

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікації
(повна назва)

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Оптимізація процесу онлайн навчання на платформі Open edX

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи ІМІм-22-3
Галій А.К.

Спеціальності 172 Телекомунікації та
радіотехніка

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційно-мережна
інженерія

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц., к.т.н. Чеботарьова Д.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Безрук В.М.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Не містить відомостей, заборонених до відкритого публікування

Студент	_____	<i>Галій А.К.</i>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	<i>Чеботарьова Д.В.</i>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій
(повна назва)

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії
(повна назва)

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і повна назва)

Тип програми Освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційно-мережна інженерія
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри ІМІ _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові Галій Анні Костянтинівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Оптимізація процесу онлайн навчання на платформі Open edX

затверджені наказом університету від 18 березня 2024 року № 232 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 15 червня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

Виконати аналіз розвитку та особливостей онлайн навчання; дослідити різні види систем онлайн навчання та сучасні платформи онлайн навчання; дослідити платформу Open edX та виконати оптимізацію продуктивності платформи Open edX.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____
Вступ.

1. Аналіз розвитку та особливостей онлайн навчання.

2. Види систем онлайн навчання.

3. Аналіз платформи Open edX.

4. Оптимізація продуктивності платформи Open edX.

Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Слайди у форматі Power Point (назва, мета і задачі роботи, основні результати роботи, висновки)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів атестаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення із завданням. Уточнення ТЗ	18.03.24	виконано
2	Підбір літератури за темою роботи	19.03 - 02.04.24	виконано
3	Виконання розділу 1	03.04 - 19.04.24	виконано
4	Виконання розділу 2	20.04 – 02.05.24	виконано
5	Виконання розділу 3	03.05 – 19.05.24	виконано
6	Виконання розділу 4	20.05 - 02.06.24	виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	03.06 - 07.06.24	виконано
8	Оформлення презентаційного матеріалу, підготовка до захисту у ЕК	08.06 - 14.06.24	виконано

Дата видачі завдання 18.03.2024 р.

Студент

_____ (підпис)

Галій А.К.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Чеботарьова Д.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 76 с., 31 рис., 3 табл., 19 джерел, 2 додатки.

Об'єкт дослідження – платформа Open edX.

Мета роботи – дослідження систем електронного навчання та вдосконалення процесів онлайн навчання на платформі Open edX.

Результати – в роботі проведено аналіз розвитку та особливостей онлайн навчання, описано переваги та недоліки онлайн навчання, визначено особливості онлайн навчання в Україні. Досліджено різні види систем онлайн навчання, зокрема системи управління навчанням та масові відкриті онлайн-курси. Виконано огляд та порівняння сучасних платформи онлайн навчання. Проведено аналіз платформи Open edX. Детально розглянуто архітектуру, функції та можливості платформи Open edX, автоматизація навчання, інтеграція Open edX із зовнішніми інструментами та питання безпеки платформи Open edX. Виконано оптимізацію продуктивності платформи Open edX. Описано технічні варіанти виконання оптимізації веб-додатку та проведено оптимізацію API ендпоінту.

OPEN EDX, LMS, ПЛАТФОРМА, ОНЛАЙН НАВЧАННЯ, КУРС, ВИКЛАДАЧ, СТУДЕНТ, РОЗРОБНИК, API, БЕЗПЕКА, ОПТИМІЗАЦІЯ, ПРОДУКТИВНІСТЬ

THE ABSTRACT

Explanatory note: 76 p., 31 fig., 3 tabl., 19 sources, 2 app.

The object of study is the Open edX platform.

The purpose of the work is research of e-learning systems and improvement of online learning processes on the Open edX platform.

Results - the paper analyzes the development and features of online education, describes the advantages and disadvantages of online education, defines the features of online education in Ukraine. Various types of online learning systems, including learning management systems and mass open online courses, have been studied. A review and comparison of modern online learning platforms was performed. An analysis of the Open edX platform was carried out. The architecture, features and capabilities of the Open edX platform, learning automation, Open edX integration with external tools, and security issues of the Open edX platform are discussed in detail. Optimized the performance of the Open edX platform. The technical options for optimizing the web application are described and the endpoint API optimization is performed.

OPEN EDX, LMS, PLATFORM, ONLINE LEARNING, COURSE, TEACHER, STUDENT, DEVELOPER, API, SECURITY, OPTIMIZATION, PRODUCTIVITY

ЗМІСТ

	С.
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ОНЛАЙН НАВЧАННЯ.....	10
1.1 Еволюція онлайн навчання.....	10
1.2 Актуальний стан онлайн навчання.....	12
1.3 Переваги та недоліки онлайн навчання.....	13
1.4 Особливості онлайн навчання в Україні.....	16
2 ВИДИ СИСТЕМ ОНЛАЙН НАВЧАННЯ.....	19
2.1 Класифікація систем онлайн навчання.....	19
2.2 Системи управління навчанням.....	21
2.3 Масові відкриті онлайн-курси.....	23
2.4 Сучасні платформи онлайн навчання.....	24
3 АНАЛІЗ ПЛАТФОРМИ OPEN EDX.....	28
3.1 Архітектура платформи.....	28
3.2 Функції та можливості Open edX.....	31
3.3 Автоматизація навчання на платформі Open edX.....	35
3.4 Інтеграція Open edX із зовнішніми інструментами.....	37
3.5 Питання безпеки платформи Open edX.....	39
4 ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПЛАТФОРМИ OPEN EDX.....	43
4.1 Технічні варіанти виконання оптимізації веб-додатку.....	43
4.2 Оптимізація API ендпоінту у платформі Open edX.....	44
ВИСНОВКИ.....	55
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	57
ДОДАТОК А СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ.....	60
ДОДАТОК Б ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМАТИКОЮ РОБОТИ.....	71

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- AI (Artificial Intelligence) – штучний інтелект;
- API (Application Program Interface) – прикладний програмний інтерфейс;
- AR (Augmented Reality) – доповнена реальність;
- CLMS (Corporate Learning Management Systems) – корпоративні системи управління навчанням;
- CMS (Course Management System) – система управління контентом;
- CVSS (Common Vulnerability Scoring System) – загальна система оцінки вразливостей;
- HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) – протокол передачі гіпертекстових документів;
- IDA (Independently Deployable Applications) – програми для самостійного розгортання;
- LMS (Learning Management System) – система управління навчанням;
- LTI (Learning Tools Interoperability) – специфікація освітніх технологій;
- MFE (Micro-Frontends) – мікроінтерфейси;
- MOOC (Massive Open Online Courses) – масові відкриті онлайн-курси;
- SQL (Structured Query Language) – діалогова мова програмування для баз даних;
- URL (Uniform Resource Locator) – стандартизована адреса певного ресурсу;
- VLE (Virtual Learning Environments) – віртуальні навчальні середовища;
- VR (Virtual Reality) – віртуальна реальність;
- ПЗ – програмне забезпечення.

ВСТУП

Онлайн навчання стало невід'ємною складовою сучасної освіти, яке змінило традиційний навчальний процес і забезпечило доступ до знань для мільйонів людей по всьому світу. У цьому контексті платформа Open edX відіграє важливу роль, надаючи потужні інструменти для створення, розповсюдження та управління курсами.

Open edX – це провідна платформа електронного навчання з відкритим вихідним кодом, розроблена для сприяння глобальній освіті [1]. Вона була створена вченими з Гарвардського університету і Массачусетського технологічного інституту та впроваджена на платформі електронного навчання edx.org.

Однією з ключових переваг платформи є її відкритість та гнучкість. Відкритий код дозволяє усім бажаючим модифікувати та розширювати функціонал платформи згідно з власними потребами. Крім того, велика спільнота користувачів та розробників сприяє активному обміну досвідом та розвитку нових ідей у галузі онлайн освіти.

Метою роботи є дослідження та вдосконалення процесів онлайн навчання на платформі Open edX. Впровадження оптимізацій має потенціал не лише покращити якість навчання, а і зробити сам процес більш ефективним та доступним для широкого кола користувачів.

Зважаючи на швидке зростання популярності онлайн навчання та зростаючий інтерес до платформи Open edX, дослідження та оптимізація процесу навчання має великий практичний та науковий інтерес. Саме тому тема кваліфікаційної роботи є актуальною.

1 АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ОНЛАЙН НАВЧАННЯ

Онлайн-навчання (або електронне навчання, або цифрове навчання, або іноді віртуальне навчання) охоплює широкий спектр освітньої діяльності, що здійснюється за допомогою сучасних цифрових та інфокомунікаційних технологій.

Онлайн-навчання – це форма освіти, де навчання відбувається через Інтернет і за допомогою цифрових навчальних інструментів або платформ [2].

1.1 Еволюція онлайн навчання

Онлайн навчання суттєво пов'язане з розвитком комп'ютерних технологій, інфокомунікацій та інтернету. Саме тому перші спроби створити комп'ютерне або автоматизоване навчання з'явилися в 1960-х роках, коли почалися дослідження потенціалу технологій для покращення освітнього досвіду.

Першою системою електронного навчання вважається система PLATO, розроблена в лабораторії Donald Bitzer Університету Іллінойсу у 1960-х роках [2, 3]. З часом ця система перетворилася на базову платформу для онлайн навчання.

Найбільшим поштовхом для розвитку онлайн навчання стала поява інтернету та широке використання комп'ютерів.

1990-ті роки започаткували нові тенденції, зокрема широке використання різноманітних комп'ютерів, поява професійного програмного забезпечення для онлайн навчання та перехід освітнього контенту з фізичного в цифровий формат. Все це сприяло створенню та розвитку онлайн платформ для навчання [3].

В табл. 1.1 представлено основні етапи розвитку систем онлайн навчання.

Таблиця 1.1 – Етапи розвитку онлайн навчання

№	Період	Ключові події розвитку
1	1960-70-ті рр	Впровадження системи автоматизованого навчання PLATO
2	1980-ті рр	Поява телеконференцій
3	1990-ті рр	Поява інтернету
4	1994 р.	Перший онлайн-курс запустив Університет Торонто
5	1997 р.	Запуск Blackboard, першої системи керування онлайн-курсами [2]
6	2002 р.	Массачусетський технологічний інститут запускає OpenCourseWare, вперше навчальні матеріали безкоштовно доступні в Інтернеті
7	2005 р.	Поява YouTube, що надало платформу для освітнього відеовмісту
8	2006 р.	Впровадження масових відкритих онлайн-курсів канадськими та американськими університетами
9	2015 р.	Впровадження навчальних онлайн-таборів із програмування для розвитку технічних навичок
10	2016 р.	Поява мобільного навчання у зв'язку з поширенням смартфонів і планшетів
11	2019 рік	Поява адаптивних навчальних платформ, персоналізованих до індивідуальних потреб студента [2]
12	2020 рік	Швидке розширення онлайн-навчання через пандемію COVID-19, що підкреслює його важливість і доступність
13	сьогодення	Постійні інновації в онлайн навчання, використання технологій віртуальної реальності (VR), доповненої реальності (AR) і штучного інтелекту (AI) в освіті

Онлайн навчання продовжує стрімко розвиватися. З минулого тисячоліття індустрія електронного навчання зросла на 900% , а до кінця 2025 року очікується, що вона зросте втричі. Глобальний ринок електронного навчання досягне \$336,98 у 2026 році , а до 2032 року загальна вартість, за оцінками, досягне трильйона [2].

1.2 Актуальний стан онлайн навчання

Онлайн навчання розвивається разом з інтернет-технологіями. Сьогодні онлайн навчання перетворилося з простого надання інформації на повномасштабне навчання. Найефективнішим аспектом онлайн навчання є те, що воно не залежить від місцезнаходження учня. Компанії також усвідомили важливість електронного навчання та почали впроваджувати його для підвищення кваліфікації своїх співробітників.

