|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | **Кафедра** **інформаційних технологій в телекомунікаціях** |
| ***Інженерія програмного******забезпечення цифрових двійників*** **Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)** |

# Реквізити навчальної дисципліни

|  |  |
| --- | --- |
| Рівень вищої освіти | *Третій (PhD)*  |
| Галузь знань | *17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації* |
| Спеціальність | *172 Електронні комунікації та радіотехніка* |
| Освітня програма | *Телекомунікації та радіотехніка* |
| Статус дисципліни | *Вибіркова* |
| Форма навчання | *Очна (денна)* |
| Рік підготовки, семестр | *2 курс, осінній семестр* |
| Обсяг дисципліни | *5 кредитів (150 акад. годин), з них 56 – аудиторних (42 – лекції, 14– практичні заняття, 94 - СРС)* |
| Семестровий контроль/ контрольні заходи | *Екзамен* |
| Розклад занять | *https://my.kpi.ua/* |
| Мова викладання | *Українська* |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | Лекційні/Практичні: *д.т.н., професор, Глоба Л.С.. +380 50 526 15 12, lgloba@its.kpi.ua*  |
| Розміщення курсу\постійне посилання на on-line заняття | <https://classroom.google.com/u/0/c/NzEwNDg4MTYxMzE4>

|  |
| --- |
| код курсу 4cge3c4 за запрошенням викладача  |

Підключитися до конференції Zoom <https://zoom.us/j/96473892193?pwd=RcL87Cl7lUOaFJlqGdqHMARxPnMG4Y.1> Ідентифікатор конференції: 964 7389 2193 Код доступу: 155226  |

# Програма навчальної дисципліни

# Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчання та результати навчання

Навчальна дисципліна “ Інженерія програмного забезпечення цифрових двійників” відповідає освітньо-професійній програмі підготовки аспірантів за освітньо-професійною програмою підготовки спеціальності 172 – Електронні комунікації та радіотехніка.

Навчальна дисципліна належить до циклу вибіркових освітніх компонентів та є профільною у підготовці фахівців із проектування та удосконалення інформаційно-телекомунікаційних систем та мереж, а також створення швидшого, менш дорогого та безпомилкового виробництва процесів і послуг в цифровому просторі. Функціональність Digital Twin стосується всього життєвого циклу продуктів і послуг в інформаційно-комунікаційному середовищі.

Предметом навчальної дисципліни є методологія та практика виконання досліджень щодо розробки, проєктування та експлуатації кіберфізичних систем (англ. CPS – Cyber Physical Systems), способів об’єднання певної фізичної системи та її датчиків з системами інформаційних технологій в системи, мережі/комунікації або системи обчислення/аналізу/контролю та передбачення якості функціонування реальних фізичних об’єктів та систем з використанням глобальних мереж, що вимагає прогресивних форм організації програмно-технічних засобів, проведення наукового пошуку в глобальному середовищі, аналізу наукових підходів та результатів. Ефективність результатів досліджень значною мірою залежить від організації інформаційно-обчислювального середовища, у тому числі й від вміння використовувати ресурси мережі Internet.

