

Сучасні технології обчислювального інтелекту, інтелектуальні обчислення та аналіз даних у дослідженні динамічних систем та процесів 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 весняний семестр</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</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: д.т.н., доцент, Терент'єв Олександр Миколайович, o.terentiev@gmail.com</i>
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/c/ODQ0Mzk0NTIwNzMy?cjc=3ds66ojy

Програма навчальної дисципліни

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

Опанування цієї дисципліни ґрунтується на знаннях і компетентностях, сформованих у межах обов'язкових компонентів циклів загальної та професійної підготовки, зокрема з дисциплін «Теорія ймовірностей», «Програмування» та «Перспективні напрямки математичного моделювання складних систем і процесів різної природи».

Своєю чергою, вивчення дисципліни «Сучасні технології обчислювального інтелекту, інтелектуальні обчислення та аналіз даних у дослідженні динамічних систем і процесів» створює підґрунтя для успішного засвоєння нормативних курсів, зокрема «Математичне моделювання і задачі статистичного оцінювання», «Моделі й алгоритми систем з нейромережами» та інших профільних дисциплін.

Мета: формування у здобувачів знання та практичних навичок сучасних методів обчислювального інтелекту для моделювання, аналізу та прогнозування складних динамічних систем. Дисципліна вивчає фізично обґрунтовані нейронні мережі, гібридні моделі, Kernel методи, мережі Байєса та фундаментальні моделі, а також методи пояснювального

штучного інтелекту для інтерпретації результатів. Аспіранти набувають здатності самостійно застосовувати сучасні алгоритми та інтегрувати їх із фізично обґрунтованими моделями для наукових і практичних задач.

Предмет вивчення – методи та підходи сучасного обчислювального інтелекту та інтелектуального аналізу даних, які застосовуються для моделювання, прогнозування, оптимізації та інтерпретації поведінки складних динамічних систем і процесів.

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

- ФК03 Здатність спілкуватись українською та англійською мовами, усно і письмово презентувати результати власних наукових досліджень, розуміти англомовні наукові тексти в галузі прикладної математики, вільно спілкуватись з питань, що стосуються сфери наукових та експертних знань, з колегами, широкою науковою спільнотою, суспільством у цілому*
- ФК04 Здатність застосовувати сучасні інформаційні та комунікаційні технології, працювати з структурованими та неструктурованими даними, отримуваними з баз даних, електронних ресурсів мережі Інтернет, інших джерел, використовувати спеціалізоване програмне забезпечення для математичного моделювання та застосування обчислювальних методів як у процесі навчання, так і на всіх етапах наукової діяльності: теоретичного обґрунтування постановки задач та вибору методу її розв'язку, вибору методики виконання дослідження, проведення чисельних експериментів, практичного застосування, аналізу та інтерпретації результатів.*
- ФК09 Здатність використовувати дані експериментів і натурних спостережень на етапах постановки задач, опрацювання проектних гіпотез моделі і формулювання результатів досліджень.*

Програмні результати навчання

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.

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

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

Дисципліна «Сучасні технології обчислювального інтелекту, інтелектуальні обчислення та аналіз даних у дослідженні динамічних систем та процесів» вивчається у весняному (четвертому) семестрі другого курсу, тому для успішного засвоєння дисципліни необхідні знання з дисциплін «Теорія ймовірностей», «Програмування» та інші дисципліни, що вивчаються на бакалавраті та магістратурі за спеціальністю “Прикладна математика”.

Для успішного засвоєння дисципліни «Моделі, методи, технології штучного інтелекту та інтелектуальний аналіз даних у дослідженні динамічних систем та процесів» аспірант має володіти фундаментальними знаннями з постановки наукових проблем, методів математичного моделювання та сучасних обчислювальних технологій, а також навичками організації чисельних експериментів і оброблення результатів досліджень. Важливою є здатність проєктувати комп'ютерні моделі, впроваджувати їх у спеціалізованих програмних середовищах і розробляти власні програмні продукти з використанням актуальних мов програмування. Окрім цього, аспірант повинен уміти інтегрувати, критично аналізувати й застосовувати знання з різних предметних напрямів.

