



Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та природокористування

**Національний університет водного господарства та природокористування**

**Навчально-науковий інститут водного господарства та природооблаштування**

**Кафедра гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин**

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Проректор з науково-педагогічної,  
методичної та виховної роботи

О. А. Лагоднюк

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2016 р.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

01-06-06

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ І  
ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ГІДРОАГРЕГАТІВ**

спеціальність 145 “Гідроенергетика”

Рівне – 2016

Робоча програма „Розрахунок на міцність і оцінка надійності гідроагрегатів” для студентів за спеціальністю 145 „Гідроенергетика”. – Рівне: НУВГП, 2016. – 13 с.

**Розробник:** Філіпович Ю.Ю., к.т.н., доцент кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин

Робочу програму схвалено на засіданні кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин.

Протокол від “ 08 ” вересня 2016 року № 1.

Завідувач кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин \_\_\_\_\_ (О. А. Рябенко)

Схвалено науково-методичною комісією  
за спеціальністю 145 „Гідроенергетика”.  
Протокол від “ 22 ” вересня 2016 року № 1.

Голова науково-методичної комісії \_\_\_\_\_ (О. А. Рябенко)



## 1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### “Розрахунок на міцність і оцінка надійності гідроагрегатів”

| Найменування показників  | Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень | Характеристика навчальної дисципліни                            |                       |        |
|--|--|---|-----------------------|--------|
|  |  | денна форма навчання  | заочна форма навчання |        |
| Кількість кредитів – <b>4,0</b>  | <b>Галузь знань</b><br>14 – „Електрична інженерія”               | Дисципліна фахової підготовки (спеціалізації)                   |                       |        |
| Модулів – <b>2</b>   |  | <b>Рік підготовки</b>   |                       |        |
| Змістових модулів – <b>2</b>   |  | 5-й   | 6-й                   |        |
|  |  | <b>семестр</b>  |                       |        |
|  |  | 9-й   | 11-й                  |        |
| Індивідуальне навчально-дослідне завдання: <b>курсний проект фаховий</b>   |  | <b>Спеціальність</b><br>145 – „Гідроенергетика”                 | <b>Лекції</b>         |        |
|  |  |   | 16 год.               | 2 год. |
| <b>Практичні, семінарські</b>  |  |   |                       |        |
| 28 год.  | 12 год.  |   |                       |        |
| <b>Лабораторні</b>   |  |   |                       |        |
| Загальна кількість годин – <b>120 год.</b>   | -  | -   |                       |        |
|  | <b>Самостійна робота</b>   |   |                       |        |
| Тижневих годин для денної форми навчання:<br>аудиторних – <b>3 год</b> ,<br>самостійна робота студента – <b>5 год.</b> | <b>Рівень вищої освіти:</b><br><b>Магістерський</b>              | <b>Індивідуальне завдання: курсовий проект фаховий – 36 год</b> |                       |        |
|  |  | <b>Вид контролю:</b>  |                       |        |
|  |  | екзамен   | екзамен               |        |

**Примітка:** співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:

- для денної форми навчання – 36,7 % до 63,3 %;
- для заочної форми навчання – 11,7 % до 88,3 %.



## 2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**Метою** вивчення навчальної дисципліни „Розрахунок на міцність і оцінка надійності гідроагрегатів” є формування знань у майбутніх магістрів спеціальності 145 „Гідроенергетика” з питань конструкцій турбінного обладнання ГЕС і ГАЕС та силових навантажень на елементи гідравлічних машин, визначення напружень в деталях гідромашин від різних навантажень і деформацій, а також оцінка надійності роботи гідроагрегатів для прийняття оптимальних рішень при проектуванні ГЕС і ГАЕС.

