

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Механіко-математичний факультет
Кафедра механіки

Затверджено

На засіданні кафедри механіки
механіко-математичного факультету
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 1 від 31.08.2023 р.)



Завідувач кафедри:

Олександр АНДРЕЙКІВ

Силабус з навчальної дисципліни
“Теорія пружності і пластичності”,
що викладається в межах ОПП “Математичне моделювання та
комп’ютерна механіка”
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для здобувачів з
спеціальності 113 – Прикладна математика

Львів 2023 р.

Назва дисципліни	Теорія пружності і пластичності
Адреса викладання дисципліни	Головний корпус Львівського національного університету імені Івана Франка, м. Львів, вул. Університетська 1, 79000
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Механіко-математичний факультет Кафедра механіки
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	11 – Математика та статистика 113 – Прикладна математика
Викладачі дисципліни	Звізло Іван Степанович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри механіки Слободян Микола Степанович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри механіки Василишин Андрій Володимирович, доктор філософії, асистент кафедри механіки
Контактна інформація викладачів	ivan.zvizlo@lnu.edu.ua https://new.mmf.lnu.edu.ua/employee/zvizlo-i-s mykola.slobodyan@lnu.edu.ua https://new.mmf.lnu.edu.ua/employee/slobodyan-m-s andrii.vasylyshyn@lnu.edu.ua https://new.mmf.lnu.edu.ua/employee/vasylyshyn-a-v
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекцій/лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Головний корпус Львівського національного університету імені Івана Франка, м. Львів, вул. Університетська, 1. Кафедра механіки, каб. 148.
Сторінка курсу	https://new.mmf.lnu.edu.ua/course/teoriia-pruzhnosti-i-plastychnosti-osvitnia-prohrama-matematychno-modeliuvannia-ta-komp-iuterna-mekhanika
Інформація про дисципліну	Дисципліна “Теорія пружності та пластичності” є нормативною навчальною дисципліною циклу професійної і практичної підготовки з спеціальності 113 – Прикладна математика для освітньої програми “Математичне моделювання та комп’ютерна механіка”, яка викладається в 7 та 8-му семестрах в обсязі 6-ти кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Ця дисципліна є однією з основних у забезпеченні даної освітньої програми. Вона дає струнку систему загальних понять, теорем, варіаційних принципів лінійної механіки пружності, розвиваючи та поглиблюючи відомості, одержані в курсі механіки суцільного середовища щодо опису деформування пружних тіл. Охоплює розділи елементи теорії тензорів, теорія деформацій, теорія напружень, закон Гука, постановка задачі теорії пружності, основні теореми, варіаційні принципи, задачу Сен-Венана кручення та згину призматичних пружних стрижнів та деякі просторові задачі. Викладаються основні поняття теорії пластичності, моделі теорії течіння, теорії ковзання та деформаційних теорій. Розглядаються теореми про пластичне руйнування (екстремальні теореми), пристосування пружно-пластичних тіл за змінюваних навантажень. Вивчається розв’язування окремих класів задач теорії пластичності, зокрема, в областях із круговою та сферичною симетрією,

	аналізується пружно-пластичне кручення призматичних стрижнів та плоска деформація пружно-пластичних тіл.
Мета та цілі дисципліни	<p><i>Мета:</i> освоєння студентами теоретичних і практичних основ дослідження механічних, фізичних властивостей та структури пружних та матеріалів, ґрунтовне засвоєння усіх понять теорій пружності та пластичності, що стосуються напруженого і деформованого стану у пружних та пружно-пластичних тілах.</p> <p><i>Цілі:</i> викласти основні теоретичні та практичні положення теорії пружності і пластичності, а також основні методи розв'язання прикладних задач для пружних та пластичних тіл, які мають важливе значення у проведенні наукових досліджень та подальшій роботі у галузі інженерії.</p>
Література для вивчення дисципліни	<ol style="list-style-type: none"> 1. Божидарник В.В. Елементи теорії пружності / В.В. Божидарник, Г.Т. Сулим. – Львів: Світ. – 1994. – 580 с. 2. Сулим Г.Т. Методичні вказівки до теорії деформацій / Г.Т. Сулим. – Львів: Львівський державний університет імені Івана Франка. – 1983. – 40 с. 3. Сулим Г.Т. Методичні вказівки до теорії напружень і закону Гука / Г.Т. Сулим. – Львів: Львівський державний університет імені Івана Франка. – 1983. – 39 с. 4. Сулим Г.Т. Методичні вказівки до вивчення теорії пружності / Г.Т. Сулим. – Львів: Львівський державний університет імені Івана Франка. – 1984. – 39 с. 5. Бабенко А. Є. Теорія пружності. Частина 1: підручник / А.Є. Бабенко, М.І. Бобир, С.Л. Бойко. – Київ: Основа, 2009. – 244 с. 6. Тарасевич Ю.Я. Теорія пружності: конспект лекцій. Частина 1 Напружено-деформований стан у точці тіла. Плоска задача теорії пружності в декартових координатах / Ю.Я. Тарасевич. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 116 с. 7. Дудик М.В. Сучасні методи теорії пружності (курс лекцій): навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів фізико-математичних спеціальностей / М.В. Дудик, Ю.В. Діхтяренко. – Умань: ПП «Жовтий», 2015. – 108 с. 8. Божидарник В.В. Елементи теорії пластичності та міцності / В.В. Божидарник, В.В. Сулим – Львів: Світ, 1999. Т. 1. – 532 с. 9. Божидарник В.В. Теорія пластичності / В.В. Божидарник, В.В. Сулим – Київ: УМК ВО, 1991. – 144 с. 10. Чихладзе Е.Д. Основи лінійної теорії пружності, пластичності та повзучості: Навч. посібник / Е.Д. Чихладзе, М.А. Веревічева, Є.І. Галагура та ін. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – 149 с. 11. Хомик Н.І. Опір матеріалів (спецкурс) і основи теорії пружності і пластичності / Н.І. Хомик, Т.А. Довбуш, Н.А. Рубінець. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2017. – 232с. 12. Трач В.М. Опір матеріалів (спеціальний курс), теорії пружності та пластичності / В.М. Трач, А.В. Подводний. – Київ: Каравела, 2016. – 434с. 13. Можаровський М.С. Теорія пружності, пластичності і повзучості: підручник / Можаровський М.С. – К.: Вища школа, 2002. – 308 с. 14. Tongxi Yu. Introduction to Engineering Plasticity: Fundamentals with Applications in Metal Forming, Limit Analysis and Energy Absorption / Tongxi Yu, Pu Xue. – Elsevier, 2022. – 404 p. 15. Тітов В.А. Теорія пластичної деформації-2. Математичні основи

