

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова Атестаційної комісії
Механіко-машинобудівного інституту

Директор  Микола БОБИР

« _____ » _____ 2021 р.

ПРОГРАМА

комплексного фахового випробування

для вступу на освітню програму підготовки магістра
«Динаміка і міцність машин»

за спеціальністю 131 Прикладна механіка

Програму рекомендовано:

кафедрою динаміки і міцності машин та опору матеріалів

Протокол № 6 від «01» «лютого» 2021 р.

Завідувач  Сергій ПИСКУНОВ

Київ – 2021

ВСТУП

Програма вступних випробувань створена з метою конкурсного відбору на навчання за освітньо-професійними програмами підготовки магістрів за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», освітня програма «Динаміка і міцність машин» спеціалізації «Динаміка і міцність машин», галузь знань 13 «Механічна інженерія», виявлення у абітурієнтів систематизованих знань і вмінь з класичних і чисельних методів визначення напружено-деформованого стану елементів конструкції авіабудування, оцінки їх міцності, надійності, стійкості при статичних і динамічних навантаженнях.

Програмою комплексного екзамену передбачено виконання завдань з трьох дисциплін теоретично-практичного спрямування:

1. Числові методи динаміки і міцності машин.
2. Опір матеріалів.
3. Будівельна механіка машин.

Кожний білет вміщує 3 завдання – по одному з кожної дисципліни. Розрахунковий час для повного виконання кожного завдання дорівнює 45 хвилин, а весь час проходження екзамену складає 2 години 15 хвилин.

Розв'язок кожного завдання має вмішувати принципову або розрахункову схему з умовними позначеннями та поясненнями, розрахунки та їх обґрунтування, висновки по отриманих результатах розрахунків, висновок щодо отриманого розв'язку завдання.

Використання допоміжної літератури в ході екзамену не передбачено.

Оцінювання результатів здійснюється на основі перевірки письмової роботи.

1. ОСНОВНИЙ ВИКЛАД

1.1. Числові методи динаміки і міцності машин.

1. Загальні формули для похибок при обчисленнях функцій. Спосіб границь для оцінки похибки при обчисленнях функцій.
2. Лінійні векторні простори, їхні види й властивості. Повнота простору.
3. Області значень і визначень лінійного оператора. Лінійні оператори: поняття, властивості обмеженості й рівності, норма. Зворотний лінійний оператор. Обмежений оператор.
4. Лінійні обмежені оператори у дійсному гільбертовому просторі, їхні властивості, норма, енергія.
5. Лінійні обмежені функціонали в дійсному гільбертовому просторі. Основні теореми лінійного операторного аналізу (одиночності, мінімуму функціонала, існування, варіаційне рівняння Ейлера).
6. Нелінійні обмежені функціонали в дійсному гільбертовому просторі. Теорема про екстремум нелінійного функціонала.
7. Ідея методу скінченних різниць. Стандартні різницеві апроксимації основних диференційних операторів $Lu = du/dx$ і $Lu = d^2u/dx^2$, похибки цих апроксимацій.
8. Скінченно-різницева апроксимація основних крайових задач еліптичного типу (з ГУ 1-го, 2-го роду). Приклади одновимірних задач.
9. Скінченно-різницева апроксимація крайових задач параболічного типу: класичні двошарові просторово-часові схеми (Ейлера явний та неявний, Кранка-Николсона, Гальоркіна). Загальні оцінки точності, стійкості та збіжності просторово-часових скінченно-різницевих схем для крайових задач параболічного типу.
10. Поняття про ефективні схеми з факторизованим оператором для крайових задач параболічного типу.
11. Наближення розв'язків крайових задач лінійною комбінацією базисних векторів (функцій). Три варіанта вибору базисних векторів (функцій).