**Мета та завдання вивчення дисципліни**

|  |  |
| --- | --- |
| **Мета дисципліни** | Метою навчальної дисципліни є:* підготовка фахівця, який має базові компетенції, що засновані на знаннях математичного апарату, який використовується для розробки глобальних інфокомунікаційних систем, а також аналізу якості їх функціонування;
* формування та розвиток загальних і професійних компетентностей з впровадження та застосування технологій телекомунікацій і радіотехніки, що сприяють соціальній стійкості та мобільності випускника на ринку праці;
* формування у здобувачів освіти логічного мислення, розвиток їх інтелекту та здібностей;
* ознайомлення з найбільш сучасними практичними рішеннями та технологіями в області проектування, реалізації та супроводу розподілених інфокомунікаційних систем,
* ознайомлення з технологіями створення інформаційних ресурсів в телекомунікаційному середовищі на основі Intranet-технологій
 |
| **Предмет навчальної дисципліни** | Предметом вивчення навчальної дисципліни є: * основні моделі і поняття, які використовуються в процесі проєтування та функціонування складних інженерних об’єктів;
* моделі та методи аналізу та прогнозування станів складних інфокомунікаційних об’єктів, зокрема методи штучного інтелекту та нечіткого логічного висновку;
* практичні навички із застосування математичного апарату для реалізації та обслуговування сучасних глобальних інфокомунікаційних систем;
* загальні принципи побудови прикладних методів проектування сучасних глобальних інфокомунікаційних систем та їх компонентів;
* основні шляхи забезпечення цілісності, конфіденційності, доступності інформації в телекомунікаційних мережах;
* практичні навички зі створення швидкого, недорогого та безпомилкового виробництва процесів і послуг в цифровому просторі.
 |
| **Компетентності, що доповнює дисципліна****ЗК01, ЗК03,****ЗК05, ЗК09, ФК01, ФК02, ФК03, ФК04** | Здатність розв’язувати комплексні проблеми в галузі телекомунікацій щодо професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та/або професійної практики.Здатність до критичного аналізу, оцінки і синтезу нових складних ідей. (ЗК01); Здатність критичного осмислення й розв’язання проблем науково-дослідної й/або інноваційної сфер; розширення меж і переосмислення наявного теоретичного знання й професійних практик(ЗК03);Здатність сприймати, розробляти, застосовувати і адаптувати основний процес дослідження з науковою повнотою і цілісністю в контексті, що розширює межі знань (ЗК05);Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК09).Здатність адаптувати і узагальнювати результати сучасних досліджень для вирішення наукових і практичних проблем (ФК01);Здатність застосовувати математичні методи наукових досліджень, імітаційного моделювання, прикладні аспекти системного аналізу у різних видах професійної діяльності (ФК02);Здатність виконувати теоретичні й експериментальні дослідження, математичне й комп’ютерне моделювання процесів у телекомунікаційних і радіотехнічних системах та пристроях (ФК03);Здатність впроваджувати сучасні інформаційні технології, засоби та методи досліджень, комунікації, підвищувати енергетичну та економічну ефективності розробок, виробництва та експлуатації телекомунікаційних і радіотехнічних систем та пристроїв (ФК04). |
| **Програмні результати навчання, що доповнює дисципліна****ПРН02, ПРН04, ПРН05, ПРН07, ПРН08, ПРН09,****ПРН11, ПРН17,****ПРН18** | Знання методів наукового дослідження у предметній галузі (ПРН02);Знання сучасних математичних методів наукових досліджень, імітаційного моделювання, прикладних аспектів системного аналізу (ПРН04);Знання методів дослідження математичних моделей та алгоритмів функціонування систем управління базами даних та знань, розподілених та web-базованих систем, складних телекомунікаційних мереж, радіотехнічних систем, інформаційно-пошукових систем, систем обробки інформації (ПРН05);Уміння використовувати інноваційні підходи при рішенні проблем і завдань, проявляти автономність, науковість і професіоналізм (ПРН07);Уміння генерувати та розвивати нові ідеї або процеси у професійній діяльності, включаючи науково-дослідну діяльність (ПРН08);Уміння застосовувати знання основ аналізу та синтезу в різних предметних областях, критичного осмислення й розв’язання науково-дослідних проблем (ПРН09);Уміння виконувати самостійно науково-дослідну діяльність у галузі телекомунікацій і радіотехніки з використанням сучасних математичних методів наукових досліджень, імітаційного моделювання, прикладних аспектів системного аналізу (ПРН11);Уміння обґрунтовувати й аналізувати вибір конкретного типу моделі та методу телекомунікаційних та радіотехнічних систем при вирішенні відповідних практичних задач (ПРН17);Уміння обирати відповідний оптимальний метод розв’язання задачі (ПРН18). |

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

**Пререквізити:** Дисципліна “Інженерія програмного забезпечення цифрових двійників” є вибірковою та створює індивідуальну траєкторію навчання студентів і базується на засвоєнні освітніх компонентів циклів загальної та професійної підготовки “ Інноваційні напрями розвитку телекомунікацій та радіотехніки” (НН03), “ Математичні методи наукових досліджень в телекомунікаціях та радіотехніці” (НН04), “ Імітаційне моделювання в телекомунікаціях та радіотехніці” (НН05),

«Прикладні аспекти системного аналізу в телекомунікаціях та радіотехніці» (НН06).

**Постреквізити:** Дисципліна «Інженерія програмного забезпечення цифрових двійників»

передує дисциплінам вільного вибору студентів та дисципліні «Організація науково-інноваційної діяльності» (НН07) . Крім того, вона забезпечує виконання науково-дослідної робіт під час підготовки PhD дисертації.

