



## МОДЕЛІ НЕЛІНІЙНОЇ ДИНАМІКИ ТА НЕЛІНІЙНІ СИСТЕМИ

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізити навчальної дисципліни

<b>Рівень вищої освіти</b>	Другий (магістерський)
<b>Галузь знань</b>	12 Інформаційні технології
<b>Спеціальність</b>	122 Комп'ютерні науки
<b>Освітня програма</b>	Комп'ютерні технології в біології та медицині
<b>Статус дисципліни</b>	Вибіркова
<b>Форма навчання</b>	очна(денна)
<b>Рік підготовки, семестр</b>	1 курс, весняний семестр
<b>Обсяг дисципліни</b>	5 кредитів ECTS (150 годин). Лекції -36год. Практичні -36год. Індивідуальне завдання 10-15год. СР -78 год.
<b>Семестровий контроль / контрольні заходи</b>	Екзамен. Модульна контрольна робота. Індивідуальне завдання
<b>Розклад занять</b>	Згідно розкладу на сайті <a href="http://rozklad.kpi.ua/">http://rozklad.kpi.ua/</a>
<b>Мова викладання</b>	Українська
<b>Інформація про керівника курсу / викладачів</b>	<b>Лектор:</b> доктор біологічних наук професор Настенко Євген Арнольдович nastenko.e@gmail.com, bk-nastenko-fbmi@lil.kpi.ua <b>Практичні:</b> кандидат фіз.-мат. наук Рудніков Євгеній Григорович rudnikof@yahoo.com, bmk-ryg-fbmi@lil.kpi.ua
<b>Розміщення курсу</b>	Курс розміщено на дистанційній платформі «Сікорський» (Moodle / Google classroom) за запрошенням викладача / код курсу

#### Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна «Моделі нелінійної динаміки та нелінійних систем» відіграє суттєву роль в підготовці магістрів за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки». Вивчення дисципліни сприяє розвитку здатності до системного мислення, аналізу складних нелінійних систем та процесів. Застосування методології нелінійної динаміки (синергетики) є важливим для дослідження складних систем та процесів біологічної природи, методів їх моделювання та кількісної оцінки складності поведінки.

Навчальна дисципліна вивчає основні поняття і підходи до дослідження властивостей складних нелінійних систем та процесів, підходів до їх моделювання та дослідження складності поведінки, створювати математичні системи та програмні засоби прогнозування станів та діагностики станів об'єктів у біології та медицині. Вона

передбачає використання сучасних бібліотек та фреймворків для проектування і побудови інформаційно-аналітичних та діагностичних систем медичного спрямування, налаштування, застосування скриптових мов програмування та прикладних віртуальних машин, програмування залежних від апаратної частини функцій інформаційно-аналітичних прогностичних та діагностичних систем.

**Метою навчальної дисципліни** є формування у студентів компетентностей у відповідності до освітньо-професійної програми “Комп’ютерні науки”.

По завершенню вивчення дисципліни здобувачі ВО повинні продемонструвати наступні компетенції та програмні результати навчання ухвалені наказом ректора КПІ ім. Ігоря Сікорського №НОН/201/2022 від 30.06.2022р. Детальніше: <https://osvita.kpi.ua/122>

**Інтегральна компетентність:** Здатність розв’язувати задачі дослідницького та/або інноваційного характеру у сфері комп’ютерних наук.

**Загальні компетентності:**

**ЗК 1** Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

**ЗК 2** Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

**ЗК 5** Здатність вчитися й оволодівати сучасними знаннями.

**ЗК 7** Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

**Спеціальні (фахові) компетентності:**

**СК 1** Усвідомлення теоретичних засад комп’ютерних наук

**СК 3** Здатність використовувати математичні методи для аналізу формалізованих моделей предметної області.

**Програмні результати навчання:**

**РН 2** Мати спеціалізовані уміння/навички розв’язання проблем комп’ютерних наук, необхідні для проведення досліджень та/або провадження інноваційної діяльності з метою розвитку нових знань та процедур.

**РН 7** Розробляти та застосовувати математичні методи для аналізу інформаційних моделей.

**РН 16** Виконувати дослідження у сфері комп’ютерних наук

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

В структурно-логічній схемі програми підготовки фахівця навчальна дисципліна входить до переліку вибіркового дисциплін з Ф-каталогу, спрямованих на формування спеціальних компетентностей фахівця.

**Пререквізити** Навчальна дисципліна належить до вибіркового частини циклу професійних дисциплін.

**Постреквізити** Теоретичні знання та практичні навички, що отримані під час вивчення навчальної дисципліни, можуть бути використані для виконання певних розділів магістерської дисертації.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Розділ 1. Основні ідеї та поняття науки нелінійна динаміка**

Тема 1.1. Вступна лекція з курсу Моделі нелінійної динаміки та нелінійних систем.

Тема 1.2. Парадигми нелінійної науки.

Тема 1.3. Атрактори.

## **Розділ 2. Фрактали.**

Тема 2.1. Фрактальні властивості хаосу.

Тема 2.2. Фрактали

## **Розділ 3. Біфуркації, складність та ентропія.**

Тема 3.1. Теорія біфуркацій.

Тема 3.2. Шкала складності

Тема 3.3. Шкала детермінізм – стохастичність

## **Розділ 4. Теорія самоорганізованої критичності та динамічні властивості біомедичних систем**

Тема 4.1. Теорія самоорганізованої критичності

Тема 4.2. Фліккер-шум

Тема 4.3. Координатна площина складності – варіабельність

## **Розділ 5. Клітинно-автоматні моделі**

Тема 5.1. Базові принципи клітинкових автоматів

Тема 5.2. Заключна лекція з курсу Моделі нелінійної динаміки та нелінійних систем. Перспективи застосування у біомедицині.

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

Для підготовки до лекційних занять та комп'ютерних практикумів, модульної контрольної роботи, виконання індивідуальних завдань та самостійної роботи використовується базова та додаткова література, яку студент опрацьовує самостійно із застосуванням інтернет-ресурсів та матеріалів розміщених на дистанційній платформі «Сікорський». За умов дистанційного навчання можна користуватися літературою, яка розміщена у електронному вигляді на університетських та зовнішніх носіях викладача.

### ***Базова література***

1. Синергетика : підр. / І. О. Анісімов. – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2014. – 511 с. // ISBN 978-966-439-759-6 // <http://phys-el.univ.kiev.ua/resources/Synergetics.pdf>
2. Синергетика // Велика Українська енциклопедія// <https://vue.gov.ua/%D0%A1%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0>
3. Haken, H. (1984). The science of structure : synergetics. New York: Van Nostrand Reinhold. ISBN 0442237030. OCLC 9644102.
4. Сугаков В. Й. Основи синергетики. — К. : Обереги, 2001. — 287 с.
- Mandelbrot, B. (1977). The Fractal Geometry of Nature. New York: Freeman. p. 248.

### ***Додаткова література:***

Теорія хаосу .

5. Kellert Stephen H. (1993). In the Wake of Chaos: Unpredictable Order in Dynamical Systems. University of Chicago Press. p. 32. ISBN 978-0-226-42976-2.
6. Skiadas, Charilaos; Skiadas, Christos H Handbook of applications of chaos theory Publisher: CRC Press, Year: 2016 ISBN: 978-1-4665-9044-1,1466590440
7. Hubler, A.; Foster, G.; Phelps, K. (2007). "Managing chaos: Thinking out of the box". Complexity. 12 (3): 10. Bibcode:2007Cmplx..12c..10H. doi:10.1002/cplx.20159.

Фрактали

8. Li, J.; Du, Q.; Sun, C. (2009). "An improved box-counting method for image fractal dimension estimation". Pattern Recognition. 42 (11): 2460–2469. doi:10.1016/j.patcog.2009.03.001.
9. Kahn, Jeremy (8 August 2001). "The Mandelbrot Set is Connected: a Topological Proof"

(PDF).

10. The Mandelbrot set, theme and variations. Tan, Lei. Cambridge University Press, 2000. ISBN 978-0-521-77476-5. Section 2.1, "Yoccoz para-puzzles", p. 121
11. Frame, Michael, and Benoit Mandelbrot. Fractals, graphics, and mathematics education. No. 58. Cambridge University Press, 2002.
12. Mandelbrot, Benoit B., Carl JG Evertsz, and Martin C. Gutzwiller. Fractals and chaos: the Mandelbrot set and beyond. Vol. 3. New York: Springer, 2004.
13. Mandelbrot, Benoit B. Fractals and scaling in finance: Discontinuity, concentration, risk. Selecta volume E. Springer Science & Business Media, 2013.
14. Feder, J. (1998) Fractals. Plenum Press, New York.
15. Gabriele A. Losa, Dušan Ristanović, Dejan Ristanović, Ivan Zaletel, Stefano Beltraminelli From Fractal Geometry to Fractal Analysis Applied Mathematics, Vol.7 No.4, March 10, 2016
16. Mandelbrot, B. (1977). The Fractal Geometry of Nature. New York: Freeman. p. 248.

#### Атрактор Лоренца

17. "Edward Lorenz, Father of chaos theory and butterfly effect, dies at 90". MIT News. Retrieved 2019-11-24.
18. Hernández-Acosta, M. A.; Trejo-Valdez, M.; Castro-Chacón, J. H.; Miguel, C. R. Torres-San; Martínez-Gutiérrez, H. (2018). "Chaotic signatures of photoconductive Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> nanostructures explored by Lorenz attractors". New Journal of Physics. 20 (2): 023048. Bibcode:2018NJPh...20b3048H. doi:10.1088/1367-2630/aaad41. ISSN 1367-2630.
19. Saltzman B. Finite amplitude free convection as an initial value problem. // Journal of the atmospheric science, № 7, 1962 — p. 329—341.

#### Біфуркації

20. Shen, Bo-Wen (2019-03-01). "Aggregated Negative Feedback in a Generalized Lorenz Model". International Journal of Bifurcation and Chaos. 29 (3): 1950037–1950091. Bibcode:2019IJBC...2950037S. doi:10.1142/S0218127419500378. ISSN 0218-1274. S2CID 132494234.
21. Guckenheimer, John; Holmes, Philip (1983). Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems, and Bifurcations of Vector Fields. Springer-Verlag. ISBN 978-0-387-90819-9.

