

## Силабус

по вивченню дисципліни

**«Методи та засоби стабілізації режимів енергосистем в умовах значних обсягів встановленої потужності відновлюваних джерел енергії»**  
для аспірантів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка», спеціалізації «Електроенергетичні системи та комплекси»  
Інституту загальної енергетики НАН України

ЗАТВЕРЖДУЮ

Директор Інституту загальної енергетики НАН України

академік НАН України



М.М. Кулик  
\_\_\_\_\_ 2021 р.

- 1) **Назва дисципліни:** Методи та засоби стабілізації режимів енергосистем в умовах значних обсягів встановленої потужності відновлюваних джерел енергії.
- 2) **Шифр за ОНП:** В 2.3.
- 3) **Карта дисципліни дійсна протягом навчального року:** 2021/2022.
- 4) **Освітній рівень:** третій рівень вищої освіти (доктор філософії).
- 5) **Форма навчання:** денна.
- 6) **Галузь знань:** 14 «Електрична інженерія».
- 7) **Спеціальність:** 141 «Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка».
- 8) **Спеціалізація:** «Електроенергетичні системи та комплекси».
- 9) **Компонента спеціальності:** Вибіркова частина освітньої складової освітньо-наукової програми.
- 10) **Семестри:** 4.
- 11) **Цикл дисциплін:** дисципліна професійної підготовки.
- 12) **Викладачі (розробники карти):** д-р техн. наук, проф., академік НАН України Кулик М.М., канд. техн. наук Згуровець О.В.
- 13) **Мова навчання:** українська.
- 14) **Необхідні вхідні дисципліни:** навчальні курси з підготовки ступеня магістра зі спеціальності 141.

**15) Мета курсу:** метою навчальної дисципліни є придбання аспірантами теоретичних знань та практичних навичок з дослідження процесів стабілізації частоти та потужності в енергосистемах зі значними обсягами встановленої потужності відновлюваних джерел енергії, знання методів та засобів забезпечення стабільної роботи зазначених енергосистем.

**16) Результати навчання:**

№	Програмний результат навчання	Метод перевірки навчального ефекту	Форма проведення занять	Посилання на програмні компетентності
1.	ЗН 1. Знати теорію і методологію системного аналізу, завдання та принципи системного підходу, етапи застосування системного підходу при дослідженні електроенергетичних систем і комплексів	Екзамен, поточний контроль	Лекції, практичні, самостійна робота	ІК, ЗК 1, ЗК 2
2.	ЗН 2. Знати сучасні інформаційні та комунікаційні технології, комп'ютерні засоби та програми при проведенні наукових досліджень та презентації їх результатів	Екзамен, поточний контроль	Лекції, практичні, самостійна робота	ІК, ЗК 1, ЗК 3
3.	ЗН 29. Знати математичні моделі, які описують забезпечення стабільного функціонування енергосистем із відновлюваними джерелами енергії	Екзамен, поточний контроль	Лекції, практичні, самостійна робота	ІК, ЗК 4
7.	УМ 1. Уміти використовувати принципи системного підходу при вирішенні наукових завдань; реалізовувати методологію системного аналізу в галузі електроенергетичних систем і комплексів	Екзамен, поточний контроль	Лекції, практичні, самостійна робота	ІК, ЗК 2
8.	УМ 2. Уміти використовувати сучасні інформаційні та комунікаційні технології, комп'ютерні засоби та програми у науковій діяльності	Екзамен, поточний контроль	Лекції, практичні, самостійна робота	ІК, ЗК 3, ЗК 6
10.	УМ 4. Уміти проводити критичний аналіз різних інформаційних джерел у галузі електроенергетичних систем та комплексів, виявляти теоретичні та практичні проблеми, дискусійні питання в освітніх, наукових та професійних публікаціях з проблем електроенергетичної галузі, рецензувати публікації, критично оцінювати власні матеріали	Екзамен, поточний контроль	Лекції, практичні, самостійна робота	ІК, ЗК 2, ЗК 4, ЗК 5
11.	УМ 22. Уміти застосовувати математичні моделі та програмні засоби забезпечення стабільного	Екзамен, поточний контроль	Лекції, практичні, самостійна	ІК, ЗК 1, ЗК 2, ЗК 3, ЗК 4, ЗК 5, ЗК 6

№	Програмний результат навчання	Метод перевірки навчального ефекту	Форма проведення занять	Посилання на програмні компетентності
	функціонування енергосистем із відновлюваними джерелами енергії і удосконалювати їх для урахування сучасних технологічних засобів		робота	
14.	КМ 1. Здатність доносити у доступній формі результати досліджень до наукової і професійної аудиторії та до широкого загалу	Екзамен, поточний контроль	Лекції, практичні, самостійна робота	ІК, ЗК 5, ЗК 6
15.	КМ 2. Здатність до комунікації в іншомовному середовищі з фахівцями та нефахівцями щодо проблем електроенергетичних систем і комплексів	Екзамен, поточний контроль	Лекції, практичні, самостійна робота	ІК, ЗК 5, ЗК 6
16.	АВ 1. Здатність працювати як автономно, так і у науковому колективі	Екзамен, поточний контроль	Лекції, практичні, самостійна робота	ІК, ЗК 1, ЗК 2, ЗК 8
17.	АВ 2. Розуміння значення дотримання етичних норм та авторського права при проведенні наукових досліджень та презентації їх результатів			ІК, ЗК 4, ЗК 5
18.	АВ 3. Здатність до постійного самонавчання та самовдосконалення			ІК, ЗК 1, ЗК 2, ЗК 5
19.	АВ. 4. Здатність відповідально ставитись до роботи			ІК

