



## ЗАСОБИ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

### 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>заочна</i>                                                                                      |
| Рік підготовки, семестр                     | <i>весняний семестр</i>                                                                            |
| Обсяг дисципліни                            | <i>5 кредити ECTS (134 год.: 8 год.- лекції, 8 год.- практичні роботи, 90 год. - СРС)</i>          |
| Семестровий контроль/ контрольні заходи     | <i>Іспит, МКР</i>                                                                                  |
| Розклад занять                              | <i>roz.kpi.ua</i>                                                                                  |
| Мова викладання                             | <i>Українська</i>                                                                                  |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | Лектор: <i>д.т.н., проф. Зайченко С.В.</i><br>Практичні роботи: <i>д.т.н., проф. Зайченко С.В.</i> |
| Розміщення курсу                            | <i>платформа «Сікорський»</i>                                                                      |

### Програма навчальної дисципліни

Засоби технічного діагностування енергетичного обладнання хімічних виробництв — це галузь інженерних знань, що охоплює сукупність теоретичних основ, алгоритмів, інструментальних методів та апаратно-програмних засобів, спрямованих на оцінку технічного стану, виявлення дефектів, прогнозування залишкового ресурсу та забезпечення надійної і безпечної експлуатації основного енергетичного та хіміко-технологічного обладнання (реакторів, колонерних апаратів, теплообмінників, насосів, компресорів, суширок, центрифуг та газонафтопроводів).

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

організації обслуговування та вибору видів технічного діагностування хімічного та електромеханічного обладнання;

фізичних принципів вимірювання та обробки діагностичних параметрів технологічних апаратів (тиск, температура, вібрація, акустична емісія, склад середовища);

проектування апаратних засобів діагностування та розробки алгоритмів їх функціонування в агресивних середовищах;

обґрунтування та практичного застосування методів діагностування реакційного, теплообмінного, масообмінного, насосно-компресорного обладнання та трубопровідних систем.

Предметом вивчення дисципліни є:

теоретичні основи та математичний апарат технічної діагностики обладнання хімічних підприємств;

параметри технічного стану (вібраційні, акустичні, теплові, електричні, корозійні, геометричні);

принципи розробки алгоритмів та проектування засобів діагностування динамічного та статичного обладнання;

методики комплексного діагностування вузлів, агрегатів та технологічних установок хімічних виробництв.

Фахові компетентності (ФК)

- ФК01 Здатність досліджувати, класифікувати і аналізувати показники якості хімічної продукції, технологічних процесів і обладнання хімічних виробництв
- ФК06 Здатність розробляти та впроваджувати технологічні схеми переробки біомаси та виробництва водню (електроліз, газифікація тощо) з мінімальними енергетичними втратами

Програмні результати навчання

- ПРН02 – Здійснювати пошук необхідної інформації з хімічної технології, процесів і обладнання виробництв хімічних речовин та матеріалів на їх основі, систематизувати, аналізувати та оцінювати відповідну інформацію.
- ПРН04 – Оцінювати технічні і економічні характеристики результатів наукових досліджень, дослідно-конструкторських розробок, технологій та обладнання хімічних виробництв.

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

Вивчення навчальної дисципліни «Транспортування та зберігання продуктів хіміко-технологічних процесів» базується на результатах опанування студентами таких дисциплін: «Загальна та неорганічна хімія», «Органічна хімія», «Фізична хімія», «Процеси і апарати хіміко-технологічних виробництв», «Гідравліка», «Матеріалознавство» тощо.

Студенти повинні володіти знаннями щодо фізико-хімічних властивостей речовин, основ масо- та теплообміну, гідродинамічних процесів, корозійної стійкості матеріалів, а також мати навички розрахунку та аналізу параметрів технологічного обладнання.

Результати вивчення дисципліни є необхідними для подальшого опанування професійно орієнтованих освітніх компонентів, зокрема: «Проектування хіміко-технологічних виробництв», «Обладнання хімічних виробництв», «Промислова екологія», «Охорона праці в галузі», «Переддипломна практика», «Кваліфікаційна робота».

Набуті компетентності забезпечують здатність здійснювати вибір, розрахунок, експлуатацію та обґрунтування систем транспортування і зберігання сировини, напівпродуктів та готової продукції з урахуванням вимог безпеки, екологічності та енергоефективності.

### 3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Основи теорії технічного діагностування

Тема 1.1. Організація роботи з обслуговування та технічного діагностування електромеханічних систем і хімічних апаратів.

Тема 1.2. Основи теорії та види технічного діагностування.

Розділ 2. Методи вимірювання діагностичних параметрів

Тема 2.1. Параметри діагностування електромеханічного обладнання та технологічних апаратів.

Тема 2.2. Вимірювання параметрів діагностування у складних та агресивних середовищах.

Розділ 3. Проектування технічних засобів діагностування електромеханічного та хімічного обладнання

Тема 3.1. Проектування технічних засобів діагностування.

Тема 3.2. Алгоритми функціонування технічних засобів діагностування.

Розділ 4. Методи та засоби діагностування електромеханічних систем та обладнання хімічних виробництв

Тема 4.1. Обґрунтування вибору методу та засобів технічного діагностування обладнання.

Тема 4.2. Методи та технічні засоби діагностування електричних машин та тягових приводів.

Тема 4.3. Методи та технічні засоби діагностування насосів, компресорів і гідроприводів.

Тема 4.4. Методи та технічні засоби діагностування механічних передач, перемешувальних пристроїв та центрифуг.

Тема 4.5. Методи та засоби діагностування реакційного, теплообмінного і масообмінного обладнання.

Тема 4.6. Методи та технічні засоби діагностування трубопровідних систем, газонафтопроводів та ємностей під тиском.

### 4. Навчальні матеріали та ресурси

#### Базові

1. Технічна діагностика електромеханічних систем : навч. посіб. / В. Б. Загірняк, А. П. Чорний, І. О. Родоманов. – Кременчук : КНУ, 2019. – 230 с.
2. Методи та засоби технічної діагностики обладнання хімічних виробництв : підручник / О. М. Коптовець, С. В. Зайченко. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 310 с.
3. Діагностика та моніторинг промислового обладнання : навч. посіб. / В. О. Кузнецов. – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 185 с.
4. Процеси та апарати хімічних виробництв: курс лекцій / О. О. Онищук, Ж. О. Кормош. – Луцьк : Вежа-Друк, 2020. – 155 с.

#### Допоміжні

1. Вібродіагностика машин та механізмів : монографія / П. Г. Скороход. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 215 с.
2. Неруйнівні методи контролю та технічна діагностика об'єктів підвищеної небезпеки : навч. посіб. / В. С. Білецький. – Полтава : ПолтНТУ, 2017. – 240 с.

### Навчальний контент

#### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

При проведенні практичних застосовуються практичні методи, проблемного навчання (дослідницький метод); особистісно-орієнтовані технології, засновані на таких формах і методах навчання як візуалізація та інформаційно-комунікаційні

технології, зокрема електронні презентації для лекційних занять. Викладання проводиться у формі лекцій та практичних лабораторних занять. При виконанні розрахункової роботи застосовується проблемно-пошуковий метод

| № | Назва лекції                                                                 | Зміст лекції                                                                                                                                                                                           |
|---|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | <b>Стратегії обслуговування та основи діагностування</b>                     | Стратегії ТОіР, системи ремонту за станом. Специфіка діагностичного контролю хімічних виробництв. Діагностичні моделі, класифікація видів діагностування та ймовірнісні характеристики безвідмовності. |
| 2 | <b>Параметри та вимірювальні засоби діагностики</b>                          | Основні параметри (вібрація, температура, тиск, струм, товщина стінок, накип). Принцип дії датчиків, ультразвукових перетворювачів та тепловізорів. Завадозахищеність в агресивних середовищах.        |
| 3 | <b>Проектування та алгоритми засобів діагностування</b>                      | Архітектура приладів, узгодження вимірювальних каналів, вибухозахищене виконання. Блок-схеми алгоритмів, розпізнавання образів дефектів та прийняття рішень при аваріях.                               |
| 4 | <b>Обґрунтування вибору та діагностика електричних машин</b>                 | Критерії вибору методів і засобів діагностування, техніко-економічна доцільність. Діагностика ізоляції, виявлення межвиткових замикань, спектральний аналіз споживаного струму.                        |
| 5 | <b>Діагностика насосного, компресорного обладнання та механічних передач</b> | Оцінка витоків в ущільненнях, кавітаційна діагностика насосів, віброконтроль компресорів і гідроприводів. Вібродіагностика підшипників та зубчастих зачеплень.                                         |
| 6 | <b>Діагностика роторних машин, перемішувачів та центрифуг</b>                | Аналіз дисбалансу та розцентровки роторів центрифуг і валів перемішувачів. Визначення критичних частот обертання та динамічне балансування в власних опорах.                                           |
| 7 | <b>Діагностика реакторів, колонних апаратів та ємностей під тиском</b>       | Акустико-емісійний контроль мікротріщин, ультразвукова товщинометрія. Контроль корозійно-ерозійного зношення, тепловізійний контроль футеровки, внутрішньотрубна дефектоскопія.                        |
| 8 | <b>Діагностика теплообмінного, сушильного обладнання та трубопроводів</b>    | Пошук витоків і негерметичності трубних пучків, контроль забруднення поверхонь теплообміну. Віброконтроль сушильних барабанів, контроль корозійного стану газонафтопроводів.                           |

## Практичні заняття

| № з/п | Завдання, які виносяться на практичні заняття                                                         |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Побудова графіків та оцінка показників надійності за статистичними даними відмов хімічного обладнання |
| 2     | Формування графа діагностичних станів для електромеханічного комплексу хімічного цеху                 |
| 3     | Розрахунок нормованих значень вібраційних параметрів хімічних насосів та компресорів                  |
| 4     | Обробка та амплітудно-частотний аналіз діагностичних сигналів вібрації та акустичної емісії           |
| 5     | Вибір та розрахунок параметрів датчиків у вибухозахищеному та корозійностійкому виконанні             |
| 6     | Складання алгоритму пошуку дефектів для приводного електродвигуна хімічного змішувача                 |
| 7     | Алгоритм діагностування негерметичності реакційного судини                                            |
| 8     | Порівняльний аналіз та обґрунтування вибору комплексу діагностичних засобів для хімічної установки    |

### 6. Самостійна робота студента

*Самостійна робота студента передбачає: підготовку до аудиторних занять – 42 год; підготовку до модульної контрольної роботи – 2 год; виконання розрахунково-графічних робіт – 12 год; підготовку до іспиту – 34 год, що сумарно становить 90 годин.*

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

На момент проведення кожного заняття, як лекційного, так і практичного та лабораторного, у студента на пристрої, з якого він працює, має бути встановлено додаток Zoom (у випадку дистанційного навчання), а також відкрито курс «Транспортування та зберігання продуктів хіміко-технологічних процесів» на платформі «Сікорський» (код доступу до курсу надається на першому занятті згідно з розкладом). Силабус; лекційний матеріал; завдання до кожного практичного заняття та лабораторного; варіанти модульної контрольної роботи; тести, які потрібно виконати за лекціями; методичні рекомендації до виконання практичних робіт та розрахунково-графічної роботи; варіанти залікової контрольної роботи розміщено на платформі «Сікорський» та у системі «Електронний Кампус КПІ».

Під час проходження курсу «Транспортування та зберігання продуктів хіміко-технологічних процесів» студенти зобов'язані дотримуватись загальних моральних принципів та правил етичної поведінки, зазначених у Кодексі честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Дедлайни виконання кожного завдання зазначено у курсі «Транспортування та зберігання продуктів хіміко-технологічних процесів» на платформі «Сікорський».

Усі без виключення студенти зобов'язані дотримуватись вимог Положення про систему запобігання академічному плагіату в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

За участь у Всеукраїнській олімпіаді (конкурсі наукових робіт) студенту нараховується 5 (I тур) або 10 (II тур) балів. За написання статті та її публікацію студенту нараховується 10 балів

(видання, що входить до Scopus або Web of Science) або 6 балів (фахове видання України). За публікацію тез доповіді на науковій конференції – 3 бали. Загальна сума заохочувальних балів не може перевищувати 10 балів.

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

### 1. Структура шкали рейтингу

Рейтинг студента розраховується зі 100 балів:

- **Стартовий рейтинг (\$R\\_C\$):** 60 балів (набирається протягом семестру).
- **Екзаменаційна шкала (\$R\\_E\$):** 40 балів (60% від загального рейтингу \$R\$).
- **Загальний рейтинг:**  $R = R\_C + R\_E = 60 + 40 = 100$  балів.

**Складові стартового рейтингу (\$R\\_C = 60\$ балів):**

1. **Робота на 8 практичних заняттях** (з розрахунку оцінювання 5 студентів на занятті при групі 20 осіб  $\approx 2$  відповіді на студента) — **10 балів**.
2. **Виконання та захист 8 лабораторних робіт** — **18 балів**.
3. **Дві модульні контрольні роботи (МКР)** — **22 бали**.
4. **Виконання розрахунково-графічної роботи (РГР)** — **10 балів**.

### 2. Критерії нарахування балів

#### 2.1. Робота на практичних заняттях (макс. 10 балів)

Максимальна оцінка за 2 відповіді:  $5 \text{ балів} \times 2 \text{ відповіді} = 10 \text{ балів}$ .

| Критерії оцінки відповіді                 | Бали |
|-------------------------------------------|------|
| Повна вичерпна відповідь                  | 5    |
| Правильна відповідь з деякими недоліками  | 3    |
| Неповна відповідь із суттєвими недоліками | 2    |
| Досить слабка або невірна відповідь       | 0    |

#### 2.2. Модульний контроль (макс. 22 бали)

Складається з 2 контрольних робіт тривалістю по 1 академічній годині. Максимальна кількість балів:  $11 \text{ балів} \times 2 \text{ МКР} = 22 \text{ бали}$ .

| Критерії оцінки виконання МКР                                               | Бали |
|-----------------------------------------------------------------------------|------|
| Повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації)                         | 11   |
| Достатньо повна відповідь (не менше 75% інформації або незначні неточності) | 7    |
| Неповна відповідь (не менше 60% інформації) та незначні помилки             | 4    |

|                                               |   |
|-----------------------------------------------|---|
| Незадовільна відповідь (менше 60% інформації) | 0 |
|-----------------------------------------------|---|

### 2.3. Розрахунково-графічна робота (макс. 10 балів)

| Критерії оцінки виконання та захисту РГР          | Бали   |
|---------------------------------------------------|--------|
| Виконано всі вимоги до роботи                     | 9...10 |
| Виконані майже всі вимоги або є несуттєві помилки | 7...8  |
| Є недоліки щодо виконання вимог та певні помилки  | 6      |
| Робота не відповідає встановленим вимогам         | 0...5  |

### 2.4. Заохочувальні бали (макс. +10 балів)

Нараховуються за творчі досягнення з дисципліни (участь в олімпіадах, модернізація практичних/лабораторних робіт, підготовка дидактичних матеріалів).

### 3. Календарна атестація

- **1-ша атестація (8-й тиждень):** «ідеальний студент» має набрати **25 балів**. Студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг становить не менше **12 балів**.
- **2-га атестація (14-й тиждень):** «ідеальний студент» має набрати **60 балів**. Студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг становить не менше **25 балів**.

### 4. Умови допуску до екзамену

1. Виконання та захист усіх лабораторних робіт і РГР.
2. Попередній стартовий рейтинг  $\geq 25$  балів (не менше 50% від  $R_C$ ).

### 5. Екзаменаційна робота (макс. 40 балів)

Завдання виконується письмово і складається з одного теоретичного запитання (20 балів) та однієї практичної задачі (20 балів).

| Оцінка              | Критерії для теоретичного питання (20 б.)                       | Критерії для практичної задачі (20 б.)                       |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>Відмінно</b>     | Повна відповідь ( $\geq 90\%$ інформації): <b>15...20 балів</b> | Повне безпомилкове розв'язання: <b>18...20 балів</b>         |
| <b>Добре</b>        | Достатньо повна відповідь ( $\geq 75\%$ ): <b>10...14 балів</b> | Розв'язання з несуттєвими неточностями: <b>15...17 балів</b> |
| <b>Задовільно</b>   | Неповна відповідь ( $\geq 60\%$ ): <b>8...9 балів</b>           | Завдання виконане з певними недоліками: <b>12...14 балів</b> |
| <b>Незадовільно</b> | Незадовільна відповідь ( $< 60\%$ ): <b>0...7 балів</b>         | Завдання не виконано: <b>0...11 балів</b>                    |

### 6. Шкала переведення рейтингових балів

|                            |                                   |
|----------------------------|-----------------------------------|
| Сума рейтингових балів (R) | Оцінка за університетською шкалою |
|----------------------------|-----------------------------------|

|                                 |              |
|---------------------------------|--------------|
| <b>95...100</b>                 | відмінно     |
| <b>85...94</b>                  | дуже добре   |
| <b>75...84</b>                  | добре        |
| <b>65...74</b>                  | задовільно   |
| <b>60...64</b>                  | достатньо    |
| <b>Менше 60</b>                 | незадовільно |
| <b>Невиконання умов допуску</b> | не допущено  |

#### **9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль, наведено у додатку до силабусу.

Здобувач вищої освіти має можливість пройти онлайн курс(и) за однією або декількома темами, передбаченими робочою програмою навчальної дисципліни. Онлайн курс здобувач може обрати самостійно або за рекомендацією викладача. 1 год прослуханого курсу оцінюється у 0,83 бали. Максимальна кількість годин, яка може бути зарахована за результатами неформальної освіти, становить 12 год, відповідно максимальна кількість балів за такі результати становить – 10 балів.

#### **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

## **Додаток до силабусу освітнього компонента**

### **«ЗАСОБИ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ»**

#### **Перелік завдань, що виносяться на семестровий контроль**

1. Організація роботи з обслуговування та специфіка технічного діагностування електромеханічних систем і хімічних апаратів.
2. Основні положення теорії технічного діагностування, діагностичні моделі та ймовірнісні характеристики безвідмовності.
3. Види технічного діагностування обладнання хімічних підприємств.
4. Прямі та непрямі параметри діагностування електромеханічного та хіміко-технологічного обладнання.
5. Методи та первинні перетворювачі для вимірювання вібрації, струмових характеристик, тиску і температури.
6. Особливості застосування ультразвукових перетворювачів, тепловізорів та заводозахищених датчиків в агресивних середовищах.
7. Принципи проектування апаратних засобів діагностування та забезпечення вибухозахищеного виконання.
8. Розробка та функціонування алгоритмів прийняття рішень і розпізнавання образів дефектів при аварійних відхиленнях.
9. Обґрунтування вибору методів і засобів діагностування за критеріями чутливості, вірогідності та техніко-економічної доцільності.
10. Методи та технічні засоби діагностування електричних машин (контроль ізоляції, виявлення межвиткових замикань, спектральний аналіз струму).
11. Методи та засоби діагностування насосного і компресорного обладнання (кавітаційний контроль, оцінка витоків в ущільненнях, віброконтроль).
12. Вібродіагностика підшипників, зубчастих зачеплень та аналіз дисбалансу роторів центрифуг і валів перемішувачів.
13. Акустико-емісійний контроль мікротріщин, тепловізійна діагностика футеровки та оцінка корозійно-ерозійного зношення хімічних реакторів і колонних апаратів.
14. Методи діагностування теплообмінного та сушильного обладнання (пошук витоків у трубних пучках, контроль забруднення поверхонь, віброконтроль барабанів).
15. Технічні засоби внутрішньотрубної дефектоскопії, ультразвукової товщинометрії та контролю корозійного стану газонафтопроводів і ємностей під тиском.
16. Принципи побудови безперервних моніторингових систем та трендовий аналіз діагностичних параметрів для прогнозування залишкового ресурсу.
17. Економічна ефективність застосування систем діагностування та розрахунок запобігання екологічним аваріям у хімічній галузі.