#### Логістичне відображення

22. Boeing, Geoff (26 March 2015). "Chaos Theory and the Logistic Map". Retrieved 2020-05-17.
23. Lorenz Edward (1993). The Essence of Chaos. University of Washington Press. pp. 181–206.
24. Shen, Bo-Wen; Pielke, Roger A.; Zeng, Xubin; Cui, Jialin; Faghieh-Naini, Sara; Paxson, Wei; Atlas, Robert (2022-07-04). "Three Kinds of Butterfly Effects within Lorenz Models". Encyclopedia. 2 (3): 1250–1259. doi:10.3390/encyclopedia2030084. ISSN 2673-8392. Text was copied from this source, which is available under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

#### Самозорганізована критичність

25. Bak P, Paczuski M (July 1995). "Complexity, contingency, and criticality". Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 92 (15): 6689–6696. Bibcode:1995PNAS...92.6689B. doi:10.1073/pnas.92.15.6689. PMC 41396. PMID 11607561.
26. Self-organized criticality Vladyslav A. Golyk Massachusetts Institute of Technology, Department of Physics, Cambridge, Massachusetts 02139, USA //

<http://www.mit.edu/~8.334/grades/projects/projects12/V.%20A.%20Golyk.pdf>

27. Bak P, Tang C, Wiesenfeld K (July 1987). "Self-organized criticality: An explanation of the  $1/f$  noise". *Physical Review Letters*. 59 (4): 381–384. Bibcode:1987PhRvL..59..381B. doi:10.1103/PhysRevLett.59.381. PMID 10035754. Papercore summary:

Енропійний аналіз

28. Karsten Keller (editor) *Entropy Measures for Data Analysis: Theory, Algorithms and Applications* Publisher: MDPI AG, Year: 2019 ISBN: 3039280325,9783039280322

29. Dewar R (2003). "Information theory explanation of the fluctuation theorem, maximum entropy production and self-organized criticality in non-equilibrium stationary states". *Journal of Physics A: Mathematical and General*. 36 (3): 631–641. arXiv:cond-mat/0005382. Bibcode:2003JPhA...36..631D. doi:10.1088/0305-4470/36/3/303. S2CID 44217479

30. Pincus, S. M.; Gladstone, I. M.; Ehrenkranz, R. A. (1991). "A regularity statistic for medical data analysis". *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. 7 (4): 335–345. doi:10.1007/BF01619355. PMID 1744678. S2CID 23455856.

31. Pincus, S.M.; Kalman, E.K. (2004). "Irregularity, volatility, risk, and financial market time series". *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 101 (38): 13709–13714. Bibcode:2004PNAS..10113709P.

Нелінійна динаміка у біології, теорії еволюції та медицині

32. King, R. D.; George, A. T.; Jeon, T.; Hynan, L. S.; Youn, T. S.; Kennedy, D. N.; Dickerson, B.; the Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative (2009). "Characterization of Atrophic Changes in the Cerebral Cortex Using Fractal Dimensional Analysis". *Brain Imaging and Behavior*. 3 (2): 154–166. doi:10.1007/s11682-008-9057-9. PMC 2927230. PMID 20740072.

33. Karperien, Audrey; Jelinek, Herbert F.; Leandro, Jorge de Jesus Gomes; Soares, João V. B.; Cesar Jr, Roberto M.; Luckie, Alan (2008). "Automated detection of proliferative retinopathy in clinical practice". *Clinical Ophthalmology*. 2 (1): 109–122. doi:10.2147/OPHTH.S1579. PMC 2698675. PMID 19668394.

34. Linkenkaer-Hansen K, Nikouline VV, Palva JM, Ilmoniemi RJ (February 2001). "Long-range temporal correlations and scaling behavior in human brain oscillations". *The Journal of Neuroscience*. 21 (4): 1370–1377. doi:10.1523/JNEUROSCI.21-04-01370.2001. PMC 6762238. PMID 11160408.

35. Beggs JM, Plenz D (December 2003). "Neuronal avalanches in neocortical circuits". *The Journal of Neuroscience*. 23 (35): 11167–11177. doi:10.1523/JNEUROSCI.23-35-11167.2003. PMC 6741045. PMID 14657176.

36. Chialvo DR (2004). "Critical brain networks". *Physica A*. 340 (4): 756–765. arXiv:cond-mat/0402538. Bibcode:2004PhyA..340..756R. doi:10.1016/j.physa.2004.05.064. S2CID 15922916.

37. Gabrielli A, Caldarelli G, Pietronero L (December 2000). "Invasion percolation with temperature and the nature of self-organized criticality in real systems". *Physical Review E*. 62 (6 Pt A): 7638–7641. arXiv:cond-mat/9910425. Bibcode:2000PhRvE..62.7638G. doi:10.1103/PhysRevE.62.7638. PMID 11138032. S2CID 20510811.

38. Daniel Dennett (1995), *Darwin's Dangerous Idea*, Penguin Books, London, ISBN 978-0-14-016734-4, ISBN 0-14-016734-X

Клітинкові автомати

39. Kroc, Jiří; Jiménez-Morales, Francisco; Guisado, José Luis; Lemos, María Carmen; Tkáč, Jakub (December 2019). "Building Efficient Computational Cellular Automata Models of Complex Systems: Background, Applications, Results, Software, and Pathologies". *Advances in Complex Systems*. 22 (5): 1950013 (38 pages). doi:10.1142/S0219525919500139. S2CID 212988726.

