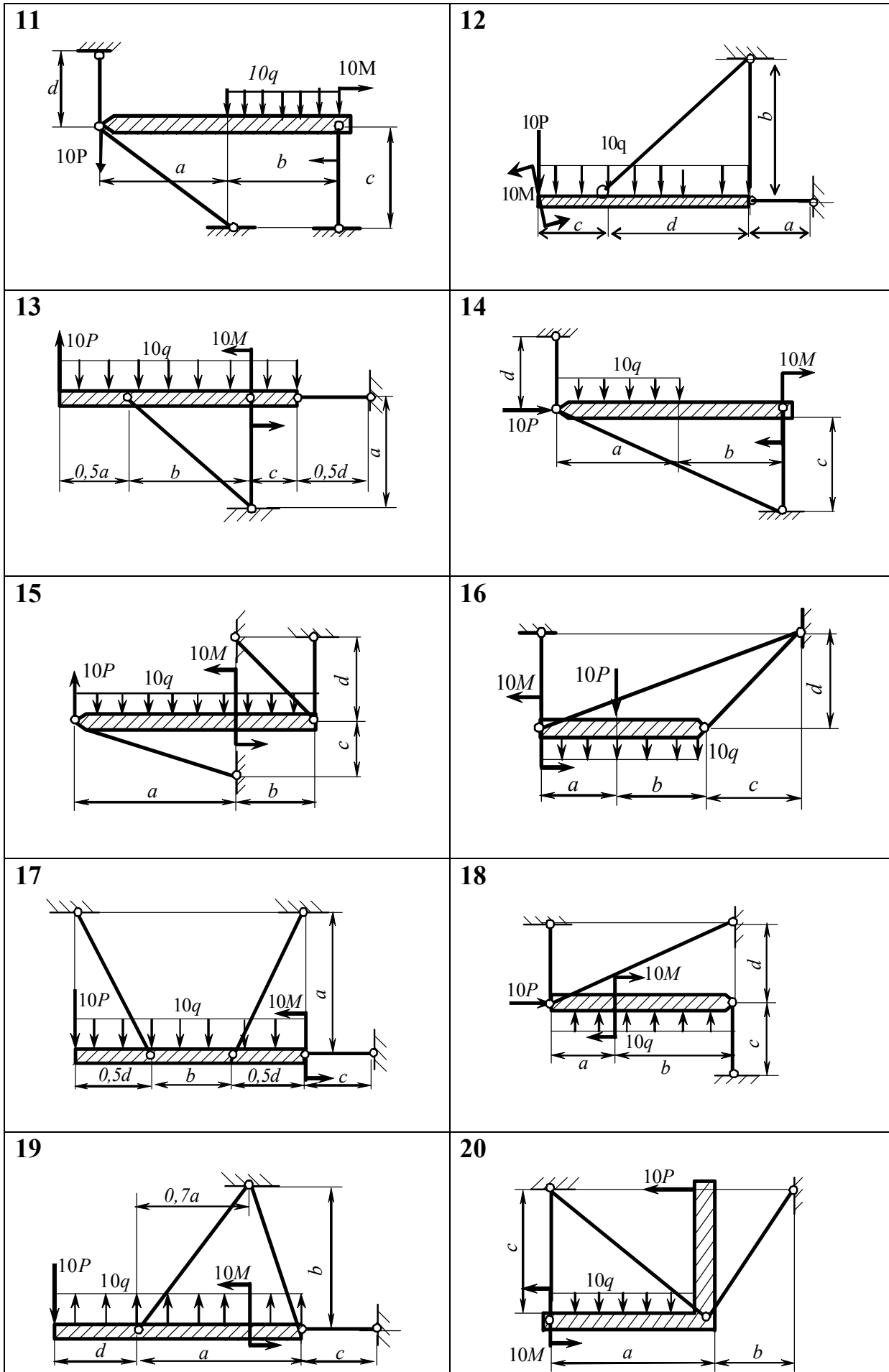
<p style="text-align: center;">Донбаська державна машинобудівна академія</p> <p>Напрями: ПМ, Маш Заочне відділення</p> <p>Семестр 4</p> <p>Навчальна дисципліна: Опір матеріалів</p> <p style="text-align: right;">Змістовий модуль 1</p> <p style="text-align: center;">Варіант</p>	<p style="text-align: center;">Донбаська державна машинобудівна академія</p> <p>Напрями: ПМ, Маш Заочне відділення</p> <p>Семестр 4</p> <p>Навчальна дисципліна: Опір матеріалів</p> <p style="text-align: right;">Змістовий модуль 1</p> <p style="text-align: center;">ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ №2</p>
<p style="text-align: center;"><u>Контрольна робота №1</u></p> <p>Визначити діаметр і абсолютне подовження (скорочення) найбільше навантаженого стрижня сталеві конструкції, якщо $[\sigma] = 160$ МПа. (100 балів)</p> 	<p>1. Теоретичне питання (20 балів): Основні поняття, задачі та місце дисципліни «Опір матеріалів» у системі інженерної підготовки. Прийняті допущення. Реальні об'єкти і розрахункові схеми. Типові елементи конструкцій.</p> <p>2. Задача (80 балів) Побудувати епюри внутрішніх зусиль для балки, підібрати її переріз, якщо $[\sigma] = 160$ МПа.</p> 
<p style="text-align: center;">Затверджено на засіданні кафедри технічної механіки (протокол №2 від 17.09.2019)</p> <p>В.о.зав. кафедри _____ Холодняк Ю.С.</p>	<p style="text-align: center;">Затверджено на засіданні кафедри технічної механіки (протокол №2 від 17.09.2019)</p> <p>В.о.зав. кафедри _____ Холодняк Ю.С.</p>

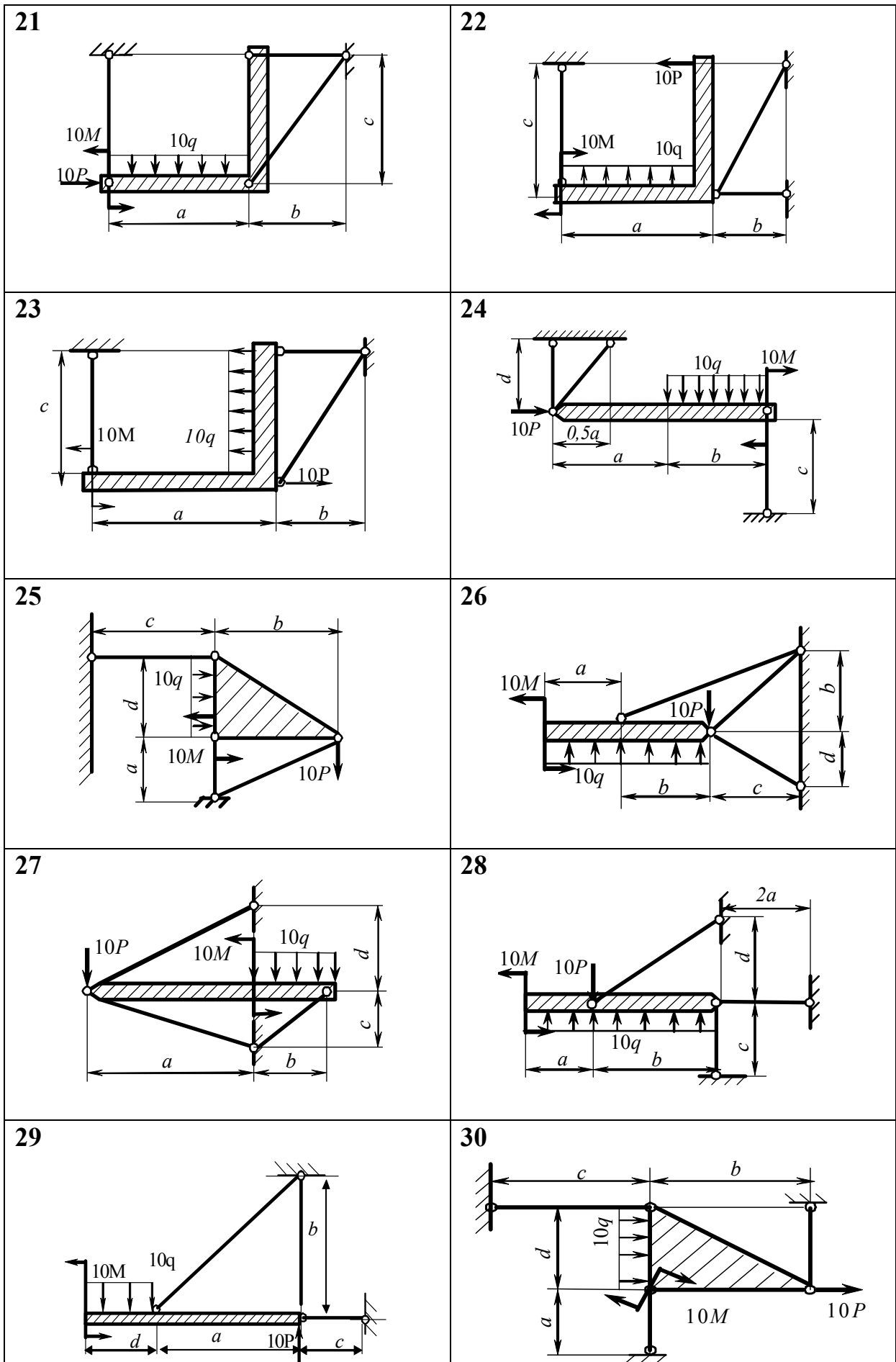
<p>Донбаська державна машинобудівна академія Напрями: ПМ, Маш Навчальна дисципліна:</p> <p>Заочне відділення Семестр 5 Опір матеріалів Змістовий модуль 2</p> <p style="text-align: center;">Варіант</p>	<p>Донбаська державна машинобудівна академія Напрями: ПМ, Маш Навчальна дисципліна:</p> <p>Заочне відділення Семестр 5 Опір матеріалів Змістовий модуль 2</p> <p style="text-align: center;">ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ №</p>
<p style="text-align: center;"><u>Контрольна робота №2</u></p> <p>Визначити за III теорією міцності діаметр вала редуктора, який обертається з частотою n і передає потужність K, якщо $[\sigma]=100$ МПа. Діаметри зубчастих коліс: $D_1=0,15a$, $D_2=0,15b$. Співвідношення між силами: $T_i=0,364P_i$.</p> <p>(100 балів)</p> 	<p>1. Теоретичне питання (20 балів): Складний і косий згин. Визначення напружень. Положення нейтральної лінії. Умови міцності для стрижня з довільним перерізом.</p> <p>2. Задача (80 балів) Для заданої сталеві балки побудувати епюри внутрішніх зусиль і підібрати її переріз (двотавр), якщо $[\sigma] = 160$ МПа. Визначити переміщення точки K балки.</p> 
<p>Затверджено на засіданні кафедри технічної механіки (протокол №2 від 17.09.2019) В.о.зав. кафедри _____ Холодняк Ю.С.</p>	<p>Затверджено на засіданні кафедри технічної механіки (протокол №2 від 17.09.2019) В.о.зав. кафедри _____ Холодняк Ю.С.</p>