	<p>пластичної деформації. Конспект лекцій / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В.А. Тітов, Н.К. Злочевська. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. –75 с.</p>
Обсяг курсу	<p>7 семестр. Загальний обсяг: 90 годин. Аудиторних занять: 64 год., з них 32 год. лекційних та 32 год. практичних занять. Самостійної роботи: 26 год. 8 семестр. Загальний обсяг: 90 годин. Аудиторних занять: 56 год., з них 28 год. лекційних та 28 год. практичних занять. Самостійної роботи: 34 год. Протягом 7-8 семестрів. Загальний обсяг: 180 годин. Аудиторних занять: 120 год., з них 60 години лекцій та 60 години лабораторних робіт. Самостійна робота: 60 год.</p>
Очікувані результати навчання	<p>У результаті вивчення даного курсу студент буде:</p> <p>знати: поняття теорії пружності, що стосуються напруженого і деформованого стану тіл; основні теореми, варіаційні принципи і схеми деяких числових методів визначення напружено-деформованого стану в лінійно пружних тілах та пружно-пластичних тілах;</p> <p>вміти: формулювати задачі теорії пружності та теорії пластичності, як в рамках теорій течіння, так і деформаційних теорій; застосовувати отримані знання до розв'язування відповідних задач теорії пружності та пластичності; використовувати тензорну форму подання, яка вживається у сучасній науковій літературі, і координатну форму, необхідну при проведенні перетворень в процесі розв'язування конкретних задач.</p> <p>У результаті засвоєння матеріалу даного курсу студент набуде таких загальних (ЗК) і фахових (ФК) компетентностей: ЗК03. Здатність генерувати нові ідеї (креативність). ЗК05. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні. ФК01. Здатність використовувати й адаптувати математичні теорії, методи та прийоми для доведення математичних тверджень і теорем. ФК02. Здатність виконувати завдання, сформульовані у математичній формі. ФК03. Здатність обирати та застосовувати математичні методи для розв'язання прикладних задач, моделювання, аналізу, проектування, керування, прогнозування, прийняття рішень. ФК13. Здатність зрозуміти постановку завдання, сформульовану мовою певної предметної галузі, здійснювати пошук та збір необхідних вихідних даних. ФК14. Здатність сформулювати математичну постановку задачі, спираючись на постановку мовою предметної галузі, та обирати метод її розв'язання, що забезпечує потрібні точність і надійність результату. ФК18. Здатність проводити експерименти з механіки, створювати відповідне програмне забезпечення для побудови числових розв'язків задач механіки.</p> <p>і здобуде такі результати навчання (РН): РН02. Володіти основними положеннями та методами математичного, комплексного та функціонального аналізу, лінійної алгебри та теорії чисел, аналітичної геометрії, теорії диференціальних рівнянь, зокрема рівнянь у частинних похідних, теорії ймовірностей, математичної статистики та випадкових процесів, чисельними методами. РН03. Формалізувати задачі, сформульовані мовою певної предметної галузі; формулювати їх математичну постановку та обирати раціональний</p>

	<p>метод вирішення; розв'язувати отримані задачі аналітичними та чисельними методами, оцінювати точність та достовірність отриманих результатів.</p> <p>PH06. Володіти основними методами розробки дискретних і неперервних математичних моделей об'єктів та процесів, аналітичного дослідження цих моделей на предмет існування та єдиності їх розв'язку.</p> <p>PH07. Вміти проводити практичні дослідження та знаходити розв'язок некоректних задач.</p> <p>PH12. Розв'язувати окремі інженерні задачі та/або задачі, що виникають принаймні в одній предметній галузі: в соціології, економіці, екології та медицині.</p> <p>PH22. Досліджувати математичні моделі з використанням сучасних розділів механіки.</p>
Ключові слова	Механіка деформівного твердого тіла, теорія пружності, теорія пластичності, теорія напружень, теорія деформацій, теорії течії для матеріалу закон Гука, варіаційні принципи, задача Кельвіна, задача Буссінеска, задача Мелліна, потенціал еліптичного диска, задача Герца, Драккера, умови текучості Треска-Сен-Венана, Губера-Мізеса, асоційований закон пластичності.
Формат курсу	Очний.
Теми	<p style="text-align: center;">7 семестр Змістовий модуль 1.</p> <p>Тема 1. Вступ. Місце теорії пружності в системі наукових знань. Предмет теорії пружності. Пружність, ідеальна пружність. Основні гіпотези класичної теорії пружності.</p> <p>Тема 2. Елементи теорії тензорів. Символи Леві - Чевіта, набла-оператор Гамільтона. Формалізм перетворення об'ємного інтегралу в поверхневий, компонент тензора. Основні операції з матрицями. Головні осі тензора, поверхня Коші, кульовий тензор, девіатор. Формула Гамільтона - Келі та наслідки з неї.</p> <p>Тема 3 Теорія деформацій. Рух тіла, матеріальні координати, відлікова, актуальна конфігурації, деформація, вектор переміщення. Тензор деформації Гріна, механічний зміст його компонент. Тензори деформації Альманзі, обертання Лагранжа та Ойлера.</p> <p>Тема 4. Мала деформація: тензор Коші, співвідношення Коші. Головні напрямки тензорів деформації, головні деформації, інваріанти, поверхня деформації. Відносна зміна об'єму, середнє видовження. Розклад вектора переміщення на чисту деформацію та абсолютно жорстке переміщення. Девіатор деформації, інтенсивність деформації зсуву, інтенсивність деформації.</p> <p>Тема 5. Теорія напружень. Об'ємні та поверхневі сили, постулат Коші, фундаментальна лема Коші. Фундаментальна теорема Коші, тензор напружень Коші. Тензор Піюли. Рівняння руху середовища, закон парності напружень. Тензор функцій напружень, функції напруження Максвелла, Морера.</p> <p>Тема 6. Потенціальна енергія при розтязі. Напруження при ударі. Поширення пружних хвиль у стрижнях. Концентрація напружень. Напруження по похилих площадках при розтязі.</p> <p>Тема 7. Теорема про взаємність нормальних складових. Поверхня напружень Коші, інваріанти, головні напрямки і головні напруження. Головні дотичні напруження. Круги Мора. Гідростатичний та девіаторний напружений стан. Октаедричні напруження.</p> <p>Тема 8. Узагальнений закон Гука. Лінійна залежність між компонентами тензорів напружень і деформацій. Пружний потенціал. Зведення числа</p>