Результати навчання, здобуті під час опанування цієї дисципліни, є підґрунтям для виконання ключових освітньо-наукових компонентів підготовки, зокрема для підготовки та написання дисертаційного дослідження.

3. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1. *Методологічні засади обчислювального інтелекту в дослідженні динамічних систем*

Тема 2. *Динамічні системи як об'єкт інтелектуального аналізу*

Тема 3. *Машинне навчання для моделювання динамічних процесів*

Тема 4. Глибинні нейронні мережі та рекурентні архітектури

Тема 5. Фізично-інформовані нейронні мережі

Тема 6. Байєсівські мережі та ймовірнісні графові моделі

Тема 7. Розріджена ідентифікація динаміки

Тема 8. Інтелектуальна оптимізація та еволюційні алгоритми

Тема 9. Аналіз, інтерпретація та верифікація інтелектуальних моделей

Тема 10. Сучасні дослідницькі тренди та відкриті проблеми

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Brunton, S. L., Kutz, J. N. *Data-Driven Science and Engineering: Machine Learning, Dynamical Systems, and Control*. 2nd ed. Cambridge : Cambridge University Press, 2022. 614 p. – ISBN 9781009098489. – DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009089517>

2. Beal, L., & Hedengren, J. D. *GEKKO: Optimization & dynamic simulation software (Python package)*. – 2025. – <https://github.com/BYU-PRISM/GEKKO>

3. Hoffmann, M., Scherer, M. K., Hempel, T., Mardt, A., de Silva, B., Husic, B. E., Klus, S., Wu, H., Kutz, N., Brunton, S. L., & Noé, F. *Deeptime: a Python library for machine learning dynamical models from time series data* // *Machine Learning: Science and Technology*, 3(1), 015009. 2021. - 28 p. – DOI: 10.1088/2632-2153/ac3de0

4. Farea, A., Yli-Harja, O., & Emmert-Streib, F. *Using Physics-Informed Neural Networks for Modeling Biological and Epidemiological Dynamical Systems*. *Mathematics*, 13(10), 1664. – 19 May 2025. – 17 p. – DOI: <https://doi.org/10.3390/math13101664>

5. Drgona, J., Nghiem, T. X., Beckers, T., Fazlyab, M., Mallada, E., Jones, C. N., Vrabie, D., Brunton, S. L., & Findeisen, R. *Safe Physics-Informed Machine Learning for Dynamics and Control*. – arXiv:2504.12952. – 2025. – 17 p. – <https://arxiv.org/abs/2504.12952>

6. Трофимчук О.М., Бідюк П.І., Терентьев О.М., Просянкіна-Жарова Т.І. Математичне моделювання, інтелектуальний аналіз даних та штучний інтелект для підтримки прийняття рішень з повоєнного відновлення // *Екологічна безпека та природокористування*. – 2025. – вип. 3 (55). – с. 33-49. – ISSN: 2411-4049. – <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.3.33-49>

7. Терентьев О.М., Бедлінський К. І., Дуда В.О., Столяр М.В. Методика системного аналізу для торгівлі фінансовими активами, із використанням технічних індикаторів в моделях машинного навчання // *Інформаційні технології та суспільство*. – №3 (18), 2025. – ISSN: 2786-5460 (print), 2786-5479 (online). – doi: 10.32689/maup.it.2025.3. – <https://journals.maup.com.ua/index.php/it/article/view/5183>

8. Терентьев О.М., Дуда В.О. Метод відновлення пропусків у даних на основі комбінованої моделі експоненційного згладжування // *Екологічна безпека та природокористування*. – 2025. – вип. 1 (53). – с. 125-131. – ISSN: 2411-4049. – <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.1.125-131> - ISSN: 2411-4049. – <https://es-journal.in.ua/article/view/328615>

9. Trofymchuk O., Bidiuk P., Terentiev O., Klymenko V. *The methodology for adaptive modeling and forecasting nonlinear and nonstationary processes* // *Міжнародний науково-технічний журнал Проблеми керування та інформатики*. – 2024, № 1. – 63-79 с. – ISSN 2786-6491 – <https://jais.net.ua/index.php/files/article/view/216/302>

