

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут фізико-технічних і комп'ютерних наук

(назва інституту/факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(назва кафедри)

СИЛАБУС

навчальної дисципліни

Високорівневе проектування цифрових систем

(вказати назву навчальної дисципліни (іноземною, якщо дисципліна викладається іноземною мовою))

вибіркова

(обов'язкова чи вибіркова)

Освітньо-професійні програми – “Комп'ютерна інженерія”,

“Програмування мобільних і вбудованих комп'ютерних систем та засобів Інтернету речей”

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

(шифр і назва галузі знань)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

(вказати: перший (бакалаврський)/другий (магістерський)/третій (освітньо-науковий))

НН Інститут фізико-технічних і комп'ютерних наук

(назва факультету / інституту, на якому здійснюється підготовка фахівців за вказаною освітньо-професійною програмою)

Мова навчання – українська

(мова, на якій читається дисципліна)

Кількість кредитів: 4

Форми навчальної діяльності: лекції, лабораторні роботи, самостійна робота

Форма підсумкового контролю: залік

Розробники: Яковлева Інна Дмитрівна, доцент кафедри КСМ, кандидат техн. наук,

(вказати авторів (викладач (ів)), їхні посади, наукові ступені, вчені звання)

Профайл викладача (-ів) <https://csn.chnu.edu.ua>,
<https://csn.chnu.edu.ua/employees/yakovlyeva-inna-dmytrivna/>

Контактний тел. + (38) 0372 50 94 32 (кафедра КСМ)

E-mail: i.yakovleva@chnu.edu.ua

Сторінка курсу в Moodle <https://moodle.chnu.edu.ua/>

Консультації очні або on-line: згідно з розкладом (1 раз у 2 тижні)

1. Анотація дисципліни

Курс «Високорівневе проектування цифрових систем» призначений для розширення компетентностей випускників спеціальності 123 - Комп'ютерна інженерія в галузі проектування та прикладного застосування комп'ютерної техніки в наукових дослідженнях та виробництві та для ознайомлення із основами проектування цифрових пристроїв з використанням технології HDL інших спеціальностей. Введення в освітню траєкторію даної компоненти, дозволяє розширити цикл фахових дисциплін підготовки бакалаврів, а також надати додаткові знання і практичні навички при виконанні випускних кваліфікаційних робіт, та в майбутній професійній діяльності.

Мета навчальної дисципліни: формування необхідного рівня теоретичної і практичної підготовки здобувачів знань високорівневого проектування цифрових систем, основ теорії проектування цифрових пристроїв з використанням технології проектування VHDL, що є необхідним при вивченні суміжних дисциплін та у майбутній професійній діяльності, де потребуються теоретичні знання і практичні навички з застосування комп'ютерної інженерії.

2. Завдання – надати здобувачам систематизовані знання про об'єкт та процес високорівневого проектування цифрових систем; отримання навичок проектування основних логічних елементів, використовуючи мову HDL; формування у здобувачів спроможності подальшого самостійного засвоєння знань та вмінь, розвиток пізнавального хисту, освоєння раціональних прийомів оволодіння знаннями.

3. Пререквізити. Для коректного розуміння і засвоєння матеріалу даного курсу слухачі повинні попередньо пройти курси: комп'ютерна електроніка, комп'ютерна схемотехніка, комп'ютерна логіка, програмування. Доцільно також мати певні уявлення з архітектури комп'ютерів. Результати навчання за цим курсом потрібні при вивченні дисципліни «Проектування спеціалізованих мікропроцесорних систем», виконанні випускних кваліфікаційних робіт та в майбутній професійній діяльності.

4. Результати навчання

У результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач повинен

4.1. Знати: основні принципи роботи цифрових пристроїв базуючись на курсі комп'ютерної схемотехніки; основні конструкції мови VHDL та принципи їх використання; знати сучасні методи високорівневого проектування, контролю та верифікації цифрових пристроїв на етапах виробництва й експлуатації.

4.2. Вміти: проектувати моделі цифрових пристроїв; моделювати результати роботи новоствореного пристрою та використовувати сучасні методи верифікації та тестування моделі для подальшої реалізації пристрою засобами HDL.

4.3. Набути компетентностей:

ЗК – загальних

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу.

ЗК2. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК3. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК4. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК6. Навички міжособистісної взаємодії.