пружних сталей для різних випадків симетрії будови тіла. Модулі пружності ізотропного тіла.

Змістовий модуль 2.

Тема 9. Постановка задачі теорії пружності. Класифікація задач теорії пружності. Рівняння Ляме – постановка задачі теорії пружності в переміщеннях, задача Ляме для порожнистої сфери під внутрішнім тиском.

Тема 10. Постановка задачі теорії пружності в напруженнях – рівняння Бельтрамі-Мічелла, елементарний розв'язок задачі теорії пружності для паралелограма. Визначення зміщень за відомим об'ємним розширенням та обертанням. Подання загального розв'язку статичних рівнянь Ляме у формах Папковича – Нейбера та Гальоркіна. Принцип Сен-Венана.

Тема 11. Загальні теореми теорії пружності. Теорема Клапейрона. Теорема Кірхгофа. Теорема Бетті - Максвелла, тотожність Бетті, формула Сомільяно.

Тема 12. Варіаційні принципи. Принцип можливих переміщень. Принцип можливих сил. Варіаційний принцип Райснера. Методи Релея-Рітца та Бубнова Гальоркіна. Метод Папковича - Філоненко-Бородича.

Змістовий модуль 3.

Тема 13. Кручення призматичних стрижнів. Задача Сен-Венана. Зведення задачі кручення до крайової задачі РМФ. Функція напружень Прандтля.

Тема 14. Теорема Бредта. Застосування конформного відображення до задачі кручення призматичних стрижнів. Наближена теорія кручення трубчастих валів. Аналогії при крученні.

Тема 15. Кручення стрижня еліптичного поперечного перерізу. Кручення стрижня прямокутного поперечного перерізу.

Тема 16. Згин призматичних стрижнів. Згин призматичного стрижня зосередженою силою. Визначення зміщень при згині консолі.

Тема 17. Згин стрижня еліптичного поперечного перерізу. Згин стрижня прямокутного поперечного перерізу.

8 семестр

Змістовий модуль 1.

Тема 1. Вступ. Місце теорії пластичності у системі наукових знань. Визначальні співвідношення теорії пластичності. Основні експериментальні факти. Досліди з кручення. Вивчення плоского напруженого стану. Ефект Баушінгера. Атермічна пластичність. Постулат макроскопічної визначеності. Найпростіші одновимірні моделі пластичного тіла.

Тема 2. Теорія течіння. Поверхня навантаження. Умови текучості Треска-Сен-Венана, Губера-Мізеса. Постулат Драккера Асоційований закон пластичності. Моделі середовища зі зміцненням. Теорії течіння для матеріалу зі зміцненням: ізотропне зміцнення (теорія Гандельмана-Ліна-Прагера); кінематичне зміцнення (теорія Ішлінського-Прагера); кінематично-ізотропне зміцнення (теорія Кадашевича-Новожилова). Гіпотеза зміцнення Сандерса.

Тема 3. Ідеальна пластичність: моделі. Теорії пластичного течіння ідеально-пластичного матеріалу. Розрахунок системи трьох стрижнів із урахуванням пластичних деформацій. Теорії пластичного течіння Сен-

Венана-Леві-Мізеса (жорстко-ідеальнопластичний матеріал); Прандтля-Рейсса (пружно-ідеальнопластичний матеріал); теорія пластичності, асоційована з умовою пластичності Треска. Класична теорія течіння. Постановка крайової задачі теорії пластичного течіння (приростів пластичних деформацій). Теорія ковзання Батдорфа-Будянського.

Змістовий модуль 2.

Тема 4. Деформаційна теорія пластичності. Постановка крайових задач. Основні положення класичної деформаційної теорії. Деформаційна теорія Генкі-Надаї. Загальні співвідношення теорії малих пружно-пластичних деформацій (ТМППД). Постановка крайової задачі ТМППД. Постановка крайової задачі ТМППД в термопластичності: для термально однорідного, частково термально неоднорідного та термально неоднорідного матеріалу. Постановка задач ТМППД у переміщеннях та напруженнях. Теорема єдиності розв'язку задачі ТМППД.

Тема 5. Метод пружних розв'язків Ільюшина; метод змінних параметрів пружності. Теорема Ільюшина про просте навантаження; теорема про розвантаження; теорема про p -накладання.

Тема 6. Застосування ТМППД до розв'язування конкретних задач, зокрема для областей з осьовою та сферичною симетрією. Згин призматичного бруса (ідеальний пружно-пластичний матеріал, матеріал з лінійним зміцненням). Пружно-пластична рівновага товстостінної сфери під дією внутрішнього та зовнішнього тиску (загальний випадок, пружний розв'язок, пружно-пластичний розв'язок, матеріал з лінійним зміцненням, ідеальний пружно-пластичний матеріал). Задача Ламе про пружно-пластичну рівновагу товстостінної труби під дією розтягувальної сили та внутрішнього тиску.

