



РЕОЛОГІЯ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (Магістерський)</i>
Галузь знань	<i>G – Інженерія, виробництво та будівництво</i>
Спеціальність	<i>G1 – Хімічні технології та інженерія</i>
Освітня програма	<i>Енергоефективні хімічні технології та системна інженерія біопаливних і водневих виробництв</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна/ дистанційна/ змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ESTC (120 год.: 30 год.- лекції, 30 год.- практичні роботи, 60 год. - СРС)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік, МКР</i>
Розклад занять	<i>roz.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., проф. Зайченко С.В. Практичні роботи: д.т.н., проф. Зайченко С.В.</i>
Розміщення курсу	<i>платформа «Сікорський»</i>

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчання та результати навчання

Реологія — це фундаментальна та прикладна інженерна дисципліна, що вивчає закономірності деформування і течії суцільних середовищ (рідин, високоеластичних та пластичних матеріалів, дисперсних систем). Дисципліна охоплює математичний опис напружено-деформованого стану, фундаментальні механічні та реологічні моделі, а також експериментальні методи вимірювання реологічних і структурно-механічних характеристик технологічних середовищ.

Метою викладання дисципліни є формування у здобувачів вищої освіти системних знань та практичних навичок щодо:

тензорного опису напружень і деформацій у суцільних середовищах;

математичного моделювання течії ньютонівських, степеневих, в'язкопружних та в'язкопластичних рідин у каналах різної геометрії;

розрахунку температурної залежності в'язкості, дисипативних процесів та енергії активації в'язкої течії;

дослідження процесів релаксації напружень, повзучості (ретардації) та високоеластичних деформацій;

застосування сучасних реометричних методів і приладів для аналізу дисперсних систем та технологічних мас.

Предметом вивчення дисципліни є:

тензори напружень і деформацій, інваріанти та девіатори;

реологічні рівняння стану (закони Гука, Ньютона, степеневий закон, моделі Максвелла, Кельвіна-Фойгта, Шведова, Бінгама);

механіка течії в циліндричних каналах, круглих трубах, зазорах ротаційних віскозиметрів та витікання з резервуарів;

реометричне обладнання, методи вимірювання структурно-механічних характеристик і дисперсності продуктів.

Фахові компетентності:

ФК02 - Здатність організовувати і управляти хіміко-технологічними процесами в умовах промислового виробництва та в науково-дослідних лабораторіях з урахуванням соціальних, економічних та екологічних аспектів

ФК03 - Здатність використовувати результати наукових досліджень і дослідно-конструкторських розробок для вдосконалення існуючих та/або розробки нових технологій і обладнання хімічних виробництв

ФК04 - Здатність використовувати сучасне спеціальне наукове обладнання та програмне забезпечення при проведенні експериментальних досліджень і здійсненні дослідно-конструкторських розробок у сфері хімічних технологій та інженерії

ФК05 - Здатність проектувати складне енергоефективне обладнання для біопаливних та водневих виробництв, включаючи реактори, теплообмінники та системи зберігання, з використанням методів комп'ютерного моделювання

та програмні результати навчання:

ПРН08 - Застосовувати поглиблені знання з термодинаміки, тепломасообміну та хімії палива для аналізу та оптимізації процесів у біопаливних та водневих виробництвах

ПРН09 - Самостійно проектувати енергоефективне обладнання (реактори, електролізери, теплообмінники), використовуючи сучасні CAD/CAE системи та методи комп'ютерного моделювання (CFD).

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Вивчення дисципліни базується на технічній механіці, гідравліці та гідропневмоприводу, фізиці. Суміжними дисциплінами є: «Інтелектуальні системи прийняття рішень», «Надійність електротехнічних та мехатронних систем». В результаті вивчення дисципліни «Системи автоматизованого проектування електромеханічних систем та комплексів».

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Тензорна теорія напружень і деформацій

Тема 1.1. Предмет та завдання дисципліни. Тензорні позначення та тензор напруження. Головні осі, головні напруження та закон парності зсувних напружень (рівність Коші).

