



ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (PhD)</i>
Галузь знань	<i>12 Інформаційні технології</i>
Спеціальність	<i>121 Інженерія програмного забезпечення</i>
Освітня програма	<i>Інженерія програмного забезпечення</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>Лекції: 18 год., комп'ютерний практикум: 18 год., самостійна робота: 114 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік, модульна контрольна робота, блиц-опитування, календарний контроль</i>
Розклад занять	<i>Згідно розкладу на весняний семестр поточного навчального року (rozklad.kpi.ua)</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>д.т.н. Сулема Євгенія Станіславівна, sulema@pzks.fpm.kpi.ua</i>
Розміщення курсу	<i>Google classroom. Доступ надається зареєстрованим аспірантам.</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Вивчення дисципліни «Проєктування програмного забезпечення технології цифрових двійників» дозволяє сформувати у здобувачів освіти компетенції, необхідні для розв'язання складних задач професійної діяльності, пов'язаної із розробленням програмних систем із застосуванням технології цифрових двійників.

***Метою** вивчення дисципліни «Проєктування програмного забезпечення технології цифрових двійників» є формування у здобувачів освіти здатності провадити науково-інноваційну діяльність, пов'язану із розробленням програмних систем із застосуванням технології цифрових двійників.*

***Предметом** дисципліни «Проєктування програмного забезпечення технології цифрових двійників» є елементи технології цифрових двійників.*

*Після засвоєння дисципліни «Проєктування програмного забезпечення технології цифрових двійників» **результатами навчання** є:*

знання:

- принципів створення цифрових двійників;*
- видів цифрових двійників досліджуваних об'єктів;*
- теоретичних засад технології цифрових двійників;*
- вимог до програмного забезпечення технології цифрових двійників;*

- принципів проектування програмного забезпечення технології цифрових двійників;

уміння:

- аналізувати особливості об'єкта дослідження та формувати вимоги до програмного забезпечення для створення цифрового двійника певного об'єкта дослідження;
- проектувати архітектуру програмного забезпечення технології цифрових двійників;
- проектувати компоненти програмних продуктів на основі технології цифрових двійників;

досвід:

- проектування архітектури програмного забезпечення для створення цифрового двійника певного об'єкта дослідження.

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

Успішному вивченню дисципліни «Проектування програмного забезпечення технології цифрових двійників» передує вивчення дисциплін навчального плану підготовки магістрів за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Отримані в результаті засвоєння дисципліни «Проектування програмного забезпечення технології цифрових двійників» теоретичні знання та практичні уміння можуть бути корисні для проведення наукових досліджень за темою дисертації.

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліна «Проектування програмного забезпечення технології цифрових двійників» передбачає вивчення таких тем:

Тема 1. Технологія цифрових двійників

Тема 2. Теоретичні основи подання та оброблення даних цифрових двійників

Тема 3. Програмне забезпечення технології цифрових двійників

Модульна контрольна робота

Залік

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Сулема Є. С., Сулема О. К., Шкурат О. С. Конспект лекцій з дисципліни «Проектування програмного забезпечення технології цифрових двійників» для аспірантів за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення. – КПІ, 2021.

Використати для опанування теоретичним матеріалом з дисципліни. Матеріали знаходяться у Google classroom. Доступ надається зареєстрованим аспірантам.

2. Сулема Є. С., Сулема О. К., Шкурат О. С. Навчальний посібник для виконання комп'ютерного практикуму з дисципліни «Проектування програмного забезпечення технології цифрових двійників» для аспірантів за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення. – КПІ, 2021.

Використати для опанування практичних умінь з дисципліни Матеріали знаходяться у Google classroom. Доступ надається зареєстрованим аспірантам.

Додаткова література:

3. Grieves M., Vickers J. Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. *Transdisciplinary perspectives on complex systems*. Springer, 2017. P. 85–113.

Використати для порівняльного аналізу видів цифрових двійників. Матеріали знаходяться у вільному доступі в Інтернеті.

4. Alam, K. M., El Saddik, A. C2PS: A digital twin architecture reference model for the cloud-based cyber-physical systems. *IEEE Access*, 2017, Vol. 5. P. 2050–2062.

Використати для вивчення принципів проектування програмного забезпечення технології цифрових двійників. Матеріали знаходяться у вільному доступі в Інтернеті.

5. Grieves M. *Virtually Intelligent Product Systems: Digital and Physical Twins*. Complex Systems Engineering: Theory and Practice. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2019. P. 175–200.

Використати для вивчення елементів технології цифрових двійників та їх практичного застосування. Матеріали знаходяться у вільному доступі в Інтернеті.

6. Zhu Z., Liu C., Xu X. Visualisation of the Digital Twin data in manufacturing by using Augmented Reality. *Procedia CIRP*, 2019. Vol. 81, P. 898–903.

Використати для вивчення принципів поєднання технології цифрових двійників та технології доповненої реальності. Матеріали знаходяться у вільному доступі в Інтернеті.

7. Kritzinger W., Karner M., Traar G., Henjes J., Sihn W. Digital Twin in manufacturing: a categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*, 2018. Vol. 51, Issue 11. P. 1016–1022

Використати для подальшого пошуку інформації щодо технології цифрових двійників. Матеріали знаходяться у вільному доступі в Інтернеті.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

№ з/п	Тип навчального заняття	Опис навчального заняття
<i>Тема 1. Технологія цифрових двійників</i>		
1	<i>Лекція 1. Вступ до технології цифрових двійників</i>	<i>Цифровий двійник як комплексна модель об'єкта дослідження. Огляд технології цифрових двійників. Застосування цифрових двійників. Завдання на СРС: п. 6, № 1.</i>
2	<i>Лекція 2. Концепція цифрового двійника досліджуваного об'єкта</i>	<i>Візуальна модель фізичного двійника. Поведінкова модель фізичного двійника. Цифровий двійник-прототип. Цифровий Двійник-екземпляр. цифровий двійник-агрегат. Середовище цифрового двійника. Інтеграція фізичного та цифрового об'єктів. Рівні складності цифрових двійників. Складові технології цифрових двійників. Завдання на СРС: п. 6, № 2.</i>
3	<i>Комп'ютерний практикум 1.</i>	<i>Завдання: Розробити інтерфейс програмної системи цифрового двійника досліджуваного об'єкта. Завдання на СРС: п. 6, № 10, 20.</i>
4	<i>Лекція 3. Розвиток концепції цифрового двійника</i>	<i>Технологія мультимедіа. Мультимедійні цифрові двійники. Принципи створення мультимедійних цифрових двійників. Цифрові двійники на основі нейронних мереж. Принципи створення персональних цифрових двійників. Завдання на СРС: п. 6, № 3, 21.</i>

Тема 2. Теоретичні основи подання та оброблення даних цифрових двійників

5	<i>Лекція 4. Математичне забезпечення процесів оброблення темпоральних мультимодальних даних цифрових двійників (частина 1)</i>	<i>Алгебраїчна система агрегатів як інструмент формального визначення цифрового двійника досліджуваного об'єкта. Операції над агрегатами. Відношення агрегатів. Завдання на СРС: п. 6, № 4, 22.</i>
6	<i>Комп'ютерний практикум 2.</i>	<i>Завдання: Розробити програмні компоненти для виконання операцій над елементами мультимодального образу. Завдання на СРС: п. 6, № 11.</i>
7	<i>Лекція 5. Математичне забезпечення процесів оброблення темпоральних мультимодальних даних цифрових двійників (частина 2)</i>	<i>Нечітка логіка в алгебраїчній системі агрегатів. Концепція мультимодального образу. Формальна специфікація моделей цифрового двійника. Завдання на СРС: п. 6, № 5, 23.</i>
8	<i>Комп'ютерний практикум 3.</i>	<i>Завдання: Розробити програмні компоненти для виконання нечітких операцій над елементами мультимодального образу. Завдання на СРС: п. 6, № 12.</i>
9	<i>Лекція 6. Синхронізація темпоральних мультимодальних даних цифрових двійників</i>	<i>Правила синхронізації. Шаблони синхронізації. Метод синхронізації мультимодальних образів. Завдання на СРС: п. 6, № 6.</i>
10	<i>Комп'ютерний практикум 4.</i>	<i>Завдання: Розробити візуальну модель цифрового двійника. Завдання на СРС: п. 6, № 13.</i>

Тема 3. Програмне забезпечення технології цифрових двійників

11	<i>Лекція 7. Архітектура програмного забезпечення для створення цифрового двійника</i>	<i>Збір та аналіз вимог до програмного забезпечення для створення цифрового двійника в обраній галузі застосування. Основні елементи архітектури програмного забезпечення для створення цифрового двійника. Завдання на СРС: п. 6, № 7, 24, 26.</i>
12	<i>Комп'ютерний практикум 5.</i>	<i>Завдання: Розробити програмні компоненти для візуалізації цифрового двійника. Завдання на СРС: п. 6, № 14.</i>
13	<i>Лекція 8. Оперування даними цифрового двійника</i>	<i>Вибір типу сховища даних цифрового двійника. Озера даних. Графові бази даних. Сховища об'єктів. Сховища даних часових рядів. Сховища даних зовнішніх індексів. Завдання на СРС: п. 6, № 8, 25.</i>

14	Комп'ютерний практикум 6.	Завдання: Розробити базові програмні компоненти для взаємодії зі сховищем даних цифрового двійника. Завдання на СРС: п. 6, № 15.
15	Комп'ютерний практикум 7.	Завдання: Розробити допоміжні програмні компоненти для взаємодії зі сховищем даних цифрового двійника. Завдання на СРС: п. 6, № 16.
16	Лекція 9. Принципи розроблення програмного забезпечення для створення цифрового двійника	Вибір засобів розроблення програмного забезпечення для створення цифрового двійника. Технологія розроблення програмного забезпечення для створення цифрового двійника. Завдання на СРС: п. 6, № 9, 27.
17	Комп'ютерний практикум 8.	Завдання: Виконати інтеграцію компонентів програмної системи цифрового двійника. Завдання на СРС: п. 6, № 17.
18	Модульна контрольна робота	

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Дисципліна «Проектування програмного забезпечення технології цифрових двійників» ґрунтується на самостійній підготовці до аудиторних занять на теоретичні та практичні теми.

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин	Література
1	Підготовка до лекції 1	1	1, стор. 7–12; 3, стор. 85–113; 5, стор. 175–200.
2	Підготовка до лекції 2	1	1, стор. 7–12; 3, стор. 85–113; 5, стор. 175–200.
3	Підготовка до лекції 3	1	1, стор. 20–25; 3, стор. 85–113; 5, стор. 175–200.
4	Підготовка до лекції 4	1	1, стор. 31–76; 7, стор. 1016–1022.
5	Підготовка до лекції 5	1	1, стор. 77–83; 7, стор. 1016–1022.
6	Підготовка до лекції 6	1	1, стор. 83–132; 7, стор. 1016–1022.

7	<i>Підготовка до лекції 7</i>	1	1, стор. 162–184; 7, стор. 1016–1022.
8	<i>Підготовка до лекції 8</i>	1	1, стор. 162–184.
9	<i>Підготовка до лекції 9</i>	1	1, стор. 162–184; 3, стор. 2050–2062; 5, стор. 898–90.
10	<i>Підготовка до комп'ютерного практикуму 1</i>	1,5	2, стор. 7–12.
11	<i>Підготовка до комп'ютерного практикуму 2</i>	1,5	2, стор. 13–20.
12	<i>Підготовка до комп'ютерного практикуму 3</i>	1,5	2, стор. 21–27.
13	<i>Підготовка до комп'ютерного практикуму 4</i>	1,5	2, стор. 28–35.
14	<i>Підготовка до комп'ютерного практикуму 5</i>	1,5	2, стор. 7–12.
15	<i>Підготовка до комп'ютерного практикуму 6</i>	1,5	2, стор. 13–20.
16	<i>Підготовка до комп'ютерного практикуму 7</i>	1,5	2, стор. 21–27.
17	<i>Підготовка до комп'ютерного практикуму 8</i>	1,5	2, стор. 28–35.
18	<i>Підготовка до модульної контрольної роботи</i>	2	1, стор. 7–184.
19	<i>Підготовка до заліку</i>	6	1, стор. 7–184.
20	<i>Аналіз компонентів технології цифрових двійників</i>	10	7, стор. 1016–1022.
21	<i>Аналіз технології цифрових двійників на основі нейронних мереж</i>	10	7, стор. 1016–1022.
22	<i>Аналіз методів оброблення темпоральних мультимодальних даних цифрових двійників</i>	10	7, стор. 1016–1022.
23	<i>Аналіз новітніх моделей та методів подання темпоральних мультимодальних даних цифрових двійників</i>	10	7, стор. 1016–1022
24	<i>Аналіз програмного забезпечення оброблення темпоральних мультимодальних даних цифрових двійників</i>	10	1, стор. 12–20; 7, стор. 1016–1022.
25	<i>Аналіз парадигм програмування для розроблення програмного забезпечення систем обробки темпоральних мультимодальних даних.</i>	10	1, стор. 25–30, 156–161.
26	<i>Збір та аналіз вимог до програмного забезпечення для створення цифрового двійника в обраній предметній галузі</i>	11	1, стор. 162–184; 7, стор. 1016–1022.
27	<i>Розроблення архітектури програмного забезпечення для створення цифрового двійника в обраній предметній галузі</i>	14	1, стор. 162–184; 7, стор. 1016–1022.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

- Відвідування занять з комп'ютерного практикуму може бути епізодичним та за потреби захисту робіт комп'ютерного практикуму.

- *Правила поведінки на заняттях: активність, повага до присутніх, відключення телефонів.*
- *Дотримання політики академічної доброчесності.*
- *Правила захисту робіт комп'ютерного практикуму: роботи повинні бути зроблені згідно з варіантом здобувача освіти, що визначається псевдовипадково за генератором псевдовипадкових чисел (www.random.org) на початку семестру.*
- *Правила призначення заохочувальних та штрафних балів є наступними.*

Заохочувальні бали нараховуються за:

- *точні та повні відповіді під час опитувань за матеріалами лекцій. Протягом семестру на лекціях відбувається **бліц-опитування** за темами минулих лекцій. Максимальна кількість балів за блиц-опитування: 3 бали.*
- *творчий підхід у виконанні робіт комп'ютерного практикуму. Максимальна кількість балів за всі роботи – 2 бали.*

Штрафні бали нараховуються за:

- *плагіат (код програми не відповідає варіанту завдання, ідентичність коду програми серед різних робіт) у роботах комп'ютерного практикуму: -5 балів за кожну спробу.*

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

Протягом семестру аспіранти виконують 8 комп'ютерних практикумів. Максимальна кількість балів за кожний комп'ютерний практикум: 6 балів.

Бали нараховуються за:

- *якість виконання комп'ютерного практикуму: 0-2 бали;*
- *відповідь під час захисту комп'ютерного практикуму: 0-2 бали;*
- *своєчасне представлення роботи до захисту: 0-2 бали.*

Критерії оцінювання якості виконання:

- 2 бали – робота виконана якісно, в повному обсязі;*
- 1 бал – робота виконана в повному обсязі, але містить незначні помилки;*
- 0 балів – робота виконана не в повному обсязі, або містить суттєві помилки.*

Критерії оцінювання відповіді:

- 2 бали – відповідь повна, добре аргументована;*
- 1 бал – в цілому відповідь правильна, але має недоліки або незначні помилки;*
- 0 балів – немає відповіді або відповідь неправильна.*

Критерії оцінювання своєчасності представлення роботи до захисту:

- 2 бали – робота представлена до захисту не пізніше вказаного терміну;*
- 0 балів – робота представлена до захисту пізніше вказаного терміну.*

Максимальна кількість балів за виконання та захист комп'ютерних практикумів:

6 балів × 8 комп. практ. = 48 балів.

*Протягом семестру на лекціях відбувається **опитування за темою поточного заняття**. Максимальна кількість балів за опитування, яку можна отримати протягом семестру: 2 бали.*

*Завдання на **модульну контрольну роботу** складається з 3 запитань – 2 теоретичних та 1 практичного. Відповідь на кожне теоретичне запитання оцінюється 15 балами, а відповідь на практичне запитання оцінюється 20 балами.*

Критерії оцінювання кожного теоретичного запитання контрольної роботи:

- 14-15 балів – відповідь правильна, повна, добре аргументована;*
- 11-13 балів – відповідь правильна, розгорнута, але не дуже добре аргументована;*
- 8-10 балів – в цілому відповідь правильна, але має недоліки;*

5-7 балів – у відповіді є незначні помилки;
1-4 бали – у відповіді є суттєві помилки;
0 балів – немає відповіді або відповідь неправильна.

Критерії оцінювання практичного запитання контрольної роботи:

18-20 балів – відповідь правильна, розрахунки виконані у повному обсязі;
14-17 балів – відповідь правильна, але не дуже добре підкріплена розрахунками;
9-13 балів – в цілому відповідь правильна, але має недоліки;
5-8 балів – у відповіді є незначні помилки;
1-4 бали – у відповіді є суттєві помилки;
0 балів – немає відповіді або відповідь неправильна.

Максимальна кількість балів за модульну контрольну роботу:

15 балів × 2 теоретичні запитання + 20 балів × 1 практичне запитання = 50 балів.

Рейтингова шкала з дисципліни дорівнює:

$R = R_c = 48 \text{ балів} + 2 \text{ бали} + 50 \text{ балів} = 100 \text{ балів}$.

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 50 % від максимальної кількості балів, яку може отримати студент до першої атестації.

На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 50 % від максимальної кількості балів, яку може отримати студент до другої атестації.

Семестровий контроль: **залік**

Умови допуску до семестрового контролю:

За семестрового рейтингу (R_c) не менше 60 балів та зарахуванні усіх робіт комп'ютерного практикуму аспірант отримує залік «автоматом» відповідно до таблиці (Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою). В іншому разі він має виконати залікову контрольну роботу.

Необхідною умовою допуску до виконання залікової контрольної роботи є виконання і захист комп'ютерного практикуму.

Аспірант може спробувати підвищити свою оцінку шляхом написання залікової контрольної роботи, при цьому його бали, отримані за семестр, анулюються («жорстка» система оцінювання).

Склад та критерії оцінювання залікової контрольної роботи:

Завдання на **залікову контрольну роботу** складається з 7 запитань – 5 теоретичних та 2 практичних. Відповідь на кожне теоретичне запитання оцінюється 10 балами, а відповідь на практичне запитання оцінюється 25 балами.

Критерії оцінювання кожного теоретичного запитання контрольної роботи:

9-10 балів – відповідь правильна, повна, добре аргументована;
7-8 балів – відповідь правильна, розгорнута, але не дуже добре аргументована;
5-6 балів – в цілому відповідь правильна, але має недоліки;
3-4 балів – у відповіді є незначні помилки;
1-2 бали – у відповіді є суттєві помилки;
0 балів – немає відповіді або відповідь неправильна.

Критерії оцінювання практичного запитання контрольної роботи:

24-25 балів – відповідь правильна, розрахунки виконані у повному обсязі;
21-23 бали – відповідь правильна, але не дуже добре підкріплена розрахунками;

17-20 балів – в цілому відповідь правильна, але має недоліки;

12-16 балів – у відповіді є незначні помилки;

1-11 бали – у відповіді є суттєві помилки;

0 балів – немає відповіді або відповідь неправильна.

Максимальна кількість балів за модульну контрольну роботу:

10 балів × 5 теоретичних запитань + 25 балів × 2 практичних запитань = 100 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

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

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено д.т.н., доц., Сулема Є.С.

Ухвалено кафедрою ПЗКС (протокол № 11 від 3.06.21)

Погоджено Методичною комісією факультету прикладної математики (протокол № 7 від 24.06.21)