

Державне підприємство  
"Конструкторське бюро "Південне" імені М.К. Янгеля"

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. Генерального директора  
ДП "КБ "Південне"

Михайло БОНДАК

" 16 " 09 2024 р

**РОБОЧА ПРОГРАМА**

**навчальної дисципліни**

**"Гідродинамічні процеси та пристрої в системах живлення РН і КА"**

Рівень вищої освіти третій

Ступінь вищої освіти доктор філософії  
(назва ступеня вищої освіти)

Галузь знань 13 Механічна інженерія  
(шифр та назва галузі знань)

Спеціальність 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка

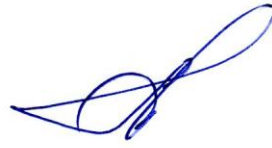
Лекції	– 36	Залік	– 4 семестр
Практичні роботи	– 22		
Самостійна робота	– 62		
Усього (годин/кредитів ECTS)	– 120/4		

Робоча програма обговорена та схвалена на засіданні науково-методичної ради Центру 2 ДП "КБ "Південне", протокол № 5 від 12.08.2024

2024

Робочу програму навчальної дисципліни "Гідродинамічні процеси та п  
строї в системах живлення РН і КА" розроблено на основі освітньо-науко  
програми та навчального плану підготовки здобувачів освітнього ступеня док  
філософії за спеціальністю 134 "Авіаційна та ракетно-космічна техніка".

Генеральний конструктор -  
перший заступник  
Генерального директора



Максим ДЕГТЯРС

Учений секретар -  
начальник Центру 2



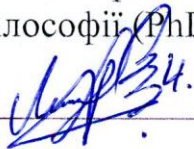
Лариса ПОТАПОВІ

/Завідувач аспірантури



Ніна ЗИКОВА

Розробник програми,  
член групи забезпечення освітнього процесу,  
начальник сектора ЛСНД-216 ДП "КБ "Південне",  
доктор філософії (PhD)



Олександр МІНАЙ

## ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	4
1 ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА.....	5
1.1 Мета викладання дисципліни.....	5
1.2 Задачі вивчення дисципліни.....	5
1.3 Міждисциплінарні зв'язки дисципліни.....	5
2 ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ.....	7
2.1 Лекційний курс.....	7
2.2 Структура дисципліни.....	9
2.3 Теми практичних занять.....	9
2.4 Самостійна робота.....	10
3 НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ З ДИСЦИПЛІНИ.....	11
3.1 Методи навчання.....	11
3.2 Рекомендована література.....	11
3.3 Інформаційні ресурси в Інтернеті.....	12
4 РЕЙТИНГОВА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ.....	13

## ВСТУП

Робочу програму навчальної дисципліни "Гідродинамічні процеси та пристрої в системах живлення РН і КА" розроблено на основі стандартів освітньої діяльності згідно Закону України "Про вищу освіту" № 1556-VII від 01.07.2014 та інших нормативних документів МОН України.

Робоча програма розрахована на читання лекцій та проведення практичних занять з аспірантами, які здобувають науковий ступень доктора філософії (PhD) за спеціальністю 134 "Авіаційна та ракетно-космічна техніка". Наведені в робочій програмі науково-практичні матеріали ознайомлять аспірантів з накопиченим інженерним досвідом та допоможуть в засвоєнні його прогресивних методів на практичних прикладах.

Після ознайомлення з основами загальної гідродинаміки (кінематики і динаміки ідеальної і в'язкої рідини, елементами теорії подібності, теорії пограничного шару і розрахунку динамічних систем), докладно описано гідродинамічні процеси, що відбуваються при русі рідини в гідравлічних системах живлення рушійних установок ракет-носіїв і космічних апаратів, надано відомості про основні типи конструкцій пристроїв, які забезпечують постачання суцільного потоку рідини до рушійних установок (забірні пристрої та засобів забезпечення суцільності палива) тощо, викладено сучасні наукові концепції, поняття і методи їх проектування, конструювання, моделювання та експериментального відпрацювання.