12. Метод найменших квадратів як метод розв'язування крайових задач, умови його застосування.
13. Варіаційні методи розв'язування крайових задач. Метод Релея-Рітца, умови його застосування.
14. Метод Бубнова-Гальоркіна розв'язування крайових задач, умови його застосування.
15. Основа та ідея методу зважених похибок наближення (Петрова, моментів). Ідея Бубнова як ефективний варіант вибору вагових функцій у цьому методі.
16. Ідея методу скінченних елементів як універсального методу апроксимації розв'язків крайових задач.
17. Поняття симплекса. Одновимірний та двовимірний симплексна модель СЕ.
18. Параметричні інтерполяційні функції для одновимірних та двовимірних СЕ. СЕ лагранжевого та серендіпового сімейств. Ієрархічний підхід.
19. Критерії збіжності для базисних функцій скінченних елементів (при розв'язуванні МСЕ крайових задач, що мають диференціальні оператори).
20. Послаблення постановки крайової задачі теплопровідності при застосуванні методу зважених похибок наближення. Просторова алгебраїзація задачі теплопровідності на основі МСЕ.
21. Алгебраїзація нестационарної задачі теплопровідності за часовим аргументом: стандартні двошарові просторово-часові схеми, їхні характеристики.
22. Отримання системи алгебраїчних рівнянь для крайової задачі про *термопружний* напружено-деформований стан тіла на основі варіаційного принципу Лагранжа (постановка задачі в переміщеннях, із застосуванням МСЕ).
23. Отримання системи алгебраїчних рівнянь для крайової задачі про *пружно-пластичний* напружено-деформований стан тіла (теорія малих пружно-пластичних деформацій Іллюшина) на основі варіаційного принципу Лагранжа та методу додаткових навантажень (постановка задачі в переміщеннях, із застосуванням МСЕ).
24. Отримання системи алгебраїчних рівнянь для крайової задачі про *пружно-пластичний* напружено-деформований стан тіла (теорія пластичності Прандтля-Рейса) на основі варіаційного принципу Лагранжа та методу додаткових навантажень (постановка задачі в переміщеннях, із застосуванням МСЕ).
25. Алгоритм Ньютона-Рафсона для нелінійних САР при розв'язуванні крайової задачі термопружнопластичності на основі методу додаткових навантажень.
26. Метод змінних параметрів пружності в задачах термопружнопластичності.
27. Ідея методів дотичної жорсткості та пружних довантажень в задачах термопружнопластичності.
28. Заповнення матриць базисних функцій та диференціювання у СЕ, тривимірний випадок. Обчислення частинних похідних за напрямками глобальних координат в точці ізопараметричного СЕ (для матриці похідних).
29. Заповнення основних матриць ($[\phi]$, $[B]$, модуль пружності $[D]$) у СЕ в залежності від вимірності задачі, типу напружено-деформованого стану та типу координатної системи.
30. Чисельне інтегрування у ізопараметричному скінченному елементі на основі квадратур Гауса. Характерні підінтегральні функції у методі скінченних елементів.

1.2. Опір матеріалів

1. Знайти абсолютне видовження стрижня VI довжиною $l = 1$ м з поперечним перерізом 5×2 см і модулем Юнга $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, якщо він розтягується силою 100 кН.
2. Визначити площу поперечного перерізу стрижня з умови міцності, якщо він розтягується силою 80 кН і виготовлений із сталі, для якої допустимі напруження $[\sigma] = 160$ МПа.
3. Знайти максимальні дотичні напруження в стрижні, який розтягується силою 50 кН і має площу поперечного перерізу $2,5$ см².

4. Визначити величину допустимих напружень для сталі, якщо відома границя текучості $\sigma_T = 200$ МПа і коефіцієнт запасу міцності $n = 2$.

5. Визначити діаметр поперечного перерізу стрижня з умови міцності, якщо він скручується моментом $M = 314$ Н·м і виготовлений із сталі, для якої допустимі напруження $[\tau] = 80$ МПа.

