



# СІЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ



## «Гідравлічна нестационарність гідроагрегатів ГЕС та ГАЕС»

Шифр та назва спеціальності	145 – Гідроенергетика	Факультет / Інститут	ННІ механічної інженерії і транспорту
Назва освітньо-наукової програми	Гідроенергетика	Кафедра	Гідравлічні машини ім. Г.Ф. Проскури

### ВИКЛАДАЧ



Кухтенков Юрій Михайлович, [kuhtenkov.um@gmail.com](mailto:kuhtenkov.um@gmail.com)

Кандидат технічних наук, доцент кафедри. Працює на кафедрі гідромашин з 1983 року. У 2008 р. захистив кандидатську дисертацію «Прогнозування низькочастотних пульсацій тиску в радіально-осьових гідротурбінах та шляхи їх зменшення». Оpubлікував більш 50 наукових праць, включаючи 3 патента, декілька видані за кордоном. Викладає курси: «ГЕС, ГАЕС та насосні станції», «Гідравлічні та насосні станції та їх АСК», «Гідрадинамічні передачі», «Гідравліка» та інші. У 2001 р. на виставці «Наука Харківщини 2001» у складі колективу співробітників Кухтенков Ю.М. нагороджений дипломом 1 ступеня за прикладну наукову роботу «Дослідження динаміки потоку у гідротурбінах для модернізації обладнання каскаду Дніпровських ГЕС».

### ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ДИСЦИПЛІНУ

Анотація	Дисципліна спрямована на формування здатності виконати розрахунки амплітуд і частот пульсацій тиску, а також втрати від вихрових джгутів у відсмоктуючій 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	Формування у студентів інженерних знань в галузі гідравлічних нестационарних явищ, причин їхнього утворення, способів розрахунку, зменшення їхньої інтенсивності в гідромашинах.
Формат	Лекції, лабораторні роботи, консультації. Підсумковий контроль – залік.
Результати навчання	Знати причини виникнення і класифікацію нестационарних 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	Загальний обсяг дисципліни 150 год.: лекції – 64 год., лабораторні роботи – 16 год., самостійна робота – 80 год.
Пререквізити	Закінчена освіта перший рівень (бакалавр) по спеціальності 145 – Гідроенергетика
Вимоги викладача	Студент зобов'язаний відвідувати всі заняття згідно розкладу, не спізнюватися. Дотримуватися етики поведінки. Для проходження дисципліни необхідно мати конспект лекцій з попередніх занять. Працювати з навчальною та додатковою літературою, з літературою на електронних носіях і в Інтернеті. При пропуску лекційних або практичних занять проводиться усна співбесіда за темою та контроль вміння вирішувати прикладні задачі. З метою оволодіння необхідною якістю освіти з дисципліни потрібні відвідуваність і регулярна підготовленість до занять. За відсутності пропущених занять, за наявності відпрацьованих тем на <b>всіх</b> лабораторних роботах, підсумковий контроль може бути виставлений за рейтингом.

# СТРУКТУРА ДИСЦИПЛІНИ

## 9 семестр

<b>ЗМ 1</b>	<b>Фізичні і математичні моделі джгутових пульсацій тиску за робочим колесом гідротурбіни.</b>
<b>Тема 1 Л 2</b>	Передмова. Причини виникнення нестационарних явищ. Класифікація нестационарних явищ у лопатевих гідромашинах і приводах. Приклади пошкодження гідроагрегатів.
<b>Тема 2 Л 4, ЛЗ 4</b>	Гідравлічні збурюючі сили. Збурюючі сили при сталих та несталих режимах роботи. Вплив спіральної камери, статора та напрямного апарату на нестационарні явища в гідротурбінах та оборотних гідромашинах. Зрив вихорів з лопатей робочих коліс (р.к.) та вихороутворення. Нестационарність, що пов'язана з кавітацією. Нестационарність від помпажа та обертового зриву у вітродувках, компресорах і насосах. Розрахунок амплітуд і частот пульсацій тиску за моделлю Пазі. Датчики тиску й зонди. Тарировка датчиків тиску.
<b>Тема 3 Л 4</b>	Вихрові рухи. Рівняння Гельмгольца. Вихрові нитки. Рух системи вихорів. Сталість ланцюжків Кармана. Узагальнення теореми Жуковського М.Є. на несталий рух приєднаних вихорів. Розподіл тисків при вихорі кінцевого розміру.
<b>Тема 4 Л 4, ЛЗ 4</b>	Вихровий джгут у відсмоктуючій трубі гідротурбіни Вихровий джгут у відсмоктуючій 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 інтегралів Бернуллі та Коші-Лагранжа. Гідравлічні втрати, обумовлені обертанням вихрового джгута. Заходи зі зменшення низькочастотних пульсацій тиску від вихрових джгутів. Побудова пульсаційної характеристики від вихрових джгутів за спрощеною двовимірною моделлю.
<b>ЗМ 2</b>	<b>Розрахунок амплітуд і частот пульсацій тиску у відсмоктуючій трубі гідротурбіни.</b>
<b>Тема 5 Л 2</b>	Моделювання гідравлічних нестационарних явищ Моделювання гідравлічних нестационарних явищ у відсутності розриву порожнини, впуску повітря та кавітаційних явищ..
<b>Тема 6 Л 2, ЛЗ 4</b>	Пульсаційні характеристики. Характеристики пульсацій тиску, сил та моментів. Побудова теоретичних пульсаційних, а також експериментальних характеристик на основі модельних та натурних випробувань. Побудова пульсаційних характеристик в гідротурбіні.
<b>Тема 7 Л 4</b>	Нестационарні явища у лопатевих системах Неоднорідність потенціального потоку перед та поза решіткою. Кромкові сліди. Характеристики неоднорідності. Нестационарні гідравлічні сили, які діють на лопаті та лопатки. Втрати, обумовлені періодичної нестационарністю. Автоколивання. Види флатера. Зменшення нестационарних сил.
<b>Тема 8 Л 4, ЛЗ 2</b>	Нестационарні явища у вітродувках, компресорах та насосах. Помпаж та обертовий зрив. Прості рішення задач про помпаж. Зони зриву. Їхня ширина, число, швидкість розповсюдження. Вихрова схема. Розрахунок зон зриву при помпажі.