ЗК7. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

ФК – фахових (спеціальних)

ФК2. Здатність використовувати сучасні методи і мови програмування для розроблення алгоритмічного та програмного забезпечення.

ФК4. Здатність забезпечувати захист інформації, що обробляється в комп'ютерних та кіберфізичних системах та мережах з метою реалізації встановленої політики інформаційної безпеки.

ФК5. Здатність використовувати засоби і системи автоматизації проектування до розроблення компонентів комп'ютерних систем та мереж, Інтернет додатків, кіберфізичних систем тощо. розумних, мобільних, зелених і безпечних обчислень, брати участь в модернізації та реконструкції комп'ютерних систем та мереж, різноманітних вбудованих і розподілених додатків, зокрема з метою підвищення їх ефективності.

ФК7. Здатність використовувати та впроваджувати нові технології, включаючи технології розумних, мобільних, зелених і безпечних обчислень, брати участь в модернізації та реконструкції комп'ютерних систем та мереж, різноманітних вбудованих і розподілених додатків, зокрема з метою підвищення їх ефективності.

ФК11. Здатність оформляти отримані робочі результати у вигляді презентацій, науково-технічних звітів.

ФК14. Здатність проектувати системи та їхні компоненти з урахуванням усіх аспектів їх життєвого циклу та поставленої задачі, включаючи створення, налаштування, експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію.

ФК15. Здатність аргументувати вибір методів розв'язування спеціалізованих задач, критично оцінювати отримані результати, обґрунтовувати та захищати прийняті рішення.

ПРН – програмних результатів навчання

ПРН1. Знати і розуміти наукові положення, що лежать в основі функціонування комп'ютерних засобів, систем та мереж.

ПРН3. Знати новітні технології в галузі комп'ютерної інженерії.

ПРН4. Знати та розуміти вплив технічних рішень в суспільному, економічному, соціальному і екологічному контексті.

ПРН6. Вміти застосовувати знання для ідентифікації, формулювання і розв'язування технічних задач спеціальності, використовуючи методи, що є найбільш придатними для досягнення поставлених цілей.

ПРН8. Вміти системно мислити та застосовувати творчі здібності до формування нових ідей.

ПРН10. Вміти розробляти програмне забезпечення для вбудованих і розподілених застосувань, мобільних і гібридних систем, розраховувати, експлуатувати, типове для спеціальності обладнання.

ПРН11. Вміти здійснювати пошук інформації в різних джерелах для розв'язання задач комп'ютерної інженерії.

ПРН12. Вміти ефективно працювати як індивідуально, так і у складі команди.

ПРН13. Вміти ідентифікувати, класифікувати та описувати роботу комп'ютерних систем та їх компонентів.

ПРН14. Вміти поєднувати теорію і практику, а також приймати рішення та виробляти стратегію діяльності для вирішення завдань спеціальності з урахуванням загальнолюдських цінностей, суспільних, державних та виробничих інтересів.

ПРН16. Вміти оцінювати отримані результати та аргументовано захищати прийняті рішення

ПРН19. Здатність адаптуватись до нових ситуацій, обґрунтовувати, приймати та реалізовувати у межах компетенції рішення.

ПРН20. Усвідомлювати необхідність навчання впродовж усього життя з метою поглиблення набутих та здобуття нових фахових знань, удосконалення креативного мислення.

ПРН21. Якісно виконувати роботу та досягати поставленої мети з дотриманням вимог професійної етики

5. Опис навчальної дисципліни

5.1. Загальна інформація

Назва навчальної дисципліни <i>Високорівневе проектування цифрових систем</i>												
Форма навчання	Рік підготовки	Семестр	Кількість			Кількість годин						Вид підсумкового контролю
			кредитів	годин	змістових модулів	лекції	практичні	семінарські	лабораторні	самостійна робота	індивідуальні завдання	
Денна	4	7	4	120	2	30	-	-	30	60	-	Залік
Заочна	4	7	4	120	2	6	-	-	6	108	-	Залік

Примітка. Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить: для денної форми навчання – $1((30+30)/60)$;
для заочної форми навчання – $0,1((6+6)/108)$