# Зміст навчальної дисципліни

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 150 години /5 кредитів ECTS, екзамен.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Кількість годин і тем | Всього | у тому числі |
| Лекції | Практичні | СРС |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Розділ 1*.* ***Кіберфізичні системи та «цифрові двійники» як засіб цифрової трансформації.****.* |
| *Тема 1.1. Кіберфізичні системи та цифрові двійники» - основні* *поняття та* *визначення.* | 9 | 2 | 1 | 6 |
| *Тема 1.2. Формалізація складних інженерних систем як задача представлення знань* | 17 | 6 | 1 | 10 |
| *Тема 1.3. Статистичні показники складних інженерних систем, зокрема інформаційно-комунікаційних систем та об’єктів* | 17 | 6 | 1 | 10 |
| *Тема 1.4. «Цифровий двійник» для процесу планування радіомережі стільникового зв’язку* | 13 | 2 | 1 | 10 |
| *Модульна контрольна робота 1* | 3 | - | - | 4 |
| Розділ 2. ***Цифрові двійники: Архітектура, прикладні системи, тенденції та виклики*** |
| *Тема 2.1. Архітектура «цифрових двійників».* | 7 | 2 | 1 | 4 |
| *Тема 2.2. Методологія побудови «цифрових двійників».* | 9 | 4 | 1 | 4 |
| *Тема 2.3. Взаємодія між цифровими двійниками.* | 7 | 2 | 1 | 4 |
| *Тема 2.4. Застосування основних технологій побудови та функціонування «цифрових двійників».* | 7 | 2 | 1 | 4 |
| *Тема 2.5. Аналіз даних та отримання знань в системах «цифрових двійників».*  | 9 | 4 | 1 | 4 |
| *Тема 2.6. Методи штучного інтелекту, зокрема Mashing Learning, Deep Learning.* | 9 | 4 | 1 | 4 |
| *Тема 2.7. Особливості побудови сценаріїв кібер-фізичної системи та їх оцінювання.* | 7 | 2 | 1 | 4 |
| *Тема 2.8.* *Віртуальна та доповнена реальність, життєвий цикл цифрових двійніків та їх функції.* | 7 | 2 | 1 | 4 |
| *Тема 2.9. Цифрові двійники в системах IoT.* | 7 | 2 | 1 | 4 |
| *Тема 2.10. Переваги та проблемні питання щодо проєктування кібер-фізичних систем, сфери застосування «цифрових двійників».* | 7 | 2 | 1 | 4 |
| *Домашня контрольна робота* | 11 | - | - | 11 |
| Екзамен | 3 | - | - | 3 |
| **Всього годин** | **150** | **42** | **14** | **94** |

# Навчальні матеріали та ресурси

**Базова література**

1. Grieves, M., & Vickers, J. (2017). **Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems**. Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). https://doi.org/10.1109/SMC.2017.8123036
2. Glaessgen, E., & Stargel, D. (2012). **The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles**. In 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference (pp. 1-14).
3. Tao, F., Zhang, M., & Liu, Y. (2018). **Digital Twin and Its Applications in Industry 4.0**. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 94(9–12), 3803–3813. https://doi.org/10.1007/s00170-017-0237-5
4. Boschert, S., & Rosen, R. (2016). **Digital Twin – The Simulation Aspect**. In Mechatronic Futures (pp. 59–74). Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53357-9\_6
5. Negri, E., Fumagalli, L., & Macchi, M. (2017). **A Literature Review on the Application of Digital Twin to Manufacturing**. Procedia CIRP, 60, 1-6. https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.01.142
6. Liu, Y., Xu, X., & Xu, C. (2020). **Digital Twin-Driven Smart Manufacturing: Connotation, Reference Model, Applications and Research Opportunities**. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 61, 101837. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101837
7. Xu, C., Xu, X., & Zhang, Y. (2021). **The Role of Digital Twins in Smart Manufacturing**. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 17(8), 1-10. https://doi.org/10.1109/TII.2021.3076555
8. Vollmer, M., & Müller, A. (2020). **The Digital Twin as a Concept for Realizing Industry 4.0**. In Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (pp. 233-237).
9. Kritzinger, W., Karner, M., & Lanza, G. (2018). **Digital Twin in Manufacturing: A Comprehensive Survey**. IEEE Access, 6, 12327-12348. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2815056
10. Yang, Y., & Xu, X. (2021). **Digital Twin-Driven Product Design and Manufacturing**. Journal of Manufacturing Processes, 58, 69-82. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.07.033>
11. Європейський інститут телекомунікаційних стандартів. 2nd Generatio (GERAN) [Електронний ресурс] available at: <https://www.etsi.org/technologies/mobile/2g?highlight=WyJncHJzIiwiZ3BycydzIl0=> accessed 16.09.2022

**Додаткова література**

1. **Mansour, N., & Bogue, R.** (2020). Digital Twins for Industrial Applications: From Design to Operation. Springer. ISBN: 978-3-030-31247-5
2. **Tao, F., & Zhang, H.** (2020). Digital Twin Technologies and Applications. Elsevier. ISBN: 978-0-12-819036-5
3. **Rosen, R., & Ciufo, R.** (2019). Digital Twin: Integrating with Smart Manufacturing and Industry 4.0. Wiley. ISBN: 978-1-119-60685-2
4. **Mariani, M., & Gabbar, H.** (2021). Digital Twins in Engineering: Advanced Technologies and Applications. Springer. ISBN: 978-3-030-65737-9
5. **Jahn, K., & Dubois, D.** (2021). Digital Twin in Manufacturing: Theories and Applications. CRC Press. ISBN: 978-0-367-53161-4