Самостійна робота

Опрацювання лекційного матеріалу.  
Підготовка до лабораторних занять.  
Самостійне вивчення тем та питань, які не викладаються на лекційних заняттях.

<b>Тема 9</b> <b>Л 4, ЛЗ 2</b>	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 р.к. та лопатках н.а., осьових сил, крутних моментів та радіальних сил. Модельні та натурні випробування. Математична обробка експериментальних даних. Побудова пульсаційних характеристик від вихрового джгута за моделлю Григор'єва. Вимірювання моментів на лопатях р.к. та лопатках н.а.
<b>Тема 10</b> <b>Л 2</b>	Візуалізація течій Способи візуалізації потоків у проточній частині та окремих її елементах. Експериментальні стенди й устаткування. Апаратура. Візуалізація течій в проточній частині гідромашини за допомогою стробоскопу.

## ЛІТЕРАТУРА ТА НАВЧАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

Основна

1. Владиславлев Л.А. Вібрації гідроагрегатів гідроелектричних станцій. - К.: Машинобудування, 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. Седов Л.І. Механіка суцільних середовищ. - К.: Наука, 1970. - Т.2. - 568 с.
7. Лойцянский Л.Г. Механіка рідини та газу. - К.: Наука, 1950. - 678 с.
8. Зав'ялов П.С., Бондаренко А.В. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи "Вимірювання пульсацій тиску в гідротурбінах". - Харків: ХПІ, 1984.
9. Менлі Р. Аналіз та обробка записів. - К.: Машинобудування, 1972. - 322 с.
10. Зав'ялов П.С., Краснопільська Л.І. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Розрахунок статичних характеристик нестаціонарних у гідромашини з використанням ЕОМ». - Харків: ХПІ, 1986. - 16 с.

Додаткова

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 гідромашини», «Гідравлічні турбіни і оборотні гідромашини», «НДРС» для студентів усіх форм навчання спеціальності 7.090209 «Гідравлічні і пневматичні машини». – Харків: 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 прямого апарату гідротурбін і оборотних гідромашин». – Харків: ХДПУ, 2001. – 16 с.

### ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ В ІНТЕРНЕТІ:

<http://www.kpi.kharkiv.edu/gdm/>  
<http://library.kpi.kharkov.ua>  
<http://library.nung.edu.ua/>

## НЕОБХІДНІ УМОВИ ДЛЯ ЗДАЧІ ЗАЛІКУ ТА ІСПИТУ

За відсутності пропущених занять, за наявності відпрацьованих тем на **всіх** лабораторних роботах та практичних заняттях, підсумковий контроль може бути виставлений за рейтингом. На залік (екзамен) при невиконанні умов, необхідних для рейтингу, або бажанні студента підвищити підсумкову оцінку вноситься виключно **вирішення прикладних задач** з відповідних тем.

## СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ

Розподіл балів для оцінювання успішності аспіранта	Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	Нарахування балів	Розподіл балів для оцінювання поточної успішності студента										
	90-100	A	відмінно		Поточне тестування та самостійна робота										Сума
	82-89	B	добре		9 семестр										
	74-81	C			Змістовий модуль 1, Змістовий модуль 2										
	64-73	D	задовільно		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	100
	60-63	E			10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання												
	0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни												

## НОРМИ АКАДЕМІЧНОЇ ЕТИКИ

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 нерозв'язності конфлікту доводиться до співробітників відділу аспірантури.

Сілабус за змістом повністю відповідає робочій програмі навчальної дисципліни