

Циклічні процеси та ритмоадаптивні методи аналізу циклічних сигналів

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни	
Рівень вищої освіти	<i>Третій (освітньо-науковий)</i>
Галузь знань	<i>11 - Математика та статистика</i>
Спеціальність	<i>113 Прикладна математика</i>
Освітньо-наукова програма	<i>Математичне моделювання та обчислювальні методи</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, осінній семестр БЛОКА 1</i>
Обсяг дисципліни	<i>90 годин / 3 кредити ЕКТС (лекції – 20 год., практичні заняття – 10 год., СРС – 60 год.)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік, модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>2 год лекційних та 1 год практичних занять на тиждень</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лекції та практичні заняття проводить: доктор філософії, Буцій Роман Андрійович, r.butsii@itgip.org</i>
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/c/ODQyMTQzODk0MzI4?cjc=atsjg2ul

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Дисципліна "Циклічні процеси та ритмоадаптивні методи аналізу циклічних сигналів" спрямована на формування в аспірантів системного розуміння циклічних/квазіциклічних процесів як класу динамічних процесів, а також на опанування математичних моделей і обчислювальних методів для аналізу, ідентифікації та прогнозування станів таких процесів за вимірними сигналами. Акцент робиться на ритмоадаптивних підходах: оцінювання параметрів ритму, узгодження часових шкал, сегментація/нормалізація циклів, статистичний та спектральний аналіз, побудова й валідація моделей за емпіричними даними та реалізація відповідних алгоритмів.

Мета: формування у аспірантів здатності обґрунтовано обирати та розробляти математичні моделі й ритмоадаптивні алгоритми оброблення циклічних сигналів, виконувати постановку дослідницьких задач, проводити моделювання за емпіричними даними, здійснювати обчислювальні експерименти та інтерпретувати результати як складову власної наукової роботи.

Предмет вивчення – математичні моделі циклічних процесів і сигналів (у т.ч. стохастичні та параметризовані за ритмом), ритмоадаптивні методи оцінювання/ідентифікації, алгоритми оброблення та аналізу циклів, методи статистичного опрацювання й моделювання за

емпіричними даними, а також програмно-алгоритмічні засоби реалізації обчислювальних методів для задач дослідження динамічних процесів та складних систем.

Програмні результати навчання:

Загальні компетентності

ЗК01. Здатність абстрактно мислити, виконувати поглиблений критичний аналіз, оцінку і синтез нових та комплексних ідей, формування необхідних методологічних принципів і навичок аналізу предмету наукового дослідження і явищ реального світу осмисленого підходу до життя, відокремлювати головні проблеми від другорядних, розуміти глобальні аспекти та їх наслідки.

ЗК02. Вміння виявляти проблему, виконувати постановку задачі та вирішувати її, зокрема, виявляти актуальні, значущі проблеми, які потребують розширення та переоцінки існуючих та/або розроблення нових підходів, створення нових моделей, методів, технологій, тощо генерувати нові ідеї.

ЗК03. Здатність до ґрунтовних досліджень, пошуку, оброблення аналізу інформації з різних джерел, використання сучасних інформаційних технологій, започаткування, планування, реалізації та коригування послідовного процесу ґрунтового наукового дослідження, демонструючи значну авторитетність, інноваційність, високий ступінь самостійності, з дотриманням належної академічної та професійної доброчесності й здатності до саморозвитку та самонавчання"

Фахові компетентності

ФК01. Здатність виконувати оригінальні наукові дослідження, визначати наукову проблему, формулювати робочі гіпотези дослідження, отримувати науковий результат, який передбачає продукування нових знань в прикладній математиці та дотичних мультидисциплінарних сферах, оприлюднювати отримані наукові результати

ФК02. Здатність до формулювання цілей та задач дослідження, його структурно-логічної схеми, розвинення окремих напрямків досліджень на основі існуючих та власних теоретичних підходів, моделей і методів, алгоритмів, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань.

ФК06 Здатність до розроблення нових та застосування математичних моделей, обчислювальних методів до розв'язання широкого кола прикладних задач, зокрема, в сфері національної безпеки та оборони, екологічної безпеки і збалансованого природокористування

ФК09 Здатність використовувати дані експериментів і натурних спостережень на етапах постановки задач, опрацювання проектних гіпотез моделі і формулювання результатів досліджень.

Програмні результати навчання

ПРН01. Мати сучасні концептуальні та методологічні знання в галузі прикладної математики, науково-дослідницької та/або професійної діяльності і на межі предметних галузей знань, достатні для виконання фундаментальних та прикладних досліджень на світовому рівні.