**Інформаційні ресурси**

1. **Digital Twin Hub** (2023). The Ultimate Resource on Digital Twins. URL: https://www.digitaltwinhub.com
2. **IEEE Xplore Digital Library** (2023). Digital Twins and Cyber-Physical Systems. URL: https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp
3. **CPS & IoT Research Network** (2023). Cyber-Physical Systems and Internet of Things. URL: https://www.cps-vo.org
4. **Siemens Digital Industries** (2023). Digital Twin Solutions for Industry. URL: https://www.siemens.com/digital-twin
5. **IBM Cloud - Digital Twin Solutions** (2023). Building and Managing Digital Twins with IBM Cloud. URL: https://www.ibm.com/cloud/digital-twin
6. **MIT OpenCourseWare** (2023). Cyber-Physical Systems: Design and Applications. URL: https://ocw.mit.edu
7. **Fraunhofer Institute for Integrated Circuits IIS** (2023). Cyber-Physical Systems and Digital Twin Technologies. URL: <https://www.iis.fraunhofer.de>

# Навчальний контент

# Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

* 1. **Лекційні заняття – 42 год.**

|  |  |
| --- | --- |
| **№** **з/п** | **Назва теми лекції**  |
| **Змістовий модуль 1. Кібер-фізичні системи та «цифрові двійники» як засіб цифрової трансформації..** |
| **Лекція 1** | **Назва:** *Вступ до дисципліни. Кіберфізичні системи та «цифрові двійники» - основні поняття та визначення.*Основні поняття та визначення, характеристика «цифрових двійників» як об’єктів проєктування, відмінності цифрової моделі та цифрового двійника, цифрова тінь, архітектура та компоненти програмної реалізації цифрового двійника.**Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |
| **Лекція 2** | **Назва:** *Формалізація складних інженерних систем як задача представлення знань*Типи представлення знань, формальний апарат, графічна нотація (функціональне моделювання, IDF0, діаграми послідовностей, UML діаграми).**Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |
| **Лекція 3** | **Назва:** *Формалізація складних інженерних систем як задача представлення знань*Структуровані об’єкти (семантичні мережі, фрейми, реляційні моделі, концептуальні графи, об’єктно-орієнтовані моделі, онтологічні моделі).**Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |
| **Лекція 4** | **Назва:** *Формалізація складних інженерних систем як задача представлення знань* Логічні моделі (логічні твердження: висловлювання, предикати тощо), правила («якщо-то»).**Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |
| **Лекція 5** | **Назва.** *Статистичні показники складних інженерних систем, зокрема інформаційно-комунікаційних систем та об’єктів.* Статистичні показники складних інженерних систем, статистичні показники оцінювання інформаційних систем, статистичні показники в галузі комунікаційних технологій. Основні статистичні показники функціонування радіомережі стільникового зв’язку.**Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |
| **Лекція 6** | **Назва.** *Статистичні показники складних інженерних систем, зокрема інформаційно-комунікаційних систем та об’єктів.* Математичні методи та підходи щодо визначення найбільш релевантного статистичного показника, ранжування показників за ступенем впливу.**Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |
| **Лекція 7** | **Назва.** *Статистичні показники складних інженерних систем, зокрема інформаційно-комунікаційних систем та об’єктів*Регресійні моделі для визначення залежності між кількістю користувачів та середньою швидкістю завантаження: метод найменших квадратів, регресія Ріджа, лінійна модель Lasso, модель лінійної регресії Elastic-net та інші.**Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |
| **Лекція 8** | **Назва.** *Цифровий двійник для процесу планування радіомережі стільникового зв’язку.*Основні моделі розповсюдження радіохвиль у вільному середовищі. Базові сценарії розрахунку втрат для різних середовищ (приклади використання та побудови «цифрових двійників» в телекомунікаційному середовищі.**Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |
| **Змістовий модуль 2. Цифрові двійники: Архітектура, прикладні системи, тенденції та виклики** |
| **Лекція 9** | **Назва:** *Архітектура «цифрових двійників».*Вимоги до побудови архітектурних рішень . Еволюція архітектурних рішень з прикладами.**Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |
| **Лекція 10** | **Назва:** *Методологія побудови «цифрових двійників».*Життєвий цикл проєктів, рішення щодо аналізу та ефективності використання використання протоколів, технологій передачі та обробки великих обсягів даних, аналіз перспектив та тенденцій розвитку.**Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |
| **Лекція 11** | **Назва:** *Методологія побудови «цифрових двійників».*Побудова структури «цифрового двійника», його компонентів та моделі його поведінки. Принципи побудови архітектурних рішень: дані, моделі та сервіси. **Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |
| **Лекція 12** | **Назва:** *Взаємодія між цифровими двійниками.*Основні технології та підходи організації взаємодії між цифровими двійниками. Протоколи обміну інформацією.**Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |
| **Лекція 13** | **Назва:** *Застосування основних технологій побудови та функціонування «цифрових двійників».*Основні технології побудови Цифрового двійника. Технології збору даних з фізичного об’єкта (IoT, сенсори), протоколи зв’язку. Технології моделювання та створення віртуальної копії: фізичне моделювання, математичне та імітаційне моделювання, Data-Driven моделі, 3D-моделювання і CAD, інфраструктура. Основні технології функціонування Цифрового двійника.**Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |
| **Лекція 14** | **Назва:** *Аналіз даних та отримання знань в системах «цифрових двійників».* Методи побудови логічних моделей у вигляді правил («якщо-то»). Методи побудови нечітких логічних моделей.**Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |
| **Лекція 15** | **Назва:** *Аналіз даних та отримання знань в системах «цифрових двійників».* Побудова баз даних та знань на основі логічних моделей у вигляді правил («якщо-то»). Підходи щодо побудови нечітких баз знань.**Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |
| **Лекція 16** | **Назва:** *Методи штучного інтелекту, зокрема Mashing Learning, Deep Learning.*ML-методи машинного навчання: Supervised Learning, Unsupervised Learning, Reinforcement Learning, Semi-supervised Learning, Self-supervised Learning, Ensemble Methods.**Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |
| **Лекція 17** | **Назва:** *Методи штучного інтелекту, зокрема Mashing Learning, Deep Learning.*Deep Learning методи машинного навчання: Convolutional Neural Networks, CNN, ConvNet, Recurrent Neural Networks (RNN), Transformers, Self-Attention, Autoencoders, Generative Adversarial Networks (GAN), Diffusion Models, Graph Neural Networks (GNN).**Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |
| **Лекція 18** | **Назва:** *Особливості побудови сценаріїв кібер-фізичної системи (КФС) та їх оцінювання.*Особливості побудови сценаріїв для КФС, неперервно-дискретна природа, врахування взаємодії фізичних та програмних систем, нелінійність та складні причинно-наслідкові зв’язки, Worst-Case Scenarios, взаємодія з непередбачуваним оточенням, розподіленість та паралелізм. Формальні методи побудови сценаріїв. Модельно-орієнтоване проєктування. Оцінювання функціональних характеристик.Оцінювання надійності та безпеки, стійкості та живучесті. Веріфікація та валідація.**Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |
| **Лекція 19** | **Назва:** *Віртуальна та доповнена реальність, життєвий цикл цифрових двійніків та їх функції.*Єдність трьох концепцій: Цифровий двійник (ЦД), віртуальна реальність (VR) та доповнена реальність (AR). Життєвий цикл цифрових двійників. Функції цифрових двійників.**Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |
| **Лекція 20** | **Назва:** *Цифрові двійники в системах IoT.*Відмінність між IoT та Цифровим Двійником. Архітектура взаємодії. Ключові функції та переваги взаємодоповнення IoT та Digital Twin. Віддалений моніторинг та керування. Симуляція сценаріїв "Що якщо...". Покращена аналітика та візуалізація. Приклади застосування.**Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |
| **Лекція 21** | **Назва:** *Переваги та проблемні питання щодо проєктування кібер-фізичних систем, сфери застосування Цифрових двійників.*Переваги: Підвищення ефективності та продуктивності. Нова якість функціональності. Підвищення надійності та безпеки. Гнучкість та адаптивність. Віддалене керування та моніторинг. Проблемні питання: Міждисциплінарна складність. Небезпека кібератак. Складність моделювання та тестування. Проблеми синхронізації та часу. Надійність апаратного забезпечення. Етичні та правові питання. Цифровий двійник як інструмент подолання проблем проектування КФС.**Дидактичні засоби:** Слайди на даною темою та онлайн -підручники Завдання для самостійної роботи: повторити та провести поглиблений аналіз лекційних матеріалів з використанням рекомендованої літератури. |

* 1. **Практичні заняття- 14 год.**

Рекомендована тематика проведення практичних занять відповідає тематиці наукових робіт аспірантів. Кожний студент розробляє проєкт уявного Цифрового двійника у відповідності з темою своєї наукової роботи, готує презентацію проєкта, проводиться його обговорення. Студенти готують детальні презентації, в яких передбачається присутність висновків щодо проведеного огляду літературних джерел відносно запропонованих підходів до побудови Цифрового двійника.

