

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-*- 05.02/3/163.00.1/М/ОК10- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 14/ 1

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»

протокол від 15 вересня 2024 р.
№9

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ для самостійної роботи з навчальної дисципліни «Проектування медичних систем на ПЛІС»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «магістр»
спеціальності 163 «Біомедична інженерія»
освітньо-професійна програма «Біомедична інженерія»
факультет інформаційно-комп'ютерних технологій
кафедра комп'ютерних технологій у медицині та телекомунікаціях

Рекомендовано на засіданні
кафедри комп'ютерних
технологій у медицині та
телекомунікаціях

_____ 20__ р.,
протокол № ____

Розробник: ст.викладач кафедри комп'ютерних технологій у медицині та
телекомунікаціях КОРНІЮК Артур

Житомир
2024

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-*- 05.02/3/163.00.1/М/ОК10- 2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 14/ 2</i>

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1. Мета та завдання навчальної дисципліни	4
2. Програма навчальної дисципліни	6
3. Організація роботи студента під час навчання	8
4. Розподіл годин самостійної роботи студентів	10
5. Оцінювання результатів навчання	11
6. Навчально-методичне забезпечення	13
...	

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-*- 05.02/3/163.00.1/М/ОК10- 2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 14/ 3</i>

ВСТУП

Проектування медичних систем на програмованих логічних інтегральних схемах (ПЛІС) є важливою дисципліною, яка поєднує знання з цифрової обробки сигналів, електроніки та медицини. ПЛІС, або FPGA (Field-Programmable Gate Array), надають унікальні можливості для створення високопродуктивних, гнучких та енергоефективних систем, здатних обробляти складні біомедичні сигнали в реальному часі.

У сучасній медичній техніці ПЛІС використовується для різних завдань, таких як моніторинг фізіологічних параметрів (ЕКГ, ЕЕГ, ЕМГ), обробка зображень у системах медичної візуалізації, управління імплантованими пристроями (наприклад, кардіостимуляторами) та створення носимих медичних пристроїв. Важливою перевагою ПЛІС є їхня перепрограмовуваність, що дозволяє змінювати функціонал апаратури без необхідності її заміни, забезпечуючи швидке впровадження нових алгоритмів або корекцію існуючих. Опанування цієї дисципліни дозволить студентам розробляти ефективні рішення для різних медичних додатків, що сприятиме подальшому розвитку інноваційних технологій у медицині.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-*- 05.02/3/163.00.1/М/ОК10- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 14/ 4

1. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою вивчення навчальної дисципліни є вивчення студентами загальних принципів і основ функціонування цифрових систем, побудованих на ПЛІС. Апаратних та програмних засобів які входять до їх складу, передачі, обробки даних, базових інтерфейсів передачі даних які застосовуються в медичній техніці.

Завданнями навчальної дисципліни є:

- засвоєння студентами основних параметрів та характеристик програмованої логіки;
- оцінки можливостей, недоліків та переваг, статичних та динамічних характеристик засобів перетворення та обробки в ПЛІС;
- засвоєння принципів передачі даних, вивчення інтерфейсів для передачі, засвоєння мови Verilog для опису апаратури (програмування ПЛІС);
- засвоєння особливостей застосування ПЛІС в обробці біомедичних сигналів.

Зміст навчальної дисципліни направлений на формування наступних **компетентностей**, визначених стандартом вищої освіти зі спеціальності 163 «Біомедична інженерія» та освітньо-професійною програмою «Біомедична інженерія»:

ЗК-3. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

СК-1. Здатність вирішувати комплексні проблеми біомедичної інженерії із застосуванням методів математики, природничих та інженерних наук.

СК-3. Здатність аналізувати складні медико-інженерні та біоінженерні проблеми та здійснювати їх формалізацію для знаходження кількісних рішень із застосуванням сучасних математичних методів та інформаційних технологій.

СК-5. Здатність розробляти технічні завдання на створення, а також моделювати, оцінювати, проектувати та конструювати складні біоінженерні та медико-інженерні системи і технології.