5.2. Дидактична карта навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин												
	денна форма						заочна форма						
	усього	у тому числі					усього	у тому числі					
		л	п	лаб	інд	с.р.		л	п	лаб	інд	с.р.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Змістовий модуль 1. Методи та засобів проектування алгоритмічних операційних пристроїв													
Тема 1. Методи та засобів проектування алгоритмічних операційних пристроїв	20	5	-	5	-	10	20	1	-	1	-	18	
Тема 2. Сучасний підхід до проектування цифрових систем. Моделі цифрових систем. Мови опису апаратури. Етапи проектування цифрових пристроїв.	20	5	-	5	-	10	20	1	-	1	-	18	
Тема 3. Подання графа алгоритму структурною матрицею, її властивості та принципи відображення	20	5	-	5	-	10	20	1	-	1	-	18	
Разом за змістовим модулем 1	60	15	-	15	-	30	60	3	-	3	-	54	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Змістовий модуль 2. Проектування алгоритмічних операційних пристроїв												
Тема 4. Методи високорівневого проектування алгоритмічних операційних пристроїв.	28	7	-	7	-	15	28	1,5		1,5	-	27
Тема 5. Проектування алгоритмічних операційних пристроїв	32	8	-	8	-	15	32	1,5		1,5	-	27
Разом за змістовим модулем 2	60	15	-	15	-	30	60	3	-	3	-	54
Усього годин	120	30	-	30	0	60	120	6	-	6	-	108

5.3. Теми лабораторних занять

№	Назва теми	Кількість годин
1.	Освоєння інтегрованого середовища проектування Active-HDL. Використання мови VHDL для моделювання цифрових пристроїв на регістровому рівні. Створення одно розрядного та чотирирозрядного повного суматора	5
2.	Створення функціональної (поведінкова) та структурної моделі цифрової системи засобами Active-HDL	5
3.	Синтез пристрою паралельного обмінного сортування 8-ми чисел за заданим алгоритмом	5
4.	Представлення заданого алгоритму за допомогою структурної матриці	5
5.	Автоматичне перетворення заданого алгоритму у алгоритмічний пристрій	5
6.	Апаратна реалізація алгоритмічного пристрою в пакеті Synplify Pro від Synplicity	5
	Разом	30

5.4. Тематика індивідуальних завдань

В даному курсі виконання індивідуальних завдань не передбачено.*

* ІНДЗ – може бути рекомендовано в окремих випадках для здобувачів, які успішно освоїли основний навчальний матеріал, з метою поглибленого вивчення чи удосконалення матеріалів певного змістового модуля, або в цілому для навчальної дисципліни за рішенням кафедри чи викладача.

5.5. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Паралельні форми послідовних програм	6
2.	Матричне представлення паралельних алгоритмів	6
3.	Проектування цифрових систем на основі PLD та PGA	6
4.	Складні логічні пристрої, що програмуються, фірми ALTERA. Файли та стандартний пакет TEXTIO	6
5.	Апаратне моделювання (HES TM)	6
6.	Ієрархічні графи автоматів. Стили запису автоматів	6
7.	Основні типи FPGA. Xilinx FPGA, серія 3000	6

8.	Емуляція взаємодії паралельних процесів за допомогою мереж Петрі	6
9.	Концепції машини потоків даних	6
10.	Поведінкова VHDL-модель M6805 CPU. VHDL-модель M6805 CPU, що синтезується	6
	Разом	60

Примітка. Методичні рекомендації та завдання до лабораторних робіт доступні на інтернет-ресурсах: <https://moodle.chnu.edu.ua/>
https://drive.google.com/drive/folders/1CzdJPR1Y153U6BWpwPr_X0bDQZbky1mj

6. Форми і методи навчання

Форми навчання – це проблемні й оглядові лекції, лабораторні заняття, заняття із застосуванням комп'ютерної та телекомунікаційної техніки; інтерактивні заняття з навчанням одних здобувачів іншими, інтегровані заняття, відеолекції, відеозаняття і відеоконференції засобами Google Meet, Zoom, Cisco Webex, заняття з використанням системи електронного навчання Moodle.

Методи: проблемний виклад матеріалу, частково-пошукові та дослідницькі лабораторні практикуми, презентації, консультації і дискусії, робота в інтернет-класі: електронні лекції, лабораторні роботи, дистанційні консультації тощо, спрямовані на активізацію і стимулювання навчально-пізнавальної діяльності здобувачів.