Тема 7. Теорія пружно-пластичних процесів Ільюшина. Загальний постулат ізотропії. Простори Ільюшина. Образ процесу у просторі Ільюшина. Теорема ізоморфізму, наслідки з неї. Частковий постулат ізотропії. Принцип запізнення. Класифікація пружно-пластичних процесів залежно від величини кривини траєкторії деформації; визначальні співвідношення для цих процесів. Гіпотеза локальної визначеності. Гіпотеза компланарності. Локальна теорія пружно-пластичних процесів.

Змістовий модуль 3.

Тема 8. Теорема про пластичне руйнування. Розривні розв'язки з теорії пластичності. Основне енергетичне рівняння. Пропорційне навантаження. Коефіцієнт граничного навантаження. Верхня оцінка граничного навантаження. Кінематичний коефіцієнт. Нижня оцінка граничного навантаження. Статичний коефіцієнт. Наслідки. Повний розв'язок. Приклади застосування теорем про пластичне руйнування: балка із зацімленими кінцями, згин квадратної пластини зосередженою силою.

Тема 9. Пристосування пружно-пластичних тіл при змінних навантаженнях. Пристосування, прогресуюча та знакозмінна деформація. Змінні навантаження у пружно-пластичному тілі. Труба за циклічного тиску (розподіл напружень у пружній трубі; пружно-пластичний стан). Сумісна деформація труби та стрижня (пружний стан, пристосування, прогресуюча деформація). Статична теорема пристосування. Сумісне кручення та розтяг стрижня.

Тема 10. Окремі класи задач теорії пластичності. Пружно-пластичне кручення призматичних стрижнів. Основні співвідношення. Пружний

	розв'язок. Пластичний стан. Ідеальний пружно-пластичний матеріал: постановка задачі; метод Надаї; зворотний метод розв'язування пружно-пластичних задач (Соколовського). Матеріал зі зміцненням. Тема 11. Плоска деформація. Основні співвідношення для плоскої деформації. Визначення напружень. Лінії ковзання та їх властивості. Крайові умови та крайові задачі.
Підсумковий контроль, форма	Іспит у кінці 7-го семестру. Іспит у кінці 8-го семестру.
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з: <ul style="list-style-type: none"> - Математичного аналізу; - Диференціальних рівнянь; - Тензорного аналізу; - Опору матеріалів; - Основ механіки суцільного середовища.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Інформаційні методи (лекція, бесіда, ілюстрація, демонстрація); дедуктивні методи на основі узагальнень; евристичні методи (проблемна лекція); інтерактивні методи (дискусія).
Необхідне обладнання	Для проведення лекційних занять: комп'ютер (мінімальні характеристики: процесор Intel Core i3, 8ГБ оперативної пам'яті), доступ до мережі Internet, засоби мультимедіа (в т.ч. проектор). Для проведення практичних/лабораторних занять: комп'ютер (мінімальні характеристики: процесор Intel Core i3, 8ГБ оперативної пам'яті), доступ до мережі Internet. Необхідне програмне забезпечення включає в себе ОС Windows 10, програмні додатки (MS Teams, MS Office)
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p style="text-align: center;">7 семестр</p> <p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • написання трьох тестових модулів: по 15 балів кожен; Модуль містить 10 запитань (перші 5 запитань оцінюються 0-1 бал, наступні 5 запитань 0-2 балів) максимальна кількість балів 45. • активна робота на семінарських та лабораторних заняттях: 5 балів. • іспит: 50 балів. <p>Підсумкова максимальна кількість балів – 100.</p> <p>Оцінювання тестових модулів №1, №2 та №3 у 7 семестрі відбувається шляхом перевірки написаної студентом в аудиторії письмової роботи, яка складається з 10 запитань (перші 5 запитань оцінюються 0-1 бал, наступні 5 запитань 0-2 балів).</p> <p>Бали оцінювання відповіді на запитання модульного контролю:</p> <p>2 – відповідь на запитання написана повністю правильна, містить відповідні формули, рисунки та формулювання означень, теорем чи тверджень;</p> <p>1 – відповідь на запитання написана частково правильна або є неповною, містить формули з помилками, рисунки зроблені неповністю, формулювання означень, теорем чи тверджень є неповним;</p> <p>0 – відповідь відсутня/не відповідає сформульованому запитанню.</p>

Оцінювання іспиту 7 семестрі відбувається шляхом перевірки написаної студентом в аудиторії письмової роботи, яка складається з 3 запитань (по 10 балів кожне), а також усної відповіді на 2 додаткових питання (по 10 балів кожне).

Бали оцінювання відповіді на іспиті:

10 – відповідь на запитання написана повністю правильна, містить відповідні формули, рисунки та формулювання означень, теорем чи тверджень;

6 – відповідь на запитання написана частково правильна або є неповною, містить формули з помилками, рисунки зроблені неповністю, формулювання означень, теорем чи тверджень є неповним;

3 – відповідь на запитання є неповною, відсутні доведення до теорем і тверджень, формули містять помилки;

0 – відповідь відсутня/не відповідає сформульованому запитанні.

8 семестр

Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:

- написання трьох тестових модулів: по 15 балів кожен; Модуль містить 15 запитань максимальна кількість балів 45.

- активна робота на семінарських та лабораторних заняттях: 5 балів.

- іспит: 50 балів.

Підсумкова максимальна кількість балів – 100.

Оцінювання тестових модулів №1, №2 та №3 у 8 семестрі відбувається шляхом перевірки написаної студентом в аудиторії письмової роботи яка складається з 10 запитань (перші 5 запитань оцінюються 0-1 бал, наступні 5 запитань 0-2 балів).

Бали оцінювання відповіді на запитання модульного контролю:

2 – відповідь на запитання написана повністю правильна, містить відповідні формули, рисунки та формулювання означень, теорем чи тверджень;

1 – відповідь на запитання написана частково правильна або є неповною, містить формули з помилками, рисунки зроблені неповністю, формулювання означень, теорем чи тверджень є неповним;

0 – відповідь відсутня/не відповідає сформульованому запитанні.

Бали оцінювання відповіді на іспиті:

10 – відповідь на запитання написана повністю правильна, містить відповідні формули, рисунки та формулювання означень, теорем чи тверджень;

6 – відповідь на запитання написана частково правильна або є неповною, містить формули з помилками, рисунки зроблені неповністю, формулювання означень, теорем чи тверджень є неповним;

3 – відповідь на запитання є неповною, відсутні доведення до теорем і тверджень, формули містять помилки;

0 – відповідь відсутня/не відповідає сформульованому запитанні.