40. S.Wolfram, *A New Kind of Science* — Wolfram Media, 2002

(<http://www.wolframscience.com/nksonline/toc.html>)

41. Toffoli, Tommaso; Margolus, Norman (1987). Cellular Automata Machines: A New Environment for Modeling. MIT Press. p. 27. ISBN 9780262200608.
42. The Evolutionary Design of Collective Computation in Cellular Automata, James P. Crutchfield, Melanie Mitchell, Rajarshi Das (In J. P. Crutchfield and P. K. Schuster (editors), Evolutionary Dynamics|Exploring the Interplay of Selection, Neutrality, Accident, and Function. New York: Oxford University Press, 2002.)

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Для вивчення навчальної дисципліни заплановано проведення 18 лекційних та 18 комп'ютерних практикумів (надалі – КП), під час яких студенти мають виконати модульну контрольну роботу (надалі -МКР).

Для засвоєння навчального матеріалу з кредитного модуля застосовуються наступні **методи навчання**: пояснювально-демонстраційний, частково пошуковий, дослідницький, метод проблемного викладання, комунікативний з елементами рольової та ділової гри, метод навчальних проєктів. Інноваційні способи і методи, що використовуються в освітньому процесі, засновані на застосуванні сучасних досягнень біологічної та медичної галузей науки та інформаційних технологій, та спрямовані на підвищення якості підготовки шляхом розвитку “soft-skills” (творчих здібностей, креативності, комунікації, роботи в групі і самостійно), націлені на активізацію творчого потенціалу та самостійності

Розподіл аудиторних годин за темами курсу та календарний план їх проведення

Назва розділів і тем	Лекції		Семінари		Програ мні рез-ти навч.	Оцінювання
	Годи -ни	Тиж- ні	Годи -ни	Тиж-ні		
<b>Розділ 1. Основні ідеї та поняття науки нелінійна динаміка</b>					2,7	
Тема 1.1. Вступна лекція з курсу Моделі нелінійної динаміки та нелінійних систем.	2	1				
Тема 1.2. Парадигми нелінійної науки.	2	1	2	1		Звіт з КП №1
Тема 1.3. Атрактори	2	2	4	2-3		Звіт з КП №2
<b>Разом за розділом 1</b>	<b>6</b>		<b>6</b>			
<b>Розділ 2. Фрактали</b>					2,7	
Тема 2.1. Фрактальні властивості хаосу.	2	3	2	4		Звіт з КП №3
Тема 2.2. Фрактали	4	4-5	4	5-6		
<b>Разом за розділом 2</b>	<b>6</b>		<b>6</b>			
<b>Розділ 3. Біфуркації, складність та ентропія</b>					2,7	
Тема 3.1. Теорія біфуркацій.	2	6	2	7		Звіт з КП №4
Тема 3.2. Шкала складності	2	7	2	8		
Тема 3.3. Шкала детермінізм – стохастичність	2	8	2	9		
<b>Разом за розділом 3</b>	<b>6</b>		<b>6</b>			
<b>Розділ 4. Теорія самоорганізованої критичності та динамічні властивості біомедичних систем</b>					2,7	
Тема 4.1. Теорія самоорганізованої	2	9	2	10		Звіт з КП №5

Назва розділів і тем	Лекції		Семінари		Програ мні рез-ти навч.	Оцінювання
	Годи -ни	Тиж- ні	Годи -ни	Тиж-ні		
критичності						
Тема 4.2. Флікер-шум	4	10-11	4	11-12		Звіт з КП №6
Тема 4.3. Координатна площина складності – варіабельність	2	12	2	13		Звіт з КП №7
<b>Разом за розділом 4</b>	<b>8</b>		<b>8</b>			
<b>Розділ 5. Клітинно-автоматні моделі</b>					2,7,16	
Тема 5.1. Базові принципи клітинкових автоматів	8	13-16	8	14-17		Звіт з КП №8
Тема 5.2. Заключна лекція з курсу Моделі нелінійної динаміки та нелінійних систем. Перспективи застосування у біомедицині	2	17				
<b>Разом за розділом 5</b>	<b>10</b>		<b>8</b>			
<i>Модульна контрольна робота</i>			<b>2</b>	<b>18</b>		<b>МКР</b>
<i>Індивідуальне завдання</i>				<b>17-18</b>	<b>2,7,16</b>	<b>Захист</b>
<i>Екзамен</i>				<i>За графіком</i>		
<b>Всього годин</b>	<b>36</b>		<b>36</b>			

### 5.1. Лекційні заняття

№ з/п	Теми лекційних занять
1	<b>Вступна лекція з курсу Моделі нелінійної динаміки та нелінійних систем</b> Відмінні особливості трьох парадигм пізнання. Детермінізм. Стохастичність. Самоорганізація.
2	<b>Парадигми нелінійної науки.</b> Теорія хаосу. Теорія відкритих термодинамічних систем. Теорія самоорганізованої критичності. Синтез нових теорій. Теорія Джокерів, Теорія русел.
3	<b>Атрактори</b> Типи атракторів. Граничний цикл. Регулярні та дивні атрактори. Атрактор Лоренца.
4	<b>Фрактальні властивості хаосу</b> Фрактальна розмірність. Масштабна та трансляційна інваріантність. Самоподібність
5	<b>Фрактали (частина - 1)</b> Фрактали математичні та матеріальні. Фрактальні форми. Фрактальні кластери. Сніжинка Коха. Серветка Серпінського. Берегова лінія материків. Броунівський рух.
6	<b>Фрактали (частина - 2)</b> Структурна та функціональна самоподібність біологічних об'єктів. Фрактальний аналіз.
7	<b>Теорія біфуркацій</b> Популяційна динаміка. Рівняння Пуанкаре, логістичне відображення. Реакція Білоусова – Жаботинського. Турбулентність. Застосування у біології та медицині.
8	<b>Шкала складності</b>