Технологічний прогрес додав нові можливості онлайн навчання та підвищив його ефективність. Основні напрямки розвитку онлайн навчання представлено на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Напрямки розвитку онлайн навчання

Такі інновації, як адаптивне навчання, віртуальна реальність і штучний інтелект, змінюють середовище онлайн навчання та надає учням більш персоналізований та цікавий освітній досвід, який реально впливає на їхнє особисте та професійне життя.

Онлайн навчання постійно знаходиться в стадії розробки та вдосконалення. Педагоги працюють над питанням, як використовувати онлайн навчання, щоб зробити його максимально ефективним. Вважається, що реальний потенціал онлайн навчання ще тільки належить знайти та визначити. Економічна природа електронного навчання робить його чудовою інвестицією для підвищення кваліфікації. Найцікавіший аспект – онлайн навчання ще в розробці. Це означає, що онлайн навчання ще далеке від повного розкриття свого потенціалу [3].

1.3 Переваги та недоліки онлайн навчання

Системи електронного навчання пропонують багато переваг, які сприяють зростанню їх популярності в різних освітніх і професійних умовах. Переваги онлайн навчання описано в багатьох джерелах [2 – 7]. Основні переваги онлайн навчання представлені на рис. 1.2.

Системи онлайн навчання дозволяють учням отримувати доступ до навчальних ресурсів і матеріалів у зручний для них час. Учні можуть обирати час, місце та темп навчання, що забезпечує персоналізований та самостійний досвід навчання.

Системи онлайн навчання долають бар'єри фізичної відстані та дозволяють учням із різних географічних місць отримувати доступ до того самого навчального контенту. Це розширює освітні можливості та сприяє інклюзивності, охоплюючи ширшу аудиторію з різною освітою та навчальними потребами.

Онлайн навчання є економічно ефективнішими, ніж традиційне навчання. Усуваються витрати, пов'язані з подорожами, друкованими матеріалами та

орендою приміщення. Онлайн навчання також дозволяє організаціям масштабувати свої навчальні зусилля без значних додаткових витрат.



Рисунок 1.2 – Переваги онлайн навчання

Системи електронного навчання включають різноманітні мультимедійні елементи, інтерактивні дії та ігрові функції для залучення учнів та підвищення ефективності навчання. Завдяки використанню відео, анімацій, вікторин і

симуляцій електронне навчання сприяє активній участі, утриманню знань і практичному застосуванню вивчених концепцій.

Для педагогів онлайн навчання розширило можливості відстежувати прогрес і успішність учнів. Завдяки потужній системі керування навчанням викладач можете стежити за учнями протягом усього курсу та визначати сфери, де їм потрібна додаткова підтримка чи ресурси [6].

Останнім часом онлайн навчання стає все більш популярним, оскільки воно має велику кількість переваг. Однак, незважаючи на вагому переваги, онлайн навчання має і деякі недоліки (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Недоліки онлайн навчання

Одним із головних недоліків онлайн навчання може бути відсутність фізичної взаємодії, через що студентам складніше спілкуватися з однокурсниками та викладачами. Також онлайн навчання може призвести до відчуття ізоляції, оскільки студенти можуть не мати можливостей для взаємодії з іншими студентами та формування соціальних зв'язків [4].

Онлайн навчання часто здійснюється самостійно, що може ускладнити навігацію, залучення та мотивацію у навчанні.

Інколи онлайн навчання пропонує обмежений доступ до ресурсів і підтримки порівняно з традиційним навчанням.

Технічні труднощі, такі як проблеми з підключенням до інтернету, проблеми сумісності програмного забезпечення або проблеми з пристроями, можуть перешкодити можливості отримати доступ до занять. Крім того, як в будь-якій інфокомунікаційній системі можуть виникати проблеми безпеки.

1.4 Особливості онлайн навчання в Україні

В Україні почалося дуже активне впровадження онлайн навчання під час пандемії COVID-19. Але з початком повномасштабного вторгнення РФ в Україну онлайн навчання стало абсолютно необхідним. Саме онлайн навчання врятувало освітній процес в багатьох регіонах: на тимчасово окупованих територіях та на територіях активних бойових дій воно стало єдиною можливою формою навчання. Дистанційне навчання забезпечило можливість продовжувати навчання в обраних навчальних закладах, тих студентів та учнів, які змушені були змінити місце проживання або покинути країну. Українці, де б вони зараз не знаходилися, мають доступ до якісної освіти, незалежно від складних обставин.

Сьогодні в Україні в умовах війни онлайн навчання не просто актуальне, а вкрай необхідне для забезпечення доступу до освіти, її якості та безпеки учнів та студентів у складний період [8].

На сьогоднішній день в умовах воєнних дій онлайн навчання залишається єдиним безпечним способом взаємодії в освітньому просторі [9]. Останні два роки в Україні більшість закладів освіти проводять навчання виключно або частково в онлайн форматі.

Важливою особливістю онлайн навчання в Україні є необхідність асинхронного режиму навчання, оскільки знищення енергетичних систем та

постійні обстріли критичної інфраструктури призвели до частих блекаутів та тривалих відключень енергопостачання.

Ключові тренди онлайн навчання в Україні в 2024 р. [10] узагальнені та наведені на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Ключові тренди онлайн навчання в Україні в 2024 р.

Варто зазначити, що однією з ключових особливостей онлайн навчання в Україні є наявність відносно розвинутої технічної інфраструктури, таких як швидкий інтернет та доступ до комп'ютерів або смартфонів [9]. В нашій країні широко використовуються різноманітні онлайн платформи та інші навчальні ресурси, які надають можливості для ефективного дистанційного навчання.

Враховуючи умови в яких перебувають зараз українці онлайн навчання в Україні буде продовжувати свій розвиток, адаптуватися до нових потреб, змін та викликів. Необхідно, щоб навчальні заклади активно впроваджували найновіші цифрові технології, нові методи онлайн навчання та були готові до різних змін.

2 ВИДИ СИСТЕМ ОНЛАЙН НАВЧАННЯ

2.1 Класифікація систем онлайн навчання

Онлайн навчання поділяють на три типи: синхронне, асинхронне та змішане навчання (рис. 2.1). Синхронне навчання імітує структуру традиційного навчання в класі із запланованими лекціями, дискусіями та іншими заходами. Асинхронне навчання передбачає попередньо записані лекції, дискусійні форуми, онлайн-вікторини та інші інтерактивні елементи [2]. Змішане (або гібридне) навчання пропонує переваги як синхронного так і асинхронного навчання, забезпечує гнучкість та дозволяє пряму взаємодію з викладачами і іншими студентами.

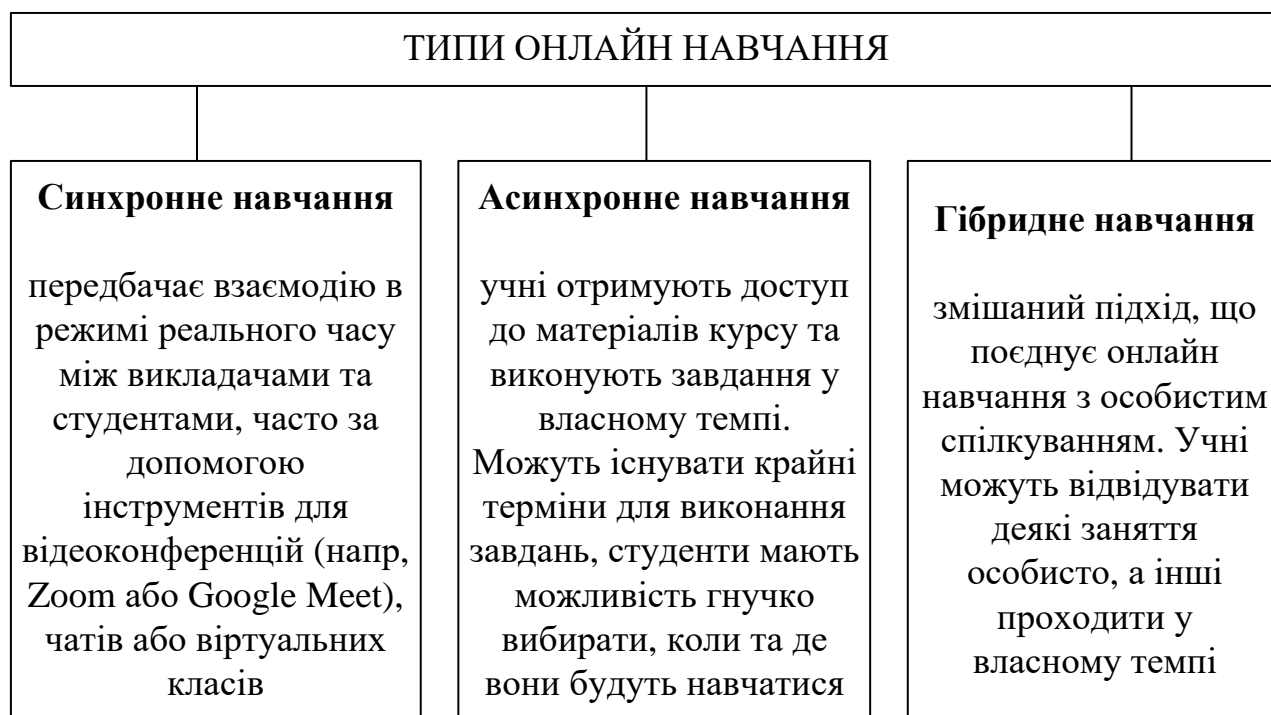


Рисунок 2.1 – Типи онлайн навчання

Класифікація систем онлайн навчання наведена на рис. 2.2.

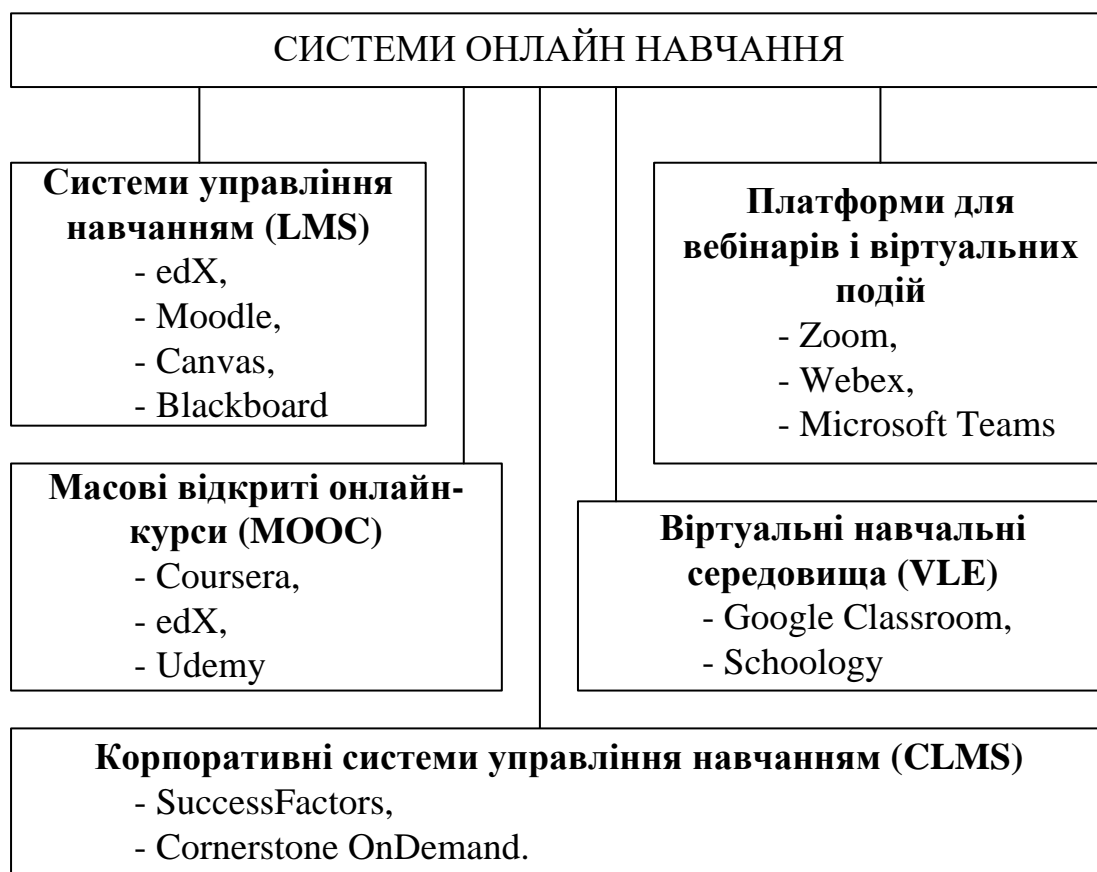


Рисунок 2.2 – Класифікація систем онлайн навчання

Системи управління навчанням (Learning Management Systems, LMS) – це комплексні системи електронного навчання, які використовуються навчальними закладами та організаціями для проведення та керування онлайн-курсами (напр. Moodle, Canvas, Blackboard). Вони надають такі функції: створення курсів, доставка контенту, оцінювання та відстеження учнів тощо.