На практичних заняттях розкриваються найбільш суттєві теоретичні питання, які дозволяють забезпечити аспірантам можливість глибокого самостійного вивчення всього програмного матеріалу щодо Цифрового двійника, пов’язаного з їх науковими дослідженнями.

Додатковий матеріал, або той, що не вимагає керівництва викладача, виноситься на самостійні заняття.

На заняттях використовуються презентації Power Point, слайди, навчальні схеми, стенди, технічні засоби навчання, матеріальна частина засобів і комплексів, обчислювальна техніка.

Контроль засвоєння навчального матеріалу здійснюється індивідуальним опитуванням, за якістю підготовленого матеріалу презентації за темою проєкту щодо побудови Цифрового двійника, письмовими відповідями на поставлені питання з використанням джерел інформації (відповіді творчого плану) і без їх використання (доповіді матеріалу, який вивчається), співбесідою в індивідуальному порядку на консультаціях, а також під час екзамену.

* 1. **Лабораторні заняття**

Проведення лабораторних робіт не передбачено.

# Самостійна робота студента – 94 год.

Самостійна робота націлена на проведення наукового пошуку та узагальнення знайдених матеріалів з метою їх використання у подальшому для підготовки наукової роботи.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № з/п | Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання | Кількість годин СРС |
| 1 | *Сучасні методи штучного інтелекту для КФС* | 20 |
| 2 | *Застосування методів кластерізації в КФС* | 20 |
| 3 | *Застосування методів Convolutional Neural Networks в КФС*  | 27 |
| 4 | *Застосування графових моделей в КФС* | 27 |

# Індивідуальні завдання

Індивідуальні завдання передбачаються як підготовка наукової роботи на наукові конкурси та конференції, участь у олімпіадах, які приймають матеріали на даний час.

# Політика та контроль

# Політика університету

**8.1. Політика щодо академічної доброчесності**

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>

**8.2. Норми етичної поведінки**

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

Матеріал навчальної дисципліни вивчається у третьому семестрі на лекційних та практичних заняттях. Передбачено написання, як мінімум, тез доповіді на міжнародну науково-технічну конференцію студентів на базі НН ІТС ПРІТС, однієї наукової статті з метою підготовки до захисту PhD дисертації, відповідно до керівних документів Міністерства освіти і науки України для студентів закладів вищої освіті.

# Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

Засобами діагностики успішності навчання є доповіді на наукових семінарах за тематикою дисципліни.

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, які він отримує:

1) за роботу на практичних заняттях;

2) за зроблену доповідь за темою самостійної роботи;

3) за підготовлений реферат за темою дисципліни;

5) за відповідь під час екзамену.