**Завдання** навчальної дисципліни „ Розрахунок на міцність і оцінка надійності гідроагрегатів ” є формування практичних навичок у магістрів спеціальності 145 „Гідроенергетика” для прийняття рішень під час вибору видів та конструкції основного і допоміжного обладнання гідроелектростанцій та гідроакумуючих електростанцій під час їхньої експлуатації, а також оцінки надійності роботи обладнання ГЕС і ГАЕС.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен:

### **знати:**

- ✓ конструкцію робочих коліс гідромашин ГЕС і ГАЕС та їх елементів;
- ✓ конструкцію закладних частин гідротурбін;
- ✓ структуру параметрів гідроелектростанцій при роботі у турбінному і насосному режимах;
- ✓ конструкцію напрямного апарату та механізмів його приводу.

### **вміти:**

- ✓ добирати гідротурбіну та основні її параметри;
- ✓ визначати гідравлічні параметри оборотної гідромашини у турбінному та насосному режимах;
- ✓ розраховувати силові навантаження на елементи гідротурбіни;
- ✓ визначати напруження у елементах гідротурбіни від дії осьових, відцентрових та поперечних сил, а також від дії згинальних та крутних моментів;
- ✓ перевіряти міцність елементів гідромашини від дії різних деформацій;
- ✓ виконувати практичні розрахунки за допомогою комп'ютерної техніки;
- ✓ під час проектування гідроагрегатів підбирати їх конструкцію та матеріали з перевіркою надійності роботи гідромашин.



### **3. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

#### **МОДУЛЬ 1.**

#### **Розрахунок на міцність та оцінка надійності гідроагрегатів**

#### **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1.**

#### **Параметри великих гідротурбін та їх елементів**

##### **Тема 1. Параметри великих гідротурбін**

Системи і типи гідротурбін та їх параметри. Техніко-економічне значення параметрів гідротурбін. Номенклатура і уніфікація гідротурбін. Стан і розвиток гідротурбінобудування. Матеріали, що використовуються при виготовленні гідроагрегатів. Оцінка надійності матеріалів елементів гідротурбіни та гідроагрегата в цілому.

##### **Тема 2. Конструкції гідротурбін і їх установка**

Осьові вертикальні поворотно-лопатові гідротурбіни і їх установка. Радіально-осьові гідротурбіни і їх установка. Діагональні гідротурбіни. Горизонтальні капсульні гідротурбіни і їх установка. Ківшеві турбіни. Надійність роботи гідроагрегатів різного типу.

##### **Тема 3. Спіральні камери гідротурбін і їх закладні частини**

Бетонні спіральні камери. Металеві спіральні камери. Методи розрахунку спіральних камер на міцність. Методи зміцнення спіральних камер. Послідовність розрахунку спіральних камер на міцність та оцінка надійності їх роботи. Камери робочих коліс осьових гідротурбін.

##### **Тема 4. Статори гідротурбін**

Конструкція статорів гідротурбін. Методики розрахунків статорів гідротурбін на міцність. Послідовність розрахунку статорів гідротурбін на міцність та оцінка надійності їх роботи.

##### **Тема 5. Напрямний апарат гідротурбін**

Конструкції і системи напрямних апаратів та оцінка надійності їх роботи. Конструкції основних вузлів та деталей. Розрахунок лопаток напрямного апарату на міцність.

##### **Тема 6. Серводвигуни напрямних апаратів**

Системи приводів і конструкції серводвигунів. Визначення зусилля серводвигуна напрямного апарату. Розрахунок деталей приводу на міцність. Розрахунок кришок турбін та інших кільцевих деталей на міцність.



**Конструкція та розрахунки на міцність робочих коліс гідротурбін та їх елементів**

**Тема 7. Робочі колеса осьових і діагональних гідротурбін**

Конструкція і основні елементи робочих коліс та оцінка надійності їх роботи. Механізми повороту лопатей робочих коліс. Визначення зусилля серводвигуна робочого колеса. Розрахунок деталей поворотно-лопатевих робочих коліс на міцність.