Тема 1.2. Інваріанти тензора напруження. Сферичний тензор, дельта Кронекера та девіатори напруження при одновісному й двовісному розтягу.

Тема 1.3. Деформації та швидкості деформації. Деформація по Генкі, коефіцієнт Пуассона, деформація та швидкість деформації при простому зсуві й одновісному розтягу.

Розділ 2. Фундаментальні моделі та течія ньютонівських і аномально-в'язких рідин

Тема 2.1. Ідеально пружне тіло Гука та в'язка рідина Ньютона. Тензорна форма законів Гука та Ньютона для розтягу й зсуву.

Тема 2.2. Течія ньютонівської рідини в циліндричній трубі та зазорі ротаційного віскозиметра («циліндр-циліндр»). Формула Пуазейля.

Тема 2.3. Степенева рідина. Повна крива течії, розрахунок швидкостей і напружень у циліндричному каналі та зазорі ротаційного приладу. Поправка Рабіновича.

Тема 2.4. Течія рідини із резервуара під тиском, дисипативний розігрів та потужність приводу. Температурна залежність в'язкості (рівняння АФЕ, енергія активації в'язкої течії).

Розділ 3. В'язкопружність, пластичність та реологічні властивості дисперсних систем

Тема 3.1. Максвелівська пружньов'язка рідина. Модель Максвелла, процеси релаксації напруження, графічний та аналітичний методи визначення періоду релаксації.

Тема 3.2. В'язкопружне тіло та модель Кельвіна-Фойгта. Явище повзучості (ретардації), аналіз періоду ретардації при зміні жорсткості та в'язкості.

Тема 3.3. Пластичні та в'язкопластичні матеріали. Моделі Сен-Венана, Шведова та в'язкопластична рідина Бінгама. Крихке руйнування, холодна витяжка, високоеластична деформація. Класифікація рідин за кривими течії.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основна література

Івіцький І. І. Реологія. Конспект лекцій : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 88 с.

Івіцький І. І., Мікульонюк І. О. Реологія. Практикум : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 36 с.

Івіцький І. І., Мікульонюк І. О. Реологія. Лабораторний практикум : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 24 с.

Левіт І. Б., Сукманов В. О., Афенченко Д. С. Реологія харчових продуктів : підручник. Полтава : ПУЕТ, 2015. 539 с. ISBN 978-966-184-184-9.

Додаткова література

Кузяєв І. М. Механіка та реологія полімерів : навч. посіб. Дніпропетровськ : УДХТУ, 2002. 386 с.

Масленнікова Л. Д., Іванов С. В., Фабуляк Ф. Г., Грушак З. В. Фізико-хімія полімерів. Київ : НАУ-друк, 2009. 312 с. Видання містить окремий матеріал щодо деформації, механічних властивостей та реології полімерів у текучому стані.

Інформаційні ресурси

1. <https://classroom.google.com/c/MTU5Mjl2NDY3Nzcw?cjc=wimltvm>

2. <https://aemk.kpi.ua>

Навчальний контент

5.Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Навчальні заняття реалізуються у формі лекцій, комп'ютерних практикумів, індивідуальних занять, у тому числі з використанням дистанційних технологій навчання (зум-конференції, тощо).

Лекційні заняття

Розділ 1. Тензорна теорія напружень і деформацій

Лекція 1. Предмет реології та тензор напруження

(завдання дисципліни, тензорні позначення, тензор напруження, головні осі та головні напруження)

Лекція 2. Напружений стан при зсуві та інваріанти

(головні напруження при простому зсуві, рівність Коші, інваріанти тензора напруження, сферичний тензор, дельта Кронекера)

Лекція 3. Девіатори напружень та теорія деформацій

(девіатор напруження при одновісному й двовісному розтягу, деформація по Генкі, девіатор деформації, коефіцієнт Пуассона)

Лекція 4. Кінематика деформування

(деформація та швидкість деформації при простому зсуві, швидкість деформації при одновісному розтягу)

Розділ 2. Фундаментальні моделі та течія ньютонівських і аномально-в'язких рідин

Лекція 5. Ідеально пружне тіло та в'язка рідина

(модель Гука, діаграма деформування, закон Гука в тензорній формі; модель Ньютона, закон Ньютона для розтягу та зсуву)