<p>Донбаська державна машинобудівна академія Напрями: ПМ, Маш Навчальна дисципліна: Варіант</p> <p>Заочне відділення Семестр 3 Опір матеріалів (прискорений курс)</p>	<p>Донбаська державна машинобудівна академія Напрями: ПМ, Маш Навчальна дисципліна: ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ №</p> <p>Заочне відділення Семестр 3 Опір матеріалів (прискорений курс)</p>
<p align="center"><u>Контрольна робота</u></p> <p>Визначити діаметр і абсолютне подовження (скорочення) найбільше навантаженого стрижня сталеві конструкції, якщо $[\sigma] = 160$ МПа. (100 балів)</p> 	<p>1. Теоретичне питання (20 балів): Розтягання – стискання. Визначення напружень. Зв'язок напружень і деформацій, закон Гука. Коефіцієнт Пуассона.</p> <p>2. Задача (80 балів) Для заданої сталеві балки побудувати епюри внутрішніх зусиль і підібрати її переріз (двотавр), якщо $[\sigma] = 160$ МПа. Визначити переміщення точки <i>K</i> балки.</p> 
<p>Затверджено на засіданні кафедри технічної механіки (протокол №2 від 17.09.2019) В.о.зав. кафедри _____ Холодняк Ю.С.</p>	<p>Затверджено на засіданні кафедри технічної механіки (протокол №2 від 17.09.2019) В.о.зав. кафедри _____ Холодняк Ю.С.</p>

Додаток В
Схеми конструкцій до контрольної роботи 1 повного курсу опору
матеріалів і контрольної роботи прискореного курсу