**Тема 8. Робочі колеса радіально-осьових гідротурбін**

Конструкція і виготовлення робочих коліс та оцінка надійності їх роботи. Ущільнення робочих коліс. Розрахунок втрат в ущільненнях робочих коліс. Розрахунок робочого колеса на міцність.

**Тема 9. Вали гідротурбін**

Конструкція валів гідротурбін та оцінка надійності їх роботи. Розрахунок вала на міцність. Розрахунок вала на коливання. Маслоприймач і штанги вала.

**Тема 10. Підшипники гідротурбін**

Напрямні підшипники гідротурбін на водяній змазці. Розрахунок підшипника на водяній змазці. Підшипники гідротурбін із масляною змазкою. Підшипники горизонтальних гідротурбін та оцінка надійності їх роботи.



#### 4. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

| Назви<br>змістових<br>модулів і<br>тем   | Кількість годин |              |           |          |           |           |              |              |          |          |           |           |
|--|-----------------|--------------|-----------|----------|-----------|-----------|--------------|--------------|----------|----------|-----------|-----------|
|  | денна форма     |              |           |          |           |           | заочна форма |              |          |          |           |           |
|  | усього          | у тому числі |           |          |           |           | усього       | у тому числі |          |          |           |           |
|  |                 | л            | п         | лаб      | інд       | с.р.      |              | л            | п        | лаб      | інд       | с.р.      |
| 1  | 2               | 3            | 4         | 5        | 6         | 7         | 8            | 9            | 10       | 11       | 12        | 13        |
| <b>Модуль 1. Розрахунок на міцність та оцінка надійності гідроагрегатів</b>                                |                 |              |           |          |           |           |              |              |          |          |           |           |
| <b>Змістовий модуль 1. Параметри великих гідротурбін та їх елементів</b>                                   |                 |              |           |          |           |           |              |              |          |          |           |           |
| <b>Тема 1.</b><br>Параметри великих гідротурбін  | 6               | 1            | 2         | -        | -         | 3         | 8,5          | 0,5          | 1        | -        | -         | 7         |
| <b>Тема 2.</b><br>Конструкції гідротурбін і їх установка   | 14              | 1            | 4         | -        | 4         | 5         | 12,5         | 0,5          | 1        | -        | 4         | 7         |
| <b>Тема 3.</b><br>Спиральні камери гідротурбін і їх закладні частини                                       | 13              | 2            | 4         | -        | 4         | 3         | 12           | -            | 1        | -        | 4         | 7         |
| <b>Тема 4.</b><br>Статори гідротурбін  | 13              | 2            | 4         | -        | 4         | 3         | 12           | -            | 1        | -        | 4         | 7         |
| <b>Тема 5.</b><br>Напрямний апарат гідротурбін   | 10              | 1            | 2         | -        | 4         | 3         | 12           | -            | 1        | -        | 4         | 7         |
| <b>Тема 6.</b><br>Серводвигуни напрямних апаратів  | 10              | 1            | 2         | -        | 4         | 3         | 12           | -            | 1        | -        | 4         | 7         |
| <b>Разом:</b>  | <b>66</b>       | <b>8</b>     | <b>18</b> | <b>-</b> | <b>20</b> | <b>20</b> | <b>69</b>    | <b>1</b>     | <b>6</b> | <b>-</b> | <b>20</b> | <b>42</b> |
| <b>Змістовий модуль 2. Конструкція та розрахунки на міцність робочих коліс гідротурбін та їх елементів</b> |                 |              |           |          |           |           |              |              |          |          |           |           |
| <b>Тема 7.</b><br>Робочі колеса осьових і діагональних гідротурбін   | 13              | 2            | 2         | -        | 4         | 5         | 12,5         | 0,5          | 1        | -        | 4         | 7         |
| <b>Тема 8.</b><br>Робочі колеса радіально-осьових гідротурбін  | 15              | 2            | 4         | -        | 4         | 5         | 12,5         | 0,5          | 1        | -        | 4         | 7         |