Матеріали навчальної дисципліни корисні та доцільні у діяльності наукових співробітників та інженерів авіаційної і ракетно-космічної галузі, а також можуть служити базовим підручником для самоосвіти.

# 1 ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

## 1.1 Мета викладання дисципліни

Мета викладання дисципліни – ознайомити здобувачів з основами загальної гідродинаміки, надати уявлення про теоретичні основи протікання гідродинамічних процесів при русі рідини в гідравлічних системах живлення рушійних установок (РУ) ракет-носіїв (РН) і космічних апаратів (КА), ознайомити з основними типами конструкцій пристроїв, що забезпечують постачання суцільного потоку рідини до РУ (забірних пристроїв (ЗП) та засобів забезпечення суцільності палива (ЗЗСП)) тощо, ознайомити з сучасними науковими концепціями, поняттями і методами їх проектування та конструювання. А також надати основні відомості про гідродинамічну подібність при моделюванні гідрофізичних явищ в процесі експериментальних випробувань окремих елементів, вузлів та систем пневмогідравлічної системи подачі (ПГСП).

## 1.2 Задачі вивчення дисципліни

Задачами вивчення навчальної дисципліни є:

- ознайомлення з основами загальної гідродинаміки;
- набуття навичок застосування методів математичної фізики при вирішенні задач гідродинаміки;
- набуття знань про основні критерії вибору та застосування ЗП і ЗЗСП, методи та математичний апарат для визначення їх проектних параметрів;
- оволодіння методами та методиками проектування та конструювання окремих елементів, вузлів та систем ПГСП;
- оволодіння методами моделювання гідродинамічних процесів при експериментальному випробуванні окремих елементів, вузлів та систем ПГСП;
- набуття знань про методики, обладнання та стенди для наземного експериментального випробування окремих елементів, вузлів та систем ПГСП;
- набуття знань про методи чисельного моделювання гідродинамічних процесів за допомогою сучасних програм обчислювальної гідродинаміки – CFD моделювання.

У результаті вивчення даної навчальної дисципліни здобувач повинен бути компетентний щодо існуючих методів розв'язання основних задач гідродинаміки в системах живлення РН і КА та пристроїв, що застосовуються для живлення РУ рідкими ракетними паливами, методик, обладнання та стендів для їх наземного експериментального випробування та сучасного чисельного моделювання.

## 1.3 Міждисциплінарні зв'язки дисципліни

Міждисциплінарні зв'язки навчальної дисципліни з другими дисциплінами:

- "Основні принципи проектування та конструювання ракет-носіїв, космічних апаратів та їх систем";
- "Сучасні засоби проектування та конструювання ракетно-космічної техніки";
- "Основи гідрогазодинаміки";
- "Проектування систем живлення літальних апаратів";
- "Пневмогідравлічні системи";

- "Капілярні системи відбору рідини з баків космічних літальних апаратів";
- "Автономне експериментальне відпрацювання агрегатів і систем пневмо-гідросистем постачання рідкісних ракетних рушійних установок".
- "Чисельне рішення задач гідродинаміки".
- "Дослідницька практика".

## 2 ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Лекційні матеріали курсу "Гідродинамічні процеси та пристрої в системах живлення РН і КА" структуровані за темами, які є логічно завершені та цілісні з навчальної дисципліни, засвоєння яких передбачає проведення заліку.

### 2.1 Лекційний курс

#### **Тема 1.** Основи загальної гідродинаміки

- Визначення гідравліки, її метод і місце, яке вона займає серед інших дисциплін.
- Головні фізичні властивості рідин та сили, які діють в них.
- Гідростатичні закони для рідини, яка знаходиться в «абсолютному» спокої.
- Загальні поняття гідродинаміки (ламінарний та турбулентний рух рідини; рух, що встановився і невстановлений рух; поняття о місцевій осередненій швидкості; лінії струму; вихровий та безвихровий рух).
- Основні рівняння гідродинаміки.
- Динаміка потоку.
- Гідравлічний опір.
- Ламінарний рух.
- Основи гідродинамічної теорії змащення.
- Турбулентний рух.
- Місцевий опір.
- Віткання рідини через отвори та насадки.

#### **Тема 2.** Гідродинамічні процеси при русі рідини в гідравлічних системах живлення РУ РН і КА

- Гідродинамічні процеси в паливних баках РН і КА.
- Гідродинаміка витратних магістралей.
- Кавітаційні характеристики елементів ПГСП.
- Процеси в об'ємі, що заповнюється під час запуску двигуна.
- Гідравлічний удар в елементах ПГСП.
- Процес перетікання компонентів палива з секційних баків.
- Вплив конструкції та розміщення окремих елементів ПГСП на гідравлічний опору.
- Гідродинаміка в умовах невагомості.

#### **Тема 3.** Пристрої, що забезпечують постачання суцільного потоку рідини до РУ

- Забірні пристрої.
- Проектування та розрахунок основних робочих параметрів забірних пристроїв.
- Забезпечення запуску РУ в умовах невагомості.
- Класифікація, основні типи конструкцій та призначення капілярних засобів забезпечення суцільності палива.

- Проектування та розрахунок основних робочих параметрів капілярних засобів забезпечення суцільності палива.
- Особливості забезпечення суцільності кріогенних палив при запуску РУ в умовах невагомості.
- Вплив на основні робочі параметри капілярних засобів забезпечення суцільності палива їх тривалої експлуатації в системах живлення РУ, які працюють на хімічно агресивних, висококиплячих компонентах палива.
- Демпфіруючі пристрої.

#### **Тема 4.** Експериментальні випробування окремих елементів ПГСП

- Моделювання при експериментальних випробуваннях окремих елементів ПГСП. Гідравлічна подоба.
- Експериментальні випробування забірних пристроїв та витратних магістралей.
- Експериментальні випробування капілярних засобів забезпечення суцільності палива.
- Визначення фактичної капілярної утримуючої здатності сітчастих розділювачів фаз капілярних засобів забезпечення суцільності палива.

#### **Тема 5.** Загальні поняття про методи чисельного моделювання гідродинамічних процесів за допомогою сучасних програм обчислювальної гідродинаміки (CFD моделювання)

- Вплив на процеси проектування та експериментальних випробувань методів чисельного моделювання, на прикладі окремих елементів ПГСП.
- Загальний підхід до чисельного рішення рівнянь математичної фізики.
- Елементи загальної теорії побудови сіток.
- Приклад чисельного моделювання турбулентної течії в'язкої нестисливої рідини в витратній магістралі за допомогою обчислювального пакету ANSYS Fluent.



## 2.2 Структура дисципліни

№ пор.	Назва теми	Обсяг навчальних занять (год.)			
		Усього	Лекції	Практич.	СР
1	<b>Тема 1.</b> Основи загальної гідродинаміки	40	12	10	18
2	<b>Тема 2.</b> Гідродинамічні процеси при русі рідини в гідравлічних системах живлення РУ РН і КА	26	8	6	12
3	<b>Тема 3.</b> Пристроїв, що забезпечують постачання суцільного потоку рідини до РУ	24	8	4	12
4	<b>Тема 4.</b> Експериментальні випробування окремих елементів ПГСП	14	4	-	10
5	<b>Тема 5.</b> Загальні поняття про методи чисельного моделювання гідродинамічних процесів за допомогою сучасних програм обчислювальної гідродинаміки (CFD моделювання)	14	4	2	8
	Залік	2	-	-	2
	<b>Усього за навчальною дисципліною</b>	<b>120</b>	<b>36</b>	<b>22</b>	<b>62</b>

## 2.3 Теми практичних занять

№ пор.	Назва теми	Кількість аудиторних годин
1	Рішення типових задач гідростатики та гідродинаміки з використанням основних розрахункових залежностей та необхідних довідкових даних	10
2	Визначення основних гідравлічних параметрів окремих елементів системи живлення РУ літального апарата	6
3	Визначення концептуальної конструктивної схеми забірних пристроїв та засобів забезпечення суцільності палива	4
4	Постановка та рішення задач гідродинаміки за допомогою обчислювального пакету ANSYS Fluent	2
	<b>Усього практичних занять</b>	<b>22</b>