№ з/п	Теми лекційних занять
	Складні системи. Фізико-хімічна та алгоритмічна складність. Алгоритм лінійної архівації.
9	<b>Шкала детермінізм – стохастичність, детерміністичний хаос.</b> Чутливість системи. Апроксимаційна ентропія. Ентропійний аналіз. Форми ентропії. RS – аналіз.
10	<b>Теорія самоорганізованої критичності</b> Три рівня критичності. Пісочна парадигма. Біфуркаційна точка. Робота головного мозку, капілярна сітка, мікроциркуляція крові.
11	<b>Флікер-шум (частина - 1)</b> Показник флікер-шуму. Флуктуації. Кольори шуму. Рожевий, білий, чорний шум.
12	<b>Флікер-шум (частина - 2)</b> Варіанти проявів флікер-шуму у біологічних системах. Стохастичний гомеостаз.
13	<b>Координатна площина складність – варіабельність</b> Статистичний коефіцієнт варіації. 5 зон на площині складність – варіабельність. Динамічні властивості біомедичних систем. Числа Фіббоначі, золотий перетин
14	<b>Базові принципи клітинкових автоматів (частина - 1)</b> Прості правила – складна поведінка. 4 типи за класифікацією Вольфрама. Локальні околиці фон Неймана, Мура, Марголуса.
15	<b>Базові принципи клітинкових автоматів (частина - 2)</b> Динаміка популяцій. Хижак-жертва. Гратчатий газ. Колективний рух зграї. Колективний рух натовпу. Вихорові рухи конденсованої системи
16	<b>Базові принципи клітинкових автоматів (частина - 3)</b> Збудження міокарда. Капілярний кровоток. Течія нен'ютонівської рідини – кровоток по криволінійних трубках.
17	<b>Базові принципи клітинкових автоматів (частина - 4)</b> Ігри “життя”, “вовки та вівці”, “мінер”. Правильні багатогранники у просторах різної розмірності. Класифікація елементарних клітинкових автоматів. Універсальність елементарного клітинкового автомату № 110.
18	<b>Заклучна лекція з курсу Моделі нелінійної динаміки та нелінійних систем</b>

## 5.2. Комп'ютерні практикуми

№ з/п	Тематика лабораторних робіт	Кількість год
1	Підготовка даних у вигляді числових послідовностей. Випадкова послідовність, пульсограма, у наступному – серія, згенерована на клітинно-автоматній моделі. Нормування, трансформація у категоріальну (порядкову) шкалу за допомогою формули Стерджеса, або Діаконіса..	4
2	Обчислення та аналіз фрактальної розмірності пульсограми людини та випадкової числової послідовності методом зворотної карти (Box Counting).	4
3	Аналіз властивостей пульсограми людини та випадкової числової послідовності із застосуванням логістичного перетворення	4
4	Оцінка регулярної та стохастичної складових пульсограми людини та випадкової числової послідовності за допомогою побудови матриць суміжності	4
5	Ознайомлення із роботою клітинного автомату. Генерація, нормування та представлення у порядковій шкалі числових	4



	послідовностей, згенерованих за допомогою клітинного автомату	
6	Обчислення методом зворотної карти (Box Counting) та аналіз фрактальної розмірності числової послідовності кількості активних капілярів, згенерованих за допомогою клітинного автомату.	4
7	Аналіз із застосуванням логістичного перетворення властивостей числової послідовності кількості активних капілярів, згенерованих за допомогою клітинного автомату.	4
8	Оцінка за допомогою побудови матриць суміжності регулярної та стохастичної складових числової послідовності кількості активних капілярів, згенерованих за допомогою клітинного автомату.	2
9	МКР	2

### Платформа дистанційного навчання:

Для кращого засвоєння матеріалу навчальної дисципліни в період дистанційної роботи, використовується електронна пошта, платформа дистанційного навчання «Сікорський», Google Meet / ZOOM та Інформаційна система «Електронний кампус», за допомогою яких:

- спрощується розміщення методичних рекомендацій, навчальних матеріалів, літератури тощо;
- здійснюється зворотній зв'язок зі студентами щодо навчальних завдань та змісту навчальної дисципліни;
- перевіряються і оцінюються виконані завдання;
- ведеться облік виконання студентами плану навчальної дисципліни, дотримання графіку подання навчальних/індивідуальних завдань та їх оцінювання.

## 6. Самостійна робота студента

Самостійна робота передбачає: підготовку до лекцій та комп'ютерних практикумів; підготовку до захисту звітів з комп'ютерних практикумів та індивідуального завдання (розрахункова робота); опрацювання джерел із списку літератури (базової / додаткової); підготовку до виконання модульної контрольної роботи (МКР); заліку / екзамену тощо.

6.1. Теми для самостійного опрацювання – не заплановано.