Письмові роботи: Очікується, що студенти виконають три письмові роботи (три тести з теоретичних і лабораторних завдань).

Академічна доброчесність: Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можли-

	<p>вої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p>Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та практичні заняття курсу. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів визначених для виконання всіх видів письмових робіт та індивідуальних завдань, передбачених курсом.</p> <p>Література. Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p>Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані при поточному тестуванні, самостійній роботі та бали підсумкового тестування. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час практичного заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання до екзамену та тестових модулів</p>	<p style="text-align: center;">7 Семестр</p> <p>Основні гіпотези класичної теорії пружності. Пружність, ідеальна пружність. Символи Леві - Чевіта, набла-оператор Гамільтона. Формалізм перетворення об'ємного інтегралу в поверхневий, компонент тензора. Основні операції з матрицями. Головні осі тензора, поверхня Коші, кульовий тензор, девіатор. Формула Гамільтона - Кейлі та наслідки з неї. Рух тіла, матеріальні координати, відлікова, актуальна конфігурації. Деформація, вектор переміщення. Тензор деформації Гріна, механічний зміст його компонент. Тензори деформації Альманзі, обертання Лагранжа та Ойлера. Мала деформація: тензор Коші, співвідношення Коші. Головні напрямки тензорів деформації, головні деформації, інваріанти, поверхня деформації. Відносна зміна об'єму, середнє видовження. Розклад вектора переміщення на чисту деформацію та абсолютно жорстке переміщення. Девіатор деформації, інтенсивність деформації зсуву, інтенсивність деформації. Формули Чезаро, умови Сен-Венана, тензор несумісності. Логарифмічні деформації. Швидкість деформування. Об'ємні та поверхневі сили, постулат Коші, фундаментальна лема Коші. Фундаментальна теорема Коші, тензор напружень Коші. Тензор Піюли. Рівняння руху середовища, закон парності напружень. Тензор функцій напружень, функції напруження Максвелла, Морера. Теорема про взаємність нормальних складових. Поверхня напружень Коші, інваріанти, головні напрямки і головні напруження. Головні дотичні напруження. Гідростатичний та девіаторний напружений стан. Октаедричні напруження. Узагальнений закон Гука.</p>

Лінійна залежність між компонентами тензорів напружень і деформацій.
Пружний потенціал. Зведення числа пружних сталих для різних випадків симетрії будови тіла.
Модулі пружності ізотропного тіла
Постановка задачі теорії пружності. Класифікація задач теорії пружності.
Рівняння Ляме – постановка задачі теорії пружності в переміщеннях.
Задача Ляме для порожнистої сфери під внутрішнім тиском.
Постановка задачі теорії пружності в напруженнях – рівняння Бельтрамі-Мічелла, елементарний розв'язок задачі теорії пружності для паралелограма.
Визначення зміщень за відомим об'ємним розширенням та обертанням.
Подання загального розв'язку статичних рівнянь Ляме у формах Папковича – Нейбера та Гальоркіна. Принцип Сен-Венана.
Загальні теореми теорії пружності. Теорема Клапейрона.
Теорема Кірхгофа. Теорема Бетті – Максвелла.
Тотожність Бетті, формула Сомільяно.
Варіаційні принципи. Принцип можливих переміщень.
Принцип можливих сил. Варіаційний принцип Райснера.
Методи Релея-Рітца та Бубнова Гальоркіна.
Метод Папковича - Філоненко-Бородича.
Кручення призматичних стрижнів. Задача Сен-Венана.
Зведення задачі кручення до крайової задачі РМФ.
Функція напружень Прандтля. Теорема Бредта.
Застосування конформного відображення до задачі кручення призматичних стрижнів.
Наближена теорія кручення трубчастих валів. Аналогії при крученні.
Кручення стрижня еліптичного поперечного перерізу.
Кручення стрижня прямокутного поперечного перерізу.
Згин призматичних стрижнів.
Згин призматичного стрижня зосередженою силою.
Визначення зміщень при згині консолі.
Згин стрижня еліптичного поперечного перерізу.
Згин стрижня прямокутного поперечного перерізу

8 Семестр

Місце теорії пластичності у системі наукових знань.
Визначальні співвідношення теорії пластичності.
Основні експериментальні факти. Досліди з кручення.
Вивчення плоского напруженого стану. Ефект Баушінгера.
Атермічна пластичність. Постулат макроскопічної визначеності.
Найпростіші одновимірні моделі пластичного тіла.
Поверхня навантаження..
Умови текучості Треска-Сен-Венана, Губера-Мізеса.
Постулат Драккера
Асоційований закон пластичності.
Моделі середовища зі зміцненням.
Теорії течіння для матеріалу зі зміцненням: ізотропне зміцнення (теорія Гандельмана-Ліна-Прагера);
Теорії течіння для матеріалу зі зміцненням: кінематичне зміцнення (теорія

