



Аналіз складних систем методами машинного навчання

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (освітньо-науковий)</i>
Галузь знань	<i>12 Інформаційні технології</i>
Спеціальність	<i>124 Системний аналіз</i>
Освітня програма	<i>Системний аналіз</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)/очна(вечірня)/заочна/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, осінній / весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ЕКТС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік</i>
Розклад занять	
Мова викладання	<i>Українська/Англійська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: доктор фізико-математичних наук, професор, член-кореспондент НАН України Касьянов Павло Олегович, kasyanov.pavlo@iit.kpi.ua https://www.facebook.com/pkasyanov https://www.linkedin.com/in/pavlokasyanov/ https://www.researchgate.net/profile/Pavlo_Kasyanov Практичні / Семінарські: доктор фізико-математичних наук, професор, член-кореспондент НАН України Касьянов Павло Олегович, kasyanov.pavlo@iit.kpi.ua https://www.facebook.com/pkasyanov https://www.linkedin.com/in/pavlokasyanov/ https://www.researchgate.net/profile/Pavlo_Kasyanov
Розміщення курсу	https://piazza.com/national_technical_university_of_ukraine_igor_sikorsky_kyiv_polytechnic_institute/spring2022/mlcs/resources

Програма навчальної дисципліни

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

Метою кредитного модуля є формування у здобувачів третього рівня вищої освіти (PhD) здібностей формулювати, аналізувати та синтезувати на абстрактному рівні наукові задачі в галузі інформаційних технологій та системного аналізу, критично аналізувати позитивні та негативні якості існуючих методів системного аналізу, а також, оцінювати їх можливості для подальшого використання при роз'язанні конкретних наукових і практичних задач, приймати науково обґрунтовані рішення в умовах невизначеності, що потребує розробки нових методів, та проведення дослідницько-інноваційної діяльності, глибоко аналізувати та створювати нові методи аналізу даних та знань, виконувати дослідження слабо структурованих проблем, розробляти нові методи для подальшого їх використання. Зокрема, засвоїти існуючі та створювати нові методи та алгоритми апроксимації узагальнених розв'язків складних нелінійних систем в спеціальних класах просторів з нелінійними та багатозначними відображеннями типу Вольтерри за допомогою рекурентних нейронних мереж із використанням відкритих програмних бібліотек для машинного навчання TensorFlow та Keras із

застосуваннями до проблем наближеного розв'язання класів нелінійних задач з частинними похідними з допустимо нелінійними немонотонними диференціальними операторами дивергентного типу та нелінійних граничних задач. Переваги полягають у можливості робити ефективні апроксимації розв'язків для задач з допустимо багатозначними нелійнностями, зокрема, без єдиності розв'язків відповідних задач Коші, що є важливим для застосувань до нелінійних ДРЧП, нелінійних крайових задач та задач керування та оптимізації в нескінченновимірних просторах, а також аспіранти мають оволодіти наступними **компетентностями**:

загальними - ЗК 4 Здатність самостійно проводити дослідницьку діяльність, включаючи аналіз проблем, постановку цілей і завдань, вибір засобів та методів дослідження, а також оцінку його якості; ЗК 5 Здатність до започаткування, планування, реалізації та коригування послідовного процесу ґрунтового наукового дослідження; ЗК 6 Здатність проводити критичний аналіз, оцінку і синтез нових та складних ідей; ЗК 7 Здатність до безперервного саморозвитку та самовдосконалення;

фаховими – ФК 1 Здатність ініціювати комплексні проекти з використанням системного підходу та самостійно їх реалізовувати; ФК 2 Здатність дотримуватись морально-етичних правил поведінки, етики досліджень, характеристик для учасників академічного середовища, а також правил академічної доброчесності в наукових дослідженнях; ФК 3 Здатність критично аналізувати позитивні та негативні якості існуючих методів системного аналізу, а також оцінювати їхні можливості для подальшого використання при розв'язанні конкретних наукових і практичних задач; ФК 4 Здатність приймати науково обґрунтовані рішення в умовах невизначеності, що потребує розробки нових методів, та проведення дослідницько-інноваційної діяльності; ФК 5 Здатність виконувати науково-дослідницьку та професійну діяльність на міждисциплінарному рівні; ФК 6 Здатність глибоко аналізувати та створювати нові методи аналізу даних та знань; ФК 7 Здатність виконувати дослідження слабо структурованих проблем, розробки нових методів та подальшого їх вирішення; ФК 8 Здатність планувати і проводити наукові дослідження, готувати, презентувати та публікувати результати науководослідницької діяльності.

По завершенню курсу здобувачі третього рівня вищої освіти мають **набути такі програмні результати навчання**: ПРН 4 Знати переваги та недоліки існуючих методів системного аналізу та можливості їх використання для розв'язання конкретних наукових і прикладних задач в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень; ПРН 5 Знати основи організації дослідницького наукового процесу для розв'язання значущих проблем в галузі системного аналізу, вміти застосовувати знання основ аналізу та синтезу в різних предметних областях, критичного осмислення й розв'язання науководослідних проблем; ПРН 10 Уміти створювати нові методи системного аналізу та математичні моделі складних систем різної природи; ПРН 11 Уміти розробляти та використовувати нові методи аналізу складних систем та нові методи прийняття рішень в умовах невизначеності; ПРН 12 Уміти критично аналізувати переваги та недоліки відомих методів системного аналізу, а також уміти оцінювати можливості їх використання для розв'язання конкретних наукових і практичних задач; ПРН 13 Уміти розробляти наукові проекти в галузі системного аналізу; ПРН 14 Уміти впроваджувати результати наукових досліджень, які ґрунтуються на основі методів системного аналізу; ПРН 15 Уміти розв'язувати комплексні проблеми в галузі системного аналізу або в результаті проведення дослідницько-інноваційної діяльності, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань; ПРН 17 Читати та розуміти іншомовні тексти за спеціальністю; вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, наукові та прикладні проблеми галузі державною та іноземною мовами,

кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях у провідних міжнародних наукових виданнях; ПРН 18 Дотримуватися правил академічної доброчесності; знати і дотримуватися основних засад академічної доброчесності у науковій і освітній (педагогічній) діяльності.

Предмет вивчення.

Складні нелінійні системи в спеціальних класах нескінченновимірних просторів розподілів.

Основні завдання кредитного модуля.

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни аспіранти після засвоєння кредитного модуля мають продемонструвати такі результати навчання:

знання:

методів та засобів машинного навчання для аналізу складних систем.

уміння:

проводити регуляризацію негладких та багатозначних нелінійностей диференціально-операторних рівнянь та включень в спеціальних класах просторів розподілів методами Іосіди та Бертсекаса. За допомогою методу штучного керування навчитись обґрунтовувати нові апіорні оцінки, доводити нові теореми про регулярність та збіжність для узагальнених розв'язків. Для регуляризованих задач досліджувати топологію апроксимуючих нейромереж. Розроблювати алгоритм для реалізації методів наближеного розв'язання за допомогою програмних бібліотек для машинного навчання TensorFlow та Keras. Результати реалізовувати на конкретних тестових та прикладних задачах з частинними похідними з допустимо нелінійними немонотонними диференціальними операторами дивергентного типу та нелінійних граничних задачах

досвід:

створення дослідницької лабораторії аналізу складних систем (парадигма організованої співпраці за досвідом провідних національних лабораторій США), де роль кожного члена команди полягає в тому, щоб спеціалізуватися на певній задачі, щоб стати найкращим у ній, маючи при цьому цілісний погляд на весь процес.

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

Базовий рівень володіння англійською мовою, вища математика, програмування.

3. Зміст навчальної дисципліни

Кредитний модуль 1.

1. Топологія апроксимуючої нейромережі для класів диференціально-операторних рівнянь та включень типу Вольтерри;
2. Методи та алгоритми наближеного розв'язання класів диференціально-операторних рівнянь та включень із використанням відкритих програмних бібліотек для машинного навчання TensorFlow та Keras;
3. Наближене розв'язання класів нелінійних задач з частинними похідними з допустимо нелінійними немонотонними диференціальними операторами дивергентного типу та нелінійних граничних задач за допомогою рекурентних нейронних мереж із використанням відкритих програмних бібліотек для машинного навчання TensorFlow та Keras.

Рекомендована тематика практичних (семінарських) занять

Метою проведення практичних занять є закріплення знань, надбаних на лекційних заняттях, здобуття умінь розв'язувати реальні проблеми якісного та кількісного аналізу складних систем за допомогою методів та засобів машинного навчання.