6. Знайти кут закручування φ стрижня довжиною $l = 1$ м з поперечним перерізом діаметром 20 мм і модулем пружності при зсуві $G = 0,8 \cdot 10^5$ МПа, якщо він скручується моментом 62,8 Н·м.

7. Знайти максимальні нормальні напруження в стрижні, який скручується моментом $M = 314$ Н·м і має діаметр поперечного перерізу 50 мм.

8. Визначити діаметр поперечного перерізу стрижня з умови жорсткості, якщо він скручується моментом $M = 314$ Н·м. Стрижень виготовлено із сталі, у якої модуль пружності при зсуві $G = 0,8 \cdot 10^5$ МПа. Допустимий відносний кут закручування $[\varphi] = 0,001$.

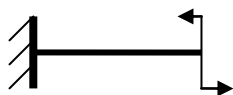
9. Визначити діаметр поперечного перерізу стрижня з умови жорсткості при $[\varepsilon] = 0,0005$, якщо він розтягується силою 80 кН. Стрижень виготовлено із сталі, у якої модуль Юнга $E = 2 \cdot 10^5$ МПа.

10. Знайти поперечну силу і інтенсивність розподіленого навантаження при $x = 5$ м, скориставшись диференційними залежностями при згині, якщо задано згинальний момент $M = (100x + 10x^2)$ Н·м.

11. Знайти згинальний момент, скориставшись диференційними залежностями при згині, при $x = 2$ м, якщо задано поперечну силу $Q = 20x$ Н.

12. Визначити розміри квадратного поперечного перерізу стрижня з умови міцності, якщо він згинається моментом $M = 320$ Н·м і виготовлений із сталі, для якої допустиме напруження $[\sigma] = 160$ МПа.

13. Визначити розміри круглого поперечного перерізу консольного закріпленого стрижня довжиною 1 м з умови жорсткості, якщо він згинається зосередженим моментом $M = 314$ Н·м, прикладеним на кінці. Максимальний прогин не повинен перевищувати 1 см.



14. Визначити максимальні нормальні напруження у стрижні прямокутного поперечного перерізу розмірами $h = 0,1$ м, $b = 0,05$ м, якщо він згинається зосередженим моментом $M = 300$ Н·м.

15. Визначити максимальні дотичні напруження у стрижні прямокутного поперечного перерізу розмірами $h = 0,1$ м, $b = 0,05$ м, якщо він згинається зосередженим моментом $M = 300$ Н·м.

16. Визначити максимальні дотичні напруження у поперечному перерізі двотаврової балки №20 при чистому згині, якщо вона згинається моментом $M = 10$ Н·м.

17. Визначити максимальні дотичні напруження у стрижні квадратного поперечного перерізу розмірами $0,05 \times 0,05$ м при поперечній силі 10 кН.

18. Визначити величину критичної сили для стрижня квадратного поперечного перерізу розмірами $0,06 \times 0,06$ м довжиною 5 м, якщо один кінець його закріплено за допомогою шарнірно нерухокої опори, а другий шарнірно рухокої. Стрижень виготовлено із сталі з модулем Юнга $E = 2 \cdot 10^5$ МПа.

19. Визначити максимальні напруження в тонкостінній трубі при внутрішньому тиску 10 МПа, товщині стінки 0,002 м і середньому діаметрі 0,02 м.

20. При якому коефіцієнті асиметрії циклу r навантаження є найбільш небезпечним з точки зору міцності деталі?

21. Знайти абсолютне видовження стрижня Δl довжиною $l = 1$ м з поперечним перерізом 5×2 см і модулем Юнга $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, якщо він розтягується силою 100 кН.

22. Визначити діаметр поперечного перерізу стрижня з умови міцності, якщо він скручується моментом $M = 314$ Н·м і виготовлений із сталі, для якої допустимі напруження $[\tau] = 80$ МПа.

23. Визначити площу поперечного перерізу стрижня з умови міцності, якщо він розтягується силою 80 кН і виготовлений із сталі, для якої допустимі напруження $[\sigma] = 160$ МПа.

24. Знайти максимальні дотичні напруження в стрижні, який розтягується силою 50 кН і має площу поперечного перерізу $2,5 \text{ см}^2$.

25. Визначити величину допустимих напружень для сталі, якщо відома границя текучості $\sigma_T = 200$ МПа і коефіцієнт запасу міцності $n = 2$.

26. Знайти кут закручування φ стрижня довжиною $l = 1$ м з поперечним перерізом діаметром 20 мм і модулем пружності при зсуві $G = 0,8 \cdot 10^5$ МПа, якщо він скручується моментом 62,8 Н·м.

27. Знайти максимальні нормальні напруження в стрижні, який скручується моментом $M = 314$ Н·м і має діаметр поперечного перерізу 50 мм.

28. Знайти згинальний момент, скориставшись диференційними залежностями при згині, при $x = 2$ м, якщо задано поперечну силу $Q = 20x$ Н.

29. Визначити діаметр поперечного перерізу стрижня з умови жорсткості, якщо він скручується моментом $M = 314$ Н·м. Стрижень виготовлено із сталі, у якої модуль пружності при зсуві $G = 0,8 \cdot 10^5$ МПа. Допустимий відносний кут закручування $[\varphi] = 0,001$.

30. Визначити діаметр поперечного перерізу стрижня з умови жорсткості при $[\varepsilon] = 0,0005$, якщо він розтягується силою 80 кН. Стрижень виготовлено із сталі, у якої модуль Юнга $E = 2 \cdot 10^5$ МПа.

1.3. Будівельна механіка машин

1. Кінематичний аналіз. Кількісний і якісний етапи. Геометрично змінювані і геометрично незмінювані системи.
2. Визначення внутрішніх зусиль у стрижнях ферм. Спосіб вирізування вузлів, спосіб наскрізних перерізів при розрахунку плоских ферм, «нульові стрижні».
3. Метод сил: Основна основні невідомі, основна система, система канонічних рівнянь. Особливості застосування для статично невизначуваних ферм і рам.
4. Метод переміщень: основні невідомі, основна система методу переміщень, система канонічних рівнянь. Внутрішні зусилля у однопрогонових балках «защемлення-защемлення», «защемлення-шарнір».
5. Метод переміщень: основні невідомі, побудова розв'язувальних рівнянь в розгорнутій формі.
6. Розрахунок симетричних рам методом переміщень.
7. Метод скінченних елементів. Стрижневий скінченний елемент. Дискретна модель стрижневої системи.
8. Вузлові характеристики стержневого скінченного елемента. Базисна і місцева (локальна) системи координат, зв'язок між ними (матриця перетворення).
9. Матриця жорсткості стрижневого скінченного елемента в місцевій (локальній) системі координат. Зміст компонент.
10. Вузлові характеристики скінченно-елементної моделі. Матриця жорсткості скінченно-елементної моделі.
11. Стійкість механічних систем. Критерії стійкості та методи визначення критичних навантажень.
12. Стійкість стрижнів і стрижневих систем з скінченною кількістю ступенів вільності. Диференційне рівняння згину стрижнів і його розв'язок.
13. Визначення умов стійкої рівноваги механічних систем з декількома ступенями вільності.
14. Багатопараметричне навантаження, область стійкості стрижневих систем.
15. Розрахунок стрижневих систем на стійкість методом переміщень. Визначення критичних навантажень з системи розв'язувальних рівнянь методу переміщень.
16. Тонкостінні стержні. Секторіальні характеристики поперечного перерізу.
17. Тонкостінні стержні. Вільне і стиснене кручення. Основні співвідношення.

18. Внутрішні зусилля і напруження в прямокутній пластині.
19. Диференційне рівняння згину прямокутних пластин і граничні умови.
20. Циліндричний згин і чистий згин прямокутних пластин.
21. Розв'язок диференційного рівняння згину прямокутних пластин у подвійних і одинарних тригонометричних рядах.
22. Диференційний оператор методу скінченних різниць (МСР) для розв'язання рівняння згину прямокутних пластин. Складання рівнянь МСР.
23. Визначення внутрішніх зусиль в прямокутних пластинах на основі розв'язку методу скінченних різниць.
24. Вісесиметричний згин круглих пластин. Співвідношення між переміщеннями і деформаціями, деформаціями і напруженнями.
25. Внутрішні зусилля і напруження в круглій пластині при вісесиметричному згині.
26. Диференційне рівняння вісесиметричного згину круглих суцільних пластин і його розв'язок. Граничні умови.
27. Диференційне рівняння вісесиметричного згину круглих кільцевих пластин і його розв'язок. Граничні умови.
28. Безмоментна теорія оболонок. Умови виникнення безмоментного напруженого стану. Рівняння безмоментної теорії для вісесиметричного деформування оболонок.
29. Використання рівнянь безмоментної теорії для сферичної, циліндричної, конічної оболонок.
30. Безмоментна теорія оболонок. Циліндричний згин оболонок.

2. ПРИКІНЦЕВІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Критерії оцінювання (за системою ECTS)

Відповіді на питання з дисципліни **Числові методи динаміки і міцності машин.:**

Ваговий бал – 33,33:

- повна відповідь з розрахунками, принциповою чи конструктивною схемою (не менше 90% потрібної інформації) – **33-33,33** бали;
- повна відповідь з неприциповими неточностями, зокрема обчислювального характеру, (не менше 85% потрібної інформації), – **30-32** бали;
- принципово правильна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) – **25-30** балів;
- повна відповідь з принциповими неточностями (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – **18-24** бали;
- не повна відповідь, в якій відсутні принципові неточності (не менше 50% потрібної інформації) та незначні помилки – **9-17** балів;
- «незадовільно», принципово неправильна відповідь або її відсутність – **0-8** балів.

Відповіді на питання з дисципліни **опір матеріалів:**

Ваговий бал – 33,33:

- повна відповідь з розрахунками, принциповою чи конструктивною схемою (не менше 90% потрібної інформації) – 33-33,33 бали;
- повна відповідь з неприциповими неточностями, зокрема обчислювального характеру, (не менше 85% потрібної інформації), – 30-32 бали;
- принципово правильна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) – 25-30 балів;
- повна відповідь з принциповими неточностями (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 18-24 бали;
- не повна відповідь, в якій відсутні принципові неточності (не менше 50% потрібної інформації) та незначні помилки – 9-17 балів;
- «незадовільно», принципово неправильна відповідь або її відсутність – 0-8 балів.

Відповіді на питання з дисципліни **будівельна механіка машин:**

Ваговий бал – 33,33:

- повна відповідь з розрахунками, принциповою чи конструктивною схемою (не менше 90% потрібної інформації) – 33-33,33 бали;

- повна відповідь з неприциповими неточностями, зокрема обчислювального характеру, (не менше 85% потрібної інформації), – 30-32 бали;
 - принципово правильна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) – 25-30 балів;
 - повна відповідь з принциповими неточностями (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 18-24 бали;
 - не повна відповідь, в якій відсутні принципові неточності (не менше 50% потрібної інформації) та незначні помилки – 9-17 балів;
- «незадовільно», принципово неправильна відповідь або її відсутність – 0-8 балів.

Максимальна сума балів складає **100**.

2.2. Розрахунок традиційної оцінки

Чисельний еквівалент оцінки Φ з комплексного фахового випробування розраховується за формулою:

$$\Phi = \sum \Phi_i$$

де Φ_i – оцінка за i -е питання білету.

Чисельний еквівалент оцінки Φ округлюється до значень, наведених у таблиці 1.

Отримана оцінка шкали PCO має бути перерахована у шкалу ЄВІ із використанням таблиці 1.