10. Терентьев О.М., Дуда В.О. Інформаційно-аналітична система для дослідження впливу майнінгу криптовалют на викиди CO₂ // *Екологічна безпека та природокористування*. – 2024. – вип. 3 (51). – с. 141-150. – ISSN: 2411-4049. – <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.3.141-150>. – <https://es-journal.in.ua/article/view/314096>

11. Trofymchuk O.M., Bidyuk P.I., Prosiankina-Zharova T.I., Terentiev O.M. *Bayesian data analysis in modeling and forecasting nonlinear nonstationary financial and economic processes* // *Міжнародний*

науково-технічний журнал Проблеми керування та інформатики, 2023. – № 4. – 71-83 с. – ISSN 2786-6491. – <https://jais.net.ua/index.php/files/article/view/114/207>. – <https://doi.org/10.34229/1028-0979-2023-4-6>

12. Terentiev O., Prosyankina-Zharova T., Diakon, V., Manuilenco R. Development of mathematical models to support decision-making regarding the functioning of critical infrastructure in the industry of energy supply. *Technology Audit and Production Reserves*. 2023. – Vol. 6. – No. 2 (74). – p. 44-49. – ISSN 2664-9969. – <https://journals.uran.ua/tarp/article/view/293205> - <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.293205>

13. Terentiev O., Prosyankin D. Improvement of cereal harvest programming methods using computer simulation information technology // *Екологічна безпека та природокористування*. – 2023. – вип. 4 (48). – с. 153-169. – ISSN: 2411-4049. – <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.4.152-169>. – <http://es-journal.in.ua/issue/view/17663/10338>

14. Terentiev O.M., Prosyankina-Zharova T.I., Savastiyarov V.V., Lahno V.A., Kolmakova V.A. The Features of Building a Portfolio of Trading Strategies Using the SAS OPTMODEL Procedure // *Computation*. – Switzerland, 2021, 9(7), 77. – <https://doi.org/10.3390/computation907007777>. – <https://www.mdpi.com/2079-3197/9/7/77> - (Scopus Q2 <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21100857172&tip=sid&clean=0>)

15. Kuznietsova N.V., Trofymchuk O.M., Bidyuk P.I., Terentiev O.M., Levenchuk L.B. Bayesian modelling of risks of various origin // *KPI Science News*, no. 4, pp. 7–18, 2021. – ISSN print : 2617-5509, ISSN electronic: 2663-7472. – doi: 10.20535/kpissn.2021.4.251684. – <http://scinews.kpi.ua/article/view/251684>

Додаткова література

1. Knights V. A. Nonlinear dynamics and machine learning for robotic control in IoT framework // *Future Internet*. – 2024. – Vol. 16(12), Art. 435.

2. Дриньов Д. М., Мосьондз М. А., Авраменко Д. О. Моделювання динамічних процесів в задачах штучного інтелекту // *Управління змінами та інновації*. – 2024. – № 9. – 25-25 с. – DOI: 10.32782/СМІ/2024-9-5.

Нормативно-правова література:

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції Державної цільової науково-технічної програми з використання технологій штучного інтелекту в пріоритетних галузях економіки на період до 2026 року» від 13 квітня 2024 р. № 320-р // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/320-2024-%D1%80> (дата звернення: 19.01.2026).

2. Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act) // *Official Journal of the European Union*. – L 1689, 12.7.2024. – URL: <http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj> (дата звернення: 19.01.2026).

Інформаційні ресурси:

1. Репозитарій наборів даних для часових рядів, динамічних процесів та фізичних систем для машинного навчання – <https://archive.ics.uci.edu/ml/index.php> (дата звернення: 06.06.2025).

2. Репозитарій відкритих даних для машинного навчання та аналітики, включно з часовими рядами, сенсорними вимірюваннями та системами управління – <https://www.kaggle.com/datasets> (дата звернення: 06.06.2025).

