

Міністерство освіти і науки України  
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»  
Кафедра «Аерокосмічної теплотехніки» (№ 205)

### **ЗАТВЕРДЖУЮ**

Гарант освітньої програми



(підпис)

П. Г. Гакал

(ініціали та прізвище)

« 31 » 08 2023 р.

## **СИЛАБУС ОBOB'ЯЗKОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

### **Системи забезпечення теплового режиму (КП)**

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 14 Електрична інженерія  
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: 144 Теплоенергетика  
(код та найменування спеціальності)

Освітня програма: Інжиніринг та експлуатація теплоенергетичних систем  
(найменування освітньої програми)

**Форма навчання: денна**

**Рівень вищої освіти: другий (магістерський)**

**Силабус введено в дію з 01.09.2023 року**

**Харків – 2023 р.**

Розробник: Гакал П. Г., д.т.н., доц.

(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь та вчене звання)

  
\_\_\_\_\_

(підпис)

Силабус навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри  
аерокосмічної теплотехніки (№ 205)

Протокол № 1 від «31» серпня 2023 р.

Завідувач кафедри д.т.н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)



(підпис)

П.Г. Гакал

(ініціали та прізвище)

Погоджено з представником здобувачів освіти:

здобувач

(підпис)

Д. Волжин

(ініціали та прізвище)

## 1. Загальна інформація про викладача



Гакал Павло Григорович, д.т.н., доцент. З 2004 року викладає в університеті наступні дисципліни:

- технічна термодинаміка;
- системи забезпечення теплового режиму;
- методи програмування на ЕОМ;

Напрями наукових досліджень: інженерний синтез теплоенергетичних систем для об'єктів аерокосмічної техніки.

## 2. Опис навчальної дисципліни

**Семестр, в якому викладається дисципліна** – 2 семестр.

**Обсяг дисципліни:**

2 кредити ЄКТС (60 годин), у тому числі аудиторних – 32 години, самостійної роботи здобувачів – 28 годин.

**Форми здобуття освіти**

Денна, дистанційна.

**Дисципліна** – обов'язкова.

**Види навчальної діяльності** – лекції, самостійна робота здобувача.

**Види контролю** – поточний, та підсумковий (семестровий) контроль (диф. залік).

**Мова викладання** – українська.

**Необхідні обов'язкові попередні дисципліни (пререквізити)** – системи забезпечення теплового режиму, обчислювальна гідромеханіка.

**Необхідні обов'язкові супутні дисципліни (кореквізити)** – моделювання та розрахунок процесів в енергосистемах.

### 3. Мета та завдання навчальної дисципліни.

Вивчення навчальної дисципліни «Системи забезпечення теплового режиму (КП)» полягає в формуванні системи знань, способів діяльності та творчих здібностей з основних теоретичних положень про системний підхід до створення складних теплоенергетичних систем, моделювання теплогідравлічних процесів в складних системах, оптимізації теплоенергетичних систем, а також засвоєння вмінь які б дозволяли на практиці реалізувати ці знання.

#### Завдання

Вміти розраховувати характеристики складної теплогідравлічної системи та її оптимізації.

Після опанування дисципліни здобувач набуде наступні **компетентності**:

- Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
- Здатність діяти соціально відповідально та свідомо.
- Здатність застосовувати та удосконалювати математичні та комп'ютерні моделі, наукові і технічні методи та сучасне комп'ютерне програмне забезпечення для розв'язання складних інженерних задач в теплоенергетиці.
- Здатність застосовувати релевантні математичні методи для розв'язання складних задач в теплоенергетиці.
- Здатність управляти робочими процесами та приймати ефективні рішення у сфері теплоенергетики, беручи до уваги соціальні, економічні, комерційні, правові та екологічні аспекти.
- Здатність приймати рішення щодо матеріалів, обладнання, процесів в теплоенергетиці з урахуванням їх властивостей та характеристик.
- Здатність моделювати теплові, гідродинамічні процеси в енергетичних системах, у тому числі з використанням сучасних обчислювальних методів.
- Здатність до системного аналізу, математичного моделювання системних теплогідравлічних процесів та оптимізації складних теплоенергетичних систем.