Масові відкриті онлайн-курси (Massive Open Online Courses, MOOC) пропонують широкий вибір онлайн-курсів від провідних університетів і викладачів у всьому світі (напр. Coursera, edX, Udemy). Учні можуть отримати доступ до систем з різних предметів, записатися на програми під керівництвом інструктора, навчатися самостійно або взаємодіяти з глобальною спільнотою учнів.

Віртуальні навчальні середовища (Virtual Learning Environments, VLE) надають досвід віртуальної класної кімнати, де вчителі можуть взаємодіяти зі

студентами, ділитися ресурсами, призначати завдання та оцінювати прогрес учнів (напр. Google Classroom, Schoology). Ці платформи часто інтегрують засоби зв'язку, можливості обміну файлами та системи оцінювання.

Платформи для вебінарів і віртуальних подій (Webinar and Virtual Event Platforms) дозволяють проводити вебінари, віртуальні конференції та онлайн-семінари (напр. Zoom, Webex, Microsoft Teams). Ці платформи сприяють взаємодії в реальному часі, презентаціям і дискусіям між учасниками, відтворюючи досвід особистих подій.

Корпоративні системи управління навчанням (Corporate Learning Management Systems, CLMS) призначені для корпоративного навчання та професійного розвитку (напр. SuccessFactors, Cornerstone OnDemand тощо).

2.2 Системи управління навчанням

Система управління навчанням (LMS) – це універсальний інструмент, який допомагає педагогам, інструкторам і організаціям ефективно керувати онлайн навчанням та надавати освітній контент.

LMS полегшує адміністрування, документування, відстеження, звітування та проведення навчальних курсів або навчальних програм. Він широко використовується в індустрії онлайн навчання та є чудовим засобом управління та розповсюдження навчальних програм у різних секторах [11].

LMS підтримують синхронне, асинхронне та змішане навчання, надаючи інструменти для створення інтерактивного вмісту, проведення оцінювання та моніторингу прогресу учнів. Ця технологія стала важливою у сучасній освіті та навчанні, забезпечуючи ефективне навчання, адаптоване до потреб різноманітних користувачів.

Концепцію LMS складають шість елементів: сумісність, доступність, багаторазове використання, довговічність, здатність до обслуговування та адаптивність [11]. Ці елементи є головними перевагами LMS.

Основні функції LMS наведено на рис. 2.3, а класифікація – на рис.2.4.



Рисунок 2.3 – Функції систем управління навчанням

Кожна LMS відрізняється від інших і наповнена унікальними можливостями. Деякі платформи LMS пропонують вбудовані інструменти для створення курсів, які допомагають створювати навчальний контент. Деякі LMS дозволяють керувати та розповсюджувати навчальні матеріали, але не створювати навчальний контент.

Використовуючи LMS, можна завантажити навчальні матеріали або ресурси до навчальної бази системи. У цьому навчальному онлайн середовищі віддалені учні можуть отримати доступ до вмісту навчального курсу зі своїх комп'ютерів або мобільних пристроїв.

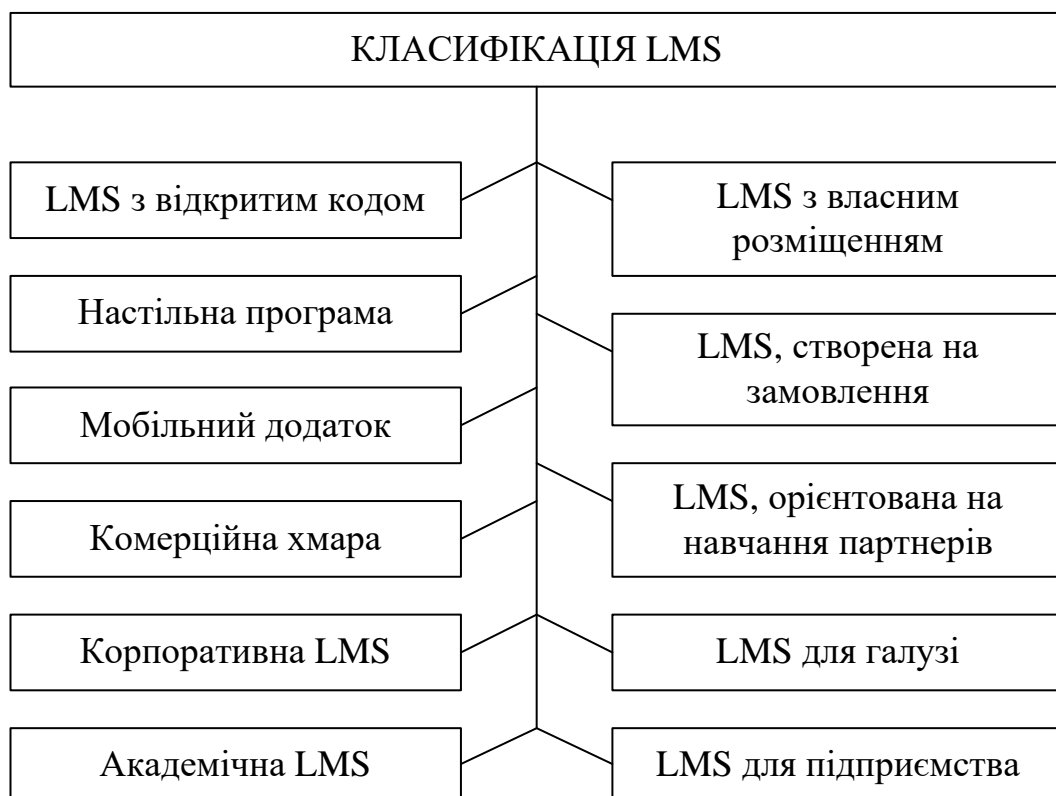


Рисунок 2.4 – Класифікація LMS

Для того, щоб навчальна платформа отримала звання LMS, вона повинна мати наступні три основні характеристики:

- керування користувачами,
- зберігання, розповсюдження та надання доступу до навчальних ресурсів,
- моніторинг і оцінювання (відстеження прогресу та продуктивності кожного учня).

2.3 Масові відкриті онлайн-курси

Масові відкриті онлайн-курси (МООС) – це онлайн-курси, які надають учасникам вільний доступ і необмежену участь у будь-якому курсі за їхнім вибором. Окрім звичайних способів навчання, таких як лекції, відео та матеріали для читання; МООС також є платформою для інтерактивних

форумів. MOOC – це одна з користувальницьких методологій онлайн навчання, яка заохочує самостійне навчання, яке залишається зосередженим на навичках, які учні хочуть вдосконалити.

MOOC бувають двох типів cMOOC та xMOOC.

cMOOC – це MOOC, які дозволяють динамічно розвивати навчальний матеріал. Тобто замість того, щоб мати заздалегідь запланований набір матеріалів для читання та програмного забезпечення, матеріал буде розроблено через онлайн обговорення та співпрацю між учнями, які проходять курс по всьому світу.

xMOOC – це MOOC, які використовують традиційний підхід: курси добре структуровані з попередньо відібраними матеріалами для читання та довідковими матеріалами.

2.4 Сучасні платформи онлайн навчання

Існує багато платформ для онлайн навчання. Згідно рейтингу [12] найкращими платформами на світовому ринку вважаються наступні: Thinkific, Coursera, LinkedIn Learning, Skillshare, edX, OpenLearning, Udemy, Treehouse, MasterClass та Khan Academy.

Переваги та недоліки цих платформа наведено в табл. 2.1.

Одним з найкращих варіантів серед систем-лідерів онлайн навчання є платформа edX. Це формальне навчальне середовище, edX є одним із найкращих варіантів, доступних онлайн. Ця платформа співпрацює з провідними університетами (такими як Гарвард) та пропонує реальні університетські курси онлайн. Більшість курсів edX, як правило, спрямовані в галузі STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics), такі як аналіз даних, інженерія чи математика. Але існує багато інших – понад 4000 курсів на платформі edX. Більшість занять можна проходити безкоштовно, якщо потрібні знання, а не сертифікат.

Таблиця 2.1 – Переваги та недоліки кращих платформ онлайн навчання

№	Платформа	Переваги	Недоліки
1	Thinkific	<ul style="list-style-type: none"> – Безкоштовно створення курсів. – Гнучка інтуїтивно зрозуміла система для створення курсів. – Широка підтримка клієнтів для творців курсів. 	<ul style="list-style-type: none"> – Немає бібліотеки курсів для відкриття.
2	Coursera	<ul style="list-style-type: none"> – Більше 1500 курсів безкоштовні. – Різноманітність дисциплін від мистецтва до інформатики. – Офіційні сертифікати, визнані багатьма роботодавцями. 	<ul style="list-style-type: none"> – Безкоштовні курси без сертифікатів. – Деякі курси мають обмеження за часом.
3	LinkedIn Learning	<ul style="list-style-type: none"> – Доступно понад 17 000 курсів. – Детальні інструкції для найпопулярнішого ПЗ. – Легке додавання нових сертифікатів до профілю LinkedIn 	<ul style="list-style-type: none"> – Для доступу до навчання потрібен профіль LinkedIn.
4	Skillshare	<ul style="list-style-type: none"> – Доступно понад 35 000 курсів. – Мобільний додаток для навчання. – Навчання у реальних людей, а не в організацій. 	<ul style="list-style-type: none"> – Курси рідко йдуть поглиблено. – Інструктори можуть не мати професійної підготовки.
5	edX	<ul style="list-style-type: none"> – Велика бібліотека високоякісних курсів. – Підходить для отримання вищої освіти. – Працює зі школами Ліги Плюща. 	<ul style="list-style-type: none"> – Не так багато курсів у творчих сферах

Продовження табл. 2.1

№	Платформа	Переваги	Недоліки
6	Open Learning	<ul style="list-style-type: none"> – Використання облікових даних для отримання університетських ступенів. – Спільнота підтримки. – Платформа на основі ІІІ. 	<ul style="list-style-type: none"> – Вартість (курси можуть бути дорогими).
7	Udemy	<ul style="list-style-type: none"> – Найбільший вибір курсів. – 30-денна гарантія повернення грошей. – Немає підписки. – Відсутність термінів. 	<ul style="list-style-type: none"> – Деякі курси можуть бути низької якості. – Без кредитів для здобуття вищої освіти.
8	Treehouse	<ul style="list-style-type: none"> – Якісні прогресивні курси. – Вбудований текстовий редактор для завдань. – Доступна ціна. 	<ul style="list-style-type: none"> – Не так багато варіантів, крім програмування.
9	MasterClass	<ul style="list-style-type: none"> – Знамениті інструктори. – Якісні відео та унікальний контент. 	<ul style="list-style-type: none"> – Вступні знання в більшості курсів – Немає можливості виміряти прогрес. – Менші творці контенту не можуть вільно публікувати курси.
10	Khan Academy	<ul style="list-style-type: none"> – Безкоштовні курси. – Різноманітність тем. 	<ul style="list-style-type: none"> – Орієнтований на учнів шкіл.