СК-7. Здатність працювати в багатопрофільному колективі.

СК-8. Здатність генерувати ідеї для хардверних застосунків та проектувати їх розвиток.

Отримані знання з навчальної дисципліни стануть складовими наступних **програмних результатів** навчання за спеціальністю 163 «Біомедична інженерія»:

РН-1. Проектувати, конструювати вдосконалювати та застосовувати медико-технічні та біоінженерні вироби, прилади, апарати і системи з дотриманням технічних вимог, а також супроводжувати їх експлуатацію.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-*- 05.02/3/163.00.1/М/ОК10- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 14/ 5

РН-2. Аналізувати і вирішувати складні медико-інженерні та біоінженерні проблеми із застосуванням математичних методів та інформаційних технологій.

РН-3. Створювати і вдосконалювати засоби, методи та технології біомедичної інженерії для всебічного дослідження і розробки біоінженерних об'єктів та систем медико-технічного призначення.

РН-4. Розробляти, планувати, виконувати та обґрунтовувати інноваційні проекти біоінженерних об'єктів та систем медико-технічного призначення з урахуванням інженерних, медичних, правових, економічних, екологічних та соціальних аспектів, здійснювати їх інформаційне та методичне забезпечення.

РН-8. Уміти розвинути ідею до хардверної реалізації, організувати роботу над нею та проектувати діючі прототипи в галузі біомедичної інженерії.

Під час вивчення навчальної дисципліни здобувачі вищої освіти зможуть отримати наступні Soft skills:

- *комунікативні навички*: письмове, вербальне й невербальне спілкування; навички працювати в команді;

- *уміння виступати привселюдно*: навички проведення презентації;

- *керування часом*: уміння справлятися із завданнями вчасно;

- *гнучкість і адаптивність*: гнучкість, адаптивність і здатність змінюватися; уміння аналізувати ситуацію, орієнтування на вирішення проблеми;

- *лідерські якості*: уміння спокійно працювати в напруженому середовищі; уміння ухвалювати рішення; уміння ставити мету, планувати діяльність;

- *особисті якості*: креативне й критичне мислення; етичність, чесність, терпіння, повага до оточуючих.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф- 05.02/3/163.00.1/М/ОК10- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 14/6

2. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовий модуль 1. Вступ до предмету, знайомство з ПЛІС

Тема 1. Вступ до предмету (ЗК-3)

Системи числення. Двійкова логіка. Представлення цифрового сигналу. Поняття рівнів та станів.

Тема 2. Різновиди та будова сучасних ПЛІС (ЗК-3, СК-3, РН-1)

Архітектура мікросхем програмованої логіки. Поняття та будова FPGA. Поняття та будова CPLD.

Змістовий модуль 2. Властивості цифрової логіки

Тема 3. Логічні елементи та їх будова (ЗК-3, СК-3, РН-1)

Таблиця істинності. Загальні принципи. Особливості роботи.

Тема 4. Проектування послідовної логіки (СК-2, СК-3, СК-5, РН-1, РН-2)

Тригери та защіпки. RS-тригери. D-тригери. Т-тригери. JK-Тригер.

Тема 5. Кінцеві автомати (СК-2, СК-3, СК-5, РН-1, РН-2)

Проектування кінцевих автоматів. Кодування станів. Автомат Мура. Декомпозиція кінцевих автоматів.

Змістовий модуль 3. Мова VHDL

Тема 6. Мови опису апаратури. Основи мови VHDL (СК-3, СК-5, РН-3, РН-4)

Рівні проектування мікросхем. Структура проекту на мові VHDL. Декларація бібліотек. Інтерфейс об'єкта проекту. Архітектура об'єкта проекту.

Тема 7. Типи даних, літерали (СК-3, СК-5, РН-3, РН-4)

Базові типи. Підтипи. Атрибути типів. Літерали. Масиви і записи.

Тема 8. Оператори мови VHDL (СК-3, СК-5, РН-2, РН-4)

Оператори присвоювання. Послідовні оператори. Паралельні оператори. Оператор генерації.

Тема 9. Розробка систем за допомогою мови VHDL (СК-3, СК-5, РН-3, РН-4)

Опис комбінаційних та послідовних схем. Опис тригерів. Опис регістрів. Опис лічильників.

Тема 10. Опис цифрових автоматів (СК-1, СК-2, РН-2, РН-4)

Опис цифрових автоматів.

Тема 11. Опис пам'яті з використанням VHDL (СК-1, СК-2, РН-3, РН-4)

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф- 05.02/3/163.00.1/М/ОК10- 2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 14/ 7</i>

Опис постійних зап'ятовуючих пристроїв на мові VHDL. Опис оперативних запам'ятовуючих пристроїв. Опис двоportoвої пам'яті.

Тема 12. Пакети, процедури та функції (СК-1, СК-2, РН-3, РН-4)

Пакети. Процедури та функції.

Змістовий модуль 4. Інтерфейси та обробка сигналів

Тема 13. Цифрові перетворення (СК-3б СК-4, РН-3, РН-4)

Принцип дії АЦП. Теорема Котельнікова-Найквіста. Застосування і класифікація цифрових (чисельних) перетворень. Особливості перетворень в біомедичній інженерії.

Тема 14. Інтерфейси обміну даними (СК-5, СК-7, РН-4)

Поняття послідовних та паралельних інтерфейсів. Інтерфейси UART, SPI, RS-485, I2C.

Тема 15. Особливості обробки медичних сигналів (СК-5, СК-7, РН-4)

Особливості цифрової обробки біосигналів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-*- 05.02/3/163.00.1/М/ОК10- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 14/ 8

3. Організація роботи студента під час навчання

Метою даних методичних вказівок є допомога студенту правильно організувати підготовку до вивчення курсу.

Графік самостійної роботи студентів складається на основі технологічної карти дисципліни, зміст якої відповідає робочій програмі. Графік доводиться до відома студентів на початку кожного семестру. В ньому вказуються: зміст лекційного курсу, зміст (номери задач в рекомендованому підручнику) задач, які розв'язуються в аудиторії і вдома; середні норми часу, що відводиться на виконання тих або інших завдань; дати проведення контрольних робіт і проміжного тестового контролю. Всі види контролю відповідно оцінюються викладачем і складають рейтингову оцінку роботи студента в продовж семестру.

Вивчення лекційного курсу містить у собі переробку матеріалу, який викладено на лекціях, за допомогою конспектів лекцій і літератури, що рекомендована лектором.

Починаючи вивчення курсу, студент повинен перш за все чітко уявляти собі цілі і задачі курсу. Про це говориться на першій (вступній) лекції.

Первинним джерелом для вивчення курсу є конспект лекцій. Процес конспектування організує сприйняття, робить його більш впорядкованим, сприяє концентрації уваги на основних питаннях. Осмислення тексту лекції під час її викладення дозволяє скоротити час позааудиторної роботи з вивчення курсу. Слід знати, що при більш розповсюдженому моторному характері сприйняття записати лекцію це означає в деякій мірі засвоїти її. Крім того, студент повинен зрозуміти, що лекція це не переказ підручника. Викладач при підготовці до лекції користується багатьма джерелами інформації для більш якісного при великому браку часу засвоєння студентами лекційного матеріалу. Лектор так будує викладення матеріалу, щоб воно було найбільш зручним для конспектування. Стилем викладення, інтонацією виділяє основні місця в темі, що розглядається. Тому підручник не може замінити добре зіставленого студентом конспекту лекцій досвідченого викладача. Але велика кількість студентів під час складання конспекту лекцій розраховує на те, що в майбутньому його вивчення це є єдиний спосіб підготовки до екзамену. Тому студенти намагаються записати лекцію дослівно, а при цьому вони не встигають слідкувати за думками лектора. Такий підхід не є ефективним тому, що, по-перше, записати всю лекцію дослівно практично неможливо, а, по-друге, знання студентів залежать не від того, скільки вони записали тексту, а від того, наскільки глибоко вони зрозуміли зміст матеріалу, що викладається, і

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-*- 05.02/3/163.00.1/М/ОК10- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 14/9

як відтворили його в конспекті. Зрозумівши зміст, фіксувати треба не дуже багато – лише хід думок і головні положення. При такому конспектуванні під час подальшого вивчення курсу необхідно спільне використання конспекту і підручника.