Очікується, що після опанування дисципліни здобувачем будуть досягнуті наступні **результати навчання** і він буде:

- Аналізувати, застосовувати та створювати складні інженерні технології, процеси, системи і обладнання відповідно до обраного напрямку теплоенергетики.
- Аналізувати і обирати ефективні аналітичні, розрахункові та експериментальні методи розв'язання складних задач теплоенергетики.
- Розробляти і досліджувати, математичні і комп'ютерні моделі об'єктів та процесів теплоенергетики, перевіряти адекватність моделей, порівнювати результати моделювання з іншими даними та оцінювати їх точність і надійність.
- Приймати ефективні рішення, використовуючи сучасні методи та інструменти порівняння альтернатив, оцінювання ризиків та прогнозування.
- Вільно спілкуватися державною мовою з професійних питань, обговорювати результати виробничої, наукової та інноваційної діяльності з фахівцями та нефхівцями.
- Оцінювати і забезпечувати якість об'єктів і процесів теплоенергетики.
- Аналізувати технологічні схеми і показники ефективності теплоенергетичних систем, що використовуються в авіаційно-космічній техніці, двигунах, системах тепло- та холодопостачання, кондиціонування.
- Вирішувати практичні задачі з тепло- масообміну, теплонапруженого стану з використанням сучасних обчислювальних методів та прикладного комп'ютерного забезпечення.
- Розробляти математичні моделі теплогідравлічних процесів в складних енергетичних системах, у тому числі в системах охолодження двигунів, терморегулювання космічних апаратів, оптимізувати системи.
- Застосовувати моделі теплогідравлічних процесів в багатофазному середовищі для вирішення інженерних задач.

#### **4. Зміст навчальної дисципліни**

При виконанні курсової роботи студенти повинні навчитися розраховувати потікорозподіл в системах теплопереносу, а також набути навичок аналізу впливу різних чинників на статичні характеристики системи теплопереносу, виконувати оптимізацію системи.

## Задачі курсової роботи.

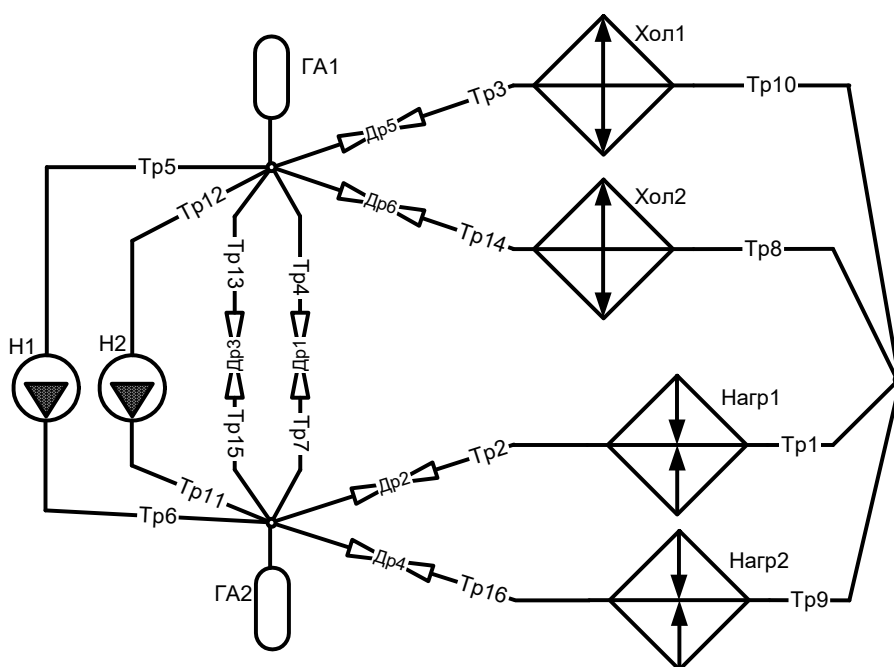
При виконанні курсової роботи необхідно вирішити наступні завдання:

1. Знайти потікорозподіл в системі теплопереносу на номінальному режимі  $Q = Q_{\text{ном}}$  (показати значення термодинамічних і гідравлічних параметрів – тиску  $p$ , температури  $t$ , ентальпії  $i$ , масової витрати  $M$  - в характерних перетинах контуру).
2. Побудувати статичну характеристику системи теплопереносу при зміні теплового навантаження від  $Q_{\text{min}}$  до  $Q_{\text{max}}$  (залежність температури в характерних перетинах від  $Q$ ).