Безкоштовні заняття в edX не пропонують сертифікатів. Курси, які супроводжуються сертифікатами, коштують від 50 до 300 доларів. Програми

повного ступеня поєднують кілька курсів і зазвичай коштують 1000 доларів США або вище [12].

Таким чином, сьогодні на ринку існує багато платформ для онлайн навчання, кожна з яких має свої особливості, переваги та недоліки. При виборі платформи для онлайн навчання слід звернути увагу на структуру платформи, доступний зміст курсу, підтримку спільноти та вартість. Вибір правильної платформи онлайн-навчання, як правило, означає збалансування цих чотирьох аспектів у спосіб, який найкраще підходить для кожної конкретної ситуації.

3 АНАЛІЗ ПЛАТФОРМИ OPEN EDX

3.1 Архітектура платформи

Проект Open edX – це веб-платформа для створення, надання та аналізу онлайн-курсів. Це програмне забезпечення, на якому працює edx.org та багато інших освітніх онлайн-сайтів.

В архітектурі Open edX (рис. 3.1) є кілька основних компонентів. Вони взаємодіють за допомогою стабільних задокументованих API.

Центральним елементом архітектури Open edX є edx-платформа, яка містить додатки для керування навчанням і створення курсів (LMS і Studio відповідно).

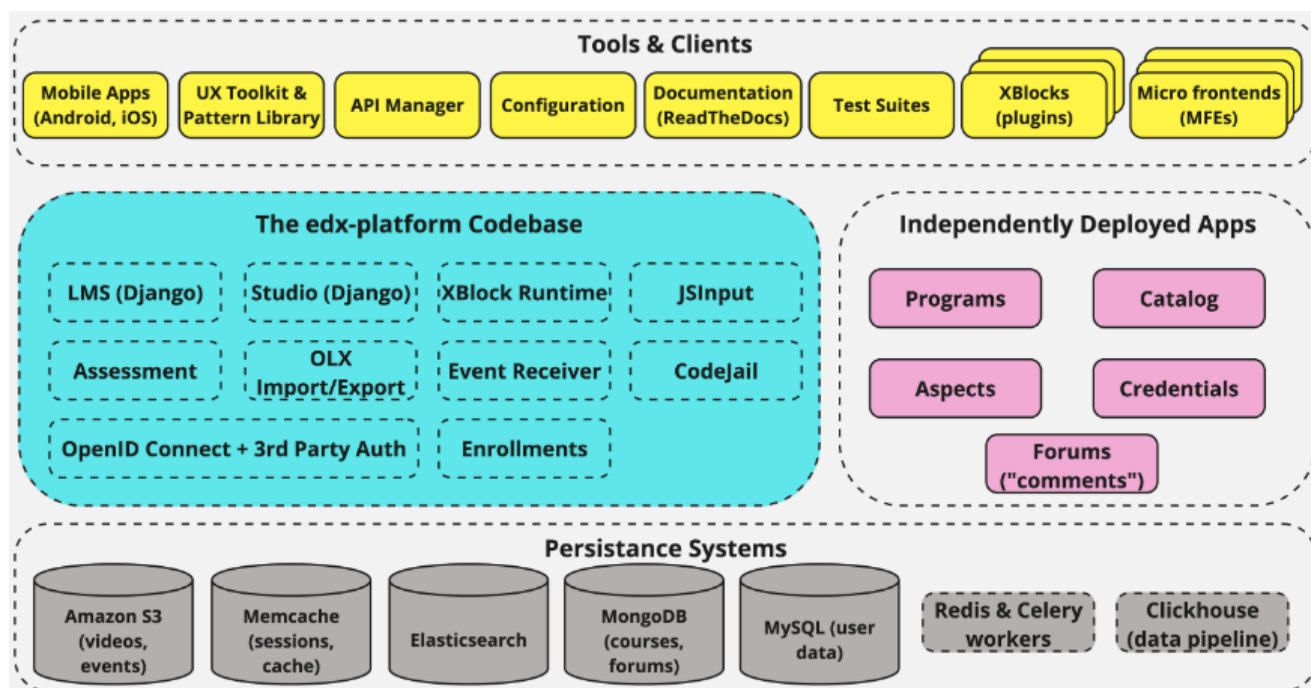


Рисунок 3.1 – Архітектура Open edX

Платформа Open edX – це сервіс-орієнтована платформа для розробки та надання онлайн-навчання будь-якого масштабу. Платформа написана на Python і JavaScript і широко використовує фреймворк Django [13].

На найвищому рівні edx-платформа складається з моноліту, деяких незалежно розгорнутих програм (IDA, Independently Deployable Applications) і мікроінтерфейсів (MFE, micro-frontends) на основі відкритої JavaScript бібліотеки для створення інтерфейсів користувача (ReactJS). Це сховище містить моноліт у центрі платформи Open edX. Функціонально репозиторій edx-платформи надає два сервіси:

- система керування вмістом CMS (Content Management System), яка підтримує Open edX Studio, середовище створення навчального вмісту платформи;

- служба керування навчанням LMS, яка надає навчальний контент [13].

Система керування навчанням Open edX (LMS) служить центральним елементом для проведення онлайн-курсів і керування процесом навчання. LMS (рис. 3.2) пропонує зручний інтерфейс як для викладачів, так і для студентів, що полегшує навігацію вмістом курсу, участь в обговореннях, надсилання завдань і відстеження прогресу [14].

Studio – це інструмент для створення контенту та керування курсами, який доповнює LMS. Він надає викладачам і розробникам курсів зручний веб-інтерфейс для проектування, розробки та ефективного керування онлайн-курсами. За допомогою Studio викладачі можуть легко створювати та організовувати вміст курсу, включаючи відео, текст, оцінювання та інтерактивні елементи.

Studio (рис. 3.3) – це важливий інструмент для викладачів та установ, які використовують платформу Open edX для надання високоякісних онлайн-курсів, які можна налаштувати. Це дає можливість розробникам курсів створювати цікаві навчальні програми та забезпечує гнучкість для постійного вдосконалення та покращення своїх онлайн-курсів на основі відгуків учнів і даних про ефективність [14].

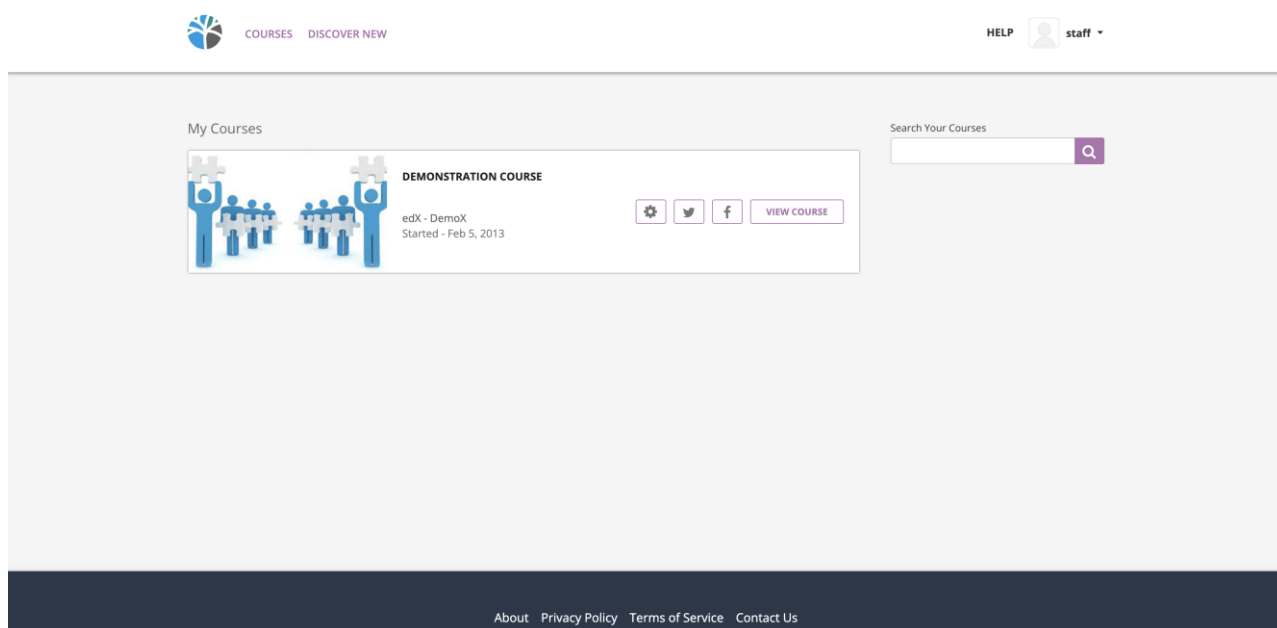


Рисунок 3.2 – Open Edx LMS

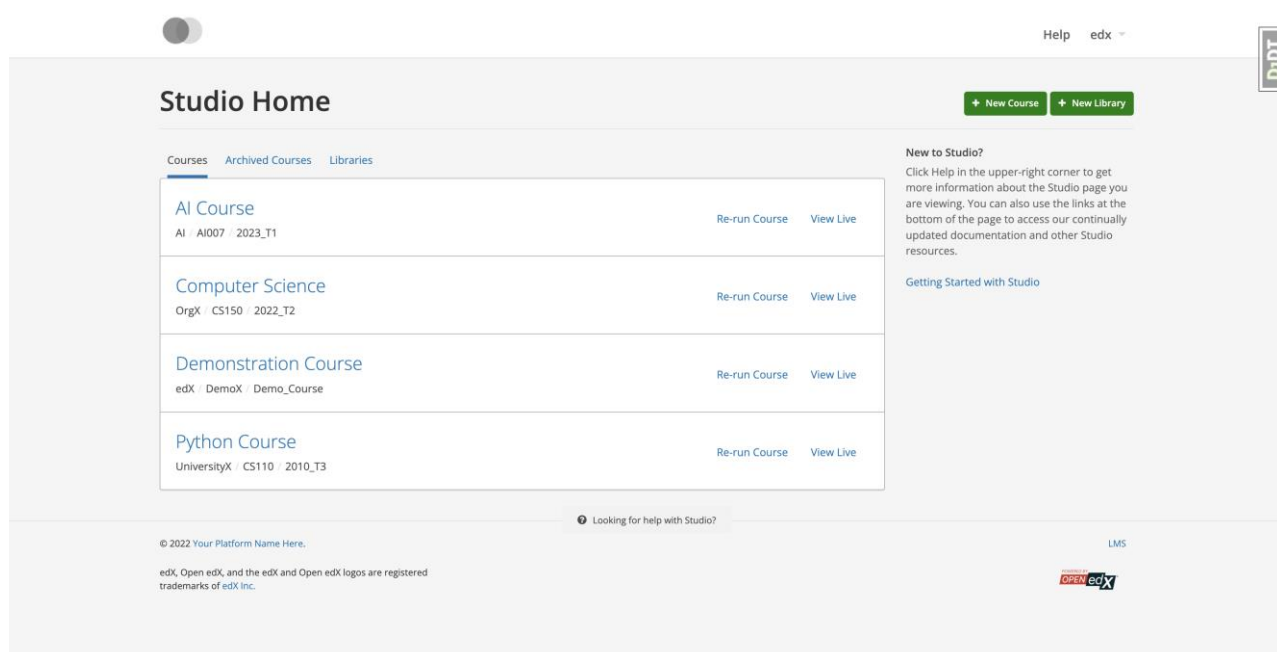


Рисунок 3.3 – Open Edx Studio

XBlock є ключовим компонентом платформи Open edX, призначеним для підвищення гнучкості та налаштування онлайн навчання. Ці модульні блоки контенту дозволяють викладачам легко інтегрувати широкий спектр інтерактивних елементів (напр. відео, симуляції тощо) у свої навчальні

матеріали. XBlock надає універсальну структуру для розробників і дизайнерів інструкцій, дозволяючи їм створювати та ділитися спеціальними навчальними інструментами та вмістом, що робить Open edX адаптивною та потужною платформою для онлайн навчання. XBlock дає змогу викладачам адаптувати свої курси відповідно до конкретних навчальних цілей і ефективно залучати студентів.