Підводячи підсумки про те, як працювати над конспектом лекцій, можна надати наступні короткі рекомендації: важливо постійно слідкувати за думкою лектора; записувати коротко головне і залишати місце для додаткових записів після лекції; при необхідності ставити запитання лектору; працювати над конспектом з підручником.

Запорукою успіху при вивченні лекційного курсу є поєднання конспектування лекцій з систематичною, правильно спланованою домашньою роботою над конспектом з літературою. Конспект кожної лекції бажано прочитати в той же день після лекції, щоб відмітити незрозумілі місця або можливі пропуски в логіці викладення матеріалу лекції. Ще раз його необхідно продивитись перед черговою лекцією, вивчити відповідний розділ в підручнику і обов'язково записати запитання, які можуть виникнути для того, щоб з'ясувати їх у лектора на наступній лекції або на консультації. Висновки, логічні умовиводи треба намагатися відтворити самостійно тому, що успішне засвоєння курсу фізики, як і будь-якого іншого курсу, є не просте читання, а тренування пам'яті, логічного мислення, використання навичок і знань, набутих при вивченні передуючих розділів курсу. При роботі над кожним розділом слід засвоїти основні, вузлові моменти, які б мали світоглядне значення. Відділити їх від ілюстративного матеріалу. Попередньо це повинно бути зроблено в процесі зіставлення конспекту лекцій.

Практичні роботи є важливою складовою набуття практичних навичок з дисципліни. Для успішного їх виконання та захисту студенти повинні вивчати конспект до проведення практичної роботи та опрацьовувати матеріал під час підготовки звіту по даній роботі. Обов'язковим є відповіді на питання по даній тематиці.

Ритмічна робота студента в семестрі підвищує його рейтинг і дозволяє одержати більш високу оцінку на екзамені.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф- 05.02/3/163.00.1/М/ОК10- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 14/10

4. Розподіл годин самостійної роботи студентів

Вид роботи	Кіл-ть годин	Контрольні заходи
Опрацювання лекційного матеріалу	2	Усне опитування Проведення контрольних робіт
Самостійне опрацювання матеріалу	20	Проведення контрольних заходів
Виконання практичних робіт	10	Усне опитування Захист роботи
Підготовка до КМР	10	Проведення контрольних заходів
Разом	42	

Питання, які виносяться на СРС

Тема	Кількість годин
Різновиди та будова сучасних ПЛІС	2
Логічні елементи та їх будова	2
Проектування послідовної логіки	2
Кінцеві автомати	2
Мови опису апаратури. Основи мови VHDL	2
Оператори мови VHDL	2
Розробка систем за допомогою мови VHDL	2
Опис цифрових автоматів	2
Опис пам'яті з використанням VHDL	2
Цифрові перетворення	2
Разом	20

Програмою заплановано виконання індивідуального завдання – Розрахунок та розробка протезу з зовнішніми джерелами енергії.

Орієнтовний перелік тем індивідуального завдання:

1. Розробка системи моніторингу ЕКГ на базі FPGA.
2. Проектування ЕЕГ-системи на ПЛІС для аналізу мозкової активності.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-* 05.02/3/163.00.1/М/ОК10- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 14/ 11

3. Обробка та компресія медичних зображень (КТ/МРТ) з використанням FPGA.
4. Розробка системи виявлення аритмії на основі ПЛІС.
5. FPGA для управління інсуліновою помпою.
6. Проектування вбудованої системи для аналізу та моніторингу сну.

5. Оцінювання результатів навчання

Оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти з навчальної дисципліни здійснюється відповідно до Положення про оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти у Державному університеті «Житомирська політехніка» та розподілу балів, що наведений нижче.

Система оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти з навчальної дисципліни включає поточний, модульний та підсумковий контроль.