Лекція 6. Течія ньютонівської рідини в циліндричній трубі

(розподіл напружень і швидкостей зсуву по перерізу каналу, профіль швидкостей, формула Пуазейля)

Лекція 7. Тангенціальна течія у ротаційних приладах

(течія ньютонівської рідини в зазорі «циліндр-циліндр», крутний момент, визначення в'язкості)

Лекція 8. Степенева рідина та її гідродинаміка

(повна крива течії, розподіл напружень і швидкостей у циліндричному каналі, поправка Рабіновича)

Лекція 9. Тангенціальна течія степеневої рідини

(течія в зазорі «циліндр-циліндр», визначення констант степеневого закону)

Лекція 10. Енергетика течії та температурна залежність

(течія з резервуара під тиском, дисипативний розігрів, потужність приводу, рівняння АФЕ, розрахунок енергії активації)

Розділ 3. В'язкопружність, пластичність та реологічні властивості дисперсних систем

Лекція 11. Модель Максвелла та процеси релаксації

(модель Максвелла, релаксація напружень, графічний та аналітичний методи визначення періоду релаксації)

Лекція 12. Параметри релаксаційних процесів

(вплив жорсткості пружини, в'язкості демпфера та сталої деформації на релаксацію; режим сталого навантаження)

Лекція 13. В'язкопружне тіло Кельвіна-Фойгта

(рівняння Кельвіна-Фойгта, режим повзучості, визначення періоду ретардації, вплив жорсткості та в'язкості)

Лекція 14. Пластичні матеріали та складні моделі

(модель Сен-Венана, модель Шведова, крихке руйнування, пластичне деформування, холодна витяжка зі зміцненням і без)

Лекція 15. В'язкопластичні рідини та узагальнена класифікація

(модель Бінгама, високоеластична деформація, повна класифікація рідин за кривими течії та реологічними рівняннями)

Практичні заняття

№ з/п	Завдання, які виносяться на практичні заняття
1	Наукові основи інженерної реології. Розрахунок тензорів напружень та їх інваріантів

2	Основні терміни та визначення реології. Оцінка швидкостей деформації при зсуві й розтягу
3	Класифікація неньютонівських систем. Розрахунок параметрів степеневого закону течії
4	Властивості зсуву дисперсних харчовальних та хімічних мас. Аналіз кривих течії
5	Методи визначення дисперсності продуктів. Седиментаційний та мікроскопічний аналіз
6	Класифікація методів та приладів для вимірювання структурно-механічних характеристик
7	Розрахунок профілю швидкостей та витрати ньютонівської рідини за формулою Пуазейля
8	Визначення в'язкості на ротаційному віскозиметрі в системі «циліндр-циліндр»
9	Обробка експериментальних даних течії степеневі рідини та розрахунок поправки Рабіновича
10	Розрахунок дисипативного нагріву та потужності приводу при витіканні з резервуара
11	Розрахунок енергії активації в'язкої течії за температурною залежністю в'язкості
12	Визначення періоду релаксації моделі Максвелла графічним та аналітичним методами
13	Моделювання процесів повзучості (ретардації) за рівнянням Кельвіна-Фойгта
14	Розрахунок граничного напруження зсуву та в'язкості для в'язкопластичних рідин Бінгама і Шведова
15	Побудова узагальнених реологічних кривих та підбір обладнання для перекачування аномально-в'язких середовищ

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента передбачає:

підготовку до аудиторних занять – 75 год;

підготовку до модульної контрольної роботи – 2 год;

підготовку до заліку – 4 год.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Вивчення навчальної дисципліни “Реологія” потребує від здобувача вищої освіти:

- дотримання навчально-академічної етики;

- дотримання графіку навчального процесу;

- бути зваженим, уважним на заняттях;

- систематично опрацьовувати теоретичний матеріал;

- дотримання графіку захисту комп'ютерних практикумів. Відповідь здобувача повинна демонструвати ознаки самостійності виконання поставленого завдання, відсутність ознак повторюваності та плагіату.