## 2.4 Самостійна робота

№ пор.	Назва теми	Кількість годин
1	Опрацювання лекційного матеріалу за темою 1	14
	Опрацювання лекційного матеріалу за темою 2	10
	Опрацювання лекційного матеріалу за темою 3	10
	Опрацювання лекційного матеріалу за темою 4	2
	Опрацювання лекційного матеріалу за темою 5	2
2	Опрацювання додаткового навчального матеріалу за темою – «Моделювання гідродинамічних процесів при експериментальному випробуванні окремих елементів, вузлів та систем ПГСП»	6
	Опрацювання додаткового навчального матеріалу за темою – «Побудова 2D та 3D геометрії розрахункової області (моделі) з використанням САД систем, для чисельного моделювання»	6
3	Підготовка звіту з самостійної роботи	10
4	Залік	2
<b>Усього самостійної роботи</b>		<b>62</b>

## 3 НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ З ДИСЦИПЛІНИ

### 3.1 Методи навчання

Для більш ефективного засвоєння навчального матеріалу під час вивчення дисципліни з метою активізації навчально-пізнавальної діяльності здобувачів може бути застосоване опитування по матеріалам лекцій, розробка і презентація здобувачами матеріалів навчальної дисципліни, демонстрація на лекціях слайдів та відео, застосування діалогу між викладачем та здобувачами під час лекцій, використання принципу індивідуального підходу до здобувачів.

### 3.2 Рекомендована література

- Давидсон В.Е. Основы гидрогазодинамики в примерах и задачах: Учеб. пособие. – Днепр: Изд-во ДНУ. 2006. – 380 с.
- Девідсон В.Є. Вступ до гідродинаміки. Підручник. – Дніпро: Вид-во ДНУ. 2004. – 216 с.
- Латышенков А.М., Лобачев В.Г. Гидравлика. – М.: Гос. издат. по строит. и архитект. 1956. – 409 с.
- Агроскин И.И. Гидравлика. – М.-Л.: Изд-во «Энергия». 1964. – 352 с.
- Большаков В.А. Сборник задач по гидравлике. – Киев: Изд-во «Высшая школа». 1975. – 300 с.
- Альтшуль А.Д. Примеры расчетов по гидравлике. – М.: Стройиздат. 1977. – 255 с.
- Беляев Н.М. Расчет пневмогидравлических систем ракет – М.: Машиностроение, 1983. – 219 с.
- Беляев Н.М., Белик Н.П., Уваров Е.И. Реактивные системы управления космических летательных аппаратов – М.: Машиностроение, 1979 – 232 с.
- Козлов А.А., Новиков В.Н., Соловьев Е.В. Системы питания и управления жидкостных ракетных двигательных установок – М.: Машиностроение, 1988. – 352 с.
- Колесников К.С., Рыбак С.А., Самойлов Е.А. Динамика топливных систем ЖРД – М.: Машиностроение, 1975 – 172 с.
- Пневмогидравлические системы двигательных установок с жидкостными ракетными двигателями. Под ред. Академика В.Н. Челомея – М.: Машиностроение, 1978 – 240 с.
- Полухин Д.А., Орещенко В.М., Морозов В.А. Отработка пневмогидросистем двигательных установок ракет-носителей и космических аппаратов с ЖРД – М.: Машиностроение, 1987. – 248 с.
- Биркгоф Г., Сарантелло Э. Струи, следы и каверны. – М.: Мир, 1964. – 466 с.
- Рождественский В.В. Кавитация. – Л.: Изд-во «Судостроение», 1977. – 247 с.
- Багров В. В., Курпатенков А. В., Поляев В. М. и др. Капиллярные системы отбора жидкости из баков космических летательных аппаратов. Под. ред. В. М. Поляева. – М.: УНПЦ «Энергомаш», 1987. – 328 с.
- Джейкок М., Парфит Д. Химия поверхностей раздела фаз. – М.: Мир, 1984. – 269 с.
- Оно С., Кондо С. Молекулярная теория поверхностного натяжения в жидкостях. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. – 254 с.

- Сердюк В. К. Проектирование средств выведения космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 2009. – 504 с.
- Адам Н. К., Толстой Д. М. Физика и химия поверхностей. – М.-Л.: Изд-во технико-теорет. лит., 1947. – 283 с.
- Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
- Abramson H. N. The dynamic behavior of liquids in moving containers, with applications to space vehicle technology. NASA SP-106, 1966. – 384 p.
- Franklin T. Dodge The New «Dynamic Behavior of Liquids in Moving Containers». Southwest Research Institute. NASA, San Antonio, Texas. 2000. – 195 p.
- Испытательная техника. Под ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1982. – 238 с.
- Проектування і конструкція ракет-носіїв: підручник. В. В. Блізниченко, Є. О. Джур, Р. Д. Краснікова, Л. Д. Кучма, А. К. Лінник [та ін.]; за ред. акад. С. М. Конюхова. – Д. : Вид-во ДНУ, 2007. – 504 с.
- Паничкин Н.И. Конструкция и проектирование космических летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1986. – 344 с.
- Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. В 2-х томах. Т. 1. Основные положения и общие методы. – М.: Мир, 1991. – 504 с.
- Солодов В.Г. Применение пакета прикладных программ ANSYS для решения задач гидро-газодинамики: учебное пособие.– Харьков: ХНАДУ, 2017.– 168с.

### 3.3 Інформаційні ресурси в Інтернеті

- <https://ntrs.nasa.gov/>

## 4 РЕЙТИНГОВА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

4.1 Оцінювання окремих видів виконаної здобувачем навчальної роботи здійснюється в балах відповідно до табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Вид навчальної роботи	Максимальна кількість балів
Опитування по матеріалам лекцій	75
<b>Для допуску до заліку здобувач має набрати не менше 50 балів</b>	
Залік	25
<b>Усього за дисципліною</b>	<b>100</b>

4.2 Підсумкова семестрова рейтингова оцінка в балах, за національною шкалою та шкалою ECTS заноситься до заліково-екзаменаційної відомості, навчальної картки здобувача відповідно до табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Відповідність підсумкової семестрової рейтингової оцінки в балах оцінці за національною шкалою та шкалою ECTS

Оцінка в балах	Оцінка за національною шкалою	Оцінка за шкалою ECTS	
		Оцінка	Пояснення
<b>90-100</b>	<b>Відмінно</b>	<b>A</b>	<b>Відмінно</b> (відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок)
<b>82-89</b>	<b>Добре</b>	<b>B</b>	<b>Дуже добре</b> (вище середнього рівня з кількома помилками)
<b>75-81</b>		<b>C</b>	<b>Добре</b> (в загальному вірне виконання з певною кількістю суттєвих помилок)
<b>67-74</b>	<b>Задовільно</b>	<b>D</b>	<b>Задовільно</b> (непогано, але зі значною кількістю недоліків)
<b>60-66</b>		<b>E</b>	<b>Достатньо</b> (виконання задовольняє мінімальним критеріям)
<b>35-59</b>	<b>Незадовільно</b>	<b>FX</b>	<b>Незадовільно</b> (з можливістю повторного складання)
<b>1-34</b>		<b>F</b>	<b>Незадовільно</b> (з обов'язковим повторним курсом)

4.3 Підсумкова рейтингова оцінка з дисципліни дорівнює підсумковій семестровій рейтинговій оцінці. Зазначена підсумкова рейтингова оцінка з дисципліни заноситься до Додатку до диплома.

4.4 Дисципліна включає викладання матеріалу на лекціях, практичні роботи здобувачів, самостійну роботу здобувачів, підготовку звіту з самостійної роботи з оформленням матеріалів за встановленими стандартами, його захист у формі відповіді на питання викладача, заліки з самостійної роботи та з дисципліни в цілому.

Якщо аспірант має більше 50% пропусків без поважних причин і здає поточні завдання з порушенням встановлених термінів, то викладач має право знизити оцінку знань до 5 балів.