|  |            |           |           |          |           |           |            |          |           |          |           |           |
|--|------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| <b>Тема 9.</b> Вали гідротурбін        | 13         | 2         | 2         | -        | 4         | 5         | 13         | -        | 2         | -        | 4         | 7         |
| <b>Тема 10.</b> Підшипники гідротурбін | 13         | 2         | 2         | -        | 4         | 5         | 13         | -        | 2         | -        | 4         | 7         |
| <b>Разом:</b>                          | <b>54</b>  | <b>8</b>  | <b>10</b> | <b>-</b> | <b>16</b> | <b>20</b> | <b>51</b>  | <b>1</b> | <b>6</b>  | <b>-</b> | <b>16</b> | <b>28</b> |
| <b>Усього годин:</b>                   | <b>120</b> | <b>16</b> | <b>28</b> | <b>-</b> | <b>36</b> | <b>40</b> | <b>120</b> | <b>2</b> | <b>12</b> | <b>-</b> | <b>36</b> | <b>70</b> |

## 5. ТЕМИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

| № з/п          | Назва теми  | Кількість годин |              |
|----------------|---|-----------------|--------------|
|                |   | Денна форма     | Заочна форма |
| 1              | Конструкція та розміри елементів напрямного апарата оборотної гідромашини | 4               | 2            |
| 2              | Зовнішні та внутрішні сили вала напрямного апарата                        | 6               | 2            |
| 3              | Розрахунок елементів складеного важеля                                    | 6               | 2            |
| 4              | Розрахунок складеної серги напрямного апарата                             | 6               | 2            |
| 5              | Розрахунок на міцність серводвигуна                                       | 6               | 4            |
| <b>Всього:</b> |   | <b>28</b>       | <b>12</b>    |

## 6. САМОСТІЙНА РОБОТА

Розподіл годин самостійної роботи для студентів денної форми навчання:

- підготовка до аудиторних занять – 0,5 год. / 1 год. занять;
- підготовка до контрольних заходів – 6 год. на 1 кредит ЄКТС;
- індивідуальне завдання – курсовий проект фаховий – 36 год.;
- опрацювання окремих тем програми або їх частин, які не викладаються на лекціях – 40 год.

| № з/п | Назва розділу   | Кількість годин |              |
|-------|---|-----------------|--------------|
|       |   | Денна форма     | Заочна форма |
| 1     | <b>Тема 1.</b> Параметри великих гідротурбін                      | 3               | 7            |
| 2     | <b>Тема 2.</b> Конструкції гідротурбін і їх установка             | 5               | 7            |
| 3     | <b>Тема 3.</b> Спіральні камери гідротурбін і їх закладні частини | 3               | 7            |
| 4     | <b>Тема 4.</b> Статори гідротурбін                                | 3               | 7            |
| 5     | <b>Тема 5.</b> Напрямний апарат гідротурбін                       | 3               | 7            |
| 6     | <b>Тема 6.</b> Серводвигуни напрямних апаратів                    | 3               | 7            |
| 7     | <b>Тема 7.</b> Робочі колеса осьових і діагональних гідротурбін   | 5               | 7            |



|                |  |           |           |
|----------------|--|-----------|-----------|
| 8              | <b>Тема 8.</b> Робочі колеса радіально-осьових гідротурбін | 5         | 7         |
| 9              | <b>Тема 9.</b> Вали гідротурбін                            | 5         | 7         |
| 10             | <b>Тема 10.</b> Підшипники гідротурбін                     | 5         | 7         |
| <b>Всього:</b> |  | <b>40</b> | <b>70</b> |

## 7. ІНДИВІДУАЛЬНЕ НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНЕ ЗАВДАННЯ

Навчальним планом та програмою дисципліни “Розрахунок на міцність та оцінка надійності гідроагрегатів” передбачено курсовий проект фаховий, що має своєю метою закріплення теоретичних знань і розвивання навичок із визначення навантажень, що діють на турбіну, та розрахунку на міцність елементів турбіни.