Ішлінського-Прагера);
Теорії течіння для матеріалу зі зміцненням: кінематично-ізотропне зміцнення (теорія Кадашевича-Новожилова).
Гіпотеза зміцнення Сандерса.
Ідеальна пластичність: моделі теорії пластичного течіння ідеально-пластичного матеріалу.
Розрахунок системи трьох стрижнів із урахуванням пластичних деформацій
Теорії пластичного течіння Сен-Венана-Леві-Мізеса (жорстко-ідеально-пластичний матеріал)
Теорії пластичного течіння Прандтля-Рейсса (пружно-ідеальнопластичний матеріал)
Теорія пластичності, асоційована з умовою пластичності Треска.
Постановка крайової задачі теорії пластичного течіння (приростів пластичних деформацій).
Теорія ковзання Батдорфа-Будянського.
Деформаційна теорія пластичності.
Постановка крайових задач. Основні положення класичної деформаційної теорії.
Деформаційна теорія Генкі-Надаї.
Загальні співвідношення теорії малих пружно-пластичних деформацій (ТМППД).
Постановка крайової задачі ТМППД.
Постановка крайової задачі ТМППД в термопластичності: для термально однорідного, частково термально неоднорідного та термально неоднорідного матеріалу.
Постановка задач ТМППД у переміщеннях та напруженнях.
Теорема єдиності розв'язку задачі ТМППД.
Метод пружних розв'язків Ільюшина; метод змінних параметрів пружності.
Теорема Ільюшина про просте навантаження; теорема про розвантаження; теорема про p -накладання.
Застосування ТМППД до розв'язування конкретних задач, зокрема для областей з осьовою та сферичною симетрією.
Згин призматичного бруса (ідеальний пружно-пластичний матеріал)
Згин призматичного бруса (матеріал з лінійним зміцненням)
Пружно-пластична рівновага товстостінної сфери під дією внутрішнього та зовнішнього тиску
Задача Ламе про пружно-пластичну рівновагу товстостінної труби під дією розтягувальної сили та внутрішнього тиску.
Теорія пружно-пластичних процесів Ільюшина.
Загальний постулат ізотропії.
Простори Ільюшина. Образ процесу у просторі Ільюшина.
Теорема ізоморфізму, наслідки з неї.
Частковий постулат ізотропії. Принцип запізнення.
Класифікація пружно-пластичних процесів залежно від величини кривини траєкторії деформації; визначальні співвідношення для цих процесів.

	<p>Гіпотеза локальної визначеності. Гіпотеза компланарності. Локальна теорія пружно-пластичних процесів. Розривні розв'язки з теорії пластичності. Основне енергетичне рівняння. Пропорційне навантаження. Коефіцієнт граничного навантаження. Верхня оцінка граничного навантаження. Кінематичний коефіцієнт. Нижня оцінка граничного навантаження. Статичний коефіцієнт. Наслідки. Повний розв'язок. Приклади застосування теорем про пластичне руйнування: балка із зацімленими кінцями, згин квадратної пластини зосередженою силою. Пристосування пружно-пластичних тіл при змінних навантаженнях. Пристосування, прогресуюча та знакозмінна деформація. Змінні навантаження у пружно-пластичному тілі. Труба за циклічного тиску (розподіл напружень у пружній трубі; пружно-пластичний стан). Сумісна деформація труби та стрижня (пружний стан, пристосування, прогресуюча деформація). Статична теорема пристосування. Сумісне кручення та розтяг стрижня. Окремі класи задач теорії пластичності. Пружно-пластичне кручення призматичних стрижнів. Основні співвідношення. Пружний розв'язок. Пластичний стан. Ідеальний пружно-пластичний матеріал: постановка задачі; метод Надаї; зворотний метод розв'язування пружно-пластичних задач (Соколовського). Матеріал зі зміцненням. Плоска деформація. Основні співвідношення для плоскої деформації. Визначення напружень. Лінії ковзання та їх властивості. Крайові умови та крайові задачі.</p>
Опитування	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>

**Схема курсу “Теорія пружності і пластичності”
для студентів спеціальності 113 – Прикладна математика**

7 семестр

Тиж.	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література. Ресурси в інтернеті	Завдання, год.	Термін виконання
1	Вступ. Місце теорії пружності в системі наукових знань. Предмет теорії пружності. Пружність, ідеальна пружність. Основні гіпотези класичної теорії пружності.	лек.	[1, 2, 3]	0,5 год.	1 тиждень
1	Елементи теорії тензорів. Символи Леві-Чевіта, набла-оператор Гамільтона. Формалізм перетворення об'ємного інтегралу в поверхневий, компонент тензора. Основні операції з матрицями. Головні осі тензора, поверхня Коші, кульовий тензор, девіатор. Формула Гамільтона-Келі та наслідки з неї	лаб.	[1, 2, 3]	0,5 год.	1 тиждень
2	Теорія деформацій. Рух тіла, матеріальні координати, відлікова, актуальна конфігурації, деформація, вектор переміщення. Тензор деформації Гріна, механічний зміст його компонент. Тензори деформації Альманзі, обертання Лагранжа та Ойлера	лек.	[1, 2, 4]	1 год.	1 тиждень
2	Теорія деформацій. Рух тіла, матеріальні координати, відлікова, актуальна конфігурації, деформація, вектор переміщення. Тензор деформації Гріна, механічний зміст його компонент. Тензори деформації Альманзі, обертання Лагранжа та Ойлера	лаб.	[1, 2, 3]	1 год.	1 тиждень
3	Мала деформація: тензор Коші, співвідношення Коші. Головні напрямки тензорів деформації, головні деформації, інваріанти, поверхня деформації. Відносна зміна об'єму, середнє видовження. Розклад вектора переміщення на	лек.	[1, 2, 4]	1 год.	1 тиждень

	чисту деформацію та абсолютно жорстке переміщення. Девіатор деформації, інтенсивність деформації зсуву, інтенсивність деформації.				
3	Мала деформація: тензор Коші, співвідношення Коші. Головні напрямки тензорів деформації, головні деформації, інваріанти, поверхня деформації. Відносна зміна об'єму, середнє видовження. Розклад вектора переміщення на чисту деформацію та абсолютно жорстке переміщення. Девіатор деформації, інтенсивність деформації зсуву, інтенсивність деформації	лаб.	[1, 2, 4]	1 год.	1 тиждень
4	Теорія напружень. Об'ємні та поверхневі сили, постулат Коші, фундаментальна лема Коші. Фундаментальна теорема Коші, тензор напружень Коші. Тензор Піоли. Рівняння руху середовища, закон парності напружень. Тензор функцій напружень, функції напруження Максвелла, Морера.	лек.	[1, 2, 5]	1 год.	1 тиждень
4	Потенціальна енергія при розтязі. Напруження при ударі. Поширення пружних хвиль у стрижнях. Концентрація напружень. Напруження по похилих площадках при розтязі.	лаб.	[1, 2, 6]	1 год.	1 тиждень
5	Теорема про взаємність нормальних складових. Поверхня напружень Коші, інваріанти, головні напрямки і головні напруження. Головні дотичні напруження. Круги Мора. Гідростатичний та девіаторний напружений стан. Октаедричні напруження	лек.	[1, 2, 6]	1 год.	1 тиждень
5	Узагальнений закон Гука. Лінійна залежність між компонентами тензорів напружень і деформацій. Пружний потенціал. Зведення числа пружних сталих для різних випадків	лаб.	[1, 2, 5, 6, 7]	1 год.	1 тиждень

