


Міністерство освіти і науки України  
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра

Аерокосмічної теплотехніки (№ 205)  
(назва кафедри)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Керівник проектної групи



(підпис)

П. Г. Гакал

(ініціали та прізвище)

« 30 » серпня 2019 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ  
(назва навчальної дисципліни)

**Галузь знань**

14 «Електрична інженерія»

(шифр і найменування галузі знань)

**Спеціальність:**

144 «Теплоенергетика»

(код та найменування спеціальності)

**Освітня програма:**

«Енергетичний менеджмент»

(найменування освітньої програми)

**Рівень вищої освіти**

другий (магістерський)

(рівень освіти)

Харків 2019 рік

Робоча програма

Системи забезпечення теплового режиму

(назва дисципліни)

для студентів за  
спеціальністю:

144 «Теплоенергетика»

(код та найменування спеціальності)

Освітньою  
програмою:

«Енергетичний менеджмент»

(назва освітньої програми)

« 5 »

червня.

2019 р.

9

с.

Розробник: Гакал П. Г. зав. каф. аерокосмічної  
теплотехніки (205) д. т. н., доцент

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



(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри

Аерокосмічної теплотехніки (№ 205)

(назва кафедри)

Протокол № 9 від « 21 » червня 2019 р.

Завідувач кафедри д.т.н., професор

(наукова ступінь  
та вчене звання)



(підпис)

П.Г. Гакал

(ініціали та прізвище)

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки (спеціальність, спеціалізація), рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		Денна форма навчання
Кількість кредитів – 4	<p><b>Галузь знань</b> <i>14 «Електрична інженерія»</i> (шифр та найменування)</p> <p><b>Спеціальність:</b> <i>144 «Теплоенергетика»</i> (код та найменування)</p> <p><b>Освітня програма:</b> <i>«Енергетичний менеджмент»</i> (найменування)</p> <p><b>Рівень вищої освіти:</b> <i>другий (магістерський)</i></p>	Цикл професійної підготовки
Кількість модулів – 1		<b>Навчальний рік</b>
Кількість змістових модулів – 2		2018/2019
Індивідуальне завдання: - не передбачено		<b>Семестр</b>
Загальна кількість годин – 32/88		2-й
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2 самостійної роботи студента – 5,5		<b>Лекції *</b>
		32 годин
		<b>Практичні, семінарські</b>
		0 годин
		<b>Лабораторні</b>
	0 годин	
	<b>Самостійна робота</b>	
	88 години	
	<b>Вид контролю</b>	
	іспит	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить –  $32/88=0.36$ .

1) Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину в залежності від розкладу занять.

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни.

**Мета навчання:** придбання знань, вмінь і навичок, що дозволять виявляти наукову сутність проблем у професійній сфері, знаходити адекватні шляхи щодо їх розв'язання, досліджувати проблеми з використанням системного аналізу, синтезу, комп'ютерного моделювання та методів оптимізації, розроблювати, застосовувати та удосконалювати математичні моделі для вирішення інженерних завдань в теплоенергетичній галузі.

**Завдання:** У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен:

**Знати:** базові знання в галузі математичного моделювання теплогідравлічних процесів як в типових елементах систем забезпечення теплового режиму, так і в системі в цілому, типових технологічних схемах систем, що використовуються в аерокосмічній та енергетичній галузі.

**Вміти:**

- розраховувати теплогідравлічні характеристики елементів з простою і складною схемою циркуляції теплоносія;

- аналізувати технологічні схеми і показники роботи систем забезпечення теплового режиму, складати схеми і розраховувати характеристики систем з метою підвищення їх ефективності і економічності роботи.

**Програмні результати навчання.** У результаті вивчення дисципліни студент повинен:

- продемонструвати знання і розуміння професійних дисциплін з газодинаміки, тепло - та масообміну, технічної термодинаміки, міцності, теплотехнічних процесів та обладнання;
- здатність обирати, аналізувати і розробляти придатні типові аналітичні, та розрахункові методи; аналізувати результати таких досліджень;
- розробляти, проектувати, модернізувати і аналізувати складні системи, що задовольняють встановленим вимогам;
- продемонструвати розуміння та практичні навички з вибору та обґрунтування застосування матеріалів, обладнання.

### 3. Програма навчальної дисципліни

#### Модуль 1. Сфери застосування СЗТР. Математичне та фізичне моделювання процесів в СЗТР. Оптимізація СЗТР.

**Змістовний модуль 1.** «Забезпечення теплових режимів літальних апаратів, енергоустановок, технологічних процесів, об'єктів життєдіяльності».

**Тема 1.** Вступ. Предмет і метод дисципліни та її значення для формування спеціалістів зі спеціальностей «Енергетичний менеджмент».

Що таке система забезпечення теплового режиму (СЗТР)? Призначення і сфери застосування СЗТР. Приклади СЗТР. Цілі вивчення дисципліни. Задачі, що вирішуються СЗТР. Способи забезпечення теплових режимів. Класифікація СЗТР.

**Тема 2.** Проектувальний розрахунок, розрахунок характеристик СЗТР

Технічні вимоги, що висуваються до СЗТР. Критерії і показники ефективності СЗТР. Задачі проектувального розрахунку і розрахунку характеристик СЗТР.

**Тема 3.** СЗТР та навколишнє середовище.

Структура СЗТР. СЗТР і навколишнє середовище. Внутрішні і зовнішні джерела (стік) тепла на космічних апаратах. Засоби регулювання температурного режиму.

**Змістовний модуль 2.** Математичне і фізичне моделювання СЗТР. Оптимізація СЗТР.

**Тема 4.** Системний підхід при моделюванні СЗТР.

Основні етапи системного підходу. Загальні принципи і етапи математичного моделювання СЗТР. Вимоги до математичних моделей.

**Тема 5.** Математичне моделювання теплогідравлічних процесів в СЗТР.

Математичне моделювання розгалужених СЗТР. Система рівнянь для моделювання СЗТР. Ідеалізовані елементи (контрольний об'єм, гілка, тепловий вузол, тепловий провідник). Нодалізаційна схема. Рівняння законів збереження для ідеалізованих елементів. Математичні моделі елементів СЗТР (насос, трубопровід, теплообмінник, тепловий та гідравлічний акумулятор та ін.).

**Тема 6.** Оптимізація СЗТР

Методи оптимізації. Класифікація методів оптимізації. Безградієнтні, градієнтні методи оптимізації. Багатопараметрична оптимізація.

#### 4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	денна форма				
	Усього	у тому числі			
л		п	лаб.	с.р.	
1	2	3	4	5	6
<b>Модуль 1</b>					
<b>Змістовий модуль 1</b>					
<b>«Забезпечення теплових режимів літальних апаратів, енергоустановок, технологічних процесів, об'єктів життєдіяльності»</b>					
Вступ. Що таке СЗТР? Призначення і сфери застосування СЗТР. Приклади СЗТР. Цілі вивчення дисципліни.	2	2	0	0	0
Тема 1. Задачі, що вирішують СЗТР, класифікація СЗТР, способи забезпечення теплового режиму.	7	2	0	0	5
Тема 2. Технічні вимоги, що висуваються до СЗТР, критерії та показники ефективності СЗТР. Задачі проектувального розрахунку та розрахунку характеристик СЗТР.	19	4	0	0	15
Тема 3. Структура СЗТР. Внутрішні та зовнішні джерела теплоти на космічних апаратах. Способи регулювання температурного режиму.	24	4	0	0	20
<b>Модульний контроль</b>	<b>2</b>	<b>2</b>			
<b>Разом</b>	<b>54</b>	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>40</b>
<b>Змістовий модуль 2</b>					
<b>«Математичне моделювання теплогідролічних процесів в СЗТР. Оптимізація СЗТР»</b>					
Тема 4. Системний підхід до моделювання СЗТР. Основні етапи системного підходу. Вимоги до математичних моделей.	12	4	0	0	8
Тема 5. Математичне моделювання розгалужених СЗТР. Система рівнянь для моделювання СЗТР. Ідеалізовані елементи (контрольний об'єм, гілка, тепловий вузол, тепловий провідник). Нодалізаційна схема. Рівняння законів збереження для ідеалізованих елементів. Математичні моделі елементів СЗТР (насос, трубопровід, теплообмінник, тепловий та гідравлічний акумулятор та ін.).	26	6	0	0	20
Тема 6. Методи оптимізації. Класифікація методів оптимізації. Безградієнтні, градієнтні методи оптимізації. Багатопараметрична оптимізація.	26	6	0		20
<b>Модульний контроль</b>	<b>2</b>	<b>2</b>			
<b>Разом</b>	<b>66</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>48</b>
<b>Разом з дисципліни</b>	<b>120</b>	<b>32</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>88</b>

5. Теми семінарських занять (навчальним планом не передбачені)

6. Теми практичних занять (навчальним планом не передбачені)

7. Теми лабораторних занять (навчальним планом не передбачені)

## 8. Самостійна робота:

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Тема 1. Задачі, що вирішують СЗТР, класифікація СЗТР, способи забезпечення теплового режиму.	5
2	Тема 2. Технічні вимоги, що висуваються до СЗТР, критерії та показники ефективності СЗТР. Задачі проектувального розрахунку та розрахунку характеристик СЗТР.	15
3	Тема 3. Структура СЗТР. Внутрішні та зовнішні джерела теплоти на космічних апаратах. Способи регулювання температурного режиму.	20
4	Тема 4. Системний підхід до моделювання СЗТР. Основні етапи системного підходу. Вимоги до математичних моделей.	8
5	Тема 5. Математичне моделювання розгалужених СЗТР. Система рівнянь для моделювання СЗТР. Ідеалізовані елементи (контрольний об'єм, гілка, тепловий вузол, тепловий провідник). Нодалізаційна схема. Рівняння законів збереження для ідеалізованих елементів. Математичні моделі елементів СЗТР (насос, трубопровід, теплообмінник, тепловий та гідравлічний акумулятор та ін.).	20
6	Тема 6. Методи оптимізації. Класифікація методів оптимізації. Безградієнтні, градієнтні методи оптимізації. Багатопараметрична оптимізація.	20
	<b>Разом</b>	<b>88</b>

Сутністю самостійної роботи над матеріалом модулю є опрацювання лекційних тем за допомогою підручників та формулювання відповідей на запитання з цих тем, що задає викладач у поточному режимі. Цей розділ передбачає 88 години самостійної підготовки, з них на підготовку до занять 80 годин, підготовка до поточного зрізу та участь в ньому – 22 години.

## 9. Індивідуальні завдання

Не передбачені

## 10. Методи навчання

Навчання проводиться в аудиторній формі (лекції) та самостійно.

## 11. Методи контролю

Контроль виконується у вигляді поточного семестрового контролю під час здачі змістовних модулів.

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

### 12.1. Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання)

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів	
<b>Змістовний модуль 1</b>				
Робота на лекціях	0...1	8	0	8
Модульний контроль	30...40	1	30	40
<b>Змістовний модуль 2</b>				
Робота на лекціях	0...1	8	0	8
Модульний контроль	30...44	1	30	44
Усього за семестр:			60	100

Семестровий контроль (іспит/залік) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту/заліку.

Під час складання семестрового іспиту студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту/заліку складається з 4 теоретичних, у відповідності до модуля, та двох практичних завдань. Максимальна сума балів за теоретичні запитання є 60, за практичні – 40 балів.

## 12.2. Якісні критерії оцінювання

Для отримання позитивної оцінки студент повинен отримати знання, які дозволять розробляти математичні моделі теплогідрравлічних процесів в теплоенергетичних об'єктах та застосовувати їх при проектуванні.

Студент повинен вміти:

- розраховувати характеристики СЗТР;
- визначати внутрішні і зовнішні джерела (стік) тепла на космічних апаратах;
- розробляти математичні моделі теплогідрравлічних процесів як окремих елементів СЗТР, так і системи в цілому;
- проводити оптимізацію системи як відносно одного, так і декількох параметрів.

## 12.3. Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

**Задовільно (60-74).** Показати мінімум знань та умінь. Здати тестування.

Знати способи забезпечення теплового режиму, технічні вимоги до СЗТР, критерії та показники ефективності СЗТР; знати внутрішні та зовнішні джерела теплоти на космічних апаратах, рівняння законів збереження, адаптованих до умов моделювання СЗТР, загальні методи оптимізації.

Уміти: визначати та формулювати показники та критерії ефективності СЗТР, розраховувати внутрішні та зовнішні джерела теплоти на космічних апаратах, розробляти математичні моделі теплогідрравлічних процесів в елементах СЗТР та всієї СЗТР в цілому, проводити параметричну оптимізацію відносно одного параметру.

**Добре (75-89).** Твердо знати мінімум. Уміти: розробляти математичні моделі теплогідрравлічних процесів для всієї СЗТР. Проводити багатопараметричну оптимізацію з використанням розроблених моделей СЗТР.

**Відмінно (90-100).** Здати всі модулі з оцінкою «відмінно». Досконально знати всі теми та уміти застосовувати їх.

### 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

### 13. Методичне забезпечення

1. 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.
2. 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.
3. 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.

### 14. Рекомендована література

#### Базова

1. Малоземов В. В., Рожнов В.Ф., Правецкий В. Н. Системы жизнеобеспечения экипажей летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 2003, -584с.
2. Основы синтеза летательных аппаратов./ Под редакцией А. А. Лебедева. - М.: Машиностроение, 2000, - 224 с.
3. Гликман Б. Ф. Математические модели пневмогидравлических систем. - М.: Наука, 2009, -368с.
4. Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей. /Под общей редакцией В. Я. Хасилева и А. П. Меренкова. - М.: Энергия, 1978, -176 с.
5. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике. /Под редакцией В. К. Кошкина.- М.: Машиностроение, 2014, -624с.

#### Допоміжна

1. Куландин А. А., Тимашев С. В., Атамасов В. Д., Борзилов Б. М., Герасименко П. В., Сырцов Л. А. Основы теории конструкции и эксплуатации космических ЯЭУ. - Л.: Энергоатомиздат, 1987, -328с.

### 15. Інформаційні ресурси

[www.k205.khai.edu](http://www.k205.khai.edu)

#### Питання з дисципліни система забезпечення теплового режиму (СЗТР)

галузь знань: 14 «Електрична інженерія»

спеціальність: 144 «Теплоенергетика»

Освітньо-професійна програма – Енергетичний менеджмент

1. Для вирішення яких задач застосовують СЗТР?
2. Які існують способи забезпечення теплових режимів?
3. Привести та охарактеризувати принципові схеми СЗТР, які використовуються в авіації та космонавтиці.



4. Дати загальну характеристику елементам та підсистемам СЗТР.
5. Принцип дії пасивних СЗТР – теплових труб, термосифонів.
6. Дайте ознаки, за якими проводиться класифікація СЗТР.
7. Охарактеризуйте первинну постановку задачі; особливості процесу постановки задачі синтезу СЗТР.
8. Вкажіть основні етапи початкової стадії синтезу СЗТР.
9. Охарактеризуйте технічні вимоги, що висувуються до СЗТР.
10. Охарактеризуйте вимоги до показників та критеріїв ефективності СЗТР.
11. Назвіть стратегії «згортання» показників ефективності СЗТР.
12. Охарактеризуйте основні етапи проектувального розрахунку СЗТР.
13. Як розраховують характеристики СЗТР?
14. Охарактеризуйте призначення підсистем СЗТР.
15. Що необхідно враховувати під час аналізу взаємодії СЗТР з оточуючим середовищем?
16. Охарактеризуйте зовнішні джерела теплоти космічного апарату.
17. Охарактеризуйте поняття рівноважної температури оточуючого середовища по відношенню до космічного апарату.
18. Охарактеризувати пристрої для відведення теплоти у космосі.
19. Метеоритна вразливість та її вплив на вибір параметрів випромінювача.
20. Особливості випромінювача з тепловими трубами.
21. Від чого залежать зовнішні джерела теплоти космічного апарату? Як вони розраховуються?
22. Охарактеризуйте необхідність реалізації системного підходу при розробці СЗТР.
23. Дайте характеристику етапам системного підходу.
24. Охарактеризуйте математичні моделі, які використовуються при розробці СЗТР.
25. Перерахуйте вимоги до математичних моделей та дайте визначення кожної вимоги.
26. Дайте визначення законів збереження для суцільного середовища.
27. Запишіть рівняння законів збереження суцільного середовища в інтегральній формі.
28. Вкажіть припущення, які використовуються під час трансформації рівнянь законів збереження до вигляду, який використовується при системному підході.
29. Охарактеризуйте ідеалізовані елементи, та запишіть рівняння, якими вони описуються.
30. Дайте визначення нодалізаційній схемі.
31. Запишіть систему рівнянь, з використанням ідеалізованих елементів, що описують основні елементи СЗТР: насос, трубопровід, теплообмінник, тепловий та гідравлічний акумулятор.
32. Сформулювати математичну модель контуру переносу теплоти в складі СЗТР.
33. Охарактеризувати числові методи, які використовуються в математичних моделях СЗТР (стаціонарних та нестаціонарних).
34. Дайте класифікацію методів оптимізації.
35. Охарактеризуйте основні етапи метода оптимізації «половинного ділення».
36. Охарактеризуйте основні етапи метода оптимізації «золотого розділення».
37. Охарактеризуйте основні етапи метода оптимізації Пауелла.
38. Охарактеризуйте основні етапи метода оптимізації «Найшвидшого спуску».
39. Охарактеризуйте основні етапи метода оптимізації Ньютона.
40. Охарактеризуйте основні етапи симплекс-метода багатопараметричної оптимізації.
41. Охарактеризуйте та проілюструйте прикладами застосування однопараметричних та багатопараметричних методів оптимізації при синтезі СЗТР.