3.2 Функції та можливості Open edX

Open edX є платформою відкритого коду, Open edX поєднує інновації з доступністю для перегляду парадигм електронного навчання.

Надійна архітектура Open edX в поєднанні з фокусом на інтерактивному та цікавому навчанні виділяє його. Здатність платформи інтегрувати багато програм і інструментів сторонніх розробників означає, що це не просто LMS, а цілісна освітня екосистема [14]. Крім того, Open edX постійно розвивається, щоб відповідати мінливим вимогам сучасної глобальної освітньої спільноти.

Успіх платформи електронного навчання часто визначається набором її функцій і можливостей. У цьому відношенні Open edX не тільки оснащений, але й є передовим, пропонуючи набір можливостей, які роблять його потужним центром у сфері онлайн навчання. Ключові функції Open edX наведено на рис. 3.4.

Оскільки Open edX має відкритий код, то відсутня потреба довго чекати оновлень; технічні експерти з усього світу постійно працюють над удосконаленням платформи. Завдяки безлічі інструментів і розширень сторонніх розробників можна створювати курси, які точно відповідають потребам аудиторії та відповідають стилю бренду [15].

Крім того, Open edX, як і інші платформи з відкритим кодом, надає свободу адаптувати та налаштовувати програмне забезпечення відповідно до конкретних освітніх потреб.

Спільна глобальна підтримка платформ з відкритим кодом означає спільноту користувачів, розробників і ентузіастів, які постійно вдосконалюють і підтримують інструмент. Результатом цих спільних зусиль є швидке усунення несправностей та інтеграція інноваційних функцій.

Кожен аспект програмного забезпечення з відкритим кодом відкритий для ретельного вивчення, що гарантує його цілісність. Ця прозорість створює довіру та забезпечує надійну та безпечну платформу.



Рисунок 3.4 – Ключові функції Open edX

Розробники курсів та викладачі мають широкий спектр інструментів для розробки та проведення навчальних курсів на платформі Open edX. Основні

можливості для створення та організації онлайн навчання у платформі Open edX представлено на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 – Можливості для створення та організації онлайн навчання у платформі Open edX

Процес розробки курсів на платформі Open edX містить 5 основних етапів (рис. 3.6):

- створення розділу про курс (текстовий опис курсу, відео-огляд, перелік тематик, які студенти можуть опанувати під час вивчення курсу, відгуки студентів, що пройшли цей курс та інше);
- створення контенту;
- формування політики оцінювання;

- доставка курсів (синхронна, асинхронна або гібридна, в залежності від умов та вимог конкретної ситуації);
- підтримка та перегляд курсу (відстеження, контроль, редакція, оновлення, додавання нових матеріалів, оптимізація курсу тощо).

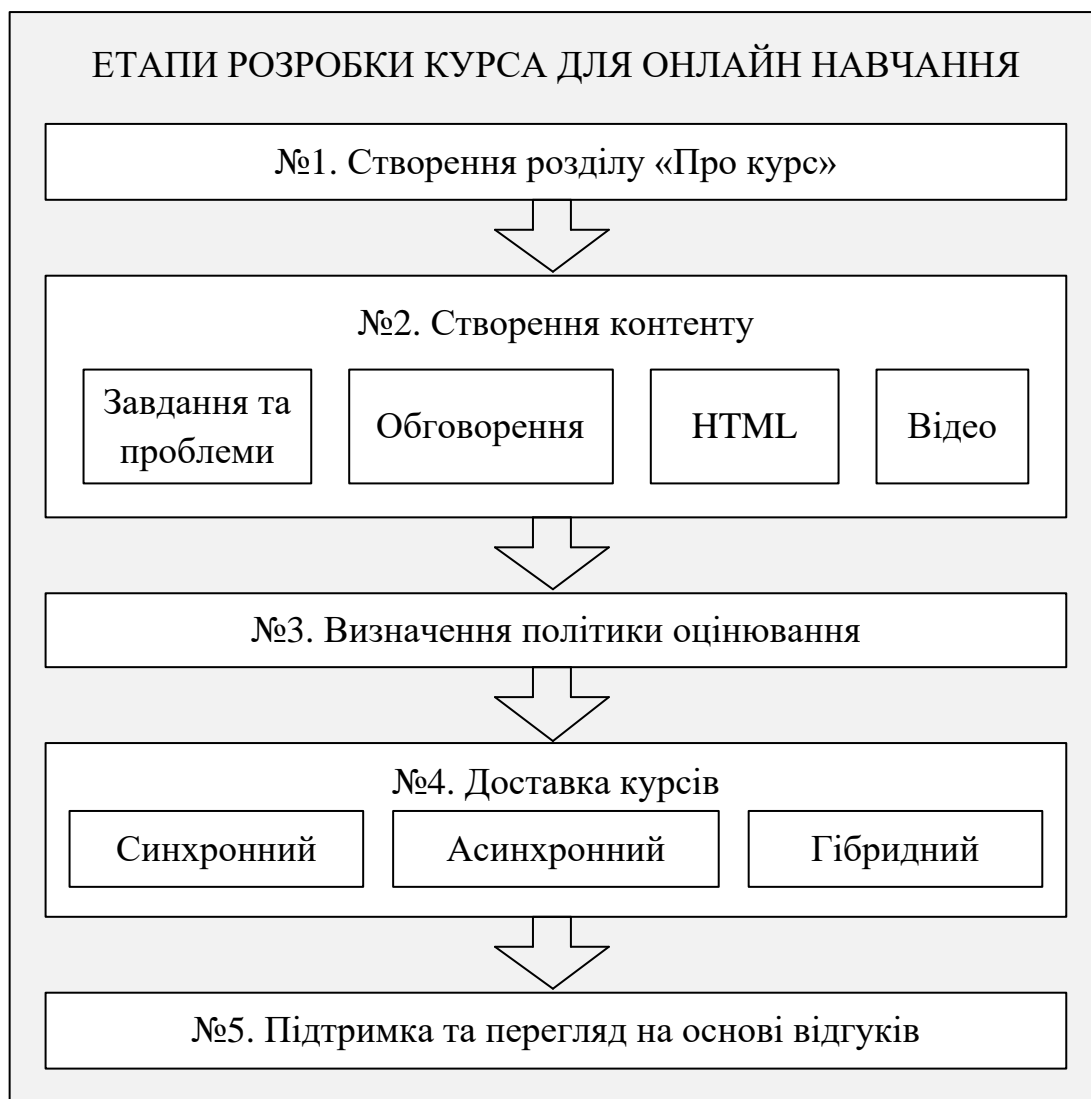


Рисунок 3.6 – Процес розробки курсів в Open edX

На відміну від інших платформ, які можуть обмежити параметри налаштування, Open edX дає можливість адаптувати сайт до конкретних потреб. Завдяки цій гнучкості організації все частіше переходять від пропрієтарних систем до Open edX [14].

3.3 Автоматизація навчання на платформі Open edX

Незважаючи на те, що поняття автоматизації є досить широким, у контексті онлайн навчання та онлайн курсів воно зводиться до базового аспекту – алгоритмів. З їх допомогою реалізуються різні функції, які контролюють певні частини систем навчання, звільняючи викладачів від додаткової рутинної роботи.

Алгоритми можуть контролювати доставку матеріалів різним групам студентів на основі їх успішності. Розглянемо на прикладі тестів та оцінювання. Автоматизація тестів може полягати в миттєвому показі правильної відповіді на певне питання або генерації цілих повноцінних вікторин на основі пройденого матеріалу. Автоматизація навчання – це свого роду AI, який допомагає викладачам розробляти першокласні навчальні курси. Викладачу не потрібно писати код, щоб користуватись автоматизацією, тому що це вбудовано в платформу Open edX. Приклади наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Види автоматизації навчання на платформі Open edX

№	Процес	Можливості автоматизації
1	Авторство	Алгоритми можуть формувати вміст для конкретного учня різними способами або надавати вміст різним учням залежно від їхніх навичок. Наприклад, навчальний курс може запропонувати початковий тест для засвоєння початкових знань і за результатами тесту видавати лише конкретні одиниці матеріалу.

Продовження табл. 3.1

№	Процес	Можливості автоматизації
2	Сповіщення та відгуки	Автоматизація розсилки студентам різних повідомлень. Наприклад, автоматичне повідомлення студентам про оновлення змісту курсу, нові завдання, майбутні тести тощо. Крім того, можна отримувати автоматичні повідомлення про зарахування на новий курс, виконане тестове завдання для перевірки тощо.
3	Досвід навчання	Алгоритми можуть забезпечити унікальний досвід навчання для кожного студента. Наприклад, студент не склав тест. Алгоритм оцінює, на які питання студент дав неправильні відповіді, і на основі цього аналізу надає матеріали для повторного вивчення тем електронною поштою. Або після завершення курсу алгоритм автоматично зараховує студента на наступний.
4	Обслуговування та підтримка учнів	У студентів можуть виникнути труднощі в засвоєнні курсу або запитання щодо курсу перед записом на нього. Чат-боти на основі ML та алгоритмів AI допоможуть вирішити проблеми та нададуть негайну підтримку, відповідатимуть на запитання користувачів і перенаправлятимуть учнів на сторінки поширених запитань.

Продовження табл. 3.1

№	Процес	Можливості автоматизації
5	Звітність	Звіти зазвичай складні, і чим детальніші вони, тим складніше їх створити. Однак, використовуючи алгоритми, можна автоматизувати збирання різноманітних даних, включаючи успішність студентів, відсоток здачі тестів, частоту зарахування та багато іншого. Також можна вказати потрібний формат документа, наприклад Excel, PDF або будь-який інший.

Приклади автоматизації наведені у табл. 3.1 демонструють, що вбудовані алгоритми сприяють покращенню процесу онлайн-навчання та забезпечують ефективніше використання платформи для користувачів.

3.4 Інтеграція Open edX із зовнішніми інструментами

Основним інструментом для розробки онлайн навчання Open edX є програмний пакет, що забезпечує потужне, гнучке середовище для спільної роботи для студентів, викладачів та організацій, що проводять онлайн навчання. Однак, враховуючи різноманітність і складність інструментів, доступних для створення та надання онлайн освітнього досвіду, дуже часто використовують додаткові інструменти, окрім вбудованих можливостей платформи Open edX.

LMS Open edX є однією з найкращих платформ для створення онлайн навчання, оскільки вона надає викладачам і дизайнерам освітніх установ різноманітні засоби трансформації традиційного навчання в навчання онлайн. Найбільш популярні інструменти для перенесення занять в онлайн наведені на рис. 3.7.

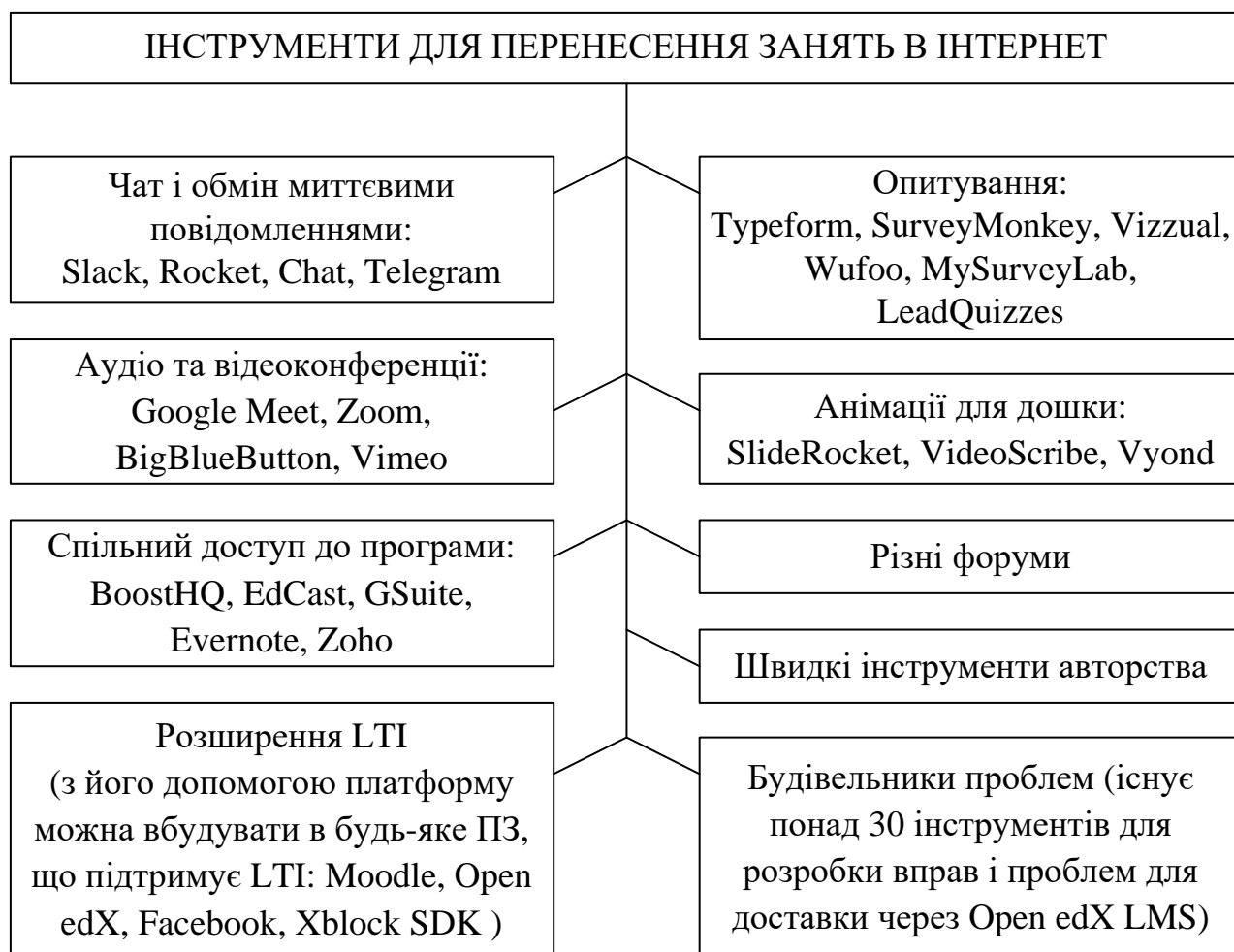


Рисунок 3.7 – Найпоширеніші інструменти для перенесення занять в Інтернет

Окрім інструментів для налаштування онлайн навчання, платформа Open edX може також інтегруватися з доступними зовнішніми інструментами для відстеження та аналізу поведінки користувачів (напр. Google Analytics), з інструментами автентифікацію для зручної реєстрації та доступу студентів до курсу, з інструментами LTI (Learning Tools Interoperability) для взаємодії різних засобів навчання та багатьма іншими інструментами [16].

Інтегрувавши деякі з додаткових інструментів із платформою Open edX, можна покращити взаємодію з користувачем, збагатити процес навчання, спростити адміністративні завдання, збирати цінні аналітичні дані для інформування про майбутні вдосконалення та багато інших речей.

Інтеграція зовнішніх інструментів із платформою Open edX пропонує переваги, які можуть покращити роботу користувача та результати навчання [16].

Інтеграція зовнішніх інструментів дозволяє:

- більш персоналізований підхід до навчання, оскільки студенти можуть отримати доступ до ресурсів, адаптованих до конкретних потреб предмета курсу;

- викладачам легко включати різноманітні інтерактивні мультимедійні елементи, такі як відео, моделювання та гейміфікацію, у свої курси, що підвищує залучення та мотивацію серед учнів;

- заощадити час і ресурси установам, використовуючи існуючі платформи замість розробки нових з нуля, що допомагає зменшити витрати та пришвидшує час розгортання нових функцій та оновлень;

- забезпечити гнучкість щодо вибору найкращого інструменту для конкретних завдань або цілей і спрощує роботу користувача.

Об'єднання зовнішніх інструментів із платформою Open edX може допомогти значно розширити її можливості та оптимізувати й автоматизувати процеси, такі як зарахування учнів, оцінювання чи створення облікових даних, водночас надаючи користувачам більш персоналізований досвід, що призводить до кращого залучення студентів та покращення освіти результати.

Продумано інтегрувавши зовнішні інструменти з платформою Open edX, можна створити більш потужне, привабливе та ефективне навчальне середовище для своїх користувачів.

3.5 Питання безпеки платформи Open edX

Жоден електронний ресурс не застрахований від проблем із безпекою, тому вкрай важливо розуміти, як ці вразливості можна виявити та запобігти. Як і для будь-якої іншої платформи, безпека Open edX є критично важливим

питанням. Без належних заходів безпеки навіть найцікавіші курси можуть бути під загрозою використання [17].

Найпоширеніші вразливості безпеки Open edX наведено на рис. 3.8.



Рисунок 3.8 – Найпоширеніші вразливості безпеки Open edX

Контроль доступу необхідний для того, щоб лише авторизовані користувачі мали доступ до певних ресурсів. Порушений контроль доступу означає, що зловмисник може обійти ці елементи керування, щоб отримати несанкціонований доступ до ресурсів. Для уникнення цього необхідно завчасно та належним чином впроваджувати, переглядати та регулярно тестувати програму. Для запобігання цій вразливості системи безпеки, потрібне поєднання технічних засобів контролю та організаційних політик [17].

Криптографічні збої в Open edX виникають, коли шифрування не реалізовано належним чином для захисту конфіденційних даних або під час використання слабких алгоритмів шифрування.

Атаки ін'єкції відбуваються, коли ненадійні дані надсилаються інтерпретатору як частина команди чи запиту.

Незахищений дизайн стосується недоліків дизайну, які дозволяють зловмисникам використовувати слабкі місця в системі. Це може статися, якщо безпека не розглядається на етапі проектування системи. Один із способів усунення цієї вразливості – впровадження моделювання загроз у процесі розробки, що покращує безпеку системи шляхом виявлення потенційних вразливостей.

Неправильна конфігурація безпеки виникає коли незахищені налаштування не перевіряються, що дозволяє зловмисникам використовувати платформу та отримати доступ до захищених даних. Це відбувається, якщо налаштування за замовчуванням не змінено або якщо конфігурації не переглядаються та не тестуються регулярно [17].

Зведення до мінімуму застарілих компонентів програмного забезпечення вимагає проактивного підходу до розробки та обслуговування програмного забезпечення.

Помилки автентифікації виникають, коли не застосовуються надійні заходи автентифікації (напр. багатофакторна автентифікація та вимоги до складності пароля). В такому випадку зловмиснику вдається обійти або використати слабкі механізми автентифікації, щоб отримати неавторизований доступ до системи або конфіденційних даних.

Збої цілісності виникають, коли цілісність платформи не підтримується належним чином, що дозволяє зловмисникам змінювати або пошкоджувати дані, що зберігаються на платформі.

Збої в спостереженні виникають, коли відсутні відповідні механізми моніторингу та журналювання. Це ускладнює виявлення інцидентів безпеки та реагування на них. Запобігання збоям у спостереженні вимагає проактивного підходу до моніторингу та попередження.

Довіра до ненадійних URL-адрес є поширеною вразливістю, через яку зловмисники можуть отримати доступ до даних. Неперевереним URL-адресам

ніколи не слід довіряти та їх слід уникати. Щоб уникнути ризику під час доступу до URL-адрес, потрібне поєднання технічного контролю та обізнаності користувачів [17].

Open edX має вразливі місця, якими потрібно керувати. Ефективним способом зробити це є загальна система оцінки вразливостей (CVSS), яка може допомогти організаціям визначити пріоритети та зменшити ризики. CVSS дозволяє користувачам оцінювати загрози та призначати оцінку вразливості, надаючи вказівку на її серйозність. Організації, які впроваджують CVSS, можуть краще керувати безпекою Open edX і захищати від потенційних загроз [18].

Необхідно вживати профілактичних заходів для захисту платформи онлайн навчання та бути готовими протистояти новим загрозам, які можуть виникнути в майбутньому, регулярно відстежуючи вразливі місця в безпеці.

Важливо регулярно перевіряти платформу Open edX на наявність вразливостей у безпеці та оцінювати, чи дії, які впровадили для усунення проблем, є достатніми та чи дозволять мінімізувати або уникнути поточних і майбутніх ризиків.

4 ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПЛАТФОРМИ OPEN EDX

4.1 Технічні варіанти виконання оптимізації веб-додатку

Для підтримки високого рівня якості освіти необхідно постійно вдосконалювати технологічні аспекти платформи. Оптимізація технічних процесів, зокрема бекенду, є важливим кроком у цьому напрямку. Це дозволяє підвищити продуктивність платформи, забезпечити її стабільну роботу під час великого навантаження та зменшити час очікування користувачів.

Бекенд Open edX платформи побудований на основі Django. Django – це популярний веб-фреймворк, який використовується для створення масштабованих веб-додатків за допомогою мови програмування Python. Він добре відомий своїм чистим та прагматичним дизайном, який заохочує швидку розробку. Django дотримується принципів «Не повторюйся» (Don't Repeat Yourself) і «Домовленість важливіше конфігурації» (Convention over Configuration), що означає, що він заохочує розробників писати менше коду, беручи на себе конфігурацію проекту. Це допомагає підтримувати чисту та організовану кодову базу.

Оптимізація продуктивності в Django передбачає покращення швидкості та ефективності веб-додатку Django, щоб гарантувати, що він може обробляти велику кількість запитів і забезпечувати зручну взаємодію з користувачем. Це може включати зменшення кількості запитів до бази даних, використання ефективних методів запитів, кешування, керування пам'яттю, профілювання коду тощо.

Розглянемо наступні напрямки оптимізації веб-додатку: кешування, оптимізація бази даних та довгострокові задачі.

Кешування - це спосіб, який дозволяє зберігати результат дорогої операції таким чином, щоб його можна було швидко отримати пізніше. Щоразу, коли користувач відвідує веб-додаток у фоновому режимі відбувається купа

речей, наприклад, збір даних (з бази даних і сторонніх API), їх обробка, застосування бізнес-логіки, тощо. Уся ця робота може призвести до значних втрат продуктивності. Ці втрати не є великою проблемою для більшості малих і середніх веб-програм, але в міру зростання програми необхідно розглянути можливість кешування, щоб скоротити обчислення та час обслуговування, звільнити базу даних від високого навантаження та обслуговувати більше користувачів одночасно.

Оптимізація бази даних - при правильному використанні Django ORM дозволяє звільнити базу даних від високого навантаження, мінімізувати запити до бази даних і зробити веб-додаток набагато швидшим. Оптимізація бази даних особливо важлива для високодинамічних програм, які не можуть використовувати кешування. Щоб забезпечити оптимальну продуктивність бази даних, необхідно використовувати стандартні методи оптимізації, такі як індексація бази даних і використання відповідних типів баз даних.

Довгострокові задачі - якщо робочий процес програми включає довготривалі процеси, слід обробляти їх асинхронно, а не блокувати цикл запит/відповідь. Припустимо, що веб-додаток надсилає електронний лист із підтвердженням після реєстрації користувача. Якщо надсилати електронний лист безпосередньо в циклі запиту/відповіді, користувачеві доведеться дочекатися відправлення електронного листа, перш ніж отримати відповідь від сервера. Це може призвести до поганої взаємодії з користувачем і повільної відповіді сервера. Найкращий спосіб звільнитись від циклу запит/відповідь – це використовувати розподілену чергу задач. Таким чином відповідь буде повернено негайно, поки окремий робочий процес виконає довгострокове завдання.

4.2 Оптимізація API ендпоінту у платформі Open edX

Ендпоінт – це кінцева точка (адреса) веб-додатку, яку можна викликати за допомогою HTTP. Іншими словами, це URL який представляє конкретний ресурс

або функцію, доступну через HTTP.

Ендпоінти використовуються для взаємодії з веб-сервісами, передачі даних між клієнтом і сервером за стандартами HTTP. Кожен HTTP ендпоінт може відповідати на певний тип HTTP-запиту (наприклад, GET, POST, PUT або DELETE) і повертати відповідь у визначеному форматі (наприклад, JSON або XML).

Профайлер – це інструмент аналізу продуктивності, який збирає дані для профілювання, переважно кількість викликів до бази даних і тривалість виконання функцій. Вихідний результат – потік записаних подій або статистичний короткий звіт спостережуваних подій.

Моя мета розглянути повільний ендпоінт, який знаходиться у Open edX платформі та оптимізувати його, використовуючи інструмент Django Silk для профайлінгу. Встановлення та налаштування профайлеру для використання зображено на рис. 4.1 – 4.4.

```

root@lms:/edx/app/edxapp/edx-platform# pip install django-silk
Looking in indexes: http://edx.devstack.devpi:3141/root/pypi/+simple/, https://pypi.python.org/simple
Collecting django-silk
  Downloading django_silk-5.1.0-py3-none-any.whl (1.8 MB)
    |#####| 1.8 MB 1.4 MB/s
Requirement already satisfied: Django>=3.2 in /edx/app/edxapp/venvs/edxapp/lib/python3.8/site-packages (from django-silk) (3.2.24)
Collecting autopep8
  Downloading autopep8-2.2.0-py2.py3-none-any.whl (45 kB)
    |#####| 45 kB 3.8 MB/s
Requirement already satisfied: sqlparse in /edx/app/edxapp/venvs/edxapp/lib/python3.8/site-packages (from django-silk) (0.4.3)
Collecting gprof2dot>=2017.09.19
  Downloading gprof2dot-2024.6.6-py2.py3-none-any.whl (34 kB)
Requirement already satisfied: asgiref<4,>=3.3.2 in /edx/app/edxapp/venvs/edxapp/lib/python3.8/site-packages (from Django>=3.2->django-silk) (3.5.2)
Requirement already satisfied: pytz in /edx/app/edxapp/venvs/edxapp/lib/python3.8/site-packages (from Django>=3.2->django-silk) (2022.2.1)
Collecting pycodestyle>=2.11.0
  Downloading pycodestyle-2.11.1-py2.py3-none-any.whl (31 kB)
Requirement already satisfied: tomli in /edx/app/edxapp/venvs/edxapp/lib/python3.8/site-packages (from autopep8->django-silk) (2.0.1)
Installing collected packages: pycodestyle, gprof2dot, autopep8, django-silk
  Attempting uninstall: pycodestyle
    Found existing installation: pycodestyle 2.8.0
    Uninstalling pycodestyle-2.8.0:
      Successfully uninstalled pycodestyle-2.8.0
Successfully installed autopep8-2.2.0 django-silk-5.1.0 gprof2dot-2024.6.6 pycodestyle-2.11.1

```

Рисунок 4.1 – Встановлення Django Silk у платформу

```

829
830 ##### Middleware #####
831
832 MIDDLEWARE = [
833     'silk.middleware.SilkyMiddleware',
834     'openedx.core.lib.x_forwarded_for.middleware.XForwardedForMiddleware',
835     'crum.CurrentRequestUserMiddleware',
836
837     # Resets the request cache.
838     'edx_django_utils.cache.middleware.RequestCacheMiddleware',
839
840     # Various monitoring middleware
841     'edx_django_utils.monitoring.CookieMonitoringMiddleware',
842     'edx_django_utils.monitoring.DeploymentMonitoringMiddleware',
843     'edx_django_utils.monitoring.MonitoringMemoryMiddleware',
844
845     # Before anything that looks at cookies, especially the session middleware
846     'openedx.core.djangoapps.cookie_metadata.middleware.CookieNameChange',
847
848     'openedx.core.djangoapps.header_control.middleware.HeaderControlMiddleware',
849     'django.middleware.cache.UpdateCacheMiddleware',
850     'django.middleware.common.CommonMiddleware',
851     'django.contrib.sites.middleware.CurrentSiteMiddleware',
852
853     # CORS and CSRF
854     'django.middleware.csrf.CsrfViewMiddleware',
855     'corsheaders.middleware.CorsMiddleware',
856     'openedx.core.djangoapps.cors_csrf.middleware.CorsCSRFMiddleware',
857     'openedx.core.djangoapps.cors_csrf.middleware.CsrfCrossDomainCookieMiddleware',
858
859     # JWT auth
860     'edx_rest_framework_extensions.auth.jwt.middleware.JwtAuthCookieMiddleware',
861

```

Рисунок 4.2 – Налаштування конфігурації для профайлера

Запустимо профайлер для LMS на платформі Open edX та розглянемо результати роботи, які зображено на рис. 4.5 – 4.6.

```
1541
1542 # The order of INSTALLED_APPS is important, when adding new apps here
1543 # remember to check that you are not creating new
1544 # RemovedInDjango19Warnings in the test logs.
1545 INSTALLED_APPS = [
1546     # Standard apps
1547     'django.contrib.auth',
1548     'django.contrib.contenttypes',
1549     'django.contrib.humanize',
1550     'django.contrib.redirects',
1551     'django.contrib.sessions',
1552     'django.contrib.sites',
1553     'django.contrib.messages',
1554     'django.contrib.staticfiles',
1555     'django_celery_results',
1556     'method_override',
1557
1558     'silk',
1559
1560     # Common Initialization
1561     'openedx.core.djangoapps.common_initialization.apps.CommonInitializationConfig',
1562
1563     # Common views
1564     'openedx.core.djangoapps.common_views',
1565
1566     # API access administration
1567     'openedx.core.djangoapps.api_admin',
1568
1569     # CORS and cross-domain CSRF
1570     'corsheaders',
1571     'openedx.core.djangoapps.cors_csrf',
1572
1573     # History tables
```

Рисунок 4.3 – Додавання профайлеру у використовувані програми

```
7
8
9 # MFE API urls
10 urlpatterns += [
11     path('api/mfe_config/v1', include(('lms.djangoapps.mfe_config_api.urls', 'lms.djangoapps.mfe_config_api'), namespace='mfe_config_api'))
12 ]
13
14 urlpatterns += [path('silk/', include('silk.urls', namespace='silk'))]
15
```

Рисунок 4.4 – Додавання профайлеру у URL-паттерни

Time	Method	Endpoint	Overall Time	Time on Queries	Queries
14:09:59.124	200 GET	/extensions/api/user_documents_list/	16898ms	7191ms	155
14:09:09.448	200 GET	/extensions/api/organisations/	329ms	17ms	4
14:09:09.160	200 GET	/extensions/api/user_info/	121ms	1ms	1
14:09:08.065	404 GET	/sockjs-node	266ms	2ms	1
14:09:06.942	200 GET	/extensions/solution_management_tool/	864ms	162ms	4
14:09:06.656	302 GET	/extensions/management_tool_handler/	168ms	2ms	1
14:08:54.970	200 GET	/dashboard/programs/	1022ms	171ms	6
14:08:35.553	200 GET	/courses	1804ms	191ms	10
14:08:21.416	200 GET	/dashboard	6037ms	583ms	35
14:08:21.184	302 GET	/	131ms	2ms	1
14:08:16.390	200 GET	/admin/	3003ms	191ms	4

Рисунок 4.5 – Головна сторінка перехвачених запитів

Using requests that executed seconds seconds ago, before date , and after date .

Summary

Requests	Profiles	Avg. Time	Avg. #Queries	Avg. DB Time
11	1	2786ms	20.18	758ms

Most Time Overall

Time	Method	Endpoint	Overall Time	Time on Queries	Queries
14:09:59.124	200 GET	/extensions/api/user_documents_list/	16898ms	7191ms	155
14:08:21.416	200 GET	/dashboard	6037ms	583ms	35
14:08:16.390	200 GET	/admin/	3003ms	191ms	4
14:08:35.553	200 GET	/courses	1804ms	191ms	10
14:08:54.970	200 GET	/dashboard/programs/	1022ms	171ms	6

Most Time Spent in Database

Time	Method	Endpoint	Overall Time	Time on Queries	Queries
14:09:59.124	200 GET	/extensions/api/user_documents_list/	16898ms	7191ms	155
14:08:21.416	200 GET	/dashboard	6037ms	583ms	35
14:08:35.553	200 GET	/courses	1804ms	191ms	10
14:08:54.970	200 GET	/dashboard/programs/	1022ms	171ms	6
14:09:06.942	200 GET	/extensions/solution_management_tool/	864ms	162ms	4

Рисунок 4.6 – Аналіз роботи платформи

Звернемо увагу на ендпоінт `/extensions/api/user_documents_list/`, який тягне за собою 155 запитів до бази даних і має великий час виконання відповіді. Розглянемо детальніше проблемний ендпоінт.

```

462
463
464     @require_GET
465     @login_required
466     def document_list(request):
467         documents = Document.objects.all().order_by('-created')
468         context = {
469             'document_list': documents,
470         }
471         return render_to_response('documents_list.html', context)
472

```

Рисунок 4.7 – Код ендпоінту `user_documents_list`

Для більш детального профайлінгу необхідно використати декоратор з Django Silk – `silk_profile`. Результати використання зображено на рис. 4.8 – 4.10.

```

463
464     @require_GET
465     @login_required
466     @silk_profile(name='Logs document_list')
467     def document_list(request):
468         documents = Document.objects.all().order_by('-created')
469         context = {
470             'document_list': documents,
471         }
472         return render_to_response('documents_list.html', context)
473

```

Рисунок 4.8 – Використання декоратору `silk_profile`

14:09:59:149

Logs document_list

15302ms overall
7189ms on queries
154 queries

`/edx/src/ernwest-edx-extensions/ernwest_edx_extensions/api/document/views.py:464`

Below shows where in your code this profile was defined. If your profile was defined dynamically (i.e. in your settings.py), then this will show the range of lines that are covered by the profiling.

```

...
def studio_archive_course(self, request, *args, **kwargs):
    instance = self.get_object()

    if instance.status == Document.STATUS_COURSE_ADDED:
        document_course_archiving(instance, request.user.id)

    return Response({"message": "The course has been successfully archived."})

@requires_get
@login_required
@profile(name='Logs document_list')
def document_list(request):
    documents = Document.objects.all().order_by('-created')
    context = {
        'document_list': documents,
    }
    return render_to_response('documents_list.html', context)
...

```

Рисунок 4.9 – Результат профайлінгу проблемного ендпоінту

14:09:59:124

200 GET

`/extensions/api/user_documents_list/`

16898ms overall
7191ms on queries
155 queries

At	Action	Tables	Num. joins	Execution Time (ms)
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_ernwestorganization'	0	47.020000
+	SELECT	'auth_user'	0	46.455000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_company'	0	42.363000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_office'	0	42.147000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_template'	0	42.638000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_ernwestorganization'	0	44.996000
+	SELECT	'auth_user'	0	42.614000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_company'	0	45.091000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_office'	0	43.647000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_template'	0	42.943000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_ernwestorganization'	0	41.601000
+	SELECT	'auth_user'	0	42.545000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_company'	0	42.943000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_office'	0	43.388000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_template'	0	43.460000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_ernwestorganization'	0	45.207000
+	SELECT	'auth_user'	0	42.146000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_company'	0	45.941000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_office'	0	42.892000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_template'	0	43.643000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_ernwestorganization'	0	48.015000
+	SELECT	'auth_user'	0	42.295000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_company'	0	43.109000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_office'	0	47.047000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_template'	0	42.527000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_ernwestorganization'	0	43.202000
+	SELECT	'auth_user'	0	42.837000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_company'	0	46.221000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_office'	0	42.276000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_template'	0	43.068000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_ernwestorganization'	0	43.319000
+	SELECT	'auth_user'	0	48.040000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_company'	0	47.807000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_office'	0	50.252000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_template'	0	45.079000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_ernwestorganization'	0	43.762000
+	SELECT	'auth_user'	0	48.511000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_company'	0	45.487000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_office'	0	51.397000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_template'	0	47.930000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_ernwestorganization'	0	46.207000
+	SELECT	'auth_user'	0	46.588000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_company'	0	50.750000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_office'	0	48.564000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_template'	0	47.082000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_ernwestorganization'	0	48.560000
+	SELECT	'auth_user'	0	46.489000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_company'	0	46.545000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_office'	0	45.698000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_template'	0	47.519000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_ernwestorganization'	0	48.512000
+	SELECT	'auth_user'	0	46.137000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_company'	0	50.069000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_office'	0	48.710000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_template'	0	53.415000
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_document'	0	60.305000
+	SELECT	'site_configuration_siteconfiguration'	0	77.622000
+	SELECT	'auth_userprofile'	0	162.022000
+	SELECT	'user_api_userpreference'	0	6.777000

Page 1 of 1.

Рисунок 4.10 – SQL запит для ендпоінту

У результаті профілювання виявлено, що поточний запит витягує значну кількість додаткових, непотрібних даних. Це призводить до зайвого навантаження на систему та знижує її ефективність. Необхідно провести аналіз використання даних на клієнтській стороні, щоб визначити, які саме дані є важливими. На основі цього аналізу слід оптимізувати запит, виключивши з нього зайву інформацію, що не використовується. Це дозволить значно підвищити продуктивність системи та зменшити час обробки запиту. Дані, які використовуються на клієнтській стороні можна побачити на рис. 4.11.

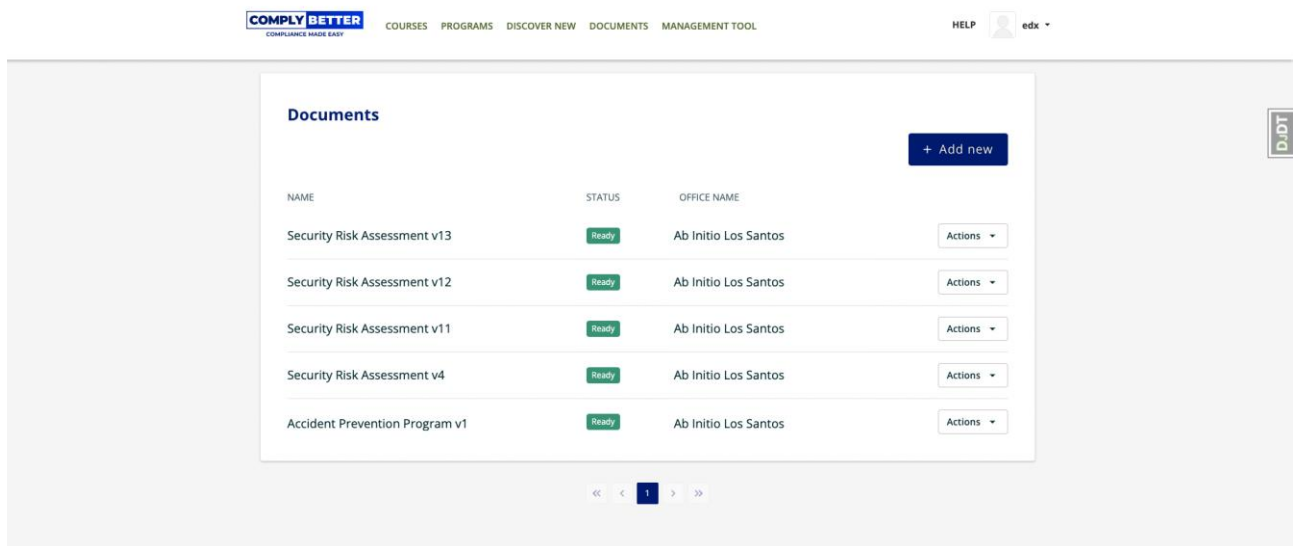


Рисунок 4.11 – Клієнтська сторона ендпоінту `/extensions/api/user_documents_list/`

Проаналізувавши використання даних, виявлено, що необхідними є лише наступні поля: ідентифікатор, ім'я документа, статус та назва офісу. Відповідно, необхідно переписати запит до бази даних, щоб він включав тільки ці дані. Результати оптимізації зображено на рис. 4.12 – 4.15.

```

462
463
464 @require_GET
465 @login_required
466 @silk_profile(name='Logs document_list')
467 def document_list(request):
468     documents = Document.objects.values('id', 'version', 'status', 'office__name').order_by('-created')
469     context = {
470         'document_list': documents,
471     }
472     return render_to_response('documents_list.html', context)
473

```

Рисунок 4.12 – Оптимізований код для ендпоінту

15:07:25.611

Logs document_list

607ms overall
197ms on queries
4 queries

/edx/src/ernwest-edx-extensions/ernwest_edx_extensions/api/document/views.py:464

Below shows where in your code this profile was defined. If your profile was defined dynamically (i.e. in your settings.py), then this will show the range of lines that are covered by the profiling.

```

...
def studio_archive_course(self, request, *args, **kwargs):
    instance = self.get_object()

    if instance.status == Document.Status.COURSE_ADDED:
        document_course_archiving(instance, request.user.id)

    return Response({"message": "The course has been successfully archived."})

@require_GET
@login_required
@silk_profile(name='Logs document_list')
def document_list(request):
    documents = Document.objects.values('id', 'version', 'status', 'office__name').order_by('-created')
    context = {
        'document_list': documents,
    }
    return render_to_response('documents_list.html', context)
...

```

Рисунок 4.13 – Профайлінг оптимізованого коду

15:07:25.611

200 GET /extensions/api/user_documents_list/

607ms overall
197ms on queries
4 queries

15:07:25.594

1046ms overall
199ms on queries
5 queries

At	Action	Tables	Num. Joins	Execution Time (ms)
+	SELECT	'ernwest_edx_extensions_document', 'ernwest_edx_extensions_office'	1	41.467000
+	SELECT	'site_configuration_siteconfiguration'	0	69.167000
+	SELECT	'auth_userprofile'	0	81.116000
+	SELECT	'user_api_userpreference'	0	4.956000

Page 1 of 1.
previous | next

Рисунок 4.14 – Оптимізований SQL запит

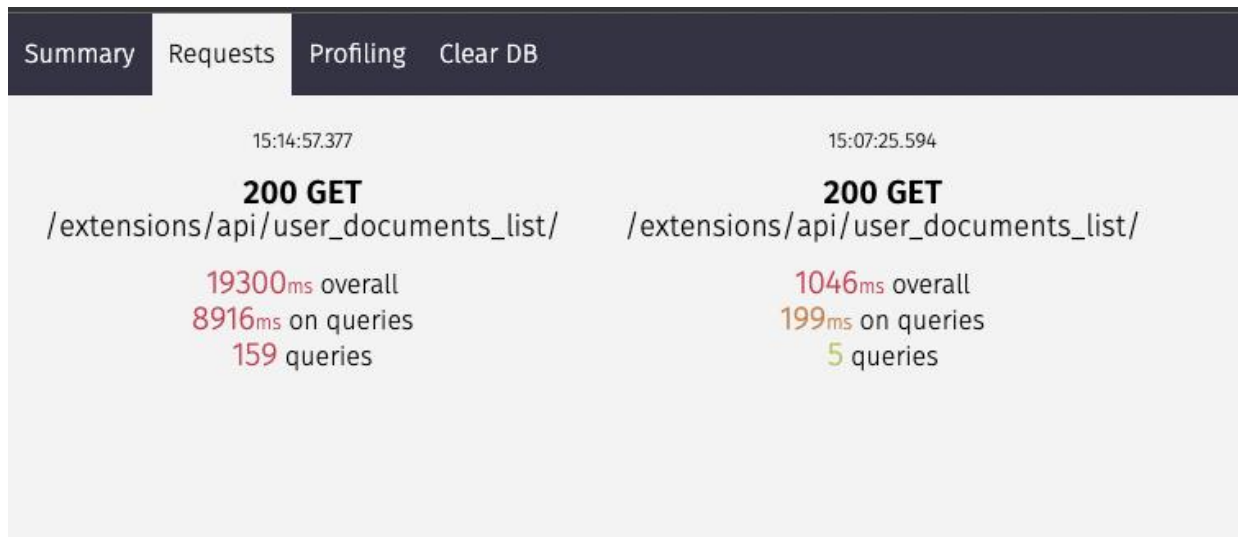


Рисунок 4.15 – Порівняння оптимізованої та неоптимізованої версій ендпоінта

В процесі профілювання було виявлено, що запит `/extensions/api/user_documents_list/` витягував надмірну кількість даних, що призводило до значного збільшення часу обробки запиту. На рис. 4.15 видно, що час виконання запиту становив 19300 мс, з яких 8916 мс витрачалося на обробку 159 SQL-запитів.

Для оптимізації продуктивності було проведено аналіз використання даних на клієнтській стороні. Виявилось, що для коректної роботи системи необхідно отримувати такі дані: ідентифікатор, назва документу, статус та назва офісу.

На основі цього аналізу було вирішено переписати запит таким чином, щоб він включав тільки ці необхідні поля. Це дозволило значно зменшити обсяг даних, що передаються, та зменшити кількість SQL-запитів.

Після внесення змін та оптимізації запиту було досягнуто значного покращення продуктивності:

- загальний час виконання запиту скоротився з 19300 мс до 1046 мс;
- час на обробку SQL-запитів скоротився з 8916 мс до 199 мс;
- кількість SQL-запитів зменшилась з 159 до 5.

Результати чітко показують, що оптимізація запиту призвела до значного підвищення продуктивності системи. Було використано профілювання для вимірювання часу виконання запитів до та після оптимізації, що дозволило об'єктивно оцінити ефективність впроваджених змін.

ВИСНОВКИ

В наш час онлайн навчання є дуже популярним у всьому світі. Але в Україні в умовах війни під час активних бойових дій онлайн навчання є вкрай важливим та необхідним для забезпечення доступу до освіти та безпеки здобувачів та педагогів.

В роботі було розглянуто ряд питань, що стосуються онлайн навчання та платформи Open edX. Open edX – це провідна платформа керування навчанням із відкритим кодом, що використовується для онлайн або змішаного навчання. Open edX пропонує зручний інтерфейс, інструменти для співпраці, гнучкі методи навчання, розширює можливості навчання та забезпечує комплексний та цікавий досвід.

В першому розділі кваліфікаційної роботи виконано аналіз розвитку та особливостей онлайн навчання, розглянуто переваги та недоліки онлайн навчання. Окрему увагу приділено визначенню особливостей онлайн навчання в Україні.

У другому розділі проаналізовані види систем онлайн навчання. Наведено класифікацію систем онлайн навчання, розглянуто системи управління навчанням та масові відкриті онлайн-курси. Виконано огляд та порівняння сучасних платформ онлайн навчання, а саме: Thinkific, Coursera, LinkedIn Learning, Skillshare, edX, OpenLearning, Udemy, Treehouse, MasterClass та Khan Academy.

Третій розділ присвячено аналізу платформи Open edX. Детально розглянуто архітектуру, функції та можливості платформи Open edX, автоