



## Силабус освітнього компонента Програма навчальної дисципліни



# Гідравлічна нестационарність гідроагрегатів ГЕС та ГАЕС

Шифр та назва спеціальності

145 – Відновлювальні джерела енергії та  
гідроенергетика

Інститут

ННІ Механіческой інженерії і транспорту

Освітня програма

Гідроенергетика

Кафедра

Гідравлічні машини ім. Г.Ф. Проскури (150)

Рівень освіти

Магістр

Тип дисципліни

Спеціальна (фахова), Обов'язкова

Семестр

1

Мова викладання

Українська, англійська

## Викладачі, розробники



**Кухтенков Юрій Михайлович**

email: [Yurii.Kukhtenkov@khi.edu.ua](mailto:Yurii.Kukhtenkov@khi.edu.ua)

Кандидат технічних наук, доцент кафедри "Гідравлічні машини ім. Г.Ф. Проскури" НТУ "ХП"

Автор та співавтор понад 100 наукових та методичних публікацій. Досвід роботи – 40 років. Курси: "ГЕС, ГАЕС та НС", "Гідравлічна нестационарність гідроагрегатів ГЕС та ГАЕС", "Гідравлічні двигуни та передачі", "Гідромеханічне обладнання ГЕС та ГАЕС", "Конструкції та розрахунок ГДМ", "Експлуатація гідроенергетичного обладнання ГЕС та ГАЕС", "Малі-, міні-, мікро ГЕС та оборотні гідромашини"

[Детальніше про викладача на сайті кафедри](#)

## Загальна інформація

### Анотація

Дисципліна спрямована на формування здатності виконати розрахунки амплітуд і частот пульсацій тиску, а також втрати від вихрових джгутів у відсмоктувальній трубі гідротурбін та обертового зриву у оборотній гідромашині, вміти визначити пульсації тиску та сил експериментальним шляхом, побудувати пульсаційні характеристики, запропонувати конкретні заходи для зниження рівня.

### Мета та цілі дисципліни

Формування у студентів інженерних знань в галузі гідравлічних нестационарних явищ, причин їхнього утворення, способів розрахунку, зменшення їхньої інтенсивності в гідромашинах.

### Формат занять

Лекції, лабораторні роботи, самостійна робота, консультації. Підсумковий контроль – залік.

### Компетентності

Здатність виконати розрахунки амплітуд і частот пульсацій тиску, а також втрати від вихрових джгутів у відсмоктувальній трубі гідротурбін та обертового зриву у оборотній гідромашині,

визначити пульсації тиску та сил експериментальним шляхом, побудувати пульсаційні характеристики, запропонувати конкретні заходи для зниження рівня нестаціонарності

## Результати навчання

Знати причини виникнення і класифікацію нестаціонарних явищ у турбомашинах, гідравлічні збурюючі сили, рівняння теорії вихорів, фізичні та математичні моделі вихрових джгутів та обертового зриву, амплітудні та частотні пульсаційні характеристики турбомашин, кромкові сліди, характеристики неоднорідності потоку перед та за решітками, методи експериментального визначення пульсацій тиску, сил та моментів, а також конструктивні та режимні заходи по зменшенню їхньої інтенсивності

## Обсяг дисципліни

Загальний обсяг дисципліни 150 год. (5 кредитів ECTS): лекції – 64 год., лабораторні роботи – 16 год., самостійна робота – 80 год.

## Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)

Закінчена освіта перший рівень (бакалавр)

## Особливості дисципліни, методи та технології навчання

На лекціях використовуються відеоматеріали, інтерактивні методики, логічні методи, відбувається робота з науковою літературою, складання графічних схем і таблиць. В організації занять застосовуються плакати, креслення, макети, експериментальний стенд, ЕОМ, підсилювальна та реєструюча апаратура, аналізатори спектра частот, стробоскоп. Для придбання навичок самостійної роботи на лабораторних роботах кожний студент в процесі навчання виконує завдання творчого характеру. На практичних заняттях прищеплюються навички практичного застосування знань та вмінь, які отримані на лекціях.

## Програма навчальної дисципліни

### Теми лекційних занять

#### Тема 1. Вступ . Передмова.

Причини виникнення нестаціонарних явищ.

Класифікація нестаціонарних явищ у лопатевих гідромашинах і приводах.

#### Тема 2. Гідравлічні збурюючі сили

Збурюючі сили при сталих та несталих режимах роботи. Вплив спіральної камери, статора та напрямного апарату на нестаціонарні явища в гідротурбінах та оборотних ГМ. Розрахунок амплітуд і частот пульсацій тиску за моделлю Пазі.

#### Тема 3. Вихрові рухи.

Рівняння Гельмгольца. Вихрові нитки. Рух системи вихорів. Сталість ланцюжків Кармана.

Узагальнення теореми Жуковського М.С. на несталий рух приєднаних вихорів.

Розподіл тисків при вихорі кінцевого розміру

#### Тема 4. Вихровий джгут у відсмоктувальній трубі гідротурбіни.

Вихровий джгут у відсмоктувальній трубі гідротурбіни. Фізичні та математичні двовимірні та тривимірні моделі вихрового джгута. Інтенсивність, ексцентриситет, кут підйому та діаметр поперечного перерізу вихрового джгута. Визначення амплітуд та частот пульсацій тиску для одновихрових та багатовихрових схем. Визначення амплітуд на основі інтегралу Бернуллі.

Визначення амплітуд на основі інтеграл Коші-Лагранжа. Гідравлічні втрати від вихрового джгута.

Заходи зі зменшення низькочастотних пульсацій тиску від вихрових джгутів.

#### Тема 5. Моделювання гідравлічних нестаціонарних явищ .

Моделювання гідравлічних нестаціонарних явищ у відсутності розриву порожнини

Впуск повітря та кавітаційні явища

#### Тема 6. Пульсаційні характеристики.

Характеристики пульсацій тиску, сил та моментів. Побудова теоретичних пульсаційних і експериментальних характеристик на основі модельних випробувань.

Побудова теоретичних пульсаційних і експериментальних характеристик

#### **Тема 7. Нестаціонарні явища у лопатевих системах .**

Неоднорідність потенціального потоку перед та поза решіткою. Кромкові сліди. Характеристики неоднорідності. Нестаціонарні гідравлічні сили, які діють на лопаті та лопатки. Втрати, обумовлені періодичною нестаціонарністю. Автоколивання. Види флатера

#### **Тема 8. Нестаціонарні явища у вітродувках, компресорах та насосах.**

Помпаж та обертовий зрив. Прості рішення задач про помпаж. Зони зриву. Їхня ширина, число, швидкість розповсюдження розповсюдження. швидкість розповсюдження.

Швидкість розповсюдження. Вихрова схема

#### **Тема 9. Вимірювання нестаціонарних потоків та обробка експериментальних даних .**

Вимірювання пульсацій швидкостей та тисків. Параметричні та генераторні датчики тиску.

Підсилювальна та реєструюча апаратура. Аналізатори спектру частот. Термоанемометри.

Вимірювання пульсуючих моментів на лопатях колеса та лопатках апарату. Вимірювання осьових сил, крутних моментів та радіальних сил. Модельні та натурні випробування.

Математична обробка експериментальних даних.

#### **Тема 10. Візуалізація течій .**

Способи візуалізації потоків у проточній частині. Способи візуалізації потоків у окремих її елементах. Способи візуалізації потоків на моделях гідромашин. Способи візуалізації потоків в натурних гідромашинах. Експериментальні стенди й устаткування.

### **Теми практичних занять**

#### **Тема 1. Апаратура для вимірювання нестаціонарних явищ у гідромашинах**

Датчики тиску й зонди. Тарировка датчиків тиску..

#### **Тема 2. Перевірка ...**

Зміст заняття, за необхідності.

### **Теми лабораторних робіт**

Лабораторна робота 1. Розрахунок амплітуд і частот пульсацій тиску за моделлю Пазі.

Лабораторна робота 2. Побудова пульсаційної характеристики від вихрових джгутів за спрощеною двовимірною моделлю.

Лабораторна робота 3. Побудова пульсаційних характеристик в гідротурбіні

Лабораторна робота 4. Зони зриву. Їхня ширина, число, швидкість їх розповсюдження.

Лабораторна робота 4. Побудова пульсаційних характеристик від вихрового джгута за моделлю Григор'єва.

Лабораторна робота 5. Вимірювання моментів на лопатях р.к. та лопатках н.а.

Лабораторна робота 6. Візуалізація течій в проточній частині гідромашини за допомогою стробоскопу.

### **Самостійна робота**

(ІДЗ/РГЗ/КР/КП) Розрахунок параметрів пульсаційних характеристик на основі двовимірної моделі руху від вихрового джгута у відсмоктувальній трубі гідротурбіни. Побудова амплітудної та частотної характеристик пульсації тиску від обертання вихрового джгута за робочим колесом., якщо це передбачено планом, способів її перевірки та оцінки.

## **Література та навчальні матеріали**

Основна література

1. Владиславлев Л.А. Вібрації гідроагрегатів ГЕС. - К.: Машнобудування, 1972. - 176 с.
2. Самойлович Г.Г. Порушення коливань лопаток турбомашин.- К.: Машинобудування, 1975. -288 с.
3. Єршов В.М. Несталі режими турбомашин. - К.: Машинобудування, 1996.
4. Аносов Ф.В. та ін Модельні дослідження гідротурбін. - К.: Машинобудування, 1971.
5. Довідник з гідротурбін / За ред. Н.М. Ковальова. - К.: Машинобудування, 1984. - 496 с.

6. Зав'ялов П.С., Бондаренко А.В. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи "Вимірювання пульсацій тиску в гідротурбінах". - Харків: ХПІ, 1984.
7. Менлі Р. Аналіз та обробка записів. - К.: Машинобудування, 1972. - 322 с.
8. Зав'ялов П.С., Краснопільська Л.І. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Розрахунок статичних характеристик у гідромашинах з використанням ЕОМ».- Х: ХПІ, 1986. - 16 с.
- Додаткова література**
1. Зав'ялов П.С., Кухтенков Ю.М. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Вимір статичної в динамічній складових поворотного моменту поворотно-лопатевих осьових і діагональних турбін» за курсами «Нестационарні явища в гідромашинах»– Х: ХДПУ, 2000. – 24 с.
2. Зав'ялов П.С., Жиленко В.Д., Бондаренко А.В. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Вимірювання пульсації моменту на лопатках напрямного апарату гідротурбін і оборотних гідромашин». – Харків: ХДПУ, 2001. – 16 с

## Система оцінювання

### Критерії оцінювання успішності студента та розподіл балів

Опис структури підсумкової оцінки, обов'язкових завдань та процедури нарахування балів, особливо звертаючи увагу на самостійну роботу та індивідуальні завдання.

### Шкала оцінювання

| Сума балів | Національна оцінка                            | ECTS |
|------------|---|------|
| 90–100     | Відмінно                                      | A    |
| 82–89      | Добре   | B    |
| 75–81      | Добре   | C    |
| 64–74      | Задовільно                                    | D    |
| 60–63      | Задовільно                                    | E    |
| 35–59      | Незадовільно<br>(потрібне додаткове вивчення) | FX   |
| 1–34       | Незадовільно<br>(потрібне повторне вивчення)  | F    |

## Норми академічної етики і політика курсу

Студент повинен дотримуватися «Кодексу етики академічних взаємовідносин та доброчесності НТУ «ХПІ»: виявляти дисциплінованість, вихованість, доброзичливість, чесність, відповідальність. Конфліктні ситуації повинні відкрито обговорюватися в навчальних групах з викладачем, а при неможливості вирішення конфлікту – доводитися до відома співробітників дирекції інституту. Нормативно-правове забезпечення впровадження принципів академічної доброчесності НТУ «ХПІ» розміщено на сайті: <http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/akademichna-dobrochesnist/>

## Погодження

|                   |          |                                     |
|-------------------|----------|-------------------------------------|
| Силабус погоджено | 12.08.23 | Завідувач кафедри<br>Андрій РОГОВИЙ |
|                   | 12.08.23 | Гарант ОП<br>Андрій РОГОВИЙ         |