6.2. Підготовка до лекційних занять. Для підготовки до лекційних занять студентам необхідно ознайомитись з матеріалом який буде розглядатись на наступній лекції (за потреби завантажити презентаційний матеріал), опрацювати необхідну заплановану базову/допоміжну літературу та матеріал попередніх лекцій. За необхідністю студент може підготувати перелік питань на лекційне заняття для його обговорення. На це студенту відводиться приблизно по 0,25-0,3 години на кожну тему.

6.3. Підготовка до комп'ютерних практикумів. Для підготовки до комп'ютерних практикумів студенту необхідно: опрацювати заплановану базову/допоміжну літературу, конспекти лекцій та методичні рекомендації до відповідного заняття; підготувати звіти на перевірку викладачу; підготуватись до захисту звітів. На це студенту виділяється приблизно по 1 години на кожний комп'ютерний практикум.

6.4. Модульна контрольна робота. На підготовку до МКР відводиться до 2-х годин СР. Питання, що виносяться на МКР є теоретичним матеріалом, що розглядаються на лекційних заняттях.

6.5. Індивідуальне завдання. Студенти за рахунок годин виділених на самостійну роботу (10-15 год) виконують індивідуальне завдання у формі розрахункової роботи (РР). Не пізніше 4-5 тижня студенти обирають теми/варіанти завдання та затверджують їх у викладача. Протягом наступних тижнів семестру виконує завдання та отримує

консультації. Не пізніше 16 тижня студент повинен надати завдання на перевірку та 17-18 тижні захистити на позаплановому занятті/за ухваленим викладачем графіком захисту.

6.6. Екзамен. Екзамен проводиться в період екзаменаційної сесії, по завершенню навчального семестру згідно ухваленого графіку. На підготовку до екзамену відводиться 30годин СР. Перелік питань для підготовки до екзамену надано у **додатку А**. В період дистанційного навчання екзамен може бути проведений згідно графіку за допомогою **Moodle** та **ZOOM** для проведення онлайн-зустрічей.

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Студентам рекомендується дотримуватись правил відвідування занять, поведінки на них та підготовки до них

#### 7.1. Правила відвідування занять

Відвідування лекційних і лабораторних занять не є обов'язковим. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал, оцінюється рівень його засвоєння в ході усного опитування, розвиваються уміння і навички, необхідні для виконання завдань в рамках самостійної роботи.

Система оцінювання орієнтована на отримання балів за активність студента, а також виконання завдань, що здатні розвинути практичні уміння та навички.

#### 7.2. Правила поведінки на заняттях

Опрацьовуючи навчальний матеріал навчальної дисципліни, студенти:

1) самостійно:

- готуються до МКР;
- готуються до занять;
- звіти з комп'ютерних практикумів;
- виконують індивідуальне завдання (РР);

2) на заняттях:

- беруть участь у дискусіях, інтерактивних формах організації заняття;
- своєчасно виконують МКР;
- виконують комп'ютерні практикуми;
- захищають звіти з комп'ютерних практикумів;

3) на позапланових заняттях:

- своєчасно захищають індивідуальне завдання.

Активна участь студента на практичних заняттях є рекомендованою.

На лекціях та заняттях допускається використання ноутбуків, смартфонів, але лише для цілей, зумовлених темою заняття і відповідним тематичним завданням. Використовувати зазначені (та інші подібні) засоби для розваги чи спілкування під час заняття не варто. Не рекомендується відповідати на питання викладача, читаючи з екрану смартфона, ноутбуку чи з підручника та використовувати документи з ненадійних джерел мережі Інтернет, без посилань на автора публікації.

#### 7.3. Правила виконання модульної контрольної роботи (МКР)

МКР проводиться письмово (або через дистанційну платформу «Сікорський» (надалі – платформа). Результати МКР оголошуються студентам на наступному занятті за допомогою платформи, «Електронного кампусу» тощо. Студент має право одноразово покращити свої бали з МКР у разі її своєчасного написання на запланованому занятті /

отримавши доступ від викладача до завдань на платформі.

При виконанні МКР студентам не дозволяється нічим користуватись

У разі виявлення академічної недоброчесності під час виконання МКР – результати контрольного заходу не враховуються.

Повторне написання модульної контрольної роботи не допускається.

Запитання / тести МКР передбачають матеріал який розглядався викладачем на лекційних заняттях без урахування додаткового матеріалу.

#### **7.4. Правила захисту звітів з комп'ютерних практикумів**

Звіти з комп'ютерних практикумів (надалі – звіт) виконуються та подаються викладачу на перевірку обов'язково своєчасно - згідно ухвалених викладачем термінів виконання конкретного звіту. Після перевірки викладач допускає студента до його захисту або віддає на доопрацювання.

У випадку виявлення протягом семестру академічної не доброчесності з виконання звітів до студента застосовується політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Студенти обов'язково повинні завантажити перевірені та допущені звіти в е-вигляді на платформу або на диск викладача.

В призначений час викладачем – захистити звіт.

У випадку, якщо з поважних причин студент не встигає виконати звіт він повинен обов'язково попередити про це викладача.

#### **7.5. Правила захисту індивідуального завдання (розрахункова робота)**

Тему індивідуального завдання (надалі – завдання) студент повинен обрати та ухвалити у викладача не пізніше 4-5 тижня від початку занять. Теми завдань/варіантів студент може обирати із запропонованих викладачем або пропонувати свою тему.