Обсяг курсового проекту – 25...30 сторінок із необхідними схематичними кресленнями і графіками. Графічна частина виконується на ватмані формату А1.

Кількість годин на індивідуальну роботу студента – 36 год.

Оцінювання курсового проекту:

- розділ 1 “Розрахунок параметрів гідроагрегата” – до 10 балів;
- розділ 2 “Розрахунок моментів вала напрямного апарата” – до 10 балів;
- розділ 3 “Розрахунок робочого колеса на міцність” – до 15 балів;
- розділ 4 “Міцність елементів напрямного апарата” – до 15 балів;
- розділ 5 “Розрахунок на міцність елементів системи серводвигункільце” – до 10 балів;
- захист дипломного проекту – до 40 балів.

## 8. МЕТОДИ НАВЧАННЯ

При викладанні навчальної дисципліни “Розрахунок на міцність та оцінка надійності гідроагрегатів” використовуються інформаційно-ілюстративний та проблемний методи навчання із застосуванням: лекцій у супроводі плакатів, слайдів, фолій; розв’язування задач; демонстрація комп’ютерних програм та складання графічних схем із поетапною перевіркою результатів і аналізом можливих варіантних рішень; обговорення варіантних рішень при конструюванні вузлів та деталей гідроагрегатів.

### Перелік прикладних комп’ютерних програм:

1. GES – вибір параметрів агрегатних блоків ГЕС та ГАЕС на ЕОМ;
2. ГЕС – демонстрація робочих та аварійних режимів роботи ГЕС.



## 9. МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

Поточний контроль знань студентів з навчальної дисципліни проводиться в усній та письмовій формі. Контрольні завдання за змістовим модулем включають комплект комплексних контрольних робіт (ККР), що складаються із теоретичних та практичних запитань.

Контроль самостійної роботи проводиться:

- наявність лекційного матеріалу – шляхом перегляду конспектів;
- робота на практичних заняттях – шляхом усного опитування і перевірки виконаних завдань;
- за індивідуально-дослідним завданням – за допомогою перевірки та захисту курсового проекту;
- підготовка до видання наукових статей, тез для участі у конференціях.

Підсумковий контроль відбувається у вигляді заліку.

Усі форми контролю включено до 100-бальної шкали оцінювання.

## 10. РОЗПОДІЛ БАЛІВ, ЯКІ ОТРИМУЮТЬ СТУДЕНТИ

(Форма контролю – залік, максимальна сума балів – 100)

| Поточне тестування та самостійна робота |    |    |    |    |                    |    |    |    |     | Модуль 2 -<br>екзамен | Сума |
|---|----|----|----|----|--------------------|----|----|----|-----|-----------------------|------|
| Змістовий модуль 1                      |    |    |    |    | Змістовий модуль 2 |    |    |    |     |                       |      |
| T1                                      | T2 | T3 | T4 | T5 | T6                 | T7 | T8 | T9 | T10 | 40                    | 100  |
| 5                                       | 5  | 5  | 5  | 5  | 5                  | 10 | 10 | 5  | 5   |                       |      |
| 30                                      |    |    |    |    | 30                 |    |    |    |     |                       |      |

(Форма контролю – курсовий проект, максимальна сума балів – 100)

| Пояснювальна<br>записка | Ілюстративна<br>частина | Захист роботи | Сума |
|-------------------------|-------------------------|---------------|------|
| До 30                   | До 30                   | До 40         | 100  |