Підходи до навчання: використовуються студентоцентрований, проблемно-орієнтований, діяльнісний, комунікативний, професійно-орієнтований, міждисциплінарний підходи.

Реалізація навчального процесу здійснюється під час лекційних, лабораторних занять, самостійної позааудиторної роботи з використанням сучасних інформаційних технологій навчання, консультацій з викладачами.

Для **формувань умінь та навичок** застосовуються такі **методи навчання:**

- вербальні/словесні (*лекція, пояснення, розповідь, бесіда, інструктаж*);
- наочні (*спостереження, ілюстрація, демонстрація*);
- практичні (*проведення практики*);
- пояснювально-ілюстративний або інформаційно-рецептивний, який передбачає пред'явлення готової інформації викладачем та її засвоєння здобувачами;
- репродуктивний (*виконання лабораторних завдань за зразком*).

6.1. Словесні методи навчання. Навчальна лекція

За допомогою даного методу забезпечується усне викладення матеріалу великими ємністю й складністю логічних побудов, доказів і узагальнень. В ході лекції використовуються прийоми усного викладення інформації, підтримання уваги протягом тривалого часу, активізації мислення здобувачів, прийоми забезпечення логічного запам'ятовування, переконання, аргументації, доказів, класифікації, систематизації і узагальнення. В залежності від специфіки лекційного матеріалу іноді використовується лекція-діалог.

6.2. Індуктивний метод навчання

Даний метод навчання використовується в рамках лекційних занять, коли матеріал носить, здебільшого, фактичний характер. В рамках лабораторних занять метод застосовується при виконанні технічних задач, коли здобувачі використовують раніше здобуті теоретичні знання при роботі з конкретними пристроями (комп'ютерами) та програмними продуктами.

6.3. Репродуктивний метод навчання

Даний метод навчання використовується в рамках лекційних і лабораторних занять, а також під час самостійної роботи здобувачів. Метод передбачає роботу здобувачів за визначеним алгоритмом. Згідно з методом для виконання завдань здобувачам надаються методичні вказівки, правила і навчальні приклади.

6.4. Проблемно-пошукові методи навчання

Проблемно-пошукові методи застосовуються в ході проблемного навчання, а саме в процесі виконання лабораторних робіт та індивідуальних науково-дослідних завдань, де під проблемною ситуацією треба вважати невідповідність між тим, що вивчається і вже вивченим. При використанні проблемно-пошукових методів навчання викладач використовує такі прийоми: створює проблемну ситуацію (ставить питання, пропонує задачу, експериментальне завдання), організує колективне обговорення можливих підходів до рішення проблемної ситуації, стимулює висування гіпотез, тощо. Здобувачі роблять припущення про шляхи вирішення проблемної ситуації, узагальнюють раніше набуті знання, виявляють причини явищ, пояснюють їхнє походження, вибирають найбільш раціональний варіант вирішення проблемної ситуації. Викладач обов'язково керує цим процесом на всіх етапах, а також за допомогою запитань-підказок. Також даний метод використовується при опрацюванні матеріалів в системі дистанційної освіти «Moodle».

6.5. Наочний метод навчання

Наочний метод достатньо важливий для здобувачів, оскільки забезпечує візуальне подання навчального матеріалу, зокрема, з використанням інформаційно-комунікаційних технологій. При викладанні дисципліни наочний метод навчання поєднується зі словесними методами для представлення інформації у вигляді таблиць, рисунків, схем та діаграм.

7. Система контролю та оцінювання

Засобами оцінювання та демонстрування результатів навчання є

- контрольні роботи;
- стандартизовані тести;
- презентації результатів виконаних завдань.

Формами поточного контролю рівня знань є усна та письмова відповідь здобувача при захисті виконаних лабораторних робіт, кількість отриманих балів при виконанні тестового завдання, а також письмова відповідь при написанні модульних контрольних робіт. Формами підсумкового контролю рівня знань є усна та письмова відповідь здобувача при здачі іспиту.

7.1. Критерії оцінювання результатів навчання з навчальної дисципліни

Критерієм успішного проходження здобувачем освіти підсумкового оцінювання є досягнення ним мінімальних порогових рівнів оцінок за кожним запланованим результатом навчання навчальної дисципліни.

У залежності від характеру відповіді здобувача кількість балів за кожний вид діяльності може бути визначена за наступними критеріями:

К-ть балів	Критерії оцінки
Max	Здобувач дає вичерпну відповідь на поставлене запитання
0,8 · Max	Здобувач при відповіді на поставлене запитання припустився незначних неточностей, які не впливають на суть відповіді
0,6 · Max	Здобувач при відповіді на поставлене запитання припустився помилок, які виправляє за допомогою викладача; в середньому може дати правильні відповіді на 50% питань теми

0,4 · Max	Здобувач при відповіді на поставлене запитання припустився суттєвих помилок, які все ж таки виправляє за допомогою викладача; дає правильні відповіді на 30% питань теми
0,2 · Max	Здобувач за допомогою викладача фрагментарно відповідає на запитання, проте не в повній мірі володіє мінімальним рівнем знань з даного питання
0	Характер відповідей дає підставу стверджувати, що здобувач неправильно зрозумів суть питання чи не знав правильної відповіді, а тому відповідав, припускаючись грубих помилок.

Примітка: за Max прийнято максимальну оцінку для даного виду діяльності; заокруглення проводиться до одиниць балу.

Шкала та критерії оцінювання: національна та ЄКТС (Європейська кредитна трансферно-накопичувальна система, ECTS)

Оцінка за шкалою ЄКТС	Пояснення	Оцінка за 100-бальною шкалою	Оцінка за національною шкалою
A	відмінно	90 – 100	відмінно
B	дуже добре	80-89	добре
C	добре	70-79	
D	задовільно	60-69	задовільно
E	достатньо	50-59	
FX	(незадовільно) з можливістю повторного складання	35-49	незадовільно
F	(незадовільно) з обов'язковим повторним курсом	1-34	

Розподіл балів, які отримують здобувачі

Поточне тестування та самостійна робота					Підсумковий тест (залік)			Сумарна кількість балів
Змістовий модуль 1				Змістовий модуль 2				
T1	T2	T3	M1	T4	T5		M2	100
10	10	10	5	10	10		5	
					40			

7.2. Перелік тем та розподіл максимально можливої кількості балів, які отримують здобувачі за виконання всіх видів навчальної діяльності

Змістовий модуль 1. Методи та засобів проектування алгоритмічних операційних пристроїв

- T1. Методи та засобів проектування алгоритмічних операційних пристроїв (ЛР №1 – 5 балів, опитування/тест № 1 – 5 балів).
- T2. Сучасний підхід до проектування цифрових систем. Моделі цифрових систем. Мови опису апаратури. Етапи проектування цифрових пристроїв. (ЛР №2 – 6 балів, опитування/тест – 4 бали).

T3. Подання графа алгоритму структурною матрицею, її властивості та принципи відображення. (ЛР №3 – 7 балів, опитування/тест – 3 бали).

M1. Модульна контрольна робота №1 (письмова або у вигляді тестів) – 5 балів.

Змістовий модуль 2. Проектування алгоритмічних операційних пристроїв

T4. Методи високорівневого проектування алгоритмічних операційних пристроїв. (ЛР №4 – 7 балів, опитування/тест – 4 бали).

T5. Проектування алгоритмічних операційних пристроїв (ЛР №5 – 5 балів, ЛР №56 – 5 балів).

M2. Модульна контрольна робота №2 (письмова або у вигляді тестів) – 5 балів.

7.3. Умови зарахування результатів неформальної освіти

Здобувач, згідно Положення ЧНУ «Про неформальну освіту» може отримати додаткові бали, або бути звільненим від окремих видів роботи з окремих тем, якщо у нього наявні сертифікати про неформальну освіту з проблем, які вивчаються на дисципліні «Системне програмне забезпечення».

Також, як виконані види роботи з відповідних тем зараховуються здобувачу бали за наукові публікації у матеріалах науково-практичних конференцій та фахових чи апробаційних виданнях.

7.4. Політика курсу

Самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання (для осіб з особливими освітніми потребами ця вимога застосовується з урахуванням їхніх індивідуальних потреб і можливостей).

Академічна доброчесність: посилення на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей; надання достовірної інформації про результати власної навчальної (наукової, творчої) діяльності, використані методики досліджень і джерела інформації.

Відвідування: Відвідування занять є обов'язковим. Засвоєння пропущеної теми лекції з поважної причини перевіряється під час складання підсумкового контролю. Пропуск лекції з неповажної причини відпрацьовується здобувачем (співбесіда, реферат тощо). Пропущені практичні та лабораторні заняття, незалежно від причини пропуску, здобувач відпрацьовує згідно з графіком.

8. Рекомендована література

Базова (основна)

1. IEEE Standard VHDL Language Reference Manual. – New York: IEEE Std 1076-2019 Erschienen 23 Dec. 2019, IEEE, Taschenbuch ISBN 978-1-5044-6135-1, 2019 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=8938194>
2. Структурний аналіз і синтез паралельних алгоритмів : монографія / А.О. Мельник, І.Д. Яковлева. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2018. – 184 с. ISBN 978-966-423-431-0
3. Пат. 96041 Україна МПК(2011.01) G06F 3/06 (2006.01) G06F 17/14 (2006.01) G06F 7/00. Спосіб збереження в пам'яті потокового графа алгоритму у формі структурної матриці/ Мельник А.О., Яковлева І.Д.; заявники та власники Мельник А.О., Яковлева І.Д. – № а 2009 12957; заявл. 14.12.2009; опубл. 25.06.2011, бюл. №12; зареєстр. 26.09.2011, бюл. №18

4. Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rives, Clifford Stein. Introduction to algorithms. – The MIT Press; 4th edition, April 5, 2022. – 1312 p.

5. Допоміжна

6. Мельник А. О. Подання та структурний аналіз паралельних алгоритмів: навчальний посібник / А. О. Мельник, І. Д. Яковлева. – Львів: Магнолія 2006, 2022. – 109 с. <https://is.lpnu.ua/sciencelp/research/trainingaidsedit.aspx?id=13646>
7. Мова опису апаратних засобів комп'ютера – VHDL : укл.: Яковлева І.Д., Дяченко Л.І., Гордіца В.Е., Лісовенко І.Д. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2021. – 86 с.
8. Мельник А.О., Яковлева І.Д. Методичні вказівки до виконання лабораторних «Мова опису апаратних засобів VHDL» – Чернівці: Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, 2022. – 102 с.
9. Аврунін О.Г. «Основи мови VHDL для проектування цифрових пристроїв на ПЛІС»: навч. посібник / О.Г. Аврунін, Т.В. Носова, В.В. Семенець. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 196 с. ISBN 978-966-659-247-0
10. Семенець В.В., Хаханова І.В., Хаханов В.І. Проектирование цифровых систем с использованием языка VHDL. Харьков: ХНУРЕ. –2003, 492 с.
11. Хаханов В.І. VHDL + Verilog = синтез за minuti: Учебное пособие / В.І Хаханов., І.В. Хаханова. – Харьков: ХНУРЭ. – 2006. – 264 с.
12. Мельник А.О. Мова опису апаратних засобів комп'ютера – VHDL та система автоматизованого проектування НВІС Alliance / А.О. Мельник, О.М. Почасвець – Львів, ДУ “ЛП”, 1997.
13. H. Sun, C. Zhang, H. Li, Z. Wu, L. Wu and Y. Li, "ATOS: Adaptive Program Tracing With Online Control Flow Graph Support," in IEEE Access, vol. 7, pp. 127495-127510, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2939566.
14. Riouak, C. Reichenbach, G. Hedin and N. Fors, "A Precise Framework for Source-Level Control-Flow Analysis," 2021 IEEE 21st International Working Conference on Source Code Analysis and Manipulation (SCAM), 2021, pp. 1-11, doi: 10.1109/SCAM52516.2021.00009.
15. K. S. Kumar and D. Malathi, "A Novel Method to Find Time Complexity of an Algorithm by Using Control Flow Graph," 2017 International Conference on Technical Advancements in Computers and Communications (ICTACC), 2017, pp. 66-68, doi: 10.1109/ICTACC.2017.26.

16. Інформаційні ресурси

17. IEEE Standard VHDL Language Reference Manual. - New York: IEEE Std 1076-2019 Erschienen 23 Dec. 2019, IEEE, Taschenbuch ISBN 978-1-5044-6135-1, 2019 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=8938194>
18. Система електронного навчання URL:
 - a. <https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=2381>
19. Free Active-HDL Student Edition URL:
 - a. https://www.aldec.com/en/products/fpga_simulation/active_hdl_student