Якщо здобувач вищої освіти був відсутній на лекції, то йому слід відпрацювати цю лекцію у інший час (з іншою групою, на консультації).

Якщо здобувач вищої освіти був відсутній на практичних заняттях, то йому слід відпрацювати ці заняття у інший час (з іншою групою, на консультації).

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль:

Рейтинг студента з кредитного модуля складається з балів, що він отримує за:

1) виконання та захисту 15 практик;

2) виконання 1 модульної контрольної роботи;

Система рейтингових балів та критерії оцінювання:

	вчасна здача	1 перездача (протягом двох тижнів від початкового контролю)	2 перездача (без дотримання термінів виконання)
1. Виконання модульної контрольної роботи:			
повністю правильно виконана робота	12	10	8
робота виконана з незначними помилками	10	8	6
робота не зарахована	0	0	0
2. Виконання комп'ютерних практикумів:			
- завдання захищено з відмінним володінням матеріалу	8	6	4
- завдання виконано з відмінним володінням матеріалу	6	4	2
- завдання не виконано	0	0	0

Розрахунок шкали (RC) рейтингу

$$RC(\max) = 12 \cdot 7 + 1 \cdot 16 = 100 \text{ балів}$$

$$RC(\min) = 12 \cdot 3 = 36 \text{ балів}$$

За результатами навчальної роботи за перші 7 тижнів максимальна сума набраних балів складає 36 бали (3 лаб. практи.). На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг **не менше $0,5 \cdot 36 = 18$ балів**.

За результатами 13 тижнів навчання максимальна сума набраних балів має складати 88 балів (6 лаб. практи., 1 МКР). На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг **не менше $0,5 \cdot 88 = 44$ бали**.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**Контрольні запитання**

- Предмет та основні завдання дисципліни «Реологія».
- Тензорні позначення та поняття тензора напружень.
- Головні осі, головні напруження та закон парності зсувних напружень (рівність Коші).
- Інваріанти тензора напружень. Сферичний тензор та дельта Кронекера.
- Девіатор напружень при одновісному та двовісному розтягу.
- Деформація по Генкі та девіатор деформацій при одновісному розтягу.
- Коефіцієнт Пуассона та деформація при простому зсуві.
- Швидкість деформації при простому зсуві та одновісному розтягу.
- Ідеально пружне тіло Гука. Діаграма деформування та закон Гука в тензорній формі.
- В'язка рідини Ньютона та закон Ньютона в тензорній формі.
- Течія ньютонівської рідини в циліндричній трубі: розподіл напружень і швидкостей.
- Виведення та фізичний зміст формули Пуазейля.

13. Тангенціальна течія ньютонівської рідини в зазорі «циліндр-циліндр» ротаційного віскозиметра.
14. Степенева рідина. Повна крива течії, псевдопластична та ділатантна поведінка.
15. Гідродинаміка течії степеневної рідини в циліндричному каналі та поправка Рабіновича.
16. Тангенціальна течія степеневної рідини в зазорі ротаційного приладу («циліндр-циліндр»).
17. Енергетика течії з резервуара під тиском: дисипативний розігрів та потужність приводу.
18. Температурна залежність в'язкості. Рівняння Ареніуса-Френкеля-Ейрінга та енергія активації в'язкої течії.
19. Максвелівська пружньов'язка рідина. Модель Максвелла та розрахунок релаксації напружень.
20. Графічний та аналітичний методи визначення періоду релаксації в моделі Максвелла.
21. В'язкопружне тіло та модель Кельвіна-Фойгта. Явище повзучості (ретардації).
22. Графічний та аналітичний методи визначення періоду ретардації в моделі Кельвіна-Фойгта.
23. Пластичні матеріали. Моделі Сен-Венана та Шведова, крихке руйнування і холодна витяжка.
24. В'язкопластичні рідини Бінгама: границя текучості та реологічні характеристики.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено проф., д. т. н., проф. Зайченко С.В.

Ухвалено кафедрою автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів.

Протокол № 27 від 24.06.2026р.

Погоджено Методичною радою НН ІЕЕ протокол №43 від 29.06.2026