Таблиця 1

Таблиця відповідності оцінок PCO (60...100 балів) оцінкам ЄВІ (100...200 балів)

Оцінка PCO	Оцінка ЄВІ	Оцінка PCO	Оцінка ЄВІ	Оцінка PCO	Оцінка ЄВІ	Оцінка PCO	Оцінка ЄВІ
60	100,0	70	125,0	80	150,0	90	175,0
61	102,5	71	127,5	81	152,5	91	177,5
62	105,0	72	130,0	82	155,0	92	180,0
63	107,5	73	132,5	83	157,5	93	182,5
64	110,0	74	135,0	84	160,0	94	185,0
65	112,5	75	137,5	85	162,5	95	187,5
66	115,0	76	140,0	86	165,0	96	190,0
67	117,5	77	142,5	87	167,5	97	192,5
68	120,0	78	145,0	88	170,0	98	195,0
69	122,5	79	147,5	89	172,5	99	197,5
						100	200,0

2.3. Приклад типового завдання комплексного фахового випробування

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № XX

1. Загальні формули для похибок при обчисленнях функцій. Спосіб границь для оцінки похибки при обчисленнях функцій.
2. Знайти максимальні дотичні напруження в стрижні, який розтягується силою 50 кН і має площу поперечного перерізу 2,5 см².
3. Безмоментна теорія оболонки. Циліндричний згин оболонки

3. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

підручники та навчальні посібники, рекомендовані МОН

1. Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С. Опір матеріалів: підручник. – К.: Вища шк., 2004. – 655 с.

навчальні посібники, рекомендовані Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського

1. Чемерис О.М. Будівельна механіка машин. Розд. 1. Стрижневі системи [Електронний ресурс]: конспект лекцій для студентів напряму підготовки 6.050501 «Прикладна механіка». – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/2238>.
2. Чемерис О.М. Будівельна механіка машин. Розд. 2. Пластинки і оболонки [Електронний ресурс]: конспект лекцій для студентів напряму підготовки 6.090501 «Прикладна механіка». – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/5290>.
3. Чемерис О.М. Конспект лекцій з дисципліни «Будівельна механіка машин» для спеціальності «Динаміка і міцність машин» Розд. 3. Стійкість пружних систем. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 76 с.
4. Рудаков К.М. Чисельні методи аналізу в динаміці та міцності конструкцій: навч. посіб. для студ. вищих навч. закл., які навч. на напрямом «Інженерна механіка». – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 379 с.

інші підручники та навчальні посібники

1. Александров А.В., Потапов В.Д. Основы теории упругости и пластичности: учебник для строит. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1990. – 400 с.
2. Баженов В.А., Перельмутер А.В., Шишов О.В. Будівельна механіка. Комп'ютерні технології і моделювання [Електронний ресурс]: підручник для студентів вищих навчальних закладів. – К.: ВІПОЛ, 2013. – 896 с. – Доступ: http://www.knuba.edu.ua/?page_id=458.
3. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1976. – 608 с.
4. Бояршинов С.В. Основы строительной механики машин: учебник для машиностроит. спец. вузов. – М.: Машиностроение, 1973. – 456 с.
5. Вольмир А.С. и др. Устойчивость деформируемых систем. – М.: ФМЛ, 1988. – 984 с.
6. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. – М.: Мир, 1986. – 428 с.
7. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир., 1975. – 542 с
8. Калиткин Н.Н. Численные методы. – М.: Наука, 1978 – 512 с.
9. Новацкий В. Теория упругости. – М.: Мир, 1970. – 256 с.
10. Самарский А.А. Введение в численные методы: учеб. пособие для вузов. – СПб.: Изд-во «Лань», 2005. – 288 с.
11. Тимошенко С.П. и др. Пластинки и оболочки. – М.: ГИФМЛ, 1963. – 635 с.
12. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 592 с.

Розробники програми

1. Д.т.н., проф. С.О. Пискунов

2. Д.т.н., проф. К.Н.Рудаков

3. К.т.н., доц. С.І. Трубачев