

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

Кафедра Космічної техніки і нетрадиційних джерел енергії (№ 402)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОП


(підпис)

Безручко К.В.
(ініціали та прізвище)

« 31 » 08 2021 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Функціональні системи плазмових прискорювачів та установок
(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
(код та найменування спеціальності)

Освітня програма: «Супутники, двигуни та енергетичні установки»
(найменування освітньої програми)

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Харків 2021 рік

Робоча програма «Функціональні системи плазмових прискорювачів та установок»

(назва дисципліни)

для студентів за спеціальністю 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
освітньою програмою «Супутники, двигуни та енергетичні установки»

«27» 08 2021 р., – 15 с.

Розробник: Губін С. В., к.т.н., професор
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри 402

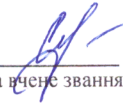
Космічної техніки і нетрадиційних джерел енергії

(назва кафедри)

Протокол № 1 від «30» серпня 2021 року

Завідувач кафедри

к.т.н.,
(науковий ступінь та вчене звання)



С. В. Сінченко
(підпис)

С. В. Сінченко
(ініціали та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни	
		Денна форма навчання	
Кількість кредитів – 5,5/0	<p style="text-align: center;">Галузь знань <u>13 «Механічна інженерія»</u> (шифр та найменування)</p> <p style="text-align: center;">Спеціальність <u>134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»</u> (код та найменування)</p> <p style="text-align: center;">Освітня програма <u>«Супутники, двигуни та енергетичні установки»</u> (найменування)</p> <p style="text-align: center;">Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)</p>	Цикл професійної підготовки (за вибором) –	
Кількість модулів – 1		Навчальний рік	
Кількість змістових модулів – 2		2021/ 2022	
Індивідуальне завдання <i>РГР</i> (назва)		Семестр	
Загальна кількість годин – 165 денна – 72 ¹⁾ / 165 заочна – 0 ¹⁾ / 0		_8_ -й	_ -_- -й
		Лекції ¹⁾	
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 6 самостійної роботи студента – 7,75		_48_ годин	_ -_- годин
		Практичні, семінарські ¹⁾	
		_ -_- годин	_ -_- годин
		Лабораторні ¹⁾	
	24 годин	_ -_- годин	
	Самостійна робота		
93 годин	_ -_- годин		
Вид контролю			
іспит	-		

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить:
для денної форми навчання – 72/93;
для заочної форми навчання – 0/0.

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

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення: придбання базових професійних знань з організації функціональних систем з енергозабезпечення космічного апарату, побудови схем функціональних елементів та елементної бази енергетичних установок та особливості електроживлення електроракетних двигунів.

Завдання: – засвоїти лекційний матеріал;

– засвоїти методики рішення практичних завдань;

– виконати індивідуальні практичні завдання;

– виконати індивідуальну розрахунково-графічну роботу.

Результати навчання:

Загальні компетентності (ЗК):

K07. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

K08. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

Фахові компетентності (ФК):

K15. Здатність проектувати та здійснювати випробування елементів ракетно-космічної техніки, її обладнання, систем та підсистем.

Програмні результати навчання:

ПР06. Володіти навичками самостійного навчання та автономної роботи для підвищення професійної кваліфікації та вирішення проблем в новому або незнайомому середовищі.

ПР09. Дотримуватися вимог галузевих нормативних документів щодо процедур проектування, виробництва, випробування та (або) сертифікації елементів та об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки на всіх етапах їх життєвого циклу.

ПР14. Розуміти особливості робочих процесів у гідравлічних, пневматичних, електричних та електронних системах, що застосовуються в авіаційній та ракетно-космічній техніці.

ПР19. Розуміти структуру та принципи дії бортового обладнання ракетно-космічної техніки.

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовний модуль 1. *Функціонування системи енергозабезпечення космічного апарату*

Тема 1. Вступ до дисципліни.

Типові структури системи енергозабезпечення (СЕЗ). Типи схем, що використовуються при побудові та аналізі СЕЗ. Характеристики СЕЗ, що визначаються параметрами регулювання. **Регулювання СЕЗ.** Необхідність регулювання та закони регулювання СЕЗ. Базові питання керування та регулювання СЕЗ. Використання положень теорії автоматичного керування. Основні методи регулювання СЕЗ. Погодження джерела енергії та навантаження.

Тема 2. Керування та контроль первинного джерела енергії.

Регулювання потужності первинного джерела енергії. Основні задачі апаратури регулювання та контролю. Загальна класифікація силових регуляторів СЕЗ. Класифікація регуляторів потужності СЕЗ. Особливості керування батареї фотоелектричної (БФ). **Регулювання БФ.** Дискретне регулювання потужності БФ. Аналогове регулювання потужності БФ. Попередні визначення параметрів дискретних та аналогових регуляторів первинного джерела (ПД). Переваги та недоліки дискретного та аналогового методів регулювання потужності ПД. **Методи підвищення ефективності регулювання БФ.** Використання широтно-імпульсного модульованого (ШІМ) регулятора. Організація ШІМ режиму та використання індуктивно-ємнісних фільтрів. Попередні визначення параметрів. Переваги та недоліки ШІМ регулювання потужності БФ. **Аналого-дискретні регулятори БФ.** Принцип аналого-дискретного регулювання потужності первинного джерела. Попередні визначення параметрів аналого-дискретного регулювання ПД. Переваги та недоліки аналого-дискретного регулювання ПД. **Екстремальне регулювання БФ.** Методи визначення екстремуму екстремальним регулятором БФ. Переваги та недоліки екстремального методу регулювання потужності БФ.

Тема 3. Керування та контроль накопичувачів енергії і типові СЕЗ.

Накопичувачі енергії у СЕЗ. Типи накопичувачів енергії (НЕ) у бортових СЕЗ, їх характеристики та режими роботи. Організація прямого підключення накопичувача енергії. Підключення накопичувача до шини стабілізованої напруги. Поняття про зарядно-розрядні пристрої. Вольт-додатковий регулятор заряду-розряду. **Сервісні пристрої накопичувачів енергії.** Принцип роботи та використання лічильника ампер-годин (ЛАГ). Сервісні пристрої обмеження заряду і розряду НЕ у складі СЕЗ. Сервісні пристрої підвищення ресурсу НЕ. **Типові схеми СЕЗ.** Поняття про центральну шину СЕЗ. Схема з нестабілізованою напругою на центральній шині СЕЗ, що обмежується поляризацією накопичувача енергії. Переваги та недоліки. Схема СЕЗ зі стабілізованою напругою на центральній шині. Переваги та недоліки.

Змістовний модуль 2. *Канали енергоживлення та енергоживлення ЕРД*

Тема 4. Електроживлення бортової апаратури космічного апарату.

Організація електроживлення бортової апаратури. Організація каналу електроживлення (КЕЖ). Централізоване та децентралізоване енергоживлення. Мережа напруги та її забезпечення. Гальванічна розв'язка ланцюгів живлення.

Якість енергоживлення бортової апаратури космічного апарату. Параметри, що характеризують якість енергії перетворювачів напруги СЕЗ. Виміри параметрів каналів електроживлення, формування телеметрії та телекерування. Гальванічна розв'язка у вимірах параметрів СЕЗ КА.

Автоматичний захист мережі бортового живлення (АЗМ). Особливості автоматичного захисту бортової мережі КА та вимоги до неї. Формування блоків автоматичного захисту і контролю (БАЗК) КЕЖ. Структура швидкодіючої системи автоматичного захисту, комутації та керування СЕЗ. Інтерфейс СЕЗ.

Тема 5. Вторинні джерела живлення для бортової апаратури КА.

Стабілізатори струму та напруги живлення бортової апаратури. Схемотехніка стабілізаторів струму, їх застосування в каналах електроживлення. Особливості оціночного розрахунку імпульсного стабілізатору струму. Схемотехніка стабілізаторів напруги, їх застосування в каналах електроживлення.

Перетворювачі напруги для живлення бортової апаратури. Класифікація вторинних джерел живлення. Автономні перетворювачі для створення сітки напруг СЕЗ.

Однотактні перетворювачі напруги. Однотактні прямо ходові перетворювачі напруги у СЕЗ. Переваги та недоліки. Оціночні розрахунки. Однотактні зворотно ходові перетворювачі напруги у СЕЗ. Переваги та недоліки. Оціночні розрахунки.

Двотактні перетворювачі напруги. Двотактні перетворювачі напруги з середньою точкою (тягни-товкай) у складі СЕЗ. Переваги та недоліки. Оціночні розрахунки. Двотактні мостові перетворювачі напруги у складі СЕЗ. Переваги та недоліки. Оціночні розрахунки. Двотактні напів-мостові перетворювачі напруги у складі СЕЗ. Переваги та недоліки. Оціночні розрахунки.

Тема 6. Організація електроживлення електроракетних двигунів (ЕРД).
Електроживлення електротермічних двигунів. Типове електроживлення електронагрівного (омічного) двигуна (ЕНД). Типове електроживлення дугового плазмового двигуна (ЕДД). **Електроживлення холлівських плазмових прискорювачів.** Електроживлення стаціонарного плазмового двигуна (СПД). Типове електроживлення торцевого холлівського двигуна (ТХД). **Електроживлення іонних плазмових прискорювачів.** Електроживлення плазмово-іонного двигуна (ПД). Типове електроживлення імпульсного плазмового двигуна (ІПД). **Контролери енергоживлення.** Сучасна техніка автоматичного керування енергетичними установками та плазмовими прискорювачами.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	Денна форма					Заочна форма				
	Усього	У тому числі				Усього	У тому числі			
		л	п	лаб.	с. р.		л	п	лаб.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Модуль 1										
Змістовий модуль 1. Функціонування системи енергозабезпечення космічного апарату										
Тема 1. Вступ до дисципліни	10	4		2	4					
Тема 2. Керування та контроль первинного джерела енергії.	35	10		4	21					
Тема 3. Керування та контроль накопичувачів енергії і типові СЕЗ.	40	10		6	24					
Разом за змістовим модулем 1	85	24		12	49					
Змістовий модуль 2. Канали енергоживлення та енергоживлення ЕРД										
Тема 4. Електроживлення бортової апаратури космічного апарату.	14	6		4	4					
Тема 5. Вторинні джерела живлення для бортової апаратури КА.	18	8		4	6					
Тема 6. Організація електроживлення електроракетних двигунів (ЕРД).	23	10		4	9					
Разом за змістовим модулем 2	55	24		12	19					
Усього годин	140	48		24	68					
Модуль 2										
Індивідуальне завдання	25	-	-	-	25		-	-	-	
Усього годин	165	48		24	93					

5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма навчання	Заочна форма навчання
1	не передбачено		
	Разом		

6. Теми практичних занять

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма навчання	Заочна форма навчання
1	Дослідження резисторів та їх характеристик. Дослідження конденсаторів та їх характеристик. Дослідження індуктивності, дроселів, трансформаторів (моточних елементів).	2	
2	Дослідження вольт-амперної характеристики р-п переходу.	2	
3	Дослідження біполярних транзисторів та їх структури. Вольт амперні характеристики. Технічні характеристики. Схеми включення.	2	
4	Дослідження польових транзисторів. Польові транзистори структури метал-діелектрик-напівпровідник (MOSFET) та їх характеристики. Біполярні транзистори керовані полем (IGBT) та їх характеристики.	2	
5	Дослідження комутаційних елементів (реле, контактори) та їх характеристик. Комутаційні елементи (реле, контактори) та характеристики їх контактної системи. Комутаційні елементи (з'єднувачі, кабелі).	2	
6	Дослідження аналогових мікросхем у системах енергозабезпечення. Визначення коефіцієнту підсилення.	2	
7	Дослідження цифрових мікросхем у системах енергозабезпечення.	2	
8	Імітаційний аналіз схеми дискретного регулювання БФ.	2	
9	Імітаційний аналіз схеми шунтового регулювання БФ з ШІМ регулятором.	2	
10	Імітаційний аналіз схеми СЕЗ з нестабілізованою напругою на центральній шині.	2	
11	Імітаційний аналіз схеми СЕЗ зі стабілізованою напругою на центральній шині.	2	
12	Імітаційний аналіз схеми імпульсного	2	

	стабілізатора струму та напруги		
	Разом	28	

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма навчання	Заочна форма навчання
1	Побудова та аналіз схеми СЕЗ з нестабілізованою напругою на центральній шині.	17	
2	Побудова та аналіз схеми СЕЗ зі стабілізованою напругою на центральній шині.	17	
3	Аналіз схеми імпульсного стабілізатора струму та напруги для живлення ЕРД	17	
4	Аналіз схеми двотактного перетворювача напруги для живлення ЕРД	17	
5	Виконання індивідуального завдання	25	
	Разом	93	

9. Індивідуальні завдання

– Імпульсний стабілізатор напруги для живлення елементів електроракетного двигуна, розробка схеми, розрахунок та вибір основних силових електронних компонентів, задані за попереднім розрахунком двигуна потужність, вхідні та вихідні параметри.

– Імпульсний стабілізатор струму для живлення елементів електроракетного двигуна, розробка схеми, розрахунок та вибір основних силових електронних компонентів, задані за попереднім розрахунком двигуна потужність, вхідні та вихідні параметри.

– Двотактний перетворювач напруги зі стабілізацією для живлення елементів електроракетного двигуна, розробка схеми, розрахунок та вибір основних силових електронних компонентів, задані за попереднім розрахунком двигуна потужність, вхідні та вихідні параметри.

– Двотактний перетворювач напруги зі стабілізацією струму для живлення елементів електроракетного двигуна, розробка схеми, розрахунок та вибір основних силових електронних компонентів, задані за попереднім розрахунком двигуна потужність, вхідні та вихідні параметри.

Примітка: для розрахунково-графічної роботи обирається один варіант одноктного, та один варіант двотактного перетворювача відповідно до типу ЕРД та необхідності живлення його електродів.

10. Методи навчання

Словесні, практичні, демонстраційні, комп'ютерне моделювання.

11. Методи контролю

Усний контроль, перевірка письмових робіт, перевірка тестів, перевірка РГР

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

12.1 Розподіл балів, які отримують студенти

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Робота на лекціях	0...1	5	0...5
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	3...5	4	12...20
Модульний контроль	10...15	1	10...15
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...1	5	0...5
Виконання і захист (практичних лабораторних) робіт	3...5	4	12...20
Виконання і захист РГР	10...15	1	10...15
Усього за семестр			60...100

Шкала оцінювання: національна та ECTS

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. Безручко К.В., Белан Н.В., Белов Д.Г. и др. Солнечные энергосистемы космических аппаратов. Физическое и математическое моделирование/ под ред. Конюхова С.Н., Харьков, Гос. аэрокосмический ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2000, 515 с.

2. Губин С. В. Оценочный расчет стабилизаторов и преобразователей для электропитания ЭРД / С. В Губин/ – Методическое пособие для студентов, обучающихся по специальности «Двигатели и энергетические установки летательных аппаратов». Губин С. В., – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2015. – 47 с.

14. Рекомендована література

Базова

1. ISBN 0-8493-2786-5 Patel, Mukund R., Spacecraft power systems / Mukund R. Patel p.cm. 2005 by CRC Press, 691 p
2. Безручко К.В., Белан Н.В., Белов Д.Г. и др. Солнечные энергосистемы космических аппаратов. Физическое и математическое моделирование/ под ред. Конюхова С.Н., Харьков, Гос. аэрокосмический ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2000, 515 с.

3. 621.362 М59 Микроэлектронные электросистемы. Применения в радиоэлектронике. Под ред. Ю. И. Конева. М.: Радио и связь. 1987. – 240 с.
4. 621.31 С34 Системы электропитания космических аппаратов / Б. П. Соустин, В. И. Иванчура, А. И. Чернышев, Ш. Н. Исляев. Новосибирск. ВО «Наука» Сибирская издательская фирма. 1994. – 318 с.
5. ISBN 978-5-7883-0608-7 Петровичев М. А. Система энергоснабжения бортового комплекса космических аппаратов: учеб. пособие/ М. А. Петров, А. С. Гуртов. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. -88 с.
6. 621.455.3·2 Г54 Глибицкий М. М. Системы питания и управления электрическими ракетными двигателями.- М.: Машиностроение, 1981.- 136 с.

Допоміжна

1. ISBN 0-8493-2786-5 Patel, Mukund R., Spacecraft power systems / Mukund R. Patel p.cm. 2005 by CRC Press, 691 p
2. Space Mission Analysis and Design. Third Edition Edited by Wiley J. Larson United States Air Force Academy and James R. Wertz Microcosm, Inc. Space Technology Library. Published Jointly by Microcosm Press El Segundo, California Kluwer Academic Publishers Dordrecht\ Boston\London
3. ISBN: 978-3-540-75552-4 Spacecraft Structures Wijker, Jacob Job. Berlin: Springer, 2008.
4. ISBN: 978-1-4020-6942-0 Small Satellites for Earth Observation. Editors Rainer Sandau, Hans-Peter Röser, Arnoldo Valenzuela ISBN: 978-1-4020-6942-0 (Print) 978-1-4020-6943-7 (Online)
5. 629.76.064: Полупроводниковые системы электроснабжения космических летательных аппаратов. Веденеев Г. М., Галтеев Ф. Ф., Еременко В. Г., Токарев А. Б. – М.: МЭИ, 1986. – 92 с.
6. 621.311: Григорьян В. Г., Евдокимов К. В. Энергоустановки космических летательных аппаратов: Учебное пособие. –М.: Изд-во МАИ, 2007. -84 с.
7. 621.3 В17 Ванке В. А. и др. Космические энергосистемы. М.: Машиностроение. 1990. – 144 с.
8. 621.362 М59 Микроэлектронные электросистемы. Применения в радиоэлектронике. Под ред. Ю. И. Конева. М.: Радио и связь. 1987. – 240 с.
9. 621.3 Б53 Бессонов Л. А., Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. М.: Высш. шк. 1984. – 559 с.
10. 621.3 В93 Высокочастотные транзисторные преобразователи. М. Радио и связь. 1988. - 288 с.
11. 621.38 С30 Семенов Б. Ю. Силовая электроника от простого к сложному. М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 416 с.
12. 621.352 Р69 Романов В. В., Хашев Ю. М. Химические источники тока. М.: Сов. радио. 1978. – 264 с.
13. ISBN: 5-06-001557-2 Варапаев В. Н. и др. Химические источники тока: Учеб. пособие для хим.-технол. спец. вузов / В. Н. Варапаев, М. А. Дасоян, В. А. Никольский – М.: Высш. шк., 1990. – 240 с.

15. Інформаційні ресурси

1. Сайт «Державне космічне агентство України» [Електронний ресурс] – Режим доступу <http://www.nkau.gov.ua>
2. Сайт ДП «КБ «Південне» [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://www.yuzhnoye.com/ua/home/>
3. Сайт «Національний центр аерокосмічної освіти молоді ім. О. М. Макарова» [Електронний ресурс] – Режим доступу <http://www.unaec.dp.ua/ua/>
4. Сайт Національного космічного агентства Сполучених штатів Америки [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://www.nasa.gov>

5. Сайт «Європейське космічне агентство» [Електронний ресурс] – Режим доступу <http://www.esa.int/ESA>
6. Сторінка сонячної енергетики ЄКА [Електронний ресурс] – Режим доступу <http://www.esa.int/esapub/br/br202/br202.pdf>
7. Портал по космонавтике и астрономии [Електронний ресурс] – Режим доступу <http://www.nashivkosmose.ru>
8. Сайт провідного світового постачальника мультифункціональних сонячних елементів «Спектролаб Боїнг» [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://www.spectrolab.com>
9. Сайт інтернет-магазину для CubeSats і Nanosats [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://www.cubesatshop.com>

Додаток 1 до робочої програми з дисципліни
«Функціональні системи плазмових прискорювачів та установок»
Розрахунково-графічна робота

Типовий графік роботи над РГР (35 годин самостійної роботи)

Тижні	Склад робіт	%% від загального обсягу	%% усього
8-10	схема імпульсного стабілізатора живлення елемента ЕРД, розрахунок, вибір компонентів	40	40
11-13	схема двотактного перетворювача живлення елемента ЕРД, розрахунок, вибір компонентів	40	80
14	підготовка пояснювальної записки; захист	20	100

*Додаток 2 до робочої програми з дисципліни
«Основи теорії та функціонування енергоустановок»*

Контрольні питання
(модуль 1).

(модуль).

(практичні).

*Додаток 3 до робочої програми з дисципліни
«Основи теорії та функціонування енергоустановок»*

Питання для контролю остаточних знань.