ПРН05. Знати та розуміти методологічні основи прикладної математики, методи наукового дослідження в даній галузі відповідно до її об'єкту і предмету, застосовувати міждисциплінарний підхід, використовувати у власних дослідженнях, науковій та науково-педагогічній діяльності

ПРН06. Використовувати сучасні інформаційні та комунікаційні технології та навички володіння державною та англійською мовами для наукового спілкування, взаємодії, пошуку

даних, обміну інформацією, критичного аналізу, оприлюднення та обговорення результатів дослідження та у викладацькій практиці

ПРН07. Вміти оцінювати, класифікувати і обґрунтовувати вибір методів, алгоритмів, методик розв'язання задач дослідження, здійснювати пошук та оброблення даних, застосовувати сучасні інструменти та технології пошуку та аналізу даних, необхідних для виконання дослідження, застосовувати методи математичного моделювання, обчислювальні методи, методи математичної фізики, прикладної статистики, штучний інтелект.

ПРН08. Формулювати гіпотези, виконувати теоретичний аналіз, експериментально підтверджувати, обґрунтовувати і застосовувати на практиці нові ідеї, інноваційні розробки, методи, технології розв'язку професійних, науково-технічних задач, в тому для національної безпеки та оборони, екологічної безпеки і збалансованого природокористування.

ПРН09. Знати перспективні напрямки, розуміти математичні концепції, методи прикладної математики, зокрема, математичного моделювання, обчислювальні методи, вміти застосовувати їх у дослідженнях динамічних процесів та складних систем

ПРН13 Знати та вміти застосовувати математичні моделі, обчислювальні методи, інформаційні технології та штучний інтелект для дослідження динамічних систем, аналізу та прогнозування їх стану

ПРН16 Знати сучасні підходи математичного моделювання за емпіричними даними та статистичного оброблення даних, вміти будувати математичні моделі досліджуваних динамічних процесів та систем, розробляти відповідні обчислювальні методи та алгоритми

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Дисципліна «Циклічні процеси та ритмоадаптивні методи аналізу циклічних сигналів» вивчається у осінньому (третьому) семестрі, тому для успішного засвоєння дисципліни необхідні знання, отримані під час вивчення дисциплін першого року підготовки, зокрема, «Методологія, організація і технологія наукових досліджень», «Іноземна мова за професійним спрямуванням», а також дисциплін професійної підготовки, що формують математичний апарат аналізу динамічних процесів (наприклад, «Проблеми та методи математичної фізики», «Математичні моделі дискретної математики»). Для вивчення дисципліни «Циклічні процеси та ритмоадаптивні методи аналізу циклічних сигналів» аспірант має бути знайомий з базовими розділами прикладної математики та математичного моделювання: лінійною алгеброю, математичним аналізом і диференціальними рівняннями, елементами функціонального аналізу, теорією ймовірностей і (щонайменше на оглядовому рівні) теорією випадкових процесів, основами чисельних методів і обчислювального експерименту, а також мати практичні навички роботи з даними/сигналами (попередня обробка, оцінювання параметрів, валідація моделей), програмної реалізації алгоритмів у сучасних середовищах (наприклад, Python/Matlab/Julia), підготовки наукових текстів і презентації результатів (академічне письмо, оформлення посилань, добір і критичний аналіз джерел).

На результатах навчання з дисципліни «Циклічні процеси та ритмоадаптивні методи аналізу циклічних сигналів» базуються виконання індивідуального плану наукової роботи здобувача, підготовка публікацій за тематикою дисертації, побудова та обґрунтування математичних моделей і алгоритмів аналізу динамічних процесів у різних предметних областях, а також написання дисертації.

3. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1. Основи циклічних сигналів і ритму: структура, фаза та варіативність

Тема 2. Узагальнене математичне моделювання циклічних сигналів: абстрактні відношення та таксономія моделей

Тема 3. Стохастична природа циклічних процесів: CRP та ймовірнісні характеристики

Тема 4. Ритмоадаптивне оцінювання та узгодження циклів: від даних до статистичних оцінок

Тема 5. Ритмоадаптивний спектральний аналіз і гібридні технології обробки циклічних сигналів

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Lupenko S.; Butsiy R. Abstract Cyclic Functional Relation as a Fundamental Taxonomic Unit of Cyclic Signal Mathematical Models. // *Mathematics*. — 2024. — Vol. 12, No. 19. — Art. 3084. — doi:10.3390/math12193084.
2. Lupenko S. The Mathematical Model of Cyclic Signals in Dynamic Systems as a Cyclically Correlated Random Process. // *Mathematics*. — 2022. — Vol. 10, No. 18. — Art. 3406. — doi:10.3390/math10183406.
3. Lupenko S. The rhythm-adaptive Fourier series decompositions of cyclic numerical functions and one-dimensional probabilistic characteristics of cyclic random processes. // *Digital Signal Processing*. — 2023. — Vol. 140. — Art. 104104. — doi:10.1016/j.dsp.2023.104104.
4. Lupenko S. Rhythm-adaptive statistical estimation methods of probabilistic characteristics of cyclic random processes. // *Digital Signal Processing*. — 2024. — Vol. 151. — Art. 104563. — doi:10.1016/j.dsp.2024.104563.
5. Lupenko S.; Butsiy R. Isomorphic Multidimensional Structures of the Cyclic Random Process in Problems of Modeling Cyclic Signals with Regular and Irregular Rhythms. // *Fractal and Fractional*. — 2024. — Vol. 8, No. 4. — Art. 203. — doi:10.3390/fractalfract8040203.
6. Lupenko S.; Butsiy R.; Shakhovska N. Advanced Modeling and Signal Processing Methods in Brain-Computer Interfaces Based on a Vector of Cyclic Rhythmically Connected Random Processes. // *Sensors*. — 2023. — Vol. 23, No. 2. — Art. 760. — doi:10.3390/s23020760.

Додаткова література

1. Das, S.; Genton, M. G. Cyclostationary Processes With Evolving Periods and Amplitudes // *IEEE Transactions on Signal Processing*. — 2021. — Vol. 69. — P. 1579–1590. — doi: 10.1109/TSP.2021.3057268.
2. Gardner, W. A. Transitioning away from stochastic process models // *Journal of Sound and Vibration*. — 2023. — Vol. 565. — Art. 117871. — doi: 10.1016/j.jsv.2023.117871.
3. Napolitano, A.; Gardner, W. A. Discovering and modeling hidden periodicities in science data // *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. — 2025. — Art. (2025). — doi: 10.1186/s13634-025-01207-w.
4. Napolitano, A.; Gardner, W. A. Fraction-of-time probability: advancing beyond the need for stationarity and ergodicity assumptions // *IEEE Access*. — 2022. — Vol. 10. — P. 34591–34612. — doi: 10.1109/ACCESS.2022.3162620.
5. Napolitano, A.; Wyłomańska, A. Characterization of irregular cyclicities in heavy-tailed data // *Signal Processing*. — 2025. — Vol. 234. — Art. 109980 — doi: 10.1016/j.sigpro.2025.109980

6. Miao, H.; Zhang, F. Chirp cyclic moment for chirp cyclostationary processes: definitions and estimators // Digital Signal Processing. – 2023. – Vol. 141. – Art. 104185. – doi: 10.1016/j.dsp.2023.104185.
7. Horstmann, S.; Ramírez, D.; Schreier, P. J. Multistatic Passive Detection of Cyclostationary Signals // ICASSP 2024 – 2024 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. – 2024. – P. 9306–9310. – doi: 10.1109/ICASSP48485.2024.10447335.
8. Żuławiński, W.; Antoni, J.; Zimroz, R.; Wyłomańska, A. Applications of robust statistics for cyclostationarity detection in non-Gaussian signals for local damage detection in bearings // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2024. – Vol. 218. – Art. 111367. – doi: 10.1016/j.ymsp.2024.111367.
9. Muñoz, F. et al. Restoring statistical cyclicity in rotating machinery vibrations using a de-warping procedure // Measurement. – 2024. – Vol. 227. – Art. 114124. – doi: 10.1016/j.measurement.2024.114124.
10. Darsena, D.; Gelli, G.; Iudice, I. CycloDSP: A cyclostationary signal analysis tool for GNU Radio // arXiv:2405.16911 (прийнято до IEEE Aerospace Conference). – 2024. – doi: 10.1109/AERO58975.2024.10521369.
11. Dehay, A.; Chonavel, T.; Dossou, B. Cyclic Detectors in the Fraction-of-Time Probability Framework // Inventions. – 2023. – Vol. 8(6). – Art. 152. – doi: 10.3390/inventions8060152.