Завдання виконується:

- відповідно до методичних рекомендацій;
- з урахуванням академічної доброчесності зокрема: самостійного виконання роботи; посилання на джерела інформації у разі використання тверджень, відомостей тощо; дотримання норм законодавства про авторське право і сумісні права; надання достовірної інформації про джерела інформації тощо. У разі виявлення порушень академічної доброчесності завдання не зараховується і студент може бути відрахований з університету.

Завдання подається на перевірку викладачу не пізніше 16 тижня.

РР не перевіряється на плагіат, але повинна відповідати вимогам академічної доброчесності. У разі виявлення академічної не доброчесності, робота анулюється і не перевіряється.

За вимогою викладача студент готує презентацію з захисту завдання.

Захист завдання планується на позаплановому занятті в термін з 17 по 18 тиждень із застосуванням мультимедійного обладнання

РР оцінюється за критеріями: логічності плану; повноти й глибини розкриття теми; достовірності отриманих даних; відображення практичних матеріалів та результатів розрахунків; правильності формулювання заключень отриманих результатів та висновків; оформлення; обґрунтування власної думки студента з цього питання у вигляді висновку.

#### **7.6. Правила призначення заохочувальних та штрафних балів**

Заохочувальні бали		Штрафні бали*	
Критерій	Ваговий бал	Критерій	Ваговий бал
Активна участь в ході усних опитувань і	+1 бал	Порушення термінів виконання звітів (за кожний звіт)	-1 бал
Участь у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах або конкурсах за тематикою навчальної дисципліни	+5 балів	Несвоєчасне: - написання модульної контрольної роботи; - надання на перевірку РР	Від -2 до -8 балів (залежить від терміну здачі)

\* якщо контрольний захід був пропущений з поважної причини (хвороба, яка підтверджена довідкою встановленого зразку) – штрафні бали не нараховуються.

Сума як штрафних, так і заохочувальних балів не має перевищувати  $0,1 R_C = 100$  балів  $\times 0,1 = 10$  балів.

### 7.7. Політика дедлайнів та перескладань

Якщо контрольні заходи пропущені з поважних причин (хвороба або вагомій життєві обставини), студенту надається можливість виконати ці контрольні заходи у визначений та узгоджений з викладачем час.

Студенти, які без поважної причини були відсутні на контрольному заході не відпрацьовуються.

Студент може оскаржити оцінку викладача, подавши відповідну скаргу викладачу не пізніше, ніж наступного дня після ознайомлення студента з виставленою оцінкою. Скарга розглядатиметься за процедурами, встановленими в університеті.

### 7.8. Політика Університету щодо

#### Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

#### Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки аспірантів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

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

### Види контролю

Поточний контроль: робота на комп'ютерних практикумах з виконання та захисту 17 звітів з комп'ютерних робіт; підготовка та захист індивідуального завдання (РР); модульна контрольна робота.

Календарний контроль: (КК) проводиться відповідно до графіка навчального процесу. Перша атестація відбувається на 8-му тижні (умовою є поточний рейтинг  $\geq 7$  балів), друга – на 14-му тижні (умовою є поточний рейтинг  $\geq 17$  балів).

Умови отримання позитивного результату з календарного контролю	Критерій		Перший КК	Другий КК
	Термін календарних контролів		8-ий тиждень	14-ий тиждень
	Поточний рейтинг		≥ 7 балів	≥ 17 бали
	Виконання звітів	№№ 1-3	+	+
		№№ 4-7	-	+
		№№ 8	-	-
МКР	Оцінена МКР	-	-	
РР	Оцінена РР	-	-	

У разі виявлення академічної недобросовісності під час навчання – контрольний захід не зараховується.

Семестровий контроль: екзамен.

### Оцінювання контрольних заходів

Підсумковий рейтинг складається з балів, що отримуються за:

№ з/п	Контрольний захід	%	Ваговий бал	Кіл-ть	Всього
1.	Звіт з комп'ютерного практикуму	40	5	8	40
2	Модульна контрольна робота (МКР)	10	10	1	10
3	Індивідуальне завдання (РР)	10	10	1	10
4	Екзамен (2 запитання)	40	20	2	40
Всього					<b>100</b>

Результати оголошуються кожному студенту окремо у присутності на контрольному заході, екзамені або в дистанційній формі (е-поштою, в системі “Сікорський”). Також фіксуються в системі “Електронний кампус”.

### Умови допуску до семестрового контролю

Умовою допуску студента до семестрового контролю є: виконання та захист всіх звітів з комп'ютерних практикумів та індивідуального завдання не менше ніж на «достатньо»; написання МКР не менше ніж на «достатньо».

Необов'язкові умови допуску до заліку:

1. Активність на заняттях.
2. Позитивний результат першої атестації та другої атестації.
3. Відвідування лекційних занять.

**Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою** (табл. 1):

Таблиця 1

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску до	Не допущено

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
семестрового контролю	

## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

*Перелік питань для підготовки до екзамену надано в додатку А до МКР надано в додатку Б. Рейтингова система оцінювання наведені на платформі “Сікорський” з навчальної дисципліни.*

### **Зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою**

При наявності у студенту документів підтверджуючих його участь у олімпіадах (міських, міжміських, Всеукраїнських тощо) за темою заняття або розділу навчальної дисципліни можуть зараховуватись за відповідною тематикою та відповідними балами РСО

### **Позааудиторні заняття**

Можлива участь студентів:

- в щорічних галузевих виставок «Охорона здоров'я», а також профільних семінарів, наукових конференцій тощо

### **Дистанційне навчання**

В умовах дистанційного режиму організація освітнього процесу здійснюється з використанням технологій дистанційного навчання: платформи дистанційного навчання «Сікорський» та «Електронний кампус».

Можливе синхронне та асинхронне дистанційне навчання з використанням платформ для відео-конференцій (Google Meet, Microsoft Teams, Zoom, Skype тощо) та освітньої платформи дистанційного навчання «Сікорський» (Moodle, Google Classroom).

Навчальний процес у дистанційному режимі здійснюється відповідно до затвердженого розкладу навчальних занять. Заняття проходять з використанням сучасних ресурсів проведення онлайн-зустрічей (організація відео-конференцій).

### **Інклюзивне навчання**

Допускається

### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

#### **Складено**

професором, завідувачем кафедри біомедичної кібернетики доктором біологічних наук Настенко Євгеном Арнольдовичем

старшим викладачем кафедри біомедичної кібернетики канд. фіз-мат наук Рудніковим Євгенієм Григоровичем

**Ухвалено** кафедрою БМК (протокол №2 від 29.08.2022р).

**Погоджено** Методичною комісією факультету ФБМІ (протокол № 1 від 31.08.2022р.)

### Перелік питань для підготовки до екзамену

1. Три парадигми пізнання – детермінізм, стохастичність, самоорганізація.
2. Основні положення теорії хаосу.
3. Атрактори, граничний цикл.
4. Поняття фракталу, фрактальна розмірність.
5. Математичні фрактали, геометричні фрактали.
6. Матеріальні (фізичні) фрактали
7. Самоподібність біологічних об'єктів.
8. Фрактальний аналіз.
9. Біфуркації. Популяційна динаміка.
10. Рівняння Пуанкаре, логістичне відображення. Реакція Білоусова – Жаботинського.
11. Шкала та категорії складності: фізико-хімічна та алгоритмічна складність.
12. Матриця суміжності та алгоритм лінійної архівації.
13. Поняття ентропії, апроксимаційна ентропія.
14. Ентропійний аналіз, форми ентропії, RS – аналіз.
15. Основні положення теорії самозорганізованої критичності.
16. Пісочна парадигма. Біфуркаційна точка. Робота головного мозку, капілярна сітка, мікроциркуляція крові.
17. Фліккер-шум, показник фліккер-шума. Флуктуації, кольори шуму.
18. Прояви фліккер-шуму у біологічних системах. Стохастичний гомеостаз.
19. Координатна площина складності – варіабельність.
20. Виникнення симетрій (співрозмірностей) у біомедичних системах. Числа Фібоначі, золотий переріз.
21. Поняття клітинкових автоматів та їх складові.
22. 4 типи клітинкових автоматів за класифікацією Вольфрама
23. Клітинкові автомати. Локальні околи фон Неймана, Мура, Марголуса
24. Динаміка популяцій. Хижак-жертва
25. Динаміка популяцій. Гратчастий газ. Колективний рух зграї. Колективний рух натовпу. Вихорові рухи конденсованої системи
26. Клітинкові автомати. Збудження міокарда. Капілярний кровоток. Течія неньютонівської рідини – кровоток по криволінійних трубках
27. Клітинкові автомати. Ігри “Життя”, “Вовки та вівці”, “Мінер”.
28. Правильні багатогранники у просторах різної розмірності, багатовимірні клітинково-автоматні моделі.
29. Класифікація елементарних клітинкових автоматів. Універсальність елементарного клітинкового автомату № 110 Вольфрама.

### Перелік питань для підготовки до МКР

1. Розкрийте суть теорії біфуркацій.
2. Наведіть приклади моделей біомедичних систем у вигляді клітинних автоматів.
3. Як змінюється ієрархічна складність процесів регуляції в складних системах при їх поступовому виході з ладу, поступовому руйнуванні? Як можна підтвердити настання подібних ситуацій?
4. Алгоритми обчислення фрактальної розмірності. Обчислення фрактальної розмірності методом зворотної карти – поясніть на прикладі.
5. Розкрийте суть теорії фракталів.
6. Застосування координатної площини „варіабельність-складність” для оцінки динамічних властивостей біомедичних систем
7. Поняття «золотих рядів». Філотаксис, золоті кути та ряди Фібоначчі.
8. Обчислення характеристик алгоритмічної складності – поясніть на прикладі.
9. Розкрийте суть теорії самоорганізованої критичності.
10. Наведіть приклади проявів самоподібності біологічних об’єктів. Які переваги дає живим організмам квазіфрактальна побудова перед будь-якою іншою?
11. Відмінності хаотичної динаміки від стохастичної.
12. Апроксимаційна ентропія як метод оцінки складності поведінки. Метод розрахунку – поясніть на прикладі.
13. Розкрийте базові принципи теорії клітинних автоматів.
14. Поняття симетрії та її порушення.
15. Як Ви розумієте явище флуктуацій в системах біологічної природи? В чому різниця між флуктуаціями і фліккер-шумом?
16. Логістичне відображення, його застосування у задачах біомедицини.