3. Репозитарій відкритих медичних та біофізичних даних, включно з часовими рядами та динамічними сигналами (серцево-судинні, нейрофізіологічні, біомеханічні), для моделювання динамічних біологічних систем – <https://physionet.org/> (дата звернення: 06.06.2025).

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Для лекційних занять використовуються пояснювально-ілюстративний метод та метод проблемного виконання, для проведення практичних занять використовується дослідницький метод навчання: викладач ставить перед аспірантами проблему, і ті вирішують її самостійно або під керівництвом викладача.

За дистанційної форми навчання заняття проводять за допомогою платформи для проведення онлайн-зустрічей Zoom

Назви тем	Кількість навчальних годин				Форми контролю
	Усього годин (кредитів)	Лекції	Комп'ютерний практикум	Самостійна робота студентів	
	90 год	20 год	10 год	60 год	
Тема 1. Методологічні засади обчислювального інтелекту в дослідженні динамічних систем	8	2		6	Участь у дискусії, тестування
Тема 2. Динамічні системи як об'єкт інтелектуального аналізу	10	2	2	6	Участь у дискусії, тестування
Тема 3. Машинне навчання для моделювання динамічних процесів	8	2		6	Участь у дискусії, тестування
Тема 4. Глибинні нейронні мережі та рекурентні архітектури	10	2	2	6	Участь у дискусії, тестування
Тема 5. Фізично-інформовані нейронні мережі	8	2		6	Участь у дискусії, тестування
Тема 6. Байєсівські мережі та ймовірнісні графові моделі	10	2	2	6	Участь у дискусії, тестування
Тема 7. Розріджена ідентифікація динаміки	8	2		6	Участь у дискусії, тестування
Тема 8. Інтелектуальна оптимізація та еволюційні алгоритми	10	2	2	6	Участь у дискусії, тестування
Тема 9. Аналіз,	8	2		6	Участь у

інтерпретація та верифікація інтелектуальних моделей					дискусії, тестування
Тема 10. Сучасні дослідницькі тренди та відкриті проблеми	10	2	2	6	Участь у дискусії, тестування
Загалом	90	20	10	60	

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Розподіл годин самостійної роботи для аспірантів:

1. Підготовка до заліку – 2 год.

2. Опрацювання питань, які не розглядаються на аудиторних заняттях – 58 год., з них на виконання індивідуальних дослідницьких завдань – 8 год.

Усього 60 год.

Передбачено три індивідуально-дослідницькі завдання у межах самостійної роботи, що спрямовані на формування і розвиток практичних умінь підготовки публікацій, доповідей та проектів з актуальних проблем

Індивідуально-дослідницьке завдання 1.

Моделювання невизначеності динамічних систем за допомогою мереж Байєса.

Мета: побудувати ієрархічну мережу Байєса для оцінки й прогнозування поведінки складної динамічної системи з невизначеними параметрами.

Послідовність виконання завдання:

1. Оберіть приклад динамічної системи з кількома взаємопов'язаними змінними (наприклад, популяційна екологічна система або промислова технологічна лінія).
2. Визначте стани системи та ключові фактори ризику.
3. Побудуйте ієрархічну Bayesian Network (BN), яка описує залежності між змінними.
4. Виконайте моделювання у мережі, щоб оцінити ймовірності критичних подій або станів системи при різних сценаріях.
5. Проаналізуйте вплив невизначеності на прогноз поведінки системи.

Результати роботи повинні включати:

1. Граф ієрархічної мережі та опис змінних.
2. Таблиці ймовірностей станів при різних сценаріях.
3. Візуалізація чутливості та впливу ключових факторів на систему.

Індивідуально-дослідницьке завдання 2.

Використання Kernel методів для прогнозування нелінійної динаміки.

Мета: розробити ядерну регресійну модель для прогнозування поведінки складної нелінійної системи та порівняти ефективність різних типів ядер.

Послідовність виконання завдання:

1. Оберіть нелінійну динамічну систему (наприклад, хімічний реактор або коливальна механічна система).
2. Зберіть дані про стан системи в часі (синтетичні або експериментальні).
3. Використайте Kernel Ridge Regression або Gaussian Processes для прогнозування поведінки системи.
4. Порівняйте ефективність різних ядер: лінійного, радіальної базисної функції (RBF), поліноміального.
5. Проаналізуйте чутливість прогнозів до вибору ядра та параметрів регуляризації.

Результати роботи повинні включати:

1. Прогнози динаміки системи для різних ядер.
2. Візуалізацію точності прогнозу та похибки моделі.
3. Аналітичний звіт з рекомендаціями щодо вибору ядра та параметрів.

Індивідуально-дослідницьке завдання 3.

Дослідження динамічних систем за допомогою фундаментальних моделей.

Мета: Використати фундаментальні моделі для навчання універсальної моделі, здатної прогнозувати або аналізувати динаміку системи на основі великого набору даних із різних джерел.

Послідовність виконання завдання:

1. Оберіть комплексну динамічну систему або процес (наприклад, кліматичні моделі, енергетичні мережі або фінансові часові ряди).
2. Зберіть великий набір даних (реальні або синтетичні) з різних джерел.
3. Використайте фундаментальну модель (наприклад, Transformer, Temporal Fusion Transformer, GPT-подібну архітектуру для часових рядів).
4. Налаштуйте модель для прогнозування динаміки та виділення закономірностей у даних.
5. Проведіть аналіз, які підструктури моделі відповідають за відтворення ключових фізичних або економічних закономірностей.

Результати роботи повинні включати:

1. Модель на основі фундаментальних моделей для динамічної системи.
2. Прогнозні графіки та аналітичні візуалізації внутрішніх механізмів моделі.
3. Звіт із поясненням, як модель узагальнює знання з різних джерел даних та які закономірності відтворює.

Результати опанування відповідного матеріалу перевіряються під час усного опитування і підсумкового (залік) контролю знань.

Самостійна робота аспірантів передбачає підготовку та поглиблене вивчення тем навчальної дисципліни за напрямками:

1. Машинне навчання для моделювання динамічних процесів.
2. Байєсівські мережі та ймовірнісні графові моделі.
3. Розріджена ідентифікація динаміки.
4. Аналіз, інтерпретація та верифікація інтелектуальних моделей.
5. Сучасні дослідницькі тренди та відкриті проблеми.

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 – захист відбувається у визначені терміни 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 - 20 бали кожне:
 - «відмінно» –95 відсотків максимального балу;

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

Умови допуску до підсумкового контролю:є 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.

Таблиця 1. Розподіл між видами робіт

Бали за виконання	Номер комп'ютерного практикуму або індивідуально дослідницького завдання					Разом
	1	2	3	4	5	
Комп'ютерний практикум	10	10	10	10	10	100
Індивідуально дослідницьке завдання	20	20	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:

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

Відповідність рейтингових балів оцінкам за шкалою Інституту та шкалою ECTS

<i>Рейтингова оцінка</i>	<i>Оцінка за національною шкалою</i>	<i>Оцінка за шкалою ECTS</i>
<i>90-100</i>	<i>Відмінно</i>	<i>A</i>
<i>82-89</i>	<i>Дуже добре</i>	<i>B</i>
<i>75-81</i>	<i>Добре</i>	<i>C</i>
<i>69-74</i>	<i>Задовільно</i>	<i>D</i>
<i>60-68</i>	<i>Достатньо</i>	<i>E</i>

<i>45-59</i>	<i>Не задовільно</i>	<i>FX</i>
<i>Невиконання умов допуску до семестрового контролю</i>	<i>Не допущено</i>	

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, EdX 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

Додаток 1. Теми і зміст лекцій

Тема 1. Методологічні засади обчислювального інтелекту в дослідженні динамічних систем.

Поняття обчислювального інтелекту та інтелектуальних обчислень. Відмінності між класичним моделюванням, статистичним аналізом і підходами орієнтованими на дані. Роль обчислювального інтелекту у дослідженні нелінійних, стохастичних і гібридних динамічних систем. Класи задач прикладної математики, що вирішуються методами обчислювального інтелекту.

Тема 2. Динамічні системи як об'єкт інтелектуального аналізу.

Формалізація динамічних систем: простір станів, вхід-вихід, дискретні та неперервні моделі. Хаотичні режими, нестійкість, біфуркації. Дані спостережень як основа ідентифікації. Проблеми неповноти та зашумленості даних.

Тема 3. Машинне навчання для моделювання динамічних процесів.

Регресія, класифікація та апроксимація динамічних залежностей. Kernel-методи, гаусівські процеси, ансамблеві моделі. Порівняння класичних і нейромережових підходів для часових рядів.

Тема 4. Глибинні нейронні мережі та рекурентні архітектури.

Глибинне навчання для часових і просторово-часових даних. RNN, LSTM, GRU, Temporal CNN. Обмеження глибинних моделей у задачах фізичного моделювання.

Тема 5. Фізично-інформовані нейронні мережі.

Поєднання диференціальних рівнянь і нейронних мереж. PINN для ідентифікації параметрів та розв'язування PDE. Переваги і обмеження підходу.

Тема 6. Байєсівські мережі та ймовірнісні графові моделі.

Байєсівські мережі, динамічні мережі Байєса, приховані марковські моделі. Ймовірнісне представлення невизначеності в динамічних системах.

Тема 7. Розріджена ідентифікація динаміки.

Розріджена регресія для відновлення рівнянь руху. Розріджена регресія та її модифікації. Інтерпретовані моделі динамічних процесів.

Тема 8. Інтелектуальна оптимізація та еволюційні алгоритми.

Генетичні алгоритми, диференціальна еволюція, рої частинок. Оптимізація параметрів динамічних моделей та структур моделей.

Тема 9. Аналіз, інтерпретація та верифікація інтелектуальних моделей.

Пояснювальний штучний інтелект для динамічних систем. Валідація моделей, узгодженість з фізичними законами. Порівняння моделей різної природи.

Тема 10. Сучасні дослідницькі тренди та відкриті проблеми.

Поєднання фізично обґрунтованих моделей та дано-орієнтованих методів машинного навчання для динамічних систем, цифрові двійники. Сучасні напрями для PhD-досліджень у прикладній математиці та штучному інтелекті.

Додаток 2. Теми і зміст комп'ютерних практикумів

Комп'ютерний практикум 1.

Моделювання та аналіз динамічних систем із часовими рядами.

Зміст заняття:

Практикум присвячений реалізації моделі динамічної системи на прикладі синтетичних чи реальних часових рядів. Використовується Python (NumPy, pandas, matplotlib) для обробки даних; реалізація методів прогнозування (ARIMA / LSTM) та оцінка якості прогнозу. Головна мета практикуму – навчитися передобробці даних, побудові моделі, оцінці та візуалізації результатів.

Основні завдання практикуму:

1. Завантажити часовий ряд (реальний чи синтетичний).
2. Провести передобробку: обробка пропусків, нормалізація, поділ на навчальний та тестовий набори.
3. Побудувати модель ARIMA та LSTM згідно з вимогами та порівняти результати прогнозування.
4. Візуалізувати результати, обговорити переваги та обмеження.

Літературні джерела:

1. Brunton S. L., Kutz, J. N. Data-Driven Science and Engineering: Machine Learning, Dynamical Systems, and Control. 2nd ed. – Cambridge : Cambridge University Press, 2022. 614 p. – ISBN 9781009098489. – DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009089517>
2. Farea A., Yli-Harja, O., Emmert-Streib F. Using Physics-Informed Neural Networks for Modeling Biological and Epidemiological Dynamical Systems. *Mathematics*, 13(10), 1664. – 19 May 2025. – 17 p. – DOI: <https://doi.org/10.3390/math13101664>

Комп'ютерний практикум 2.

Фізично обгрунтоване машинне навчання для динамічних систем.

Зміст заняття:

Практикум присвячений імплементації фізично обгрунтованих нейронних мереж для розв'язання задач моделювання динамічних систем, де фізичні закони (диференціальні рівняння) включено в процес навчання моделі. Реалізація на Python із використанням модулів TensorFlow та PyTorch.

Основні завдання практикуму:

1. Побудувати PINN модель для системи звичайних диференціальних рівнянь (наприклад, маятник або епідеміологічна модель SIR).
2. Врахувати фізичні обмеження в архітектурі та функції втрат.
3. Оцінити якість прогнозування та порівняти з класичними чисельними методами.

Літературні джерела:

1. Farea A., Yli-Harja O., Emmert-Streib F. Using Physics-Informed Neural Networks for Modeling Biological and Epidemiological Dynamical Systems. *Mathematics*, 13(10), 1664. – 19 May 2025. – 17 p. – DOI: <https://doi.org/10.3390/math13101664>
2. Drgona J., Nghiem T. X., Beckers T., Fazlyab M., Mallada E., Jones C. N., Vrabie D., Brunton, S. L., Findeisen R. Safe Physics-Informed Machine Learning for Dynamics and Control. – arXiv:2504.12952. – 2025. – 17 p. – <https://arxiv.org/abs/2504.12952>

Комп'ютерний практикум 3.

Побудова моделей динаміки за допомогою нейронних мереж.

Зміст заняття:

Розробити та навчити нейромережеву модель для прогнозування поведінки складної динамічної системи (часто з нелінійною поведінкою). Використовуються RNN/LSTM, GRU, або гібридні підходи.

Основні завдання практикуму:

1. Вибір динамічної системи (реальна чи синтетична).
2. Розробка нейромережі (LSTM/GRU) для прогнозування майбутніх станів.
3. Налаштування гіперпараметрів, оцінювання результатів.
4. Порівняння ефективності різних архітектур.

Літературні джерела:

1. Hoffmann M., Scherer, M. K., Hempel T., Mardt A., de Silva B., Husic B. E., Klus S., Wu, H., Kutz N., Brunton, S. L., Noé F. Deeptime: a Python library for machine learning dynamical models from time series data // Machine Learning: Science and Technology, 3(1), 015009. 2021. - 28 p. – DOI: 10.1088/2632-2153/ac3de0
2. Farea A., Yli-Harja O., Emmert-Streib F. Using Physics-Informed Neural Networks for Modeling Biological and Epidemiological Dynamical Systems. Mathematics, 13(10), 1664. – 19 May 2025. – 17 p. – DOI: <https://doi.org/10.3390/math13101664>

Комп'ютерний практикум 4.

Інтелектуальний аналіз даних для виявлення структурної динаміки.

Зміст заняття:

Застосування методів кластерного аналізу, головних компонент (PCA), динамічного модального розкладу (DMD) для виявлення структур у даних, що описують динамічні процеси.

Основні завдання практикуму:

1. Завантажити великий набір часових даних.
2. Провести попередній аналіз із використанням методу головних компонентів.
3. Застосувати метод динамічного модального розкладу для виділення домінуючих динамічних режимів.
4. Надати пояснення та інтерпретацію для отриманих класів.

Літературні джерела:

1. Brunton S. L., Kutz J. N. Data-Driven Science and Engineering: Machine Learning, Dynamical Systems, and Control. 2nd ed. Cambridge : Cambridge University Press, 2022. 614 p. – ISBN 9781009098489. – DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009089517>
2. Hoffmann M., Scherer M. K., Hempel T., Mardt A., de Silva B., Husic B. E., Klus, S., Wu H., Kutz N., Brunton S. L., Noé, F. Deeptime: a Python library for machine learning dynamical models from time series data // Machine Learning: Science and Technology, 3(1), 015009. 2021. - 28 p. – DOI: 10.1088/2632-2153/ac3de0

Комп'ютерний практикум 5.

Оптимізація і управління динамічними системами.

Зміст заняття:

Реалізація оптимізаційних моделей для задач управління динамічними процесами, використовуючи бібліотеки Python (наприклад, GEKKO). Оптимізація контролю над системами із заданими обмеженнями.

Основні завдання практикуму:

1. Побудувати динамічну модель (ODE/PDE).
2. Задати критерій оптимізації (мінімізація енергії, похибки тощо).
3. Використати бібліотеку GEKKO або інші оптимізаційні пакети для пошуку оптимальної стратегії управління.