	симетрії будови тіла. Модулі пружності ізотропного тіла.				
6	Узагальнений закон Гука. Лінійна залежність між компонентами тензорів напружень і деформацій. Пружний потенціал. Зведення числа пружних сталих для різних випадків симетрії будови тіла. Модулі пружності ізотропного тіла.	лек.	[1, 2, 5, 6, 7]	1 год.	1 тиждень
6	Тестовий модуль № 1	лаб.			–
7	Постановка задачі теорії пружності. Класифікація задач теорії пружності. Рівняння Ляме: постановка задачі теорії пружності в переміщеннях, задача Ляме для порожнистої сфери під внутрішнім тиском.	лек.	[1, 2, 3, 4]	1 год.	1 тиждень
7	Постановка задачі теорії пружності. Класифікація задач теорії пружності. Рівняння Ляме: постановка задачі теорії пружності в переміщеннях, задача Ляме для порожнистої сфери під внутрішнім тиском.	лаб.	[1, 2, 3, 4]	1 год.	1 тиждень
8	Постановка задачі теорії пружності в напруженнях: рівняння Бельтрамі-Мічелла, елементарний розв'язок задачі теорії пружності для паралелограма. Визначення зміщень за відомим об'ємним розширенням та обертанням. Подання загального розв'язку статичних рівнянь Ляме у формах Папковича-Нейбера та Гальоркіна. Принцип Сен-Венана	лек.	[1, 2, 3, 4]	1 год.	1 тиждень
8	Постановка задачі теорії пружності в напруженнях: рівняння Бельтрамі-Мічелла, елементарний розв'язок задачі теорії пружності для паралелограма. Визначення зміщень за відомим об'ємним розширенням та обертанням. Подання загального розв'язку статичних рівнянь Ляме у формах Папковича-Нейбера та Гальоркіна. Принцип	лаб.	[1, 2, 3, 4]	1 год.	1 тиждень

	Сен-Венана				
9	Загальні теореми теорії пружності. Теорема Клапейрона. Теорема Кірхгофа. Теорема Бетті-Максвелла, тотожність Бетті, формула Сомільяно.	лек.	[1, 2, 3, 4]	1 год.	1 тиждень
9	Загальні теореми теорії пружності. Теорема Клапейрона. Теорема Кірхгофа. Теорема Бетті-Максвелла, тотожність Бетті, формула Сомільяно.	лаб.	[1, 2, 3, 4]	1 год.	1 тиждень
10	Варіаційні принципи. Принцип можливих переміщень. Принцип можливих сил. Варіаційний принцип Райснера. Методи Релея-Рітца та Бубнова Гальоркіна. Метод Папковича - Філоненко-Бородича.	лек.	[1, 2, 3, 4]	1 год.	1 тиждень
10	Варіаційні принципи. Принцип можливих переміщень. Принцип можливих сил. Варіаційний принцип Райснера. Методи Релея-Рітца та Бубнова Гальоркіна. Метод Папковича - Філоненко-Бородича.	лаб.	[1, 2, 3, 4]	1 год.	1 тиждень
11	Тестовий модуль № 2	лаб.			-
11	Кручення призматичних стрижнів. Задача Сен-Венана. Зведення задачі кручення до крайової задачі РМФ. Функція напружень Прандтля.	лек.	[1, 2, 4, 5, 7]	1 год.	1 тиждень
12	Кручення призматичних стрижнів. Задача Сен-Венана. Зведення задачі кручення до крайової задачі РМФ. Функція напружень Прандтля.	лаб.	[1, 2, 4, 5, 7]]	1 год.	1 тиждень
12	Теорема Бредта. Застосування конформного відображення до задачі кручення призматичних стрижнів. Наближена теорія кручення трубчастих валів. Аналогії при крученні.	лек.	[1, 2, 3]	0,5 год.	1 тиждень
13	Кручення стрижня еліптичного поперечного перерізу. Кручення стрижня прямокутного поперечного перерізу	лек.	[1, 2, 4, 5, 7]	0,5 год.	1 тиждень
13	Кручення стрижня еліптичного поперечного	лаб.	[1, 2, 4, 5, 7]	1 год.	1 тиждень

	перерізу. Кручення стрижня прямокутного поперечного перерізу				
14	Згин призматичних стрижнів. Згин призматичного стрижня зосередженою силою. Визначення зміщень при згині консолі.	лек.	[1, 2, 5, 7]	1 год.	1 тиждень
14	Згин призматичних стрижнів. Згин призматичного стрижня зосередженою силою. Визначення зміщень при згині консолі.	лаб.	[1, 2, 5, 7]	1 год.	1 тиждень
15	Згин стрижня еліптичного поперечного перерізу. Згин стрижня прямокутного поперечного перерізу	лек.	[1, 2, 5, 7]	1 год.	1 тиждень
15	Згин стрижня еліптичного поперечного перерізу. Згин стрижня прямокутного поперечного перерізу	лаб.	[1, 2, 5, 7]	1 год.	1 тиждень
16	Тестовий модуль № 3	лаб.			–
Разом				26	–

