

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 2021 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 01.09.2021 року****Харків – 2021 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 «30» серпня 2021 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.О. Чечоткін

(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) – моделювання та розрахунок процесів в енергосистемах; обчислювальна гідромеханіка.

Необхідні обов'язкові супутні дисципліни (кореквізити) – системи забезпечення теплового режиму.

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 застосовувати та удосконалювати математичні та комп'ютерні моделі, наукові і технічні методи для розв'язання складних інженерних задач в теплоенергетиці.
- Здатність застосовувати релевантні математичні методи для розв'язання складних задач в теплоенергетиці.
- Здатність до системного аналізу, математичного моделювання теплогідравлічних процесів та оптимізації складних теплоенергетичних систем.

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

- Здійснювати аналіз, застосовувати та створювати складні інженерні технології, процеси, системи і обладнання відповідно до обраного напрямку теплоенергетики.
- Аналізувати і обирати ефективні аналітичні, розрахункові методи розв'язання складних задач теплоенергетики.
- Відшуковувати необхідну інформацію з різних джерел, оцінювати, обробляти та аналізувати цю інформацію.

- Розробляти і досліджувати математичні і комп'ютерні моделі об'єктів та процесів теплоенергетики.
- Розробляти математичні моделі теплогідравлічні процесів в системах терморегулювання космічних апаратів, оптимізувати системи.

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.

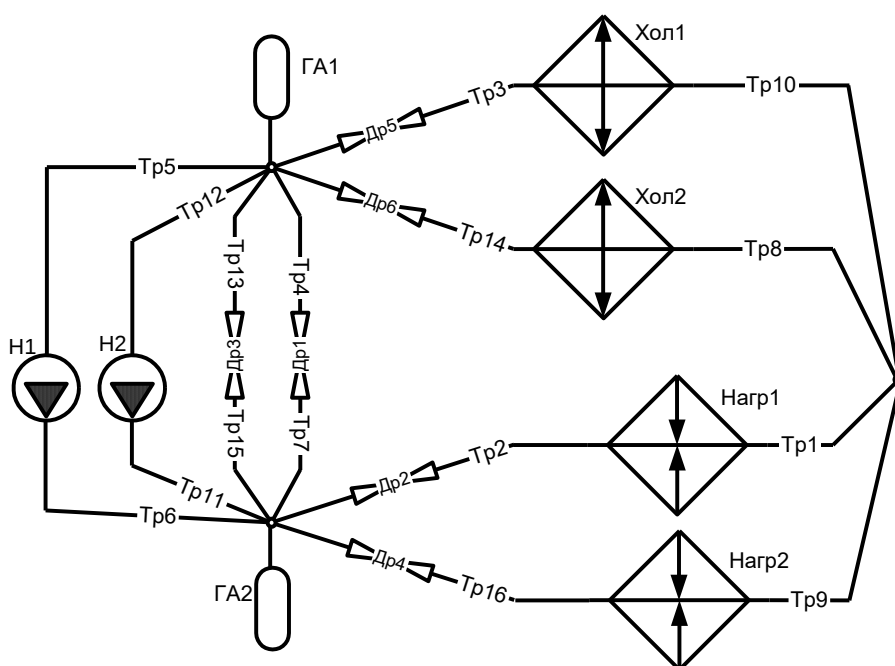
При виконанні курсової роботи необхідно вирішити наступні завдання:

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_{min} до Q_{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) Др3
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

приймають $\alpha = 1.0$;

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 $P_{ГД}$ - 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_{H1} , 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_{H2} , 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_{R1} , 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_{R2} , 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_{R1} , $10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$	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_{R2} , $10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$					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_{w1} , °C	-10.0	+20.0	-10.0	+20.0	-10.0	+20.0	-10.0	+20.0		+30.0			
	T_{w2} , °C			0.0		0.0		0.0	+30.0	-10.0	+20.0	-10.0	+20.0	-10.0
	L_1 , м	0.75	1.5	1.0	1.5	1.5	3.0	0.7	3.0		1.0			
	L_2 , 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 дроселя	$Dp1, 10^7 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{кг}^2}$	25.0	7.0	7.0	7.0	1.7	1.6	15.0	1.5				25.0	6.0
	$Dp2, 10^7 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{кг}^2}$	7.0	7.0	7.0	30.0	1.6	5.5	4.0	1.5	40.0				
	$Dp3, 10^7 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{кг}^2}$	30.0						20.0		7.0	6.0	1.5	30.0	5.5
	$Dp4, 10^7 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{кг}^2}$				25.0		6.0			20.0	6.0	1.5	6.0	1.5
	$Dp5, 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{кг}^2}$			5.0				1.0	1.0		4.0			

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
	$Др6, 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{кг}^2}$			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 гідроакумулятор. 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, м²; P - змочений периметр, м. Швидкість розраховувати відповідно до дійсної площею прохідного перерізу каналу за формулою $w = \frac{m}{\rho \cdot F}$, де ρ - густина, кг/м³.

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=&disciplinerearch=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:

1. Системи забезпечення теплового режиму/ П. Г. Гакал, Г. О. Горбенко. – Конспект лекцій. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 2014. – 70 с. (Эл. ресурс).
2. Теплогидравлический расчет контура теплопереноса с принудительной циркуляцией теплоносителя/ В. Н. Блинков, Г. А. Горбенко, П. Г. Гакал. – Учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 2000. – 48 с.
3. Стационарное потокораспределение в контуре теплопереноса/ Г. А. Горбенко, П. Г. Гакал. – Учеб. пособие по лабораторной работе. – Харьков: Гос. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2014. – 34 с.
4. Путевые потери давления в двухфазном потоке/ Г. А. Горбенко, П. Г. Гакал. – Учеб. пособие по лабораторной работе. – Харьков: Гос. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007. – 22 с.
5. Оптимизация в технике: В 2-х кн. Кн.1. Пер. с англ./ Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсдел. – М.: Мир, 1986. – 349 с. [Стор. 37 – 78, 79 – 132]