**Узгодження шкали національної системи оцінювання знань з університетською шкалою**

| Сума балів за всі види навчальної діяльності         | Оцінка за національною шкалою                              |
|--|--|
|  | <b>Екзамен</b>   |
| 90 – 100<br>82 – 89<br>74 – 81<br>64 – 73<br>60 – 63 | Відмінно<br>Дуже добре<br>Добре<br>Задовільно<br>Достатньо |
| 35 – 59  | Незадовільно з можливістю повторного складання             |
| 0 – 34   | Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни |

| Сума балів за всі форми навчальної діяльності        | Оцінка за національною шкалою                              |
|--|--|
|  | <b>Курсовий проект</b>                                     |
| 90 – 100<br>82 – 89<br>74 – 81<br>64 – 73<br>60 – 63 | Відмінно<br>Дуже добре<br>Добре<br>Задовільно<br>Достатньо |
| 35 – 59  | Незадовільно з можливістю повторного складання             |
| 0 - 34   | Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни |

**11. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ**

Методичне забезпечення дисципліни „Розрахунок на міцність та оцінка надійності гідроагрегатів” включає:

- ✓ опорний конспект лекцій на паперовому та електронному носіях (Рівне: НУВГП, 2015. – 130 с.);
- ✓ методичні вказівки 042-73 до виконання розрахунково-практичних завдань з дисципліни «Розрахунок на міцність гідроагрегатів»;
- ✓ методичні вказівки 042-74 до виконання курсового та дипломного проекту з дисципліни «Розрахунок на міцність гідроагрегатів»;



- ✓ інформаційно-ілюстративний навчальний матеріал на паперових носіях;
- ✓ комплекти слайдів, плакатів, фолії;
- ✓ демонстраційні комп'ютерні програми;
- ✓ роздатковий матеріал;
- ✓ нормативні документи.

## 12. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

### Базова

1. Орго В. М. Основы конструирования и расчета на прочность гидротурбин. – Л.: Машиностроение, 1978. – 224 с, ил.
2. Справочник по гидротурбинам / Под ред. Н. Н. Ковалева. – Л.: Машиностроение, 1984. – 496 с, ил.
3. Ковалев Н. Н. Гидротурбины. Конструкции и расчеты проектирования. – М.-Л.: Гос. научно-техн. изд-во машиностроительной л-ры, 1961. – 616 с, ил.
4. Ковалев Н. Н. Проектирование гидротурбин. – Л.: Машиностроение, 1974. – 280 с, ил.
5. Турбинное оборудование гидроэлектростанций / Под ред. А. А. Морозова. – М.-Л.: Гос. энергетическое изд-во, 1968. – 520 с, ил.

### Допоміжна

1. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций. Справочное руководство. / Под ред. Ю.С. Васильева и Д.С. Щавелева. – М.: Энергоатомиздат. – Т.1, 1988. – 400 с, ил.
2. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций. Справочное руководство. / Под ред. Ю.С. Васильева и Д.С. Щавелева. – М.: Энергоатомиздат. – Т.2, 1990. – 336 с, ил.
3. Гидроэлектрические станции / Под ред. В.Я. Карелина, Г.И. Кривченко. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 464 с., ил.
4. Кривченко Г.И. Гидравлические машины. Турбины и насосы. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с, ил.



## 12. ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

1. Стандарт вищої освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 14 «Електрична інженерія» спеціальності 145 «Гідроенергетика». – Київ, 2016. – 21 с.

2. Наукова бібліотека НУВГП – 33000 м. Рівне, вул. Олекси Новака, 75, тел. 22-25-39, <http://nuwm.edu.ua/naukova-biblioteka/>. Режим доступу: <http://ep3.nuwm.edu.ua/cgi/stats/report/authors/1782d145acd7cea30a13621693953d0a/>.

3. Веб-сторінка ПАТ „Укргідроенерго”. Режим доступу: <http://uge.gov.ua/>.

4. Веб-сторінка ПАТ „Укргідропроєкт”. Режим доступу: <http://uhp.kharkov.ua/ua/>.

Доцент кафедри гідроенергетики,  
теплоенергетики та гідравлічних машин, к.т.н.

Ю.Ю. Філіпович



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування