

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
Кафедра космічної радіофізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”  
Перший проректор

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2015 р.

## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### Прогнозування космічної погоди

(шифр і назва навчальної дисципліни)

напряму підготовки \_\_\_\_\_  
(шифр і назва напряму підготовки)  
для спеціальності 8.04020402 Радіофізика і електроніка  
(шифр і назва спеціальності (тей))  
спеціалізації \_\_\_\_\_  
(назва спеціалізації)  
факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем  
(назва факультету)

Кредитно-модульна система  
організації навчального процесу

Харків – 2015

**Прогнозування космічної погоди.** Робоча програма навчальної дисципліни для  
(назва навчальної дисципліни)  
студентів за спеціальністю 8.04020402 Радіофізика і електроніка,  
„14” травня 2015 р. — 9 с.

Розробники: доцент Розуменко Віктор Тимофійович, кандидат фіз.-мат. наук,  
доцент кафедри космічної радіофізики факультету радіофізики, біомедичної  
електроніки та комп’ютерних систем Харківського національного університету  
імені В. Н. Каразіна.

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри космічної радіофізики  
факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп’ютерних систем  
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна  
Протокол № 10 від “20” травня 2015 р.

Завідувач кафедри космічної радіофізики

\_\_\_\_\_ (Тирнов О. Ф.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)  
“20” травня 2015 р.

Схвалено методичною комісією  
факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп’ютерних систем  
Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна  
Протокол № 6 від “15” червня 2015 р.

“15” червня 2015 р. Голова \_\_\_\_\_ (Чорногор Л. Ф.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Декан факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп’ютерних систем

\_\_\_\_\_ (Шульга С. М.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів — 5	Галузь знань <u>0402 Фізико-математичні науки</u> (шифр і назва)	За вибором	
	Напрямок підготовки _____ (шифр і назва)		
Модулів — 2	Освітньо-кваліфікаційний рівень (професійне спрямування): <u>8. 04020402 — магістр</u>	<b>Рік підготовки:</b>	
Індивідуальне науково-дослідне завдання _____ (назва)		2-й	
Загальна кількість годин — 150		<b>Семестр</b>	
		3-й	
		<b>Лекції</b>	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних — 4 самостійної роботи студента — 4,3	Спеціальність — <u>"радіофізика і електроніка"</u>	36 год.	год.
		<b>Практичні, семінарські</b>	
		36 год.	год.
		<b>Лабораторні</b>	
		год.	год.
		<b>Самостійна робота</b>	
		78 год.	год.
		<b>ІНДЗ:</b> год.	
Вид контролю: екзамен			

### Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання — 4/4,3

для заочної форми навчання —

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета — досягнути порозуміння методів прогнозу космічної погоди.

Завдання — законспектувати основні теоретичні положення методів прогнозу космічної погоди та розв'язати запропоновані задачі.

У результаті вивчення даного курсу студент повинен

**знати:** методи прогнозу космічної погоди.

**вміти:** сформулювати основні етапи прогнозу космічної погоди за наявних результатів вимірювань.

## 3. Програма навчальної дисципліни

### Модуль 1. Фільтри Кальмана

**Тема 1.** Фільтр Кальмана — узагальнення фільтра Вінера.

**Тема 2.** Фільтр Кальмана — узагальнення лінійної оцінки, яка забезпечує мінімальну середньо-квадратичну похибку.

**Тема 3.** Динамічні моделі процесів.

**Тема 4.** Скалярний фільтр Кальмана.

**Тема 5.** Порівняння фільтрів Кальмана і Вінера.

**Тема 6.** Векторний фільтр Кальмана.

**Тема 7.** Узагальнення векторного фільтра Кальмана на випадок нелінійних рівнянь стану та спостережень.

**Тема 8.** Приклади обробки сигналів.

**Модуль 2. Модель іоносфери, яка створена на основі фільтра Гауса-Маркова-Кальмана, і використовує вимірювання її довільних параметрів.**

**Тема 9.** Основні параметри моделі фільтра Гауса-Маркова для збурень в густині іоносфери та похибок вимірювань.

**Тема 10.** Вираз для повної електронної густини в кожному вузлі.

**Тема 11.** Складові матриці  $L$  перерахунків збурень в густині іоносфери за один крок асиміляції у часі: матриця  $L_1$ , що зміщує збурення у полі густина за кожний крок у магнітній системі координат, що синхронізована з Сонцем, та  $L_2$  релаксаційна матриця.

**Тема 12.** Переваги використання географічної системи координат.

**Тема 13.** Фільтр Гауса-Маркова для матриці других моментів похибок  $P^{t+1}$ .

**Тема 14.** Джерела даних для моделі іоносфери, що використовує вимірювання її довільних параметрів.

**Тема 15.** Контроль якості спостережень.

**Тема 16.** Співвідношення між вимірюваннями повного електронного вмісту на похилих трасах і збуреннями електронної концентрації.

**Тема 17.** Співвідношення між вимірюваннями ультрафіолетового випромінювання стовпа іоносфери і збуреннями електронної концентрації

**Тема 18.** Модель фонові іоносфери в фільтрі Кальмана.

#### 4. Структура навчальної дисципліни

Назви модулів і тем	Кількість годин											
	Денна форма						Заочна форма					
	Усього	у тому числі					Усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	ср		л	п	лаб	інд	ср
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Модуль 1</b>												
Тема 1.	1	1										
Тема 2.	1	1										
Тема 3.	1	1										
Тема 4.	1	1										
Тема 5.	1	1										
Тема 6.	1	1										
Тема 7.	1	1										
Тема 8.	1	1										
Разом за модулем 1	8	8										
<b>Модуль 2</b>												
Тема 9.	1	1										
Тема 10.	4	1				3						
Тема 11.	4	1				3						
Тема 12.	5	1				4						
Тема 13.	5	1				4						
Тема 14.	5	1				4						
Тема 15.	5	1				4						
Тема 16.	5	1				4						
Тема 17.	6	2				4						
Тема 18.	6	2				4						
Разом за модулем 2	46	12				34						
<b>Усього годин</b>	54	20				34						
<b>Модуль 3</b>												
Індивідуальне науково-дослідне завдання												
<b>Усього годин</b>												

### 5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
...		

### 6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		

### 7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
...		

### 8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Характеристика узагальненого фільтра Кальмана для оцінювання стану складу термосфери.	1
2	Початкова умова для вектора стану, $\hat{x}_{k-1}$ , фільтра Кальмана для оцінювання складу термосфери.	1
3	Характеристика матриці других моментів, $P_{k-1}$ , похибок у фільтрі Кальмана для оцінювання складу термосфери.	1
4	Моделі для матриці, $\Phi_{k, k-1}$ , яка використовується для перерахунку оціненого стану, $\hat{x}_{k-1}$ , та матриці других моментів похибок, $P_{k-1}$ , у фільтрі Кальмана для оцінювання складу термосфери.	1
5	Вираз для перерахунку стану, $\hat{x}_{k-1}$ , від часу, $k-1$ , коли він був останній раз оцінений, до часу наступного вимірювання, $k$ , у фільтрі Кальмана для оцінювання складу термосфери.	1
6	Вираз для перерахунку матриці других моментів похибок, $P_{k-1}$ , від часу, $k-1$ , коли вона була останній раз оцінена, до часу наступного вимірювання, $k$ , у фільтрі Кальмана для оцінювання складу термосфери.	1
7	Конкретний вид лінійного моделі для перерахунків у фільтрі Кальмана для оцінювання складу термосфери, $\Phi_{k, k-1}$ , за допомогою процесу Гауса-Маркова.	2

## 8. Самостійна робота (продовження)

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
8	Переваги лінійарезованої моделі для перерахунків у фільтрі Кальмана для оцінювання складу термосфери, $\Phi_{k, k-1}$ , за допомогою процесу Гауса-Маркова.	2
9	Вираз для перерахунку вектору стану, $\hat{x}_{k-1}$ , в вектор стану, $\bar{x}_k$ , у фільтрі Кальмана для оцінювання складу термосфери та його матриця, $\Phi_{k, k-1}$ .	2
10	Структура матриць похибок, $\Phi_{k, k-1}$ та $Q$ , які використовується для перерахунку матриці других моментів похибок, $P_{k-1}$ , у фільтрі Кальмана для оцінювання складу термосфери.	2
11	Конкретний вид матриці похибок, $Q$ , яка використовується для перерахунку матриці других моментів похибок, $P_{k-1}$ , у фільтрі Кальмана для оцінювання складу термосфери.	2
12	Аналіз залежності матриці похибок, $Q$ , яка використовується для перерахунку матриці других моментів похибок, $P_{k-1}$ , у фільтрі Кальмана для оцінювання складу термосфери, від $k$ і $\tau$ .	2
13	Оцінка недиагональних елементів матриці похибок, $Q$ , яка використовується для перерахунку матриці других моментів похибок, $P_{k-1}$ , у фільтрі Кальмана для оцінювання складу термосфери.	2
14	Вираз для обчислення вектора оновлень, $y_k$ , у фільтрі Кальмана для оцінювання складу термосфери.	2
15	Рівняння спостережень та матриця спостережень, $H_k$ , у фільтрі Кальмана для оцінювання складу термосфери.	2
16	Вираз для обчислення виграшу Кальмана, $K_k$ , у фільтрі Кальмана для оцінювання складу термосфери.	2
17	Аналіз складових матриці других моментів похибок вимірювань, $R_k$ , у фільтрі Кальмана для оцінювання складу термосфери.	2
18	Вираз для корекції вектору стану, який отримано за модел'ю, $\bar{x}_k$ , з допомогою вектора оновлень, $y_k$ , у фільтрі Кальмана для оцінювання складу термосфери.	2
19	Вираз для корекції матриці других моментів похибок, $P_k$ , з допомогою виграшу Кальмана, $K_k$ , у фільтрі Кальмана для оцінювання складу термосфери.	2
20	Порівняння результатів отриманих з допомогою фільтра Кальмана та без фільтрації для оцінювання складу термосфери.	2
	Разом	34

## 9. Індивідуальне навчально - дослідне завдання

## 10. Методи навчання

Проблемні лекції, практичні заняття та самостійна робота

## 11. Методи контролю

Поточні письмові контрольні роботи

## 12. Розподіл балів, які отримують студенти

Екзамен

Поточне тестування та самостійна робота																		Підсумковий семестровий контроль (екзамен)	Сума
Модуль 1								Модуль 2											
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	40	100
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	5	5	5	3	3		

Умова допуску студента до підсумкового семестрового контролю — 30 балів за поточне тестування та самостійну роботу

T1, T2 ... T18 – теми модулів

*Приклад за виконання курсової роботи*

Пояснювальна записка	Ілюстративна частина	Захист роботи	Сума
до	до	до	100

## Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсової роботи (проекту), практики	для заліку
90 – 100	<b>A</b>	відмінно	зараховано
80-89	<b>B</b>	добре	
70-79	<b>C</b>		
60-69	<b>D</b>	задовільно	
50-59	<b>E</b>		
1-49	<b>FX</b>	незадовільно	не зараховано

## 13. Методичне забезпечення

1. Schunk, R. W., *Ionospheres: Physics, Plasma Physics and Chemistry*, 2nd edition, Cambridge University Press, 2009. Solution manual.

## 14. Рекомендована література

Базова

1. Kay, S. M., *Fundamentals of Statistical Signal Processing: Estimation Theory*, Prentice Hall International Editions, U.S.A., 1993, XI, 595 pp.
2. L. Scherliess, R. W. Schunk, J. J. Sojka, D. C. Thompson, and L. Zhu, Utah State University Global Assimilation of Ionospheric Measurements Gauss-Markov Kalman filter model of the ionosphere: Model description and validation, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 111, A11315, doi:10.1029/2006JA011712, 2006.



3. Minter, C. F., T. J. Fuller-Rowell, and M. V. Codrescu (2004), Estimating the state of the thermospheric composition using Kalman filtering, *Space Weather*, 2, S04002, doi:10.1029/2003SW000006.

#### Допоміжна

1. Gelb, A., *Applied Optimal Estimation*, Cambridge, Mass, MIT Press, 1974.
2. Thompson, D. C., L. Scherliess, J. J. Sojka, and R. W. Schunk (2006), The Utah State University Gauss-Markov Kalman filter of the ionosphere: The effect of slant TEC and electron density profile data on model fidelity, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 68, 947– 958.
3. Schunk, R. W., L. Scherliess, J. J. Sojka, D. C. Thompson, and L. Zhu (2005), Ionospheric weather forecasting on the horizon, *Space Weather*, 3, S08007, doi:10.1029/2004SW000138.
4. Scherliess, L., R. W. Schunk, J. J. Sojka, and D. C. Thompson (2004), Development of a physics-based reduced state Kalman filter for the ionosphere, *Radio Sci.*, 39, RS1S04, doi:10.1029/2002RS002797.
5. Codrescu, M. V., T. J. Fuller-Rowell, and C. F. Minter (2004), An ensemble-type Kalman filter for neutral thermospheric composition during geomagnetic storms, *Space Weather*, 2, S11002, doi:10.1029/2004SW000088.
6. Schunk, R. W., L. Scherliess, and J. J. Sojka (2003), Recent approaches to modeling ionospheric weather, *Adv. Space Res.*, 31, 819– 828.
7. Keppenne, C. L., and M. M. Rienecker (2002), Initial testing of a massively parallel ensemble Kalman filter with the Poseidon Isopycnal Ocean General Circulation Model, *Mon. Weather Rev.*, 130(12), 2951–2965.
8. Schunk, R. W., *Ionospheres: Physics, Plasma Physics and Chemistry*, 2nd edition, Cambridge University Press, 2009.
9. Мінаков А.О., Тирнов О. Ф., Статистична радіофізика (підручник з грифом МОН України "Затверджено як підручник для студентів вищих навчальних закладів"), Харків. "Факт".2003.528 с.

#### 15. Інформаційні ресурси

1. <http://spaceweather.com/>