1. дослідження топології апроксимуючої нейромережі для класів диференціально-операторних рівнянь та включень типу Вольтерри;
2. машинне навчання стійких апроксимуючих динамічних систем;
3. дослідження стійкості та обґрунтування нових апріорних оцінок для розв'язків диференціально-операторних рівнянь та включень в спеціальних класах нескінченновимірних просторів з відображеннями типу Вольтерри;
4. доведення основних теорем щодо збіжності алгоритмів наближеного розв'язання диференціально-операторних рівнянь та включень в спеціальних класах просторів розподілів з нелінійними та багатозначними відображеннями типу Вольтерри за допомогою рекурентних нейронних мереж;
5. розробка методів та алгоритмів наближеного розв'язання класів диференціально-операторних рівнянь та включень із використанням відкритих програмних бібліотек для машинного навчання TensorFlow та Keras;
6. наближене розв'язання класів нелінійних задач з частинними похідними з допустимо нелінійними немонотонними диференціальними операторами дивергентного типу та нелінійних граничних задач за допомогою рекурентних нейронних мереж із використанням відкритих програмних бібліотек для машинного навчання TensorFlow та Keras.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Всі необхідні матеріали містяться на платформі Piazza

https://piazza.com/national_technical_university_of_ukraine_igor_sikorsky_kyiv_polytechnic_institute/spring2022/mlcs/resources

Базова література:

1. Zgurovsky, Michael Z., and Pavlo O. Kasyanov. *Qualitative and Quantitative Analysis of Nonlinear Systems*. Springer, Cham, 2018.
2. <https://www.tensorflow.org/>
3. <https://keras.io/>
4. Maria Laura Piscopo, Michael Spannowsky, and Philip Waite Solving differential equations with neural networks: Applications to the calculation of cosmological phase transitions // *Phys. Rev. D* 100, 016002 – Published 9 July 2019
5. MohamadAli Torkamani, Phillip Wallis, Shiv Shankar, Amirmohammad Rooshenas Learning Compact Neural Networks Using Ordinary Differential Equations as Activation Functions // 2019, arXiv:1905.07685

Додаткова література:

6. Isaac Elias Lagaris, Aristidis Likas, and Dimitrios I. Fotiadis Artificial Neural Networks for Solving Ordinary and Partial Differential Equations // *IEEE Transactions On Neural Networks*, Vol. 9, No. 5, 1998
7. Ken-ichi Funahashi, Yuichi Nakamura Approximation of dynamical systems by continuous time recurrent neural networks // *Neural Networks Volume 6, Issue 6, 1993, Pages 801-806*

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

5.1. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Топологія апроксимуючої нейромережі для класів диференціально-операторних рівнянь та включень типу Вольтерри [1-7];
2	Методи та алгоритми наближеного розв'язання класів диференціально-операторних рівнянь та включень із використанням відкритих програмних бібліотек для машинного навчання TensorFlow та Keras [1-7];
3	Наближене розв'язання класів нелінійних задач з частинними похідними з допустимо нелінійними немонотонними диференціальними операторами дивергентного типу та нелінійних граничних задач за допомогою рекурентних нейронних мереж із використанням відкритих програмних бібліотек для машинного навчання TensorFlow та Keras [1-7];

5.2. Практичні заняття

Метою проведення практичних занять є закріплення знань, надбаних на лекційних заняттях, здобуття умінь розв'язувати реальні проблеми за допомогою методів та засобів машинного навчання

№ з/п	Назва теми заняття (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	дослідження топології апроксимуючої нейромережі для класів диференціально-операторних рівнянь та включень типу Вольтерри [1-7];
2	машинне навчання стійких апроксимуючих динамічних систем [1-7];
3	дослідження стійкості та обґрунтування нових апріорних оцінок для розв'язків диференціально-операторних рівнянь та включень в спеціальних класах нескінченновимірних просторів з відображеннями типу Вольтерри [1-7];
4	доведення основних теорем щодо збіжності алгоритмів наближеного розв'язання диференціально-операторних рівнянь та включень в спеціальних класах просторів розподілів з нелійними та багатозначними відображеннями типу Вольтерри за допомогою рекурентних нейронних мереж [1-7];
5	розробка методів та алгоритмів наближеного розв'язання класів диференціально-операторних рівнянь та включень із використанням відкритих програмних бібліотек для машинного навчання TensorFlow та Keras [1-7];
6	наближене розв'язання класів нелінійних задач з частинними похідними з допустимо нелінійними немонотонними диференціальними операторами дивергентного типу та нелінійних граничних задач за допомогою рекурентних нейронних мереж із використанням відкритих програмних бібліотек для машинного навчання TensorFlow та Keras [1-7];

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота студентів полягає в опрацюванні матеріалів та виконанні завдань на платформі дистанційного навчання Piazza

<https://piazza.com/national technical university of ukraine igor sikorsky kyiv polytechnic institute/spring2022/mlcs/resources> ; підготовці до залікової роботи.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Вимагається належне виконання усіх завдань на платформі дистанційного навчання Piazza <https://piazza.com/national technical university of ukraine igor sikorsky kyiv polytechnic institute/spring2022/mlcs/resources> згідно вимог та індивідуальної стратегії, яку визначає аспірант самостійно або, за необхідності, під науковим керівництвом викладача / наукового керівника.

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

Поточний контроль: кожен студент визначає стратегію виконання завдань (самостійно або, за необхідності, під науковим керівництвом викладача / наукового керівника), ставлячи на меті одержати в кінці семестру 100 балів.

Види контролю :

- 1) дві відповіді (кожного студента в середньому) на практичних заняттях (за умови, що на одному занятті в середньому опитуються 8 студентів при максимальній чисельності групи 30 осіб);*
- 2) виконання однієї контрольної роботи (в дистанційному режимі – тестів та завдань).*

СИСТЕМА РЕЙТИНГОВИХ БАЛІВ

1. Практичне заняття

Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює 20 балів X 2 =40 балів.

Критерії оцінювання:

0–8 балів – задача не розв’язана, при цьому студент володіє певними теоретичними відомостями щодо теми практичного заняття;

9–14 балів – задача розв’язана не до кінця або розв’язок містить грубі технічні недоліки, при цьому студент вільно володіє теоретичними відомостями щодо теми практичного заняття;

15–20 балів – задача в цілому розв’язана, при цьому студент вільно володіє теоретичними відомостями щодо теми практичного заняття.

2. Модульний контроль.

Максимальні кількість балів за контрольну роботу (проект) дорівнює 60 балів.

Критерії оцінювання:

0–20 балів – задача в цілому не розв’язана або розв’язок містить грубі технічні недоліки, відповіді на теоретичне питання немає;

21–50 балів – задача в цілому розв’язана, теоретичне питання розкрито;

51–60 балів – задача розв’язана, відповідь на теоретичне питання є вичерпною.

Штрафні та заохочувальні бали за:

- виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисциплін надається від 15 до 30 заохочувальних бали.

За результатами навчальної роботи за перші 7 тижнів «ідеальний студент» має набрати 20 балів. На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менш ніж 10 балів. За результатами 13 тижнів навчання «ідеальний студент» має

набрати 40 балів. На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менш ніж 20 балів.

Максимальна сума балів складає 100. Необхідною умовою допуску до заліку є позитивна оцінка з контрольної роботи. Для отримання заліку з кредитного модуля "автоматом" потрібно мати рейтинг не менш ніж 60 балів, а також зараховану контрольну роботу (більш ніж 30 балів). Студенти, які наприкінці семестру мають рейтинг менше 60 балів, а також ті, хто хоче підвищити оцінку у системі ECTS, виконують залікову роботу. При цьому до балів з контрольної роботи додаються бали за залікову роботу і ця рейтингова оцінка є остаточною. Контрольне завдання цієї роботи складається з двох питань робочої програми з переліку, що наданий у методичних рекомендаціях до засвоєння кредитного модуля. Додаткове питання з тем практичних занять отримують студенти, які не приймали участі у роботі певного практичного заняття. Незадовільна відповідь з додаткового питання знижує загальну оцінку на 4 бали.

Кожне питання оцінюється з 20 балів відповідно до системи оцінювання:

- “відмінно”, повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 20...18 балів;
- “добре”, достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 17...14 бал;
- “задовільно”, неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 13...11 балів;
- “незадовільно”, незадовільна відповідь – 0 балів.

Сума балів: за кожне з двох запитань залікової роботи та контрольну роботу переводиться до залікової оцінки згідно з таблицею.

Бали Оцінка

100...95 Відмінно

94...85 Дуже добре

84...75 Добре

74...65 Задовільно

64...60 Достатньо

Менше 60 Незадовільно

ДКР не зараховано Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Всі необхідні матеріали містяться на платформі навчання Piazza

<https://piazza.com/national technical university of ukraine igor sikorsky kyiv polytechnic institute/spring2022/cscphd/resources>

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено директор ІПСА, д.ф.-м.н., професор, Касьянов Павло Олегович

акад НАН України, д.т.н., проф. Михайло Захарович Згуровський

Ухвалено кафедрою математичних методів системного аналізу (протокол № 13 від 05.06.2024 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 10 від 24.06.2024 р.)