3. Надати візуалізацію ефекту оптимізації на поведінку системи.

Літературні джерела:

1. Brunton S. L., Kutz J. N. Data-Driven Science and Engineering: Machine Learning, Dynamical Systems, and Control. 2nd ed. Cambridge : Cambridge University Press, 2022. 614 p. – ISBN 9781009098489. – DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009089517>
2. Beal L., Hedengren, J. D. GEKKO: Optimization & dynamic simulation software (Python package). – 2025. – <https://github.com/BYU-PRISM/GEKKO>

Додаток 3. Перелік питань до заліку з дисципліни

1. Що таке Physics-Informed Neural Network і чим вона відрізняється від звичайної нейронної мережі?
2. Які типи задач вирішуються з використанням PINNs?
3. Як формулюється функція втрат у PINN для задачі ODE?
4. Що таке Physics-Informed Machine Learning (PIML) і як воно пов'язане з PINNs?
5. Наведіть приклад нелінійної динамічної системи, яку можна моделювати за допомогою PINN.
6. Як PINN дозволяє врахувати фізичні обмеження у навчанні моделі?
7. Що таке collocation points у контексті PINN і яку роль вони виконують?
8. Які переваги та обмеження використання PINN порівняно з класичними чисельними методами?
9. Як враховується шум у даних при навчанні PINN?
10. Наведіть приклад застосування PINN у прогнозуванні часових рядів.
11. Що таке Hybrid Modeling і коли його доцільно застосовувати?
12. Яким чином класична фізична модель інтегрується з машинним навчанням у гібридній моделі?
13. Наведіть приклад складної системи, для якої застосовується Hybrid Modeling.
14. Які переваги гібридного підходу над чистою фізичною або чисто ML моделлю?
15. Що таке Kernel Methods і як вони застосовуються для моделювання нелінійних динамічних систем?
16. Які види ядер використовуються у Kernel Methods?
17. Як Kernel Ridge Regression відрізняється від Gaussian Process Regression?
18. Наведіть приклад використання Kernel Methods для прогнозування поведінки системи.
19. Що таке функція ядра (kernel function) і яку роль вона виконує у моделі?
20. Як оцінюється точність прогнозу у Kernel Methods?
21. Що таке Bayesian Network і для чого вона використовується у динамічних системах?
22. Які типи змінних та залежностей можна моделювати у мережі Байєса?
23. Як проводиться розповсюдження інформації у мережах Байєса?
24. Наведіть приклад застосування мереж Байєса для аналізу складної системи.
25. Що таке пояснювальний штучний інтелект і чому він важливий для дослідження динамічних систем?
26. Які методи пояснювального штучного інтелекту дозволяють інтерпретувати результати ML-моделей?
27. Наведіть приклад застосування SHAP або LIME у часових рядах.
28. Як пояснювальний штучний інтелект допомагає валідувати прогнози моделі?
29. Які переваги використання пояснювального штучного інтелекту у гібридних і фізично обґрунтованих моделях?
30. Які обмеження пояснювального штучного інтелекту у прогнозуванні складних динамічних систем?
31. Що таке фундаментальні моделі і чим вони відрізняються від класичних ML моделей?
32. Наведіть приклади фундаментальних моделей, які використовуються у динамічних системах.
33. Як фундаментальні моделі допомагають узагальнювати знання з різних джерел?
34. Що таке “тонке налаштування” у контексті використання фундаментальних моделей?
35. Як фундаментальні моделі застосовуються для прогнозування часових рядів?

36. Які обмеження та ризики використання фундаментальних моделей у наукових дослідженнях?

37. Як трансформери (Transformers) інтегруються у фундаментальні моделі для динамічних систем?

38. Наведіть приклад використання фундаментальних моделей у енергетичних мережах або популяційних моделях.

39. Як можна поєднувати фундаментальні моделі та фізично обґрунтовані моделі?

40. Які перспективи розвитку фундаментальних моделей у дослідженні складних динамічних систем?