Поточний контроль проводиться для оцінювання рівня засвоєння знань, формування умінь і навичок здобувачів вищої освіти впродовж вивчення ними матеріалу змістових модулів навчальної дисципліни. Поточний контроль здійснюється під час проведення навчальних занять.

Модульний контроль проводиться з метою оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти за змістові модулі навчальної дисципліни. Модульний контроль проводиться під час навчального заняття після завершення вивчення матеріалу змістових модулів навчальної дисципліни. Модульний контроль здійснюється у формі контрольних-модульних робіт

Підсумковий контроль проводиться для підсумкового оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти з навчальної дисципліни. Підсумковий контроль здійснюється після завершення вивчення навчальної дисципліни або наприкінці семестру. Підсумковий контроль проводиться у формі екзамену. Процедура складання екзамену визначена у Положенні про організацію освітнього процесу у Державному університеті «Житомирська політехніка».

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф- 05.02/3/163.00.1/М/ОК10-2024
	Екземпляр № 1	Арк 14/ 12

Розподіл балів з навчальної дисципліни за семестр

Види робіт здобувача вищої освіти	Кількість балів
	денна форма
Виконання завдань поточного контролю	60
Виконання завдань модульного контролю	40
Підсумкова семестрова оцінка	100

Розподіл балів за завдання поточного контролю

Види робіт здобувача вищої освіти	Кількість балів
	денна форма
Виконання завдань під час навчальних занять	48
Виконання та захист індивідуальних самостійних завдань	12
Додаткові – заохочувальні бали:	
Виконання НДР, підготовка наукових статей, тез доповідей наукових конференцій за тематикою ОК	5
2. Інші види робіт (участь у вебінарах, майстер класах, проходження курсів за компетенціями ОК)	5
Разом за виконання завдань поточного контролю	60

Розподіл балів за завдання під час навчальних занять

Види робіт здобувача вищої освіти	Кількість балів
	денна форма
Активна робота на парі	4
Виконання та захист практичних робіт	40
Виконання тестових завдань	4
Разом за виконання завдань під час навчальних занять	48

Розподіл балів модульного контролю

Види робіт здобувача вищої освіти	Кількість балів
	денна форма
Виконання завдань модульного контролю (2 КМР по 20 балів)	40
Разом за виконання завдань модульного контролю	40

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф*- 05.02/3/163.00.1/М/ОК10- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 14/ 13

Шкала оцінювання

Шкала ЄКТС	Національна шкала	100-бальна шкала
A	Відмінно	90-100
B	Добре	82-89
C		74-81
D	Задовільно	64-73
E		60-63
FX	Незадовільно	35-59
F		0-34

6. Навчально-методичне забезпечення

Основна література

1. Ramakrishna Kuppusamy, Veeravalli Balamurugan: FPGA-based Digital Convolution for Wireless Biomedical Systems – CRC Press, 2021.
2. Esteban Tlelo-Cuautle, Edgar Sánchez-Sinencio: FPGA-Based Embedded System Developer's Guide for Biomedical Applications – Springer, 2022.
3. Luca Mucchi, Maurizio Magarini, Luca Pierucci: Biomedical Signal Processing and Artificial Intelligence in Healthcare – Springer, 2021.
4. Amit Acharya, Simon Rock, Massimo Alioto: Ultra-Low Power Biomedical Signal Processing: An Energy Efficient and Adaptive System Design Perspective – Springer, 2019.

Додаткова література

1. David Money Harris, Sarah L. Harris: Digital Design and Computer Architecture: RISC-V Edition – Morgan Kaufmann, 2021.
2. Pong P. Chu: FPGA Prototyping by VHDL Examples: Xilinx MicroBlaze MCS SoC – Wiley, 2018
3. Frank Bruno: Designing with Xilinx® FPGAs: Using Vivado® – Springer, 2020.

7. Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. <https://www.udemy.com/course/verilog-hdl-fundamentals-for-digital-design-and-verification/>
2. Освітній портал Житомирської політехніки <https://learn.ztu.edu.ua/>