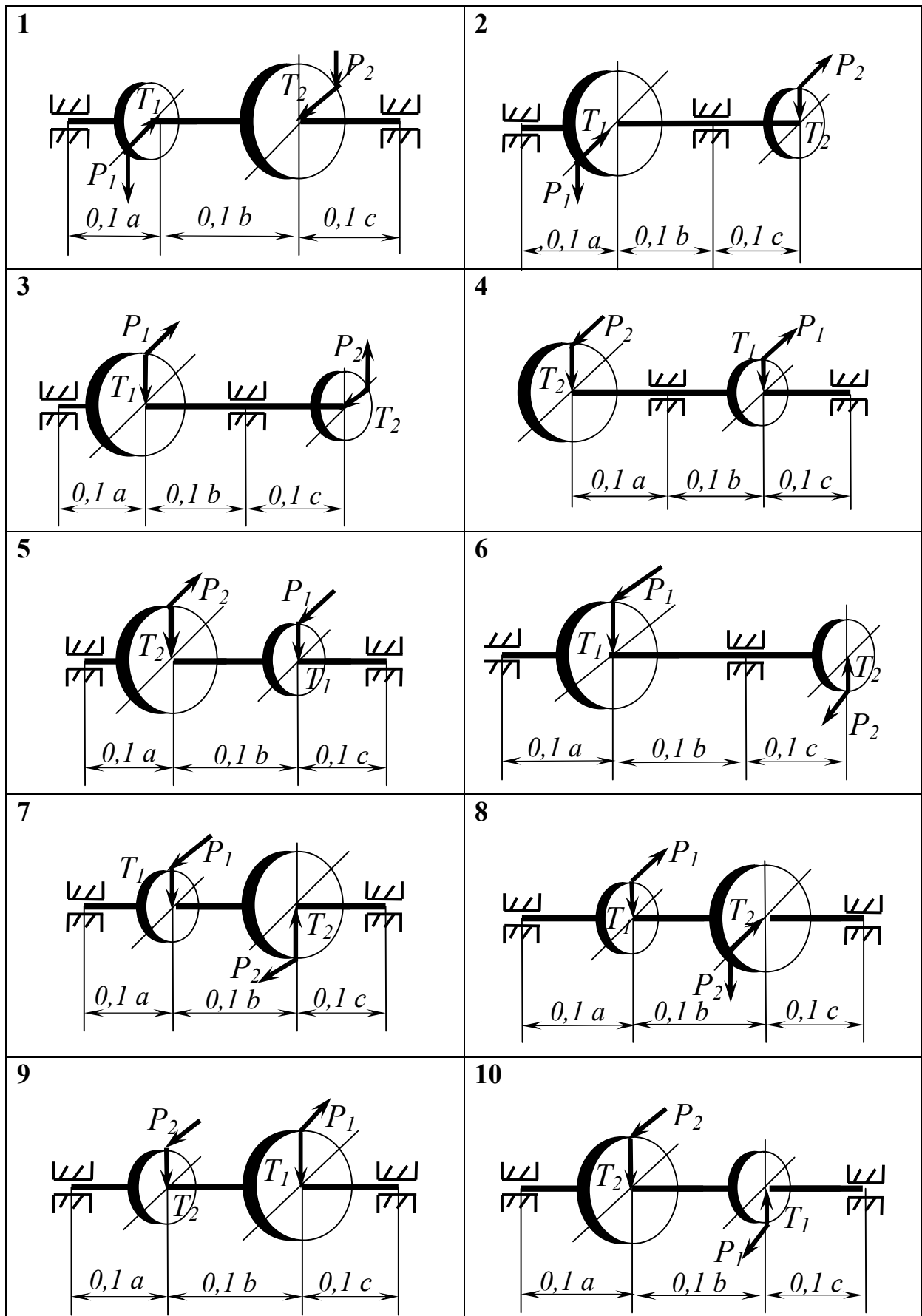


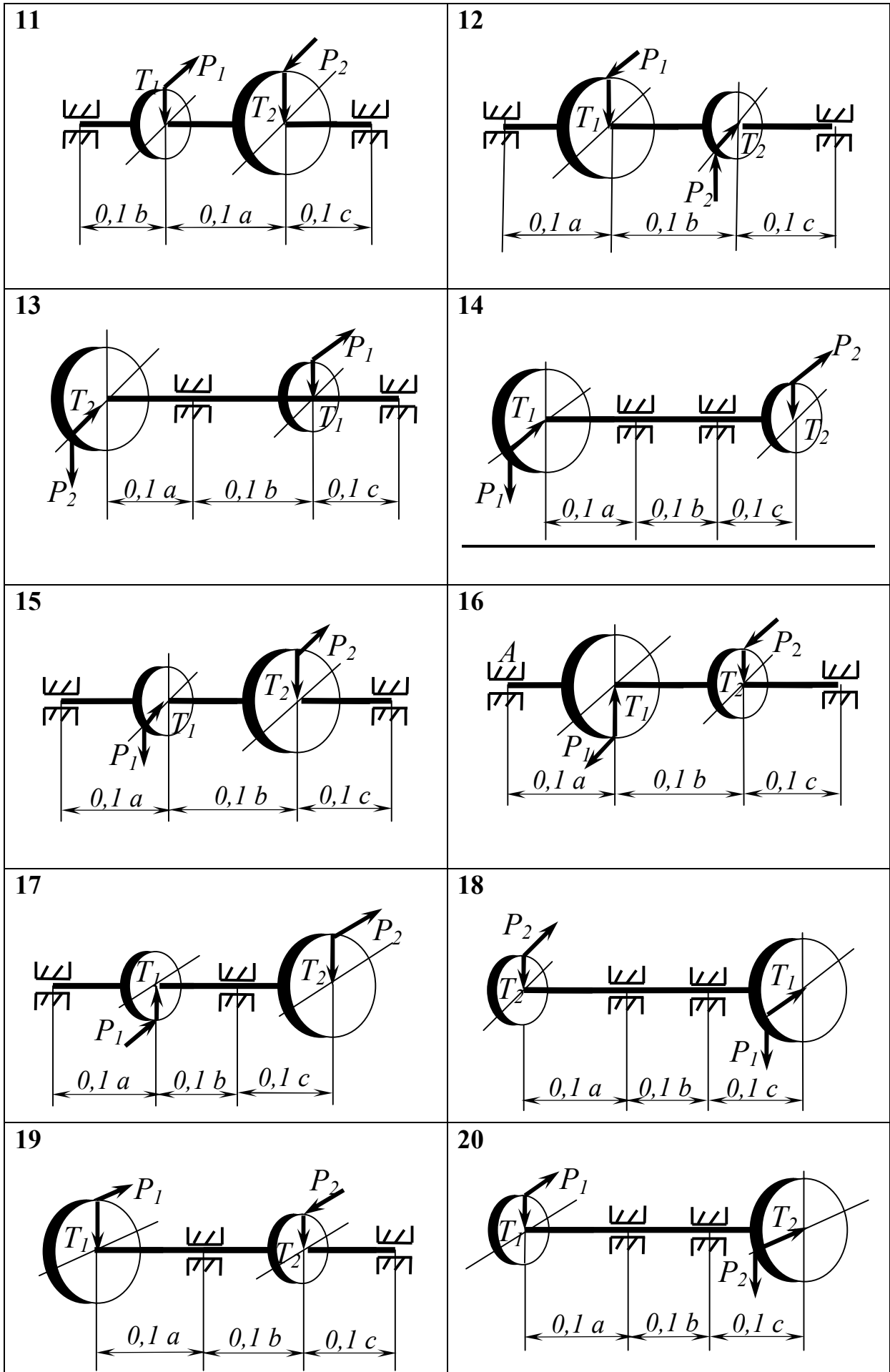


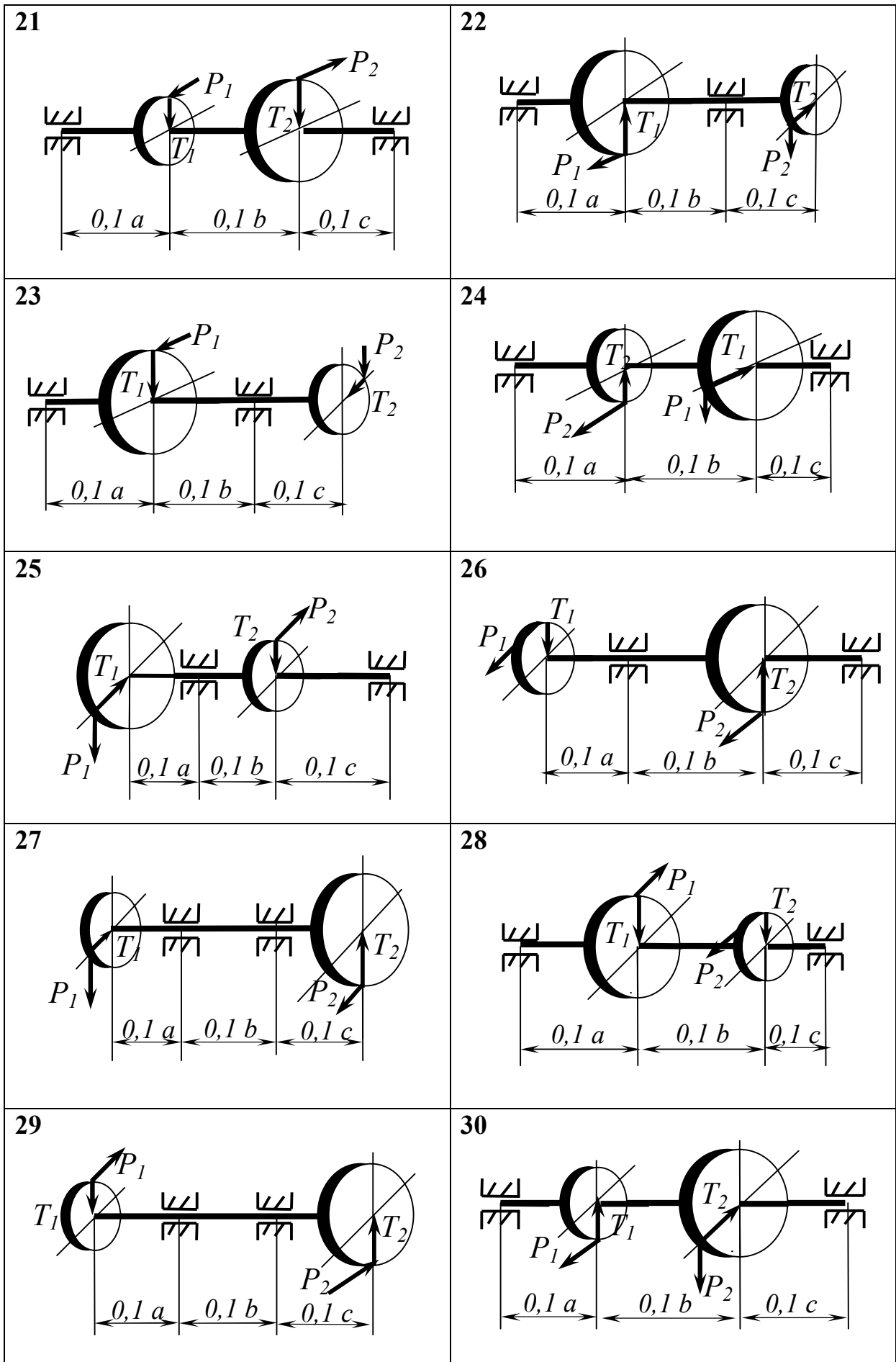


Додаток Г

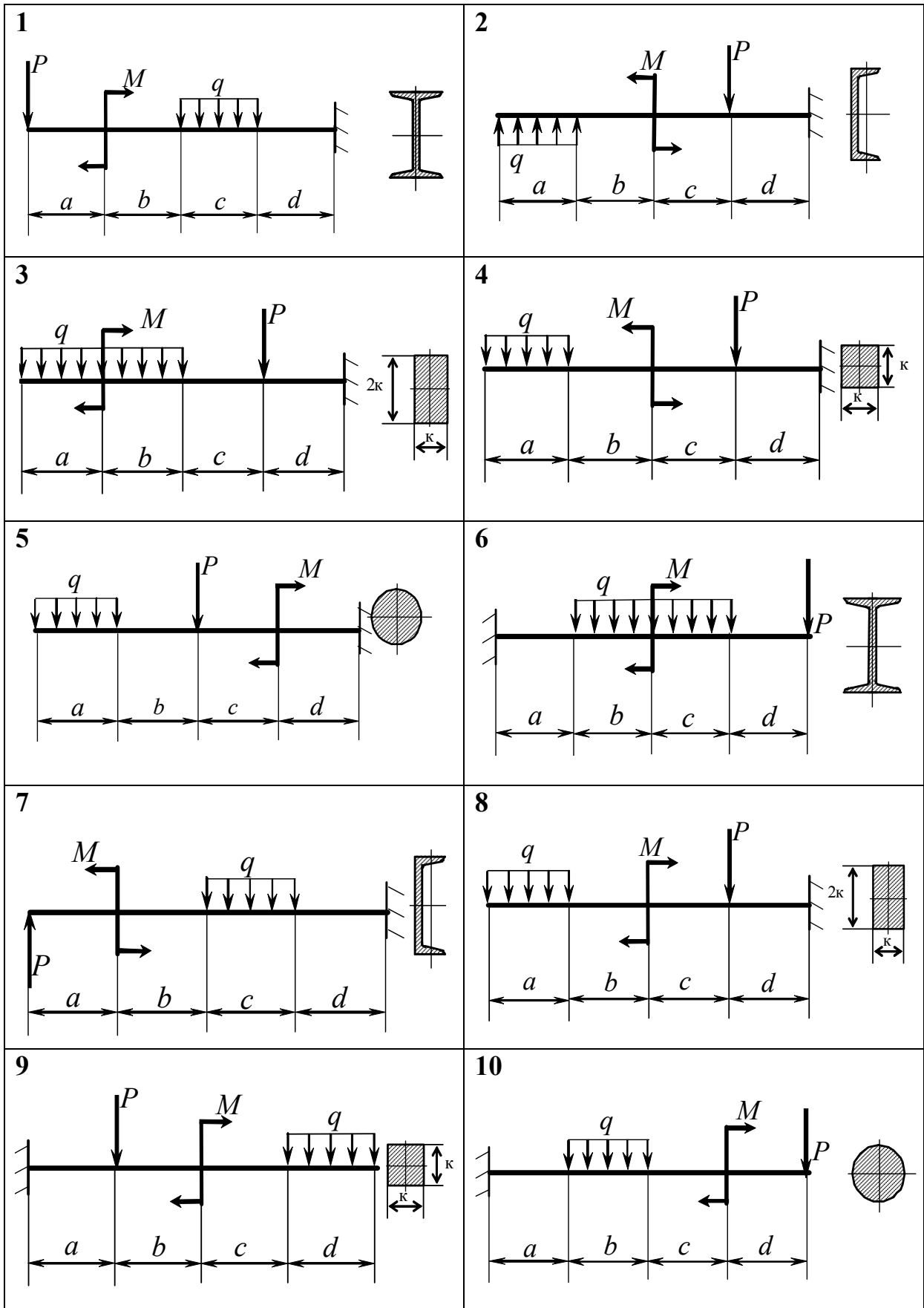
Схеми валів до контрольної роботи 