1. **Самостійна практична робота**
2. Самостійна робота -підготовка доповіді за темою самостійної роботи, максимальний бал - **30**;
	* + Самостійна робота включає всі основні розділи: анотацію, вступ, ґрунтовний огляд стану досліджень, постановку задачі досліджень, викладення суті запропонованого рішення, експериментальну частину з доказом ефективності отриманих результатів, висновки, план подальших досліджень, список джерел **- 30;**
		+ Самостійна робота включає всі основні розділи: анотацію, вступ, ґрунтовний огляд стану досліджень, постановку задачі досліджень, викладення суті запропонованого рішення, експериментальну частину з доказом ефективності отриманих результатів, висновки, план подальших досліджень, список джерел, але не зроблено доповідь за темою роботи **- 25;**
		+ Самостійна робота підготовлена, але включає не всі основні розділи: анотацію, вступ, ґрунтовний огляд стану досліджень, постановку задачі досліджень, викладення суті запропонованого рішення, експериментальну частину з доказом ефективності отриманих результатів, висновки, план подальших досліджень, список джерел **- 15;**
		+ Самостійну роботу не підготовлено – 0.
3. Доповідь за самостійною роботою – максимальний бал - **30**;
	* Доповідь виголошено, вона включає всі основні розділи: анотацію, вступ, мету, об’єкт, предмет, задачі досліджень, ґрунтовний огляд стану досліджень в науковій спільноті, постановку задачі досліджень, список джерел, відповіді на запитання під час доповіді були повними та вичерпними - **30**;
	* Доповідь виголошено, вона включає всі основні розділи: анотацію, вступ, мету, об’єкт, предмет, задачі досліджень, ґрунтовний огляд стану досліджень в науковій спільноті, постановку задачі досліджень, список джерел, відповіді на запитання під час доповіді не були повними та вичерпними - **25**;
	* Доповідь виголошено, але вона не включає всі основні розділи: анотацію, вступ, мету, об’єкт, предмет, задачі досліджень, ґрунтовний огляд стану досліджень в науковій спільноті, постановку задачі досліджень, список джерел, відповіді на запитання під час доповіді не були повними та вичерпними - **15**;
	* Доповідь підготовлено, але не виголошено, вона включає всі основні розділи: анотацію, вступ, мету, об’єкт, предмет, задачі досліджень, ґрунтовний огляд стану досліджень в науковій спільноті, постановку задачі досліджень, список джерел - **10**;
	* Доповідь підготовлено, але не виголошено, вона не включає всі основні розділи - **5**;
	* Доповідь не підготовлено – 0.
4. Самостійна робота -підготовлений реферат за темою самостійної роботи – максимальний бал **40**.
* Реферат складається з 2-х розділів:
	+ 1-й розділ включає презентацію-доповідь по темі лекційного матеріалу – **10** б;
	+ 2-й розділ включає всі основні розділи: ***анотацію, вступ, ґрунтовний огляд стану досліджень, постановку задачі досліджень, коротке викладання гіпотези щодо реалізації суті запропонованого рішення, план подальших досліджень, список джерел*** та відповіді на поставлені питання були повними, ґрунтовними та вичерпними - **30** б;
	+ Всього – **10**б+**30**б = **40** б
* Реферат включає всі основні розділи: частину 1 та частину 2 в вичерпним змістом: анотація, вступ, ґрунтовний огляд стану досліджень, постановка задачі досліджень, коротке викладання гіпотези щодо реалізації суті запропонованого рішення, план подальших досліджень, список джерел, але відповіді на поставлені питання не були повними, ґрунтовними та вичерпними - **30-20**;
* Реферат включає не всі основні розділи: анотацію, вступ, ґрунтовний огляд стану досліджень, постановку задачі досліджень, коротке викладання гіпотези щодо реалізації суті запропонованого рішення, план подальших досліджень, список джерел та відповіді на поставлені питання не були повними, ґрунтовними та вичерпними - **10 - 5**;
* Реферат не підготовлено – 0.

**Максимальна кількість балів –** $30+30+40=100$ **.**

***Штрафні бали:***

– за невчасне (більш ніж 1 тиждень) подання ДКР за самостійної роботи ¬ **- 5** балів;

 ***Заохочувальні бали:***

– за активну участь у обговоренні наукових доповідей щодо самостійної робіт студентів під час **практичних занять 2 бали за кожне заняття;**

– за участь у факультетській олімпіаді з дисципліни, модернізації лабораторних робіт, виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни надається **+ 5 ... + 10** (заохочувальних) балів.

1. **Критерії оцінювання під час екзамену**

Екзаменаційна контрольна робота (співбесіда) оцінюється в 100 балів за умови представлення реферату з самостійної роботи, а також (за можливістю) підготовленої публікації. **Необхідною умовою допуску** до екзамену є стартовий рейтинг **не менше 40 балів**.

Контрольне завдання цієї роботи (співбесіди) складається з чотирьох запитань з переліку, що надається для підготовки до екзамену.

Кожне запитання оцінюється з 25 балів за такими критеріями:

– «відмінно» – повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації), надані відповідні

обґрунтування – 23-25 балів;

«добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), є незначні

неточності – 19-22 бали;

«задовільно» – неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації), є деякі помилки – 15-

18 балів;

– «незадовільно» – незадовільна відповідь – 0 балів.

**3. Сума рейтингових балів**, отриманих студентом протягом семестру, переводиться до підсумкової 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 |
| Менше 40 | Не допущено |

Студенти, які виконали всі умови допуску до екзамену та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань.

Студенти, які виконали всі умови допуску до екзамену та мають рейтингову оцінку менше RС = 60 балів, а також студенти, які бажають підвищити свою рейтингову оцінку, повинні складати екзамен у вигляді співбесіди. При цьому попередній рейтинг студента може скасуватися і він отримує оцінку з урахуванням результатів співбесіди.

**Примітки:**

* положення про рейтингову систему оцінки успішності доводиться на першому занятті з дисципліни;
* попередня рейтингова оцінка  з кредитного модуля (дисципліни) доводиться до студентів на передостанньому занятті;
* календарна атестація студентів з дисципліни проводиться викладачами за значенням поточного рейтингу студента на час атестації . Якщо значення цього рейтингу не менше **50%** від максимально можливого  на час атестації , студент вважається задовільно атестованим. В іншому випадку − в атестаційній відомості виставляється "**не атестований**".

# Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

10.1. Комунікація з викладачем будується за допомогою використання інформаційної системи «My KPI» і платформи «Classroom», а також такими інструментами комунікації, як електронна пошта, Telegram і Viber.

Перелік питань для підготовки до екзамену:

**Фундаментальні поняття та життєвий цикл**

* + - 1. Яке ключове відмінність між цифровою моделлю, цифровим тінню (digital shadow) та повноцінним цифровим двійником?
			2. Опишіть типові етапи життєвого циклу цифрового двійника, від ідеї до утилізації. Які вимоги до ПЗ виникають на кожному етапі?
			3. Яку роль відіграє концепція "Цифрової нитки" (Digital Thread) у забезпеченні цілісності даних цифрового двійника протягом усього життєвого циклу виробу?

**Архітектура та проектування ПЗ**

1. Які основні компоненти архітектури ПЗ цифрового двійника (наприклад, шари даних, моделювання, візуалізації, API)?
2. Які архітектурні патерни найкраще підходять для побудови масштабованих систем цифрових двійників (наприклад, подієорієнтована архітектура, мікросервіси)?
3. Як архітектура ПЗ повинна враховувати неперервно-дискретну природу кібер-фізичних систем, з якими взаємодіє двійник?
4. Які вимоги до API-інтерфейсів (REST, MQTT, OPC UA) для забезпечення ефективної двосторонньої зв'язку між фізичним об'єктом та його двійником?

**Дані та інтеграція**

1. Які стратегії використовуються для інтеграції даних з різноманітних джерел: IoT-датчиків, систем SCADA, ERP, CAD та BIM?
2. Як організувати потокову обробку даних (stream processing) в реальному часі для миттєвого оновлення стану цифрового двійника?
3. Які підходи до зберігання та управління даними (бази даних часових рядів, документні БД, data lakes) є найбільш ефективними для цифрових двійників і чому?

**Моделювання, симуляція та AI/ML**

1. Як поєднуються фізичні моделі (на основі законів фізики) та data-driven моделі (на основі ML/AI) в єдиному програмному середовищі цифрового двійника?
2. Яку роль відіграють механізми прогностичного аналізу (Predictive Analytics) в ПЗ цифрового двійника для вирішення завдань предиктивного обслуговування?
3. Як реалізується в ПЗ функція симуляції сценаріїв "Що якщо..." (What-If Analysis) для прийняття управлінських рішень без втручання у фізичний процес?

**Візуалізація та інтерфейси**

1. Які технології та бібліотеки (наприклад, Three.js, WebGL, игрові рушії) використовують для побудови інтерактивної 3D-візуалізації цифрового двійника?
2. Як інтегруються технології доповненої (AR) та віртуальної (VR) реальності в інтерфейс користувача для взаємодії з цифровим двійником?

**Якість, безпека та експлуатація**

1. Які специфічні вимоги до якості (Quality Assurance) ПЗ цифрових двійників, особливо стосовно точності моделей та синхронізації даних у реальному часі?
2. Які найбільш критичні загрози кібербезпеки для систем цифрових двійників і як їх мінімізувати на рівні архітектури та коду?
3. Як забезпечується масштабованість та відмовостійкість програмного комплексу, якщо кількість підключених фізичних об'єктів зростає на порядки?
4. Які практики DevOps та MLOps необхідні для ефективного розгортання, моніторингу та оновлення ПЗ цифрових двійників?

**Платформи та інструменти**

1. Порівняйте пропрієтарні (наприклад, Siemens MindSphere, Azure Digital Twins) та open-source підходи до побудови платформи для цифрових двійників. Їхні переваги та недоліки.
2. Як вибираються хмарні провайдери та сервіси (AWS IoT, Google Cloud IoT Core, Azure IoT Hub) для реалізації проекту цифрового двійника?

**Практичні кейси**

22. Опишіть архітектуру ПЗ для цифрового двійника складного динамічного об'єкта, такого як вітряна турбіна або система опалення, вентиляції та кондиціювання повітря.

23. Які особливості проектування ПЗ виникають при створенні цифрового двійника не окремого об'єкта, а цілої системи систем, наприклад, "розумного" міста?

24. Як інженеру ПЗ оцінити економічну ефективність та ROI від впровадження цифрового двійника для бізнесу?

25. Які тренди в розвитку технологій (наприклад, дифузійні моделі, графові нейромережі) можуть кардинально змінити інженерію ПЗ для цифрових двійників у найближчі 5-10 років?

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

**Складено:** проф., д.т.н., професор, Глоба Л.С.

**Ухвалено** кафедрою ІТТ (№15 від "23" травня 2025 р.)

**Погоджено** Методичною комісією НН ІТС (протокол № 3 від 17 червня 2025р.)