8 Семестр

Тиж.	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література. Ресурси в інтернеті	Завдання, год.	Термін виконання
1	Місце теорії пластичності у системі наукових знань. Визначальні співвідношення теорії пластичності. Основні експериментальні факти. Досліди з кручення. Вивчення плоского напруженого стану. Ефект Баушінгера.	лек.	[8, 9, 10]	1 год.	1 тиждень
1	Атермічна пластичність. Постулат макроскопічної визначеності. Найпростіші одновимірні моделі пластичного тіла.	лаб.	[8, 9, 10]	1 год.	1 тиждень
2	Теорія течіння. Поверхня навантаження. Умови текучості Треска-Сен-Венана, Губера-Мізеса.	лек.	[8, 9, 10]	1 год.	1 тиждень
2	Постулат Драккера. Асоційований закон пластичності.	лаб.	[8, 9, 10]	1 год.	1 тиждень
3	Моделі середовища зі зміцненням. Теорії течіння для матеріалу зі зміцненням: ізотропне зміцнення (теорія Гандельмана-Ліна-Прагера); кінематичне зміцнення (теорія Ішлінського-Прагера). Гіпотеза зміцнення Сандерса.	лек.	[8, 9, 10]	1 год.	1 тиждень
3	Ідеальна пластичність: моделі. Теорії пластичного течіння ідеально-пластичного матеріалу. Розрахунок системи трьох стрижнів із урахуванням пластичних деформацій.	лаб.	[8, 9, 11]	1 год.	1 тиждень
4	Теорії пластичного течіння Сен-Венана-Леві-Мізеса (ідеальний жорстко-пластичний м-ріал); Прандтля-Рейсса (пружно-ідеально пластичний матеріал); теорія пластичності, асоційована з умовою пластичності Треска.	лек.	[8, 9, 11]	1 год.	1 тиждень
4	Класична теорія течіння. Постановка крайової задачі теорії пластичного течіння (приростів пластичних деформацій). Тестовий модуль № 1	лаб.	[8, 9, 11]	1 год.	1 тиждень
5	Основні положення	лек.	[8, 9, 10, 12]	1 год.	1 тиждень

	класичної деформаційної теорії. Деформаційна теорія Генкі-Надаї. Загальні співвідношення теорії малих пружно-пластичних деформацій (ТМППД).				
5	Постановка крайової задачі ТМППД. Постановка крайової задачі ТМППД в термопластичності: для термально однорідного, частково термально неоднорідного та термально неоднорідного матеріалу.	лаб.	[8, 9, 10, 12]	1 год.	1 тиждень
6	Постановка задач ТМППД у переміщеннях та напруженнях. Теорема єдиності розв'язку задачі ТМППД.	лек.	[8, 9, 10, 12]	1 год.	1 тиждень
6	Метод пружних розв'язків Ільюшина; метод змінних параметрів пружності.	лаб.	[8, 9, 10, 12]	2 год.	1 тиждень
7	Теорема Ільюшина про просте навантаження; теорема про розвантаження; теорема про p -накладання.	лек.	[8, 9, 10, 12]	1 год.	1 тиждень
7	Застосування ТМППД до розв'язування задач. Згин призматичного бруса (ідеальний пружно-пластичний матеріал, матеріал з лінійним зміцненням)	лаб.	[8, 9, 12]	1 год.	1 тиждень
8	Пружно-пластична рівновага товстостінної сфери під дією внутрішнього та зовнішнього тиску (загальний випадок, пружний розв'язок, пружно-пластичний розв'язок, матеріал з лінійним зміцненням, ідеальний пружно-пластичний матеріал).	лек.	[8, 9, 12]	2 год.	1 тиждень
8	Задача Ламе про пружно-пластичну рівновагу товстостінної труби під дією розтягувальної сили та внутрішнього тиску.	лаб.	[8, 9, 12]	1 год.	1 тиждень
9	Загальний постулат ізоtropії. Простори Ільюшина. Образ процесу у просторі Ільюшина.	лек.	[8, 9, 12]	1 год.	1 тиждень
9	Теорема ізоморфізму, наслідки з неї. Частковий постулат ізоtropії. Принцип запізнення.	лаб.	[8, 9, 12]	1 год.	1 тиждень
10	Класифікація пружно-	лек.	[8, 9, 12]	1 год.	1 тиждень

	пластичних процесів залежно від величини кривини траєкторії деформації; визначальні співвідношення для цих процесів.				
10	Гіпотеза локальної визначеності. Гіпотеза компланарності. Локальна теорія пружно-пластичних процесів. Тестовий модуль № 2	лаб.	[8, 9, 12]	1 год.	1 тиждень
11	Розривні розв'язки з теорії пластичності. Основне енергетичне рівняння.	лек.	[8, 9, 13, 14]	1 год.	1 тиждень
11	Пропорційне навантаження. Коефіцієнт граничного навантаження. Верхня оцінка граничного навантаження. Кінематичний коефіцієнт.	лаб.	[8, 9, 13, 14]	1 год.	1 тиждень
12	Нижня оцінка граничного навантаження. Статичний коефіцієнт. Наслідки. Повний розв'язок. Пристосування, прогресна та знакозмінна деформація. Змінні навантаження у пружно-пластичному тілі.	лек.	[8, 9, 13, 14]	1 год.	1 тиждень
12	Приклади застосування теорем про пластичне руйнування: балка із зацімленими кінцями, згин квадратної пластини зосередженою силою. Труба за циклічного тиску (розподіл напружень у пружній трубі; пружно-пластичний стан).	лаб.	[8, 9, 13, 14]	1 год.	1 тиждень
13	Сумісна деформація труби та стрижня (пружний стан, пристосування, прогресна деформація). Пружно-пластичне кручення призматичних стрижнів. Основні співвідношення. Пружний розв'язок. Пластичний стан.	лек.	[8, 9, 15]	2 год.	1 тиждень
13	Статична теорема пристосування. Сумісне кручення та розтяг стрижня. Пружно-пластичне кручення призматичних стрижнів. Ідеальний пружно-пластичний матеріал: постановка задачі; метод Надаї; зворотний метод розв'язування пружно-пластичних задач (Соколовського). Матеріал зі зміцненням.	лаб.	[8, 9, 15]	2 год.	1 тиждень

14	Плоска деформація. Основні співвідношення для плоскої деформації. Визначення напружень.	лек.	[8, 9, 10, 15]	2 год.	1 тиждень
14	Плоска деформація. Лінії ковзання та їх властивості. Крайові умови та крайові задачі. Тестовий модуль № 3	лаб.	[8, 9, 10, 15]	2 год.	1 тиждень
Разом:				34	–