### 17) Форми занять та їх тривалість (кількість годин)

Лекція	Практичне заняття	Лабораторні заняття	Курсовий проєкт/курсова робота РГР/контрольна робота	Самостійна робота аспіранта
20	20	–	–	170

### Зміст (окремо для кожної форми занять – Л/Пр/Лаб/КР/СР):

#### Лекції:

*Тема 1.* Особливості організації функціонування вітрових та сонячних електростанцій у складі енергосистем.

*Тема 2.* Використання ВЕС і СЕС у складі енергосистем в Україні та за кордоном.

*Тема 3.* Формалізація функціонування об'єктів енергосистеми при регулюванні частоти і потужності, проблема стабілізації частоти в енергосистемах.

*Тема 4.* Стабілізація частоти у традиційних електрогенераторах.

*Тема 5.* Регулювання частоти і потужності на вітрових та сонячних електростанціях.

*Тема 6.* Особливості роботи систем накопичення енергії.

*Тема 7.* Врахування частотних характеристик навантаження та обмежень, притаманних елементам енергосистеми.

*Тема 8.* Математична модель стабілізації частоти і потужності при роботі ВЕС та СЕС у складі електроенергетичних систем.

*Тема 9.* Математичне забезпечення проблемно-орієнтованого програмно-інформаційного комплексу моделювання.

*Тема 10.* Метод побудови ПІК та його структура.

### **Практичні заняття:**

1) Розгляд проблеми стабілізації роботи енергосистеми під час виробництва та споживання електричної енергії, баланс електричних та механічних потужностей.

2) Побудова математичних моделей теплових, атомних та гідроелектростанцій.

3) Апроксимація натурних величин вітру та Сонця.

4) Побудова математичних моделей вітрових та сонячних станцій.

5) Моделювання регуляторів. Закони регулювання.

6) Визначення системних обмежень для врахування особливостей, що притаманні елементам енергосистеми.

7) Побудова узагальненої математичної моделі стабілізації частоти в енергосистемі з ВЕС та СЕС.

8) Вивчення математичного забезпечення проблемно-орієнтованого програмно-інформаційного комплексу моделювання.

9) Вивчення ПІК та його структури.

10) Проведення досліджень з використанням ПІК та різних розрахункових схем енергосистем.

### **Самостійна робота аспіранта:**

1) Аналіз використання ВЕС і СЕС у складі енергосистем в Україні та за кордоном.

2) Вивчення підходів до моделювання об'єктів систем електроенергетики.

3) Проведення досліджень зі стабілізації роботи розрахункових енергосистем різної структури.

4) Визначення впливу характеристик регуляторів на процес регулювання частоти в енергосистемі.

5) Визначення особливостей, характерних для різних законів регулювання.

6) Визначення необхідних обсягів регуляторів для забезпечення стабільної роботи енергосистем з великими обсягами відновлюваної генерації.

7) Підготовка до екзамену.

**18) Екзамен:** так.

**19) Основна література:**

1. Anderson P.M., Fouad A.A. Power Systems Control and Stability. United States of America: IEEE Press Power Engineering Series, 2003. 678 p.

2. Electricity and Energy Storage. World Nuclear Assotiation. URL: <http://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/electricity-and-energy-storage.aspx>

3. Javier Marcos, Luis Marroyo, Eduardo Lorenzo, David Alvira, Eloisa Izco. Power output fluctuations in large scale PV plants: one year observations with one second resolution and a derived analytic model. Progress in Photovoltaics: Research and Applications. 2011. Volume 19, Issue 24.

4. Johan Morren, Sjoerd W. H. de Haan, Wil L. Kling, J. A. Ferreira. Wind Turbines Emulating Inertia and Supporting Primary Frequency Control. IEEE Transactions on power systems. 2005. Vol. 21, No. 1. Pp. 433–434.

5. Астахов Ю.Н., Веников В.А., Горский Ю.М., Карасаев Д.Д., Маркович И.М. Электрические системы. Кибернетика электрических систем. М.: Высш. шк., 1974. 328 с.

6. Дрёмин И.В. Исследование режимов работы автоматической системы регулирования частоты и мощности с регулируемыми генераторами. Проблемы загальної енергетики. 2011. Вип. 1(24). С. 11—18.

7. Дрёмин И.В. Моделирование режимов работы системы АРЧМ с потребителями-регуляторами. Проблемы загальної енергетики. 2011. Вип. 2(25). С. 5—10.