## Вихідні дані.

Наведено приклад вихідних даних. Здобувач може змінити вихідні дані у відповідності до теми майбутньої кваліфікаційної роботи.

1. Схема системи теплопереносу



2. Характеристика елементів.

- а. труба,

№ труби	D, мм	L, м	Місцевий гідроопір
1	14.0	25.0	2 повороти на 90°
2	-	0.0	-
3	10.0	1.0	-
4	10.0	20	Локальний опір (дросель) Др1
5	20.0	2.0	-
6	12.0	10.0	-

7	14.0	10.0	1 поворот на 120°
8	20.0	2.0	-
9	12.0	25.0	2 повороти на 90°, 1 поворот на 30°
10	10.0	1.0	-
11	10.0	1.0	-
12	10.0	1.0	-
13	8.0	20.0	Локальний опір (дросель) ДрЗ
14	10.0	10.0	-
15	-	0.0	-
16	-	0.0	-

b. насос відцентровий; узагальнена характеристика

$$\frac{h}{\alpha^2} = \left( 1.06 + 0.32 \left( 1 - \frac{v}{\alpha} \right) - 0.296 \left( 0.55 - \frac{v}{\alpha} \right)^2 \right),$$

де:  $h = \frac{H}{H_R}$  - безрозмірний напір;  $v = \frac{Q}{Q_R}$  - безрозмірний об'ємна витрата;

$\alpha = \frac{\omega}{\omega_R}$  - безрозмірний частота обертання. При виконанні курсової роботи

прийнять  $\alpha = 1.0$ ;

c. обігрівачі – прямоточна труба довжиною 1 м та діаметром 20 мм з електрообігрівом,  $Q_H$  - задано;

d. холодильники – пласка труба с ізотермічною стінкою; розтин труби: 200×1 мм, довжина труби  $L$  - задана; тепло відводиться через ізотермічну стінку, температура стінки  $t_w$  - задана;

e. гідроаккумулятор підтримує сталий тиск в точці підключення до контуру; тиск  $P_{ГА}$  - задано.

f. робоча речовина – задано.

3. Варіанти схеми:

Варіанти схеми	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Н1	+	+	+	+	+	+	+	+			+		+
Нагр1	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
Хол1	+	+	+	+	+	+	+	+		+			
ГА1	+	+	+	+	+	+	+	+					
Др1	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+

Др2	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
Н2					+	+		+	+	+	+	+	+
Нагр2				+		+			+	+	+	+	+
Хол2			+				+	+	+	+	+	+	+
ГА2									+	+	+	+	+
Др3	+						+		+	+	+	+	+
Др4				+		+			+	+	+	+	+
Др5			+				+	+		+			
Др6			+				+	+		+			

4. Вихідні параметри:



Елемент	Параметри	Варіанти вихідних даних												
		1/14	2/15	3/16	4/17	5/18	6/19	7/20	8/21	9/22	10/23	11/24	12/25	13/26
Нагрівачі	Q <sub>H1</sub> , кВт	27.0/ 7.0	52.0/ 26.0	30.0/ 3.0	28.0/ 14.0	60.0/ 25.0	60.0/ 20.0	36.0/ 50.0	107.0/ 54/0	10.0/ 20.0				
	Q <sub>H2</sub> , кВт				30.0/ 40.0		54.0/ 25.0			15.0/ 30.0	57.0/ 40.0	27.0/ 35.0	65.0/ 50.0	30.0/ 15.0
Насоси	H <sub>R1</sub> , бар	1.5/2.0	1.5/2.0	1.7/3.4	1.7/3.4	2.0/1.5	1.8/1.6	1.4/1.2	1.8/1.5			1.6/1.2		1.8/1.4
	H <sub>R2</sub> , бар					1.7/1.5	1.5/1.7		1.5/1.7	1.5/1.7	1.8/1.5	1.7/1.5	1.9/1.5	1.9/1.5
	Q <sub>R1</sub> , 10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup> /с	0.1/0.2	0.1/0.3	0.12/ 0.14	0.15/ 0.16	0.11/ 0.12	0.11/ 0.14	0.12/ 0.16	0.1/ 0.12			0.15/ 0.12		0.1/ 0.12
	Q <sub>R2</sub> , 10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup> /с					0.09/ 0.12	0.08/ 0.12		0.09/ 0.12	0.09/ 0.14	0.1/ 0.15	0.1/ 0.12	0.11/ 0.2	0.11/ 0.18
Холодильник	T <sub>w1</sub> , °C	-10.0	+20.0	-10.0	+20.0	-10.0	+20.0	-10.0	+20.0		+30.0			
	T <sub>w2</sub> , °C			0.0		0.0		0.0	+30.0	-10.0	+20.0	-10.0	+20.0	-10.0
	L <sub>1</sub> , м	0.75	1.5	1.0	1.5	1.5	3.0	0.7	3.0		1.0			
	L <sub>2</sub> , м			0.7				0.5	2.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.5

Елемент	Параметри	Варіанти вихідних даних												
		1/14	2/15	3/16	4/17	5/18	6/19	7/20	8/21	9/22	10/23	11/24	12/25	13/26
Гидроаккумулятор	$p_{га1}$ , бар	6.0	1.0	6.0	1.0	6.0	1.0	6.0	1.0					
	$p_{га2}$ , бар									8.0	3.0	8.0	3.0	8.0
	Рабочее тело	Фреон-12	Вода	Аміак	Фреон-22	Аміак	Вода	Фреон-152a	Вода	Фреон-245fa	Вода	Аміак	Вода	Аміак
Коефіцієнт місцевого опору дрроселя	$Dr1, 10^7 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{кг}^2}$	25.0	7.0	7.0	7.0	1.7	1.6	15.0	1.5				25.0	6.0
	$Dr2, 10^7 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{кг}^2}$	7.0	7.0	7.0	30.0	1.6	5.5	4.0	1.5	40.0				
	$Dr3, 10^7 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{кг}^2}$	30.0						20.0		7.0	6.0	1.5	30.0	5.5
	$Dr4, 10^7 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{кг}^2}$				25.0		6.0			20.0	6.0	1.5	6.0	1.5

Елемент	Параметри	Варіанти вихідних даних												
		1/14	2/15	3/16	4/17	5/18	6/19	7/20	8/21	9/22	10/23	11/24	12/25	13/26
	$Dp5, 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{кг}^2}$			5.0				1.0	1.0		4.0			
	$Dp6, 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{кг}^2}$			1.0				4.0	4.0		1.0			
	Варіант схеми	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

## Порядок виконання курсової роботи.

1. Накреслити схему системи теплопереносу у відповідності зі своїм варіантом.
2. Розбити схему на розрахункові елементи.
3. Записати систему рівнянь збереження маси, енергії та імпульсу в стаціонарній формі:
4. Замкнути рівняння збереження імпульсу співвідношеннями для розрахунку втрат тиску, напірної характеристикою насоса (див. П. 2, б).
5. Замкнути рівняння збереження енергії співвідношеннями для розрахунку коефіцієнтів теплопередачі, а також термодинамічними і теплофізичними властивостями теплоносія; теплоносій заданий у вихідних даних.
6. Записати повну систему рівнянь, яка описує поточкораспределение в системі теплопереносу і вирішити її чисельно.
7. Змінюючи значення теплоти, що підводиться в нагрівачах, побудувати статичні характеристики системи - залежність термічного опору  $R_T = \frac{T_{\max} - T_w}{Q}$  і теплотранспортної здатності  $\frac{Q \cdot L}{T_{\max} - T_w}$  від підведеної теплоти. Тут:  $T_{\max}$  - максимальна температура теплоносія в контурі, К;  $T_w$  - температура стінки холодильника, К;  $L$  - відстань теплопереносу (розрахувати відповідно до схеми), м;  $Q$  - теплота, Вт.
8. Вибрати та обґрунтувати показники, критерії ефективності.
9. Вибрати метод оптимізації.
10. Виконати оптимізацію.

## Припущення.

1. Термодинамічні і теплофізичні властивості брати на лінії насичення при тиску, відповідному тиску в гідроакумуляторі. В процесі обчислень властивості вважати постійними.
2. Температуру в характерних перетинах розраховувати в залежності від ентальпії  $i$  і тиску  $p$  за такою формулою  $T(i, p) = T_{\text{sat}}(p) + \frac{1}{c_p} (i - i_{\text{sat}}(p))$ .
3. Коефіцієнт теплопередачі  $kF$  вважати постійним по поверхні теплообміну.
4. При розрахунку коефіцієнта тепловіддачі і наведеного коефіцієнта шляхових втрат в якості характерного розміру прийняти гідравлічний діаметр  $D_{\text{hy}} = \frac{4F}{P}$ , де:  $F$  - площа прохідного перетину, м<sup>2</sup>;  $P$  - змочений периметр, м. Швидкість розраховувати відповідно до дійсної площею прохідного перерізу каналу за формулою  $w = \frac{m}{\rho \cdot F}$ , де  $\rho$  - густина, кг/м<sup>3</sup>.

## 5. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

Семестровий контроль (диф. залік) проводиться у вигляді публічного захисту курсового проекту. Для захисту створюється відповідна комісія

Під час захисту студент має можливість отримати максимум 100 балів.

### Якісні критерії оцінювання

Для отримання позитивної оцінки студент повинен захистити курсовий проект та відповісти на усі запитання.

### Критерії оцінювання роботи студента

**Задовільно (60-74).** Курсовий проект має багато помилок. Здобувач погано відповідає на запитання членів комісії.

**Добре (75-89).** Курсовий проект без помилок. Здобувач не відповідає на додаткові запитання.

**Відмінно (90-100).** Курсовий проект без помилок. Здобувач правильно відповідає на усі запитання.

### Шкала оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою	
	Іспит, диференційований залік	Залік
90 – 100	Відмінно	Зараховано
75 – 89	Добре	
60 – 74	Задовільно	
0 – 59	Незадовільно	Не зараховано

### 6. Політика навчального курсу

Відпрацювання пропущених занять відбувається відповідно до розкладу консультацій, за попереднім погодженням з викладачем. Питання, що стосуються академічної доброчесності, розглядає викладач або за процедурою, визначеною у Положенні про академічну доброчесність.

### 7. Методичне забезпечення та інформаційні ресурси

Підручники, навчальні посібники, навчально-методичні посібники, конспекти лекцій, методичні рекомендації з проведення лабораторних робіт тощо, які видані в Університеті знаходяться за посиланням:

• [http://library.khai.edu/catalog?clear\\_all\\_params=0&mode=KNMZ&lang=ukr&caller\\_mode=SearchDocForm&ext=no&theme\\_path=0&themes\\_basket=&ttp\\_themes\\_basket=&disciplinesearch=no&top\\_list=1&fullsearch fld=&author fld=%D0%A0%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2&docname fld=&docname cond=beginwith&theme\\_context=%D0%A0%D1%96%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F+%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B2&theme\\_cond=all theme&theme\\_id=0&is\\_ttp=0&combiningAND=0&step=20&tpage=1](http://library.khai.edu/catalog?clear_all_params=0&mode=KNMZ&lang=ukr&caller_mode=SearchDocForm&ext=no&theme_path=0&themes_basket=&ttp_themes_basket=&disciplinesearch=no&top_list=1&fullsearch fld=&author fld=%D0%A0%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2&docname fld=&docname cond=beginwith&theme_context=%D0%A0%D1%96%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F+%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B2&theme_cond=all theme&theme_id=0&is_ttp=0&combiningAND=0&step=20&tpage=1)

• Сторінка дисципліни знаходиться за посиланням:

<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=1224>

## 8. Інформаційні джерела:

### Базова

1. Системи забезпечення теплового режиму [Елект. ресурс]/ Г. А. Горбенко, П. Г. Гакал. – Навч. посібник.
2. Міца О. В., Лавер В. О. Системний аналіз: навч. - метод. посіб. / О.В. Міца, В.О. Лавер. – Ужгород : вид-во ПП «АУТДОР - ШАРК», 2021. – 63 с.

### Допоміжна

1. Теплові насоси та їх використання [Текст]: навч. посіб./М. К. Безродний, І. І. Пуховий, Д. С. Кутра. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 312 с.
2. Жалдак М. І., Триус Ю. В. Основи теорії і методів оптимізації: Навчальний посібник. - Черкаси: Брама-Україна, 2005. - 608 с.
3. Л.Р. Ладієва. Оптимізація технологічних процесів.: Навчальний посібник. - К.: НМЦ ВО, 2003.- 206 с.