Інформаційні ресурси

1. Cyclostationarity.com (огляд, матеріали, навігація по темі) <https://cyclostationarity.com>
2. Бібліографія з cyclostationarity.com (зручні підбірки Gardner / Napolitano тощо) <https://cyclostationarity.com/bibliography-on-cyclostationarity/comprehensive-bibliography-on-contributions-to-the-subject-fraction-of-time-probability-and-generalized-harmonic-analysis>
3. CycloDSP: arXiv-публікація, реалізація (GNU Radio) для циклічної статистики/SCF/CCF <https://arxiv.org/abs/2405.16911>
4. Python-репозиторії для cyclostationary analysis (прикладі реалізацій/експериментів) https://github.com/fchirono/cyclostationarity_analysis

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

№ п/п	Змістові модулі / теми	Кількість годин, відведених на:			Термін виконання
		лекції	практичні заняття	сам. робота.	
1	2	3	4	5	6
T1	Основи циклічних сигналів і ритму: структура, фаза та варіативність <i>Узагальнюються базові поняття циклу й фази, вводиться ритм як ключовий параметр циклічності, розглядаються регулярні та нерегулярні ритми і пояснюється, чому ритмоадаптація потрібна для коректного аналізу.</i>	4	2	12	1-й, 2-й тиждень
T2	Узагальнене математичне моделювання циклічних сигналів: абстрактні відношення та таксономія моделей <i>Розглядаються абстрактні циклічні функціональні відношення як каркас для опису циклічних сигналів і</i>	4	2	12	3-й, 4-й тиждень

	<i>будується таксономія моделей (детерміновані, стохастичні, інтервальні, нечіткі, гібридні) як інструмент обґрунтованого вибору під задачу та дані.</i>				
T3	Стохастична природа циклічних процесів: CRP та ймовірнісні характеристики <i>Пояснюється місце циклічних стохастичних моделей і CRP у порівнянні з класичною періодикою, формалізуються ймовірнісні характеристики циклічних процесів (моментні/кореляційні) та поняття "циклічності у широкому сенсі" для подальшого оцінювання й порівняння режимів.</i>	4	2	12	5-й, 6-й тиждень
T4	Ритмоадаптивне оцінювання та узгодження циклів: від даних до статистичних оцінок <i>Розглядаються методи виділення циклів, оцінювання ритму й вирівнювання за ритмом, після чого будуються ритмоадаптивні статистичні оцінювачі та процедури згладжування по циклах із аналізом компромісу між стійкістю та чутливістю.</i>	4	2	12	7-й, 8-й тиждень
T5	Ритмоадаптивний спектральний аналіз і гібридні технології обробки циклічних сигналів <i>Показується, як ритмоадаптація впливає на спектральні та часо-частотні оцінки й формування ознак, а також узагальнюється побудова практичних пайплайнів у моделебазованих, дата-драйв та гібридних підходах для задач ідентифікації, детекції змін і прогнозування.</i>	4	1	12	9-й, 10-й тиждень
МКР	<i>Модульна контрольна робота</i>		1		
	Всього модуль	20	10	60	

6. Самостійна робота студента/аспіранта

№	Вид самостійної роботи	Кількість годин (орієнтовно)
1.	Підготовка до аудиторних занять: опрацювання конспекту/презентацій, рекомендованих джерел, підготовка запитань	20
2.	Написання реферату/огляду літератури за темою індивідуального дослідження (постановка проблеми, аналіз підходів, висновки)	10
3.	Формування наборів даних для аналізу: добір джерел/експериментальних даних, попередня очистка, документування, базова візуалізація	5
4.	Проведення розрахунків за даними за обраною тематикою: оцінювання ритму, сегментація циклів, узгодження/нормалізація, обчислення статистичних показників	5
5.	Дослідження (міні-дослід) за обраною тематикою: порівняння моделей/методів, аналіз стійкості до шумів/нерегулярності	5
6	Побудова та валідація простого алгоритму/пайплайну аналізу циклічних сигналів: вибір ознак (статистичних/спектральних), тестування на даних, оцінка якості та інтерпретація результатів	5
7	Формування звіту за результатами дослідження та підготовка презентації (структура, графіки/таблиці, висновки, список джерел)	10
	Всього	60

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Вимоги, яких має дотримуватися студент в рамках даної дисципліни:

- правила відвідування занять: відвідування лекцій та практичних занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання та проводяться контрольні заходи (тести) з поточної оцінки самостійної роботи студентів з засвоєння поточного матеріалу. Останні є складовою частиною поточного рейтингу і проводяться тільки у день проведення відповідних лекцій та практичних занять. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за своєчасність виконання студентами практичних та контрольних робіт, а також виконання завдань, які здатні розвинути практичні уміння та навички;
- правила поведінки на заняттях: студент повинен брати участь у розв'язку задач, готувати короткі доповіді;
- захист практичних робіт – захист відбувається у визначені терміні під час аудиторних занять;
- політика щодо академічної доброчесності – політика та принципи академічної доброчесності визначені у Етичному кодексі вченого Інституту телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Семестровий контроль - залік. Рейтингова система оцінювання результатів навчання передбачає оцінювання заходів поточного контролю з дисципліни впродовж семестру. Рейтингова оцінка здобувача складається з балів, отриманих здобувачем за результатами заходів поточного контролю. Рейтингова оцінка доводиться до здобувачів на передостанньому занятті з дисципліни в семестрі. Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань

Зі здобувачами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому за розкладом занятті з дисципліни в семестрі викладач проводить семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи.

Для посилення зацікавленості здобувачів у якісному виконанні індивідуальних семестрових завдань, передбачених індивідуальним навчальним планом здобувача, рейтингову оцінку, у разі виконання залікової контрольної роботи, можна визначати як суму балів за залікову контрольну роботу та балів за індивідуальне семестрове завдання. У цьому випадку розмір шкали оцінювання залікової контрольної роботи зменшується на максимальне значення балів, передбачених за виконання відповідного індивідуального семестрового завдання.

Після виконання залікової контрольної роботи, якщо оцінка за залікову контрольну роботу більша ніж за рейтингом, здобувач отримує оцінку за результатами залікової контрольної роботи. Якщо оцінка за залікову контрольну роботу менша ніж за рейтингом, то здобувач отримує більшу з оцінок, що отримані за результатами залікової контрольної роботи або за рейтингом.

До відомості семестрового контролю викладач заносить рейтингові бали, отримані здобувачем у семестрі або за результатами виконання залікової контрольної роботи, та оцінку відповідно до цих балів

Критерії нарахування балів:

1. Практичні заняття оцінюються виходячи з максимальної кількості балів - практичні роботи сумарно — 40 балів, самостійна — 60 балів:

- «відмінно» –95 відсотків максимального балу;
- «добре» –75-95;
- «задовільно» –60-75;
- «достатньо» – 50 відсотків – робота виконана, але не захищена.

Умови допуску до підсумкового контролює зарахування усіх практичних робіт Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

- виконання ПРАКТИЧНИХ (лабораторних) робіт;
- виконання самостійної роботи.

За період вивчення дисципліни студент може набрати 100 балів. Їх розподіл між видами робіт наведено в таблиці 1

Бали за виконання	Номер практичної роботи або теми					Разом
	1	2	3	4	5	
Практичної роботи	5	5	10	10	10	100
Самостійної роботи	15	15	10	10	10	

2. Залікова контрольна робота оцінюється за такими критеріями:

- «відмінно» – повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації), надані відповідні обґрунтування та особистий погляд;
- «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», або незначні неточності);
- «задовільно» – неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації. що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки);
- «незадовільно» – незадовільна відповідь–0 балів.

Залікова контрольна робота передбачається у вигляді тесту, критерії оцінювання тесту:

Кількість правильних відповідей	Відсоток правильних відповідей	Оцінка за національною шкалою	Оцінка за шкалою ECTS
48-50	95-100	Відмінно	A
41-47	82-94	Дуже добре	B
37-40	75-81	Добре	C
34-36	69-74	Задовільно	D
30-33	60-68	Достатньо	E
5-29	10-13	Не задовільно	FX

Відповідність рейтингових балів оцінкам за шкалою Інституту та шкалою ECTS

Рейтингова оцінка	Оцінка за національною шкалою	Оцінка за шкалою ECTS
90-100	Відмінно	A
82-89	Дуже добре	B
75-81	Добре	C
69-74	Задовільно	D
60-68	Достатньо	E
45-59	Не задовільно	FX
Невиконання умов допуску до семестрового контролю	Не допущено	

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- *перелік питань, які виносяться на семестровий контроль у додатку*
- *є можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів Coursera за відповідною тематикою – зараховується додатково до 10 балів до загального рейтингу студента, якщо студент набрав не менше 75 балів за період вивчення курсу та отримав відповідний сертифікат.*

Ухвалено:

**Вченою радою Інституту телекомунікацій
і глобального інформаційного простору
НАН України Протокол №11 від 28.08.2025**

Введено в дію:

**Наказом директора
Наказ від 29.08.2025 №47-с**