8. Дрьомін І.В. Узагальнені моделі та засоби з підвищення ефективності автоматичного регулювання частоти і потужності в об'єднаних енергосистемах: автореф. дис. канд. техн. наук за спеціальністю 05.14.01 – Енергетичні системи та комплекси. К.: Інститут загальної енергетики НАН України, 2011.

9. Дрьомін І.В. Урахування нелінійних технологічних обмежень під час моделювання перехідних процесів в енергосистемі з АРЧП. Проблемы загальної енергетики. 2013. Вип. 2(29). С. 20–26.

10. Згуровець О.В. Вплив зони нечутливості та швидкодії регулятора на процес стабілізації частоти в енергосистемі з потужними вітровими електростанціями та акумуляторними батареями. Проблемы загальної енергетики. 2018. Вип. 3(54). С. 31—35.

11. Кулик М.М., Дрьомін І.В. Основи організації автоматичної системи регулювання частоти і потужності на базі споживачів-регуляторів. Проблеми загальної енергетики. 2010. Вип. 1(21). С. 5—10.

12. Кулик М.М., Дрьомін І.В. Узагальнена математична модель та характеристики адаптивних систем автоматичного регулювання частоти і потужності. Проблеми загальної енергетики. 2015. Вип. 4(43). С. 14—23.

13. Кулик М.М., Дрьомін І.В. Універсальна модель регулювання частоти і потужності в об'єднаних енергосистемах. Проблеми загальної енергетики. 2013. Вип. 4(35). С. 5—15.

14. Кулик М.М., Дрьомін І.В., Згуровець О.В. Дослідження режимів роботи об'єднаних енергосистем з потужними вітровими електростанціями та акумуляторними батареями. Проблеми загальної енергетики. 2018. Вип. 2(53). С. 15—20 (Міжнародні бази наукометричних даних Google Scholar, Index Copernicus International).

15. Кулик М.М., Згуровець О.В. Особливості використання гідроелектростанцій та акумуляторних батарей для стабілізації частоти в енергосистемах. Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2018. № 3. С. 3—11.

16. Кулик М.М., Дрьомін І.В., Згуровець О.В. Можливості використання великих накопичувачів електроенергії для стабілізації частоти в об'єднаних енергосистемах з потужними сонячними електростанціями. Відновлювана енергетика. 2018. № 3(54). С. 6—14.

17. Кулик М.М., Згуровець О.В. Адаптивна модель регулювання частоти і потужності в енергосистемах з вітровими електростанціями. Проблеми загальної енергетики. 2018. Вип. 4(55). С. 5—10 (Міжнародні бази наукометричних даних Google Scholar, Index Copernicus International).

18. Кулик М.Н., Дремін І.В. Применение дискретного преобразования Фурье для моделирования скорости ветра. Проблемы общей энергетики. 2013. Вып. 3(34). С. 5—10.

## **20) Додаткова література:**

1. Saccomanno Fabio. Electric power systems. Analysis and Control. Canada: IEEE Press Series on Power Engineering, 2003. 730 p.

2. Stamachowski J., Bialek J. Power System Dynamics and Stability. England: John Wiley & Sons Ltd, 1997. 461 p.

3. Undrill John. Power and Frequency Control as it Relates to Wind-Powered Generation. California: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2010. 74 p.

4. Анисимова Н.Д. Веников В.А. Методика расчетов устойчивости автоматизированных электрических систем. М.: Высш. шк., 1966. 248 с.

5. Арзамасцев Д.А., Липес А.В., Мызин А.Л. Модели оптимизации развития энергосистем. М.: Высш. шк., 1987. 272 с.

6. Бахвалов Н.С. Численные методы. – М.: Наука,

1973. – 450 с.

7. Беркович М.А., Гладышев В.А., Семенов В.А. Автоматика енергосистем. М.: Энергоатомиздат, 1991. 240 с.

8. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: учеб. для элетроэнергет. спец. вузов. М.: Высш.шк., 1985. 536 с.

9. Дроздов А.Д. Автоматизация энергетических систем. М.: Энергия, 1977. 440 с.

10. ДСТУ 3465–96. Системи електропостачальні загального призначення. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1996.

**21) Робоче навантаження аспіранта, необхідне для досягнення результатів навчання**

№	Форма занять	Кількість годин	
		Аудиторні	Самостійна робота
1.	Лекція	20	50
2.	Практичне заняття	20	120
3.	Лабораторне заняття	–	–
4.	КП/КР/РГР/Контр. роб.	–	–
5.	Форма контролю	екзамен	
	<b>Всього годин</b>	<b>40</b>	<b>170</b>


**22) Сума всіх годин: 210.**

**23) Загальна кількість кредитів ECTS: 7.**

**24) Кількість годин (кредитів ECTS) аудиторного навантаження: 40 (1,3).**


**25) Кількість необхідних годин (кредитів ECTS) СР для забезпечення аудиторного навантаження: 170 (5,7).**

**26) Кількість годин СР (кредитів ECTS), забезпечених навчальним планом: 170 (5,7).**

Складено: канд. техн. наук Зруровець В.О. 

**Затверджено:**

гарант освітньо-наукової програми

 О.Є. Маляренко