2 повного курсу опору матеріалів

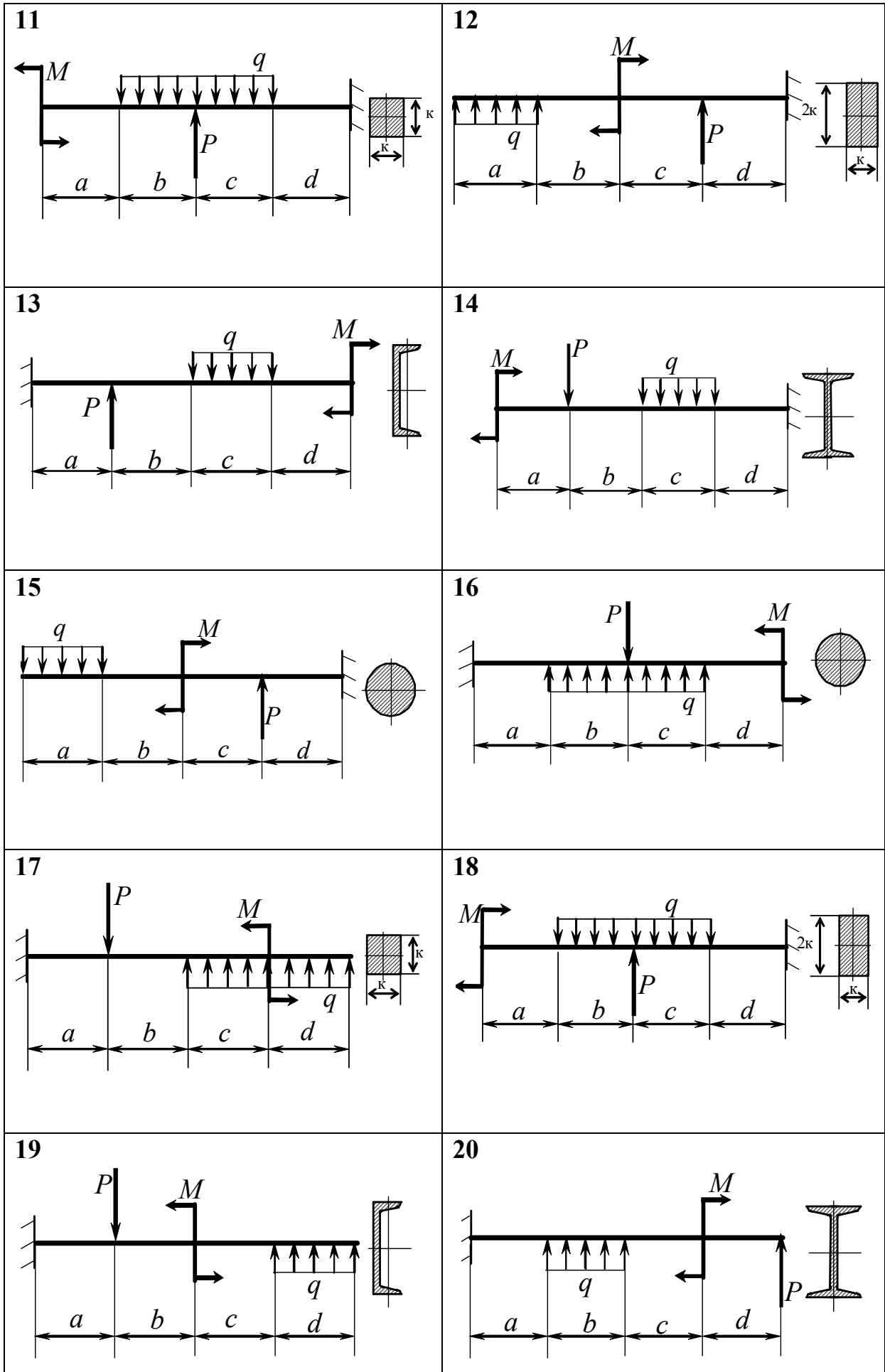


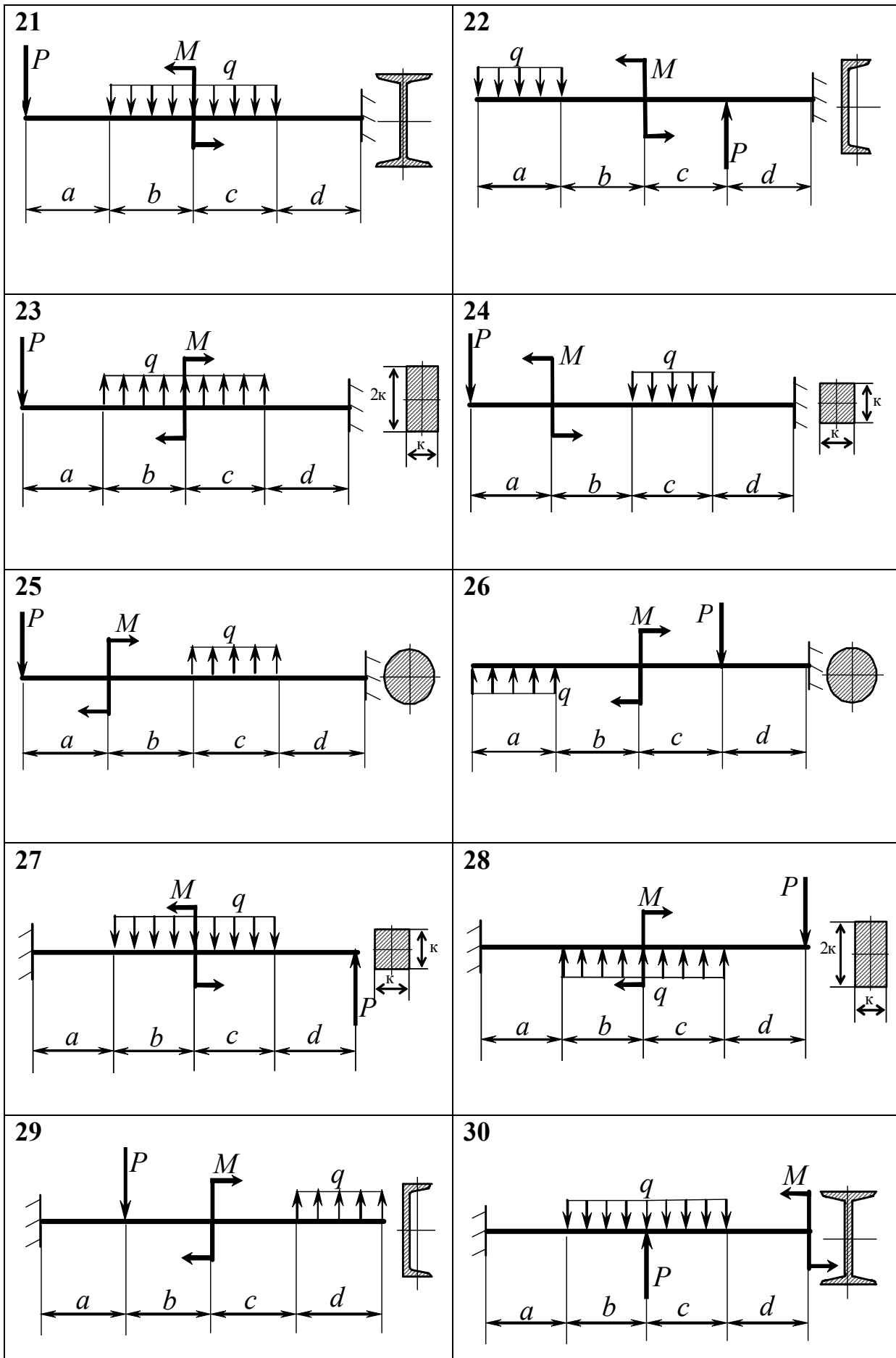




Додаток Д
Схеми балок до екзаменаційних білетів повного курсу опору
матеріалів (модуль 1)

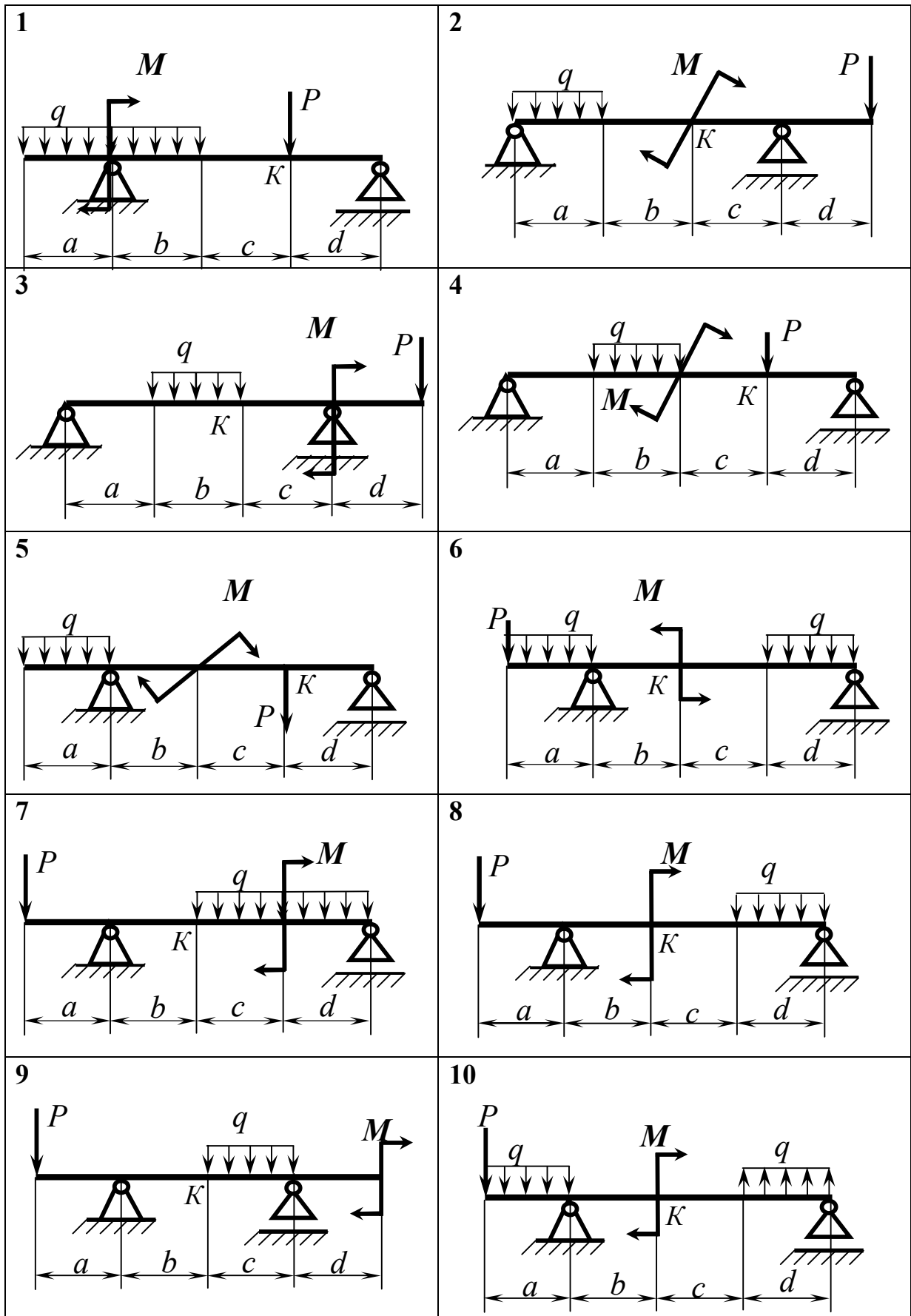


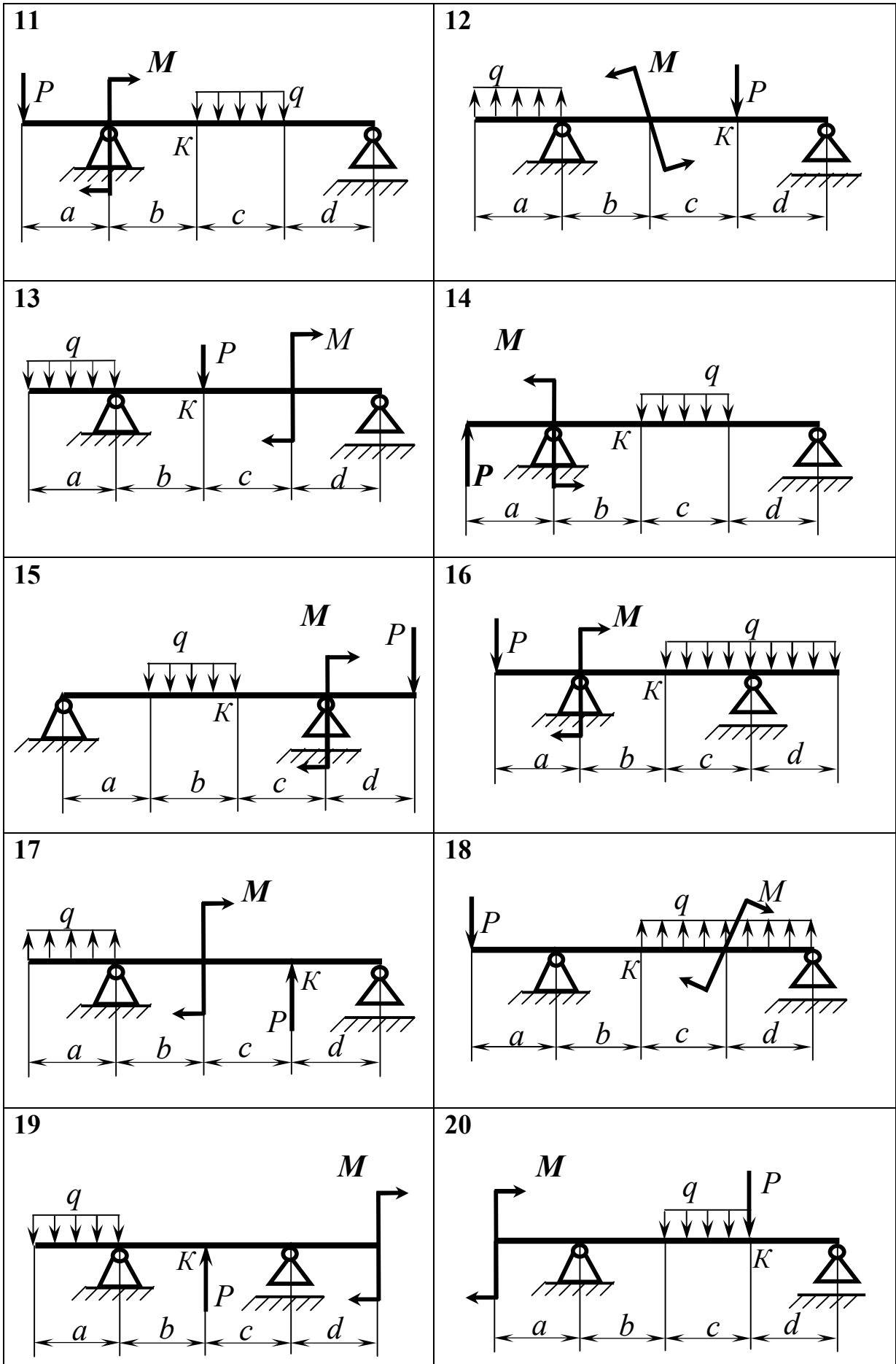


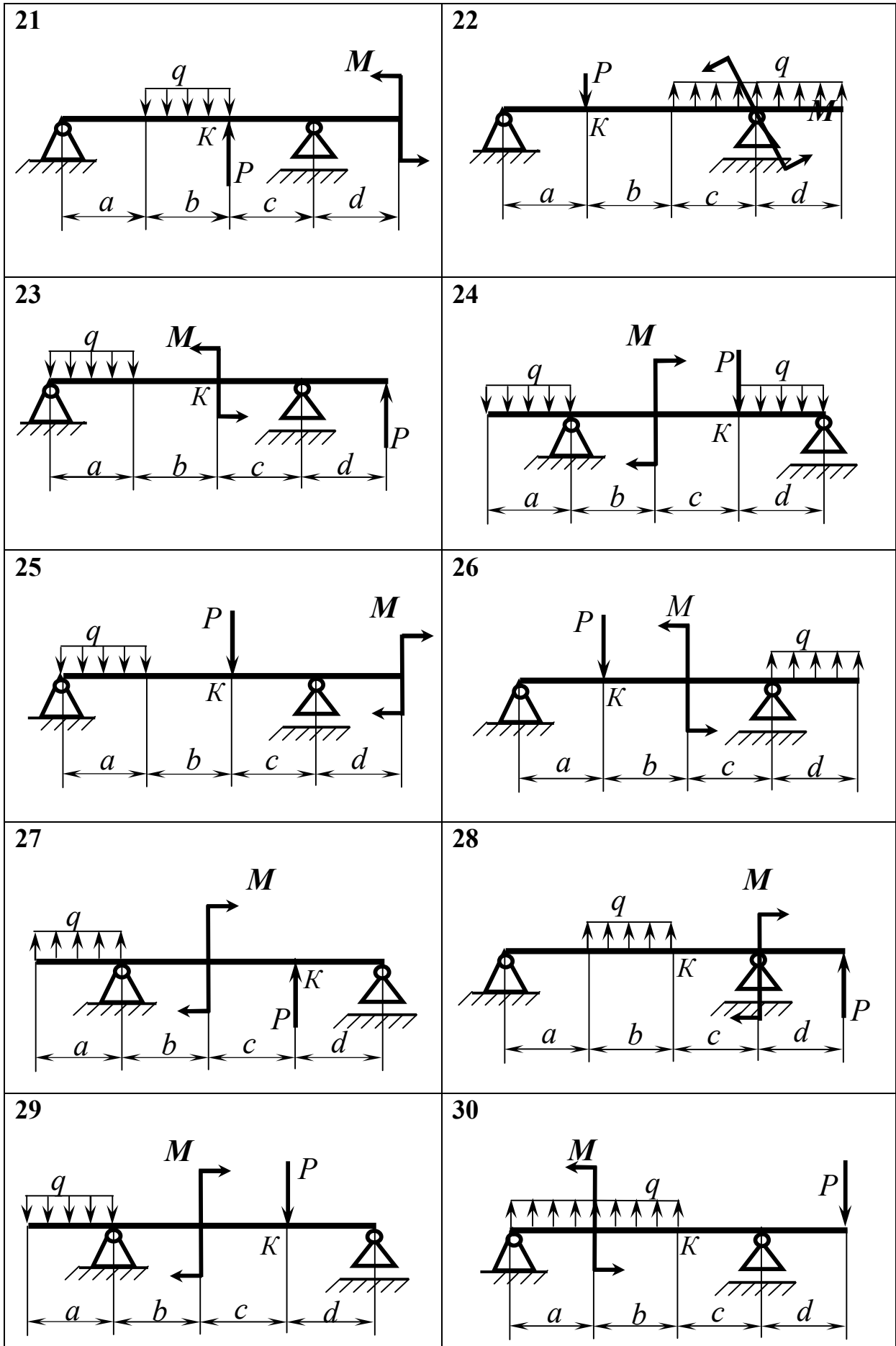


Додаток Е

Схеми балок до екзаменаційних білетів повного курсу опору матеріалів (модуль 2) і екзаменаційних білетів прискореного курсу







Додаток Ж

Теоретичні питання до екзаменаційних білетів

Білету до модуля 1 повного курсу опору матеріалів:

1. Основні поняття, задачі та місце дисципліни «Опір матеріалів» у системі інженерної підготовки. Прийняті допущення. Реальні об'єкти і розрахункові схеми. Типові елементи конструкцій.
2. Зовнішні сили та їх класифікація. Внутрішні зусилля, метод перерізів. Напруження повні, нормальні та дотичні. Зв'язок напружень з внутрішніми зусиллями.
3. Напружений стан у точці тіла, його задавання і компоненти. Індекси нормальних і дотичних напружень. Закон парності дотичних напружень.
4. Головні площадки, головні напруження і головні напрямки. Типи напружених станів. Пряма і зворотна задачі теорії напруженого стану.
5. Аналітичне розв'язання прямої і зворотної задач теорії плоского напруженого стану. Напруження на похилих площадках при лінійному напруженому стані.
6. Графічне розв'язання прямої і зворотної задач теорії плоского напруженого стану, круги Мора.
7. Об'ємний напружений стан. Напруження і деформації. Узагальнений закон Гука. Питома потенційна енергія пружної деформації, її складові.
8. Теорії міцності, їх призначення. Критерії міцності та еквівалентні напруження. Перша і друга теорії міцності, їх області застосування і недоліки, умови міцності.
9. Третя і четверта теорії міцності, їх області застосування і недоліки, умови міцності. Теорія міцності Мора.
10. Розтягання – стискання. Визначення напружень. Зв'язок напружень і деформацій, закон Гука. Коефіцієнт Пуассона.
11. Побудова епюр поздовжніх сил і напружень при розтяганні – стисканні. Умови міцності. Визначення допустимих напружень. Умова жорсткості.
12. Механічні випробування матеріалів на розтягання і стискання. Діаграми розтягання і стискання, їх особливі точки. Показники міцності та пластичності. Матеріали крихкі та пластичні.
13. Статично визначувані та статично невизначувані стрижневі системи, що працюють на розтягання – стискання. Ступінь статичної невизначуваності, план її розкриття.
14. Статичні моменти площини. Центральні осі та центр ваги плоскої фігури. Положення центрів ваги найпростіших фігур. Способи визначення центрів ваги фігур складної конфігурації.

15. Моменти інерції плоскої фігури, їх види. Зв'язок полярного і осьових моментів інерції. Головні осі інерції. Формули для моментів інерції найпростіших фігур.

16. Залежності між моментами інерції плоскої фігури при паралельному переносі та повороті осей координат.

17. Головні центральні осі плоскої фігури, їх положення. Визначення головних моментів інерції.

18. Чистий зсув, напруження і деформації. Закон Гука при зсуві. Умова міцності, допустимі напруження.

19. Кручення. Зв'язок потужності з крутним моментом. Побудова епюр крутних моментів. Характер деформації і напружений стан стрижнів при крученні.

20. Визначення напружень і деформацій при крученні. Умови міцності та жорсткості.

21. Балки і рами, їх елементи і різновиди. Типи опор і опорні реакції. Внутрішні зусилля, правила знаків. Диференціальні залежності при згині.

22. Правила побудови епюр внутрішніх зусиль для балок. Особливості епюр у місцях прикладення до балки зосереджених сил і моментів, також на ділянках, де є розподілене навантаження і де воно відсутнє. Визначення екстремальних значень згинальних моментів.

23. Особливості та правила побудови епюр внутрішніх зусиль для плоских рам. Перевірка правильності епюр.

24. Плоский згин, його різновиди. Чистий згин, визначення нормальних напружень. Умова міцності.

25. Поперечний згин. Визначення дотичних напружень, формула Журавського.

26. Еквівалентні напруження в стрижні при поперечному згині. Повна перевірка міцності балки; умови міцності, допустимі напруження.

Білету до модуля 2 повного курсу опору матеріалів:

1. Складний і косий згини. Визначення напружень. Положення нейтральної лінії. Умови міцності для стрижня з довільним перерізом.

2. Згин з крученням. Умова міцності. Послідовність проектного і перевірконого розрахунків. Особливості вибору допустимого напруження.

3. Згин з розтяганням – стисканням. Визначення напружень. Положення нейтральної лінії. Умови міцності для стрижня з довільним перерізом.

4. Позацентрове розтягання – стискання. Визначення напружень. Положення нейтральної лінії. Умови міцності для стрижня з довільним перерізом. Ядро перерізу.

5. Поняття стійкості стиснутого стрижня. Види пружної рівноваги. Критична сила і критичне напруження. Задача Ейлера.

6. Межі застосування формули Ейлера для критичного напруження. Формула Ясинського. Розрахунки на стійкість стиснутого стрижня з використанням коефіцієнта зменшення основного допустимого напруження.

7. Потенційна енергія пружної деформації стрижня і стрижневої системи в загальному випадку навантаження. Потенційна енергія балок і плоских рам.

8. Теорема Кастіліано, її недоліки при визначенні переміщень в стрижневих системах.

9. Метод і інтеграл Мора для визначення переміщень в стрижневих системах.

10. Чисельні методи визначення переміщень в стрижневих системах. Спосіб Верещагіна, формула крайніх ординат.

11. Статично невизначувані балки і рами, ступень їх статичної невизначуваності і послідовність розрахунку. Особливості багатопрогонових нерозрізних балок.

12. Канонічні рівняння методу сил, їх коефіцієнти і фізична сутність. Деформаційна перевірка. Визначення переміщень у статично невизначуваних балках і рамах.

13. Особливості динамічного режиму навантаження. Визначення напружень і деформацій при ударі і заданих прискореннях точок системи.

14. Власні коливання пружної системи з одним ступенем свободи без опору середовища. Визначення напружень і деформацій.

15. Власні коливання пружної системи з одним ступенем свободи і лінійним опором середовища, їх особливості і основні параметри.

16. Вимушені коливання пружної системи з одним ступенем свободи. Визначення напружень і деформацій. Резонанс.

17. Механізм руйнування при циклічно змінюваних напруженнях. Основні характеристики і види циклів. Межа витривалості матеріалу і методи її визначення.

18. Діаграма граничних амплітуд при циклічно змінюваних напруженнях, її особливі точки і схематизація.

19. Вплив концентрації напружень, розмірів і стану поверхні деталі на межу витривалості, урахування цього впливу.

20. Розрахунки на міцність при циклічно змінюваних напруженнях.

Білету прискореного курсу опору матеріалів:

1. Основні поняття, задачі та місце дисципліни «Опір матеріалів» у системі інженерної підготовки. Прийняті допущення. Реальні об'єкти і розрахункові схеми. Типові елементи конструкцій.

2. Зовнішні сили та їх класифікація. Внутрішні зусилля, метод перерізів. Напруження повні, нормальні та дотичні. Зв'язок напружень з внутрішніми зусиллями.

3. Розтягання – стискання. Визначення напружень. Зв'язок напружень і деформацій, закон Гука. Коефіцієнт Пуассона.

4. Побудова епюр поздовжніх сил і напружень при розтяганні – стисканні. Умови міцності. Визначення допустимих напружень. Умова жорсткості.

5. Механічні випробування матеріалів на розтягання і стискання. Діаграми розтягання і стискання, їх особливі точки. Показники міцності та пластичності. Матеріали крихкі та пластичні.

6. Статично визначувані та статично невизначувані стрижневі системи, що працюють на розтягання – стискання. Ступінь статичної невизначуваності, план її розкриття.

7. Напружений стан у точці тіла, його задавання і компоненти. Індекси нормальних і дотичних напружень. Закон парності дотичних напружень. Головні площадки, головні напруження і головні напрямки. Типи напружених станів. Пряма і зворотна задачі теорії напруженого стану.

8. Аналітичне розв'язання прямої і зворотної задач теорії плоского напруженого стану.

9. Графічне розв'язання прямої і зворотної задач теорії плоского напруженого стану, круги Мора.

10. Об'ємний напружений стан. Напруження і деформації. Узагальнений закон Гука. Питома потенційна енергія пружної деформації, її складові.

11. Теорії міцності, їх призначення. Критерії міцності та еквівалентні напруження. Класичні теорії міцності, їх області застосування і недоліки.

12. Статичні моменти площини. Центральні осі та центр ваги плоскої фігури. Положення центрів ваги найпростіших фігур. Способи визначення центрів ваги фігур складної конфігурації.

13. Моменти інерції плоскої фігури, їх види. Зв'язок полярного і осьових моментів інерції. Головні осі інерції. Формули для моментів інерції найпростіших фігур.

14. Залежності між моментами інерції плоскої фігури при паралельному переносі та повороті осей координат. Головні центральні осі плоскої фігури, їх положення. Визначення головних моментів інерції.

15. Балки і рами, їх елементи і різновиди. Типи опор і опорні реакції. Внутрішні зусилля, правила знаків. Диференціальні залежності при згині.

16. Правила побудови епюр внутрішніх зусиль для балок. Особливості епюр у місцях прикладення до балки зосереджених сил і моментів, також на ділянках, де є розподілене навантаження і де воно відсутнє. Визначення екстремальних значень згинальних моментів.

17. Особливості та правила побудови епюр внутрішніх зусиль для плоских рам. Перевірка правильності епюр.

18. Плоский згин, його різновиди. Чистий згин, визначення нормальних напружень. Умова міцності. Поперечний згин. Визначення дотичних напружень, формула Журавського.

19. Еквівалентні напруження в стрижні при поперечному згині. Повна перевірка міцності балки; умови міцності, допустимі напруження.

20. Чистий зсув, напруження і деформації. Закон Гука при зсуві. Умова міцності, допустимі напруження.

21. Кручення. Зв'язок потужності з крутним моментом. Побудова епюр крутних моментів. Характер деформації і напружений стан стрижнів

при крученні. Визначення напружень і деформацій при крученні. Умови міцності та жорсткості.

22. Складний згин. Визначення напружень. Положення нейтральної лінії. Умови міцності для стрижня з довільним перерізом.

23. Згин з крученням. Умова міцності. Послідовність проектного і перевірного розрахунків. Особливості вибору допустимого напруження.

24. Потенційна енергія пружної деформації стрижня і стрижневої системи в загальному випадку навантаження. Потенційна енергія балок і плоских рам.

25. Теорема Кастиліано, її недоліки при визначенні переміщень в стрижневих системах. Метод і інтеграли Мора для визначення переміщень в стрижневих системах.

26. Чисельні методи визначення переміщень в стрижневих системах. Спосіб Верещагіна, формула крайніх ординат.

27. Статично невизначувані балки і рами, ступень їх статичної невизначуваності і послідовність розрахунку. Особливості багатопрогонних нерозрізних балок.

28. Канонічні рівняння методу сил, їх коефіцієнти і фізична сутність. Деформаційна перевірка. Визначення переміщень у статично невизначуваних балках і рамах.

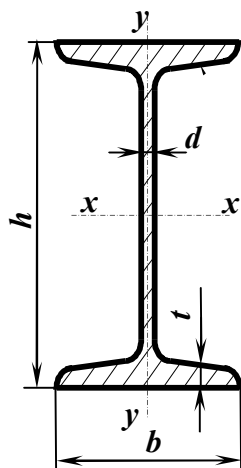
29. Поняття стійкості стиснутого стрижня. Види пружної рівноваги. Критична сила і критичне напруження. Задача Ейлера.

30. Межі застосування формули Ейлера для критичного напруження. Формула Ясинського. Розрахунки на стійкість стиснутого стрижня з використанням коефіцієнта зменшення основного допустимого напруження.

Додаток И Довідкові матеріали

1. Нормальні лінійні розміри, мм (ГОСТ 6636-69, фрагмент ряду Ra20)

1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	2,8	3,2	3,6
4,0	4,5	5,0	5,6	6,3	7,1	8,0	9,0	10	11	12	14
16	18	20	22	25	28	32	36	40	45	50	56
63	71	80	90	100	110	125	140	160	180	200	220
250	280	320	360	400	450	500	560	630	710	800	900



2. Двутаври сталеві гарячекатані (ГОСТ 8239-89)

Позначення:

h – висота балки
b – ширина полки
d – товщина стінки
t – середня товщина полки
F – площа перерізу

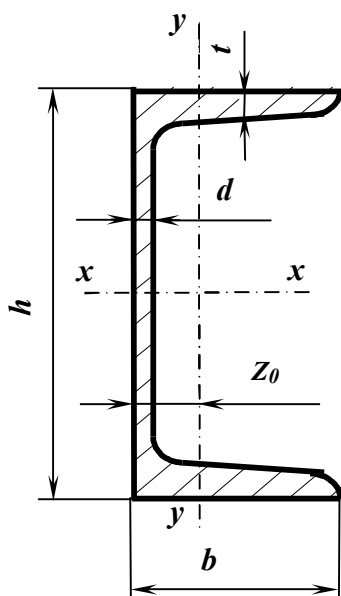
J – момент інерції
W – момент опору
i – радіус інерції
S – статичний момент
напівперерізу

Приклад позначення
профілю:

Двутавр 30 ГОСТ 8239-89

Номер профілю	Основні розміри, мм				<i>F</i> см ²	<i>J_X</i> см ⁴	<i>W_X</i> см ³	<i>i_X</i> см	<i>S_X</i> см ³	<i>J_Y</i> см ⁴	<i>W_Y</i> см ³	<i>i_Y</i> см
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>t</i>								
10	100	55	4,5	7,2	12,0	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55
16	160	81	5,0	7,8	20,2	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,70
18	180	90	5,1	8,1	23,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88
18a	180	100	5,1	8,3	25,4	1430	159	7,51	89,8	114	22,8	2,12
20	200	100	5,2	8,4	26,8	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,07
20a	200	110	5,2	8,6	28,9	2030	203	8,37	114	155	28,2	2,32
22	220	110	5,4	8,7	30,6	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27
22a	220	120	5,4	8,9	32,8	2790	254	9,22	143	206	34,3	2,50
24	240	115	5,6	9,5	34,8	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37
24a	240	125	5,6	9,8	37,5	3800	317	10,1	178	260	41,6	2,63
27	270	125	6,0	9,8	40,2	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54
27a	270	135	6,0	10,2	43,2	5500	407	11,3	229	337	50,0	2,80
30	300	135	6,5	10,2	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69
30a	300	145	6,5	10,7	49,9	7780	518	12,5	292	436	60,1	2,95
33	330	140	7,0	11,2	53,8	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79
36	360	145	7,5	12,3	61,9	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,89
40	400	155	8,3	13,0	72,6	19062	953	16,2	545	667	86,1	3,03
45	450	160	9	14,2	84,7	27696	1231	18,1	708	808	101	3,09
50	500	170	10	15,2	100	39727	1589	19,9	919	1043	123	3,23
55	550	180	11	16,5	118	55962	2035	21,8	1181	1356	151	3,39
60	600	190	12	17,8	138	76806	2560	23,6	1491	1725	182	3,54

3. Швелери сталні гарячекатані (ГОСТ 8240-89)



Позначення:

h – висота балки
 b – ширина полки
 d – товщина стінки
 t – середня товщина полки
 F – площа перерізу
 J – момент інерції

W – момент опору
 i – радіус інерції
 S – статичний момент
 напівперерізу
 Z_0 – відстань від осі y
 до зовнішньої грані стінки

Приклад позначення профілю:

Швелер 30 ГОСТ 8240-89

Номер профілю	Основні розміри, мм				F см ²	J_X см ⁴	W_X см ³	i_X см	S_X см ³	J_Y см ⁴	W_Y см ³	i_Y см	Z_0 см
	h	b	d	T									
5	50	32	4,4	7,0	6,16	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,954	1,16
6,5	65	36	4,4	7,2	7,51	48,6	15,0	2,54	9,0	8,7	3,68	1,08	1,24
8	80	40	4,5	7,4	8,98	89,4	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19	1,31
10	100	46	4,5	7,6	10,9	174	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44
12	120	52	4,8	7,8	13,3	304	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54
14	140	58	4,9	8,1	15,6	491	70,2	5,60	40,8	45,4	11,0	1,70	1,67
14a	140	62	4,9	8,7	17,0	545	77,8	5,66	45,1	57,5	13,3	1,84	1,87
16	160	64	5,0	8,4	18,1	747	93,4	6,42	54,1	63,6	13,8	1,87	1,80
16a	160	68	5,0	9,0	19,5	823	103	6,49	59,4	78,8	16,4	2,01	2,00
18	180	70	5,1	8,7	20,7	1090	121	7,24	69,8	86	17,0	2,04	1,94
18a	180	74	5,1	9,3	22,2	1190	132	7,32	76,1	105	20,0	2,18	2,13
20	200	76	5,2	9,0	23,4	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,20	2,07
20a	200	80	5,2	9,7	25,2	1670	167	8,15	95,9	139	24,2	2,35	2,28
22	220	82	5,4	9,5	26,7	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37	2,21
22a	220	87	5,4	10,2	28,8	2330	212	8,99	121	187	30,0	2,55	2,46
24	240	90	5,6	10,0	30,6	2900	242	9,73	139	208	31,6	2,60	2,42
24a	240	95	5,6	10,7	32,9	3180	265	9,84	151	254	37,2	2,78	2,67
27	270	95	6,0	10,5	35,2	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73	2,47
30	300	100	6,5	11,0	40,5	5810	387	12,0	224	327	43,6	2,84	2,52
33	330	105	7,0	11,7	46,5	7980	484	13,1	281	410	51,8	2,97	2,59
36	360	110	7,5	12,6	53,4	10820	601	14,2	350	513	61,7	3,10	2,68
40	400	115	8,0	13,5	61,5	15220	761	15,7	444	642	73,4	3,23	2,75

4. Формула крайніх ординат і особливості її застосування

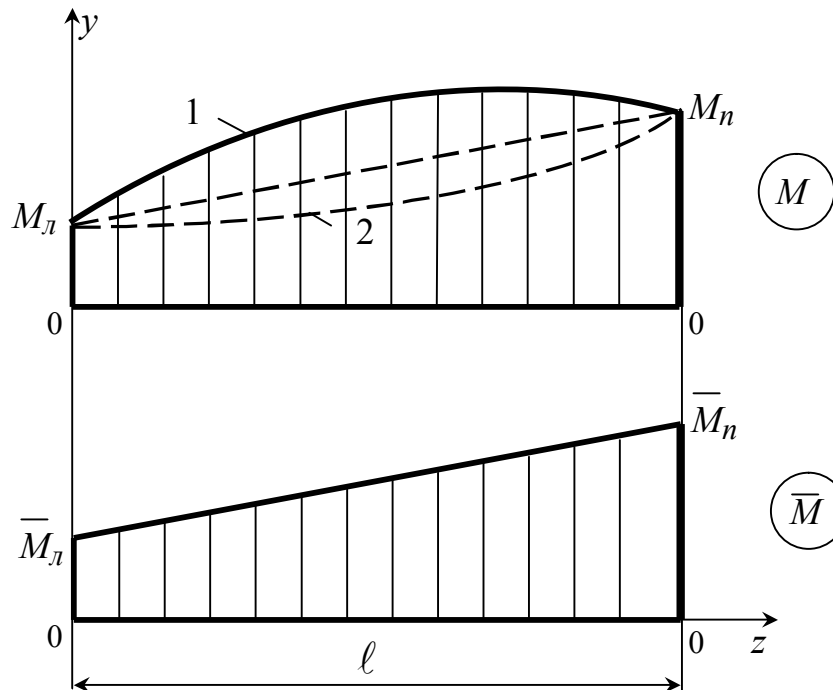


Рисунок И.1

$$\Delta = M \times \bar{M} = \frac{\ell}{6EJ_x} (2M_l \cdot \bar{M}_l + 2M_n \cdot \bar{M}_n + M_l \cdot \bar{M}_n + M_n \cdot \bar{M}_l) \pm \frac{q\ell^3}{24EJ_x} (\bar{M}_l + \bar{M}_n).$$

Формула призначена для визначення (по Мору) переміщень в балках і рамах при плоскому згині. В ній позначено:

Δ – переміщення (лінійне – δ , кутове – θ) в заданому місці балки або рами;

M і \bar{M} – відповідно епюри згинальних моментів від заданого навантаження і одиничного силового фактору (сили або моменту);

ℓ – довжина ділянки балки або стрижня рами (тобто відрізка, на якому кожна з обох епюр зображується єдиною лінією);

zy – силова площа;

x і y – головні центральні осі перерізу балки або стрижня рами (вісь x на схемі не зображена);

J_x – момент інерції перерізу відносно осі x ;

E – модуль пружності першого роду для матеріалу балки або рами;

q – інтенсивність розподіленого навантаження;

M_l, M_n – крайні ординати епюри M ;

\bar{M}_l, \bar{M}_n – крайні ординати епюри \bar{M} .

Формула застосовується для кожної ділянки балки, де обидві епюри не є нульовими, після чого знайдені для всіх ділянок величини Δ

складаються з урахуванням їхніх знаків. У рамках ці величини визначаються для всіх зазначених ділянок усіх стрижнів.

Величини крайніх ординат обох епюр підставляються у формулу зі своїми знаками; на схемі вони показані як додатні.

Знак "плюс" перед поправкою на кривизну (тобто другою складовою у формулі крайніх ординат) ставиться в разі, коли епюра M є опуклою (крива 1), а мінус – коли вона угнута (крива 2). Коли ж ця епюра прямолінійна, поправка на кривизну дорівнює нулю.

Навчальне видання

ОПР МАТЕРІАЛІВ

Методичні вказівки до самостійної роботи

**для студентів усіх механічних спеціальностей
заочної форми навчання**

Укладач

ХОЛОДНЯК Юрій Сергійович

За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання І. І. Дьякова

173/2019. Формат 60 x 84/16. Ум. друк. арк. 3,95.
Обл.-вид. арк. 2,07. Тираж 25 пр. Зам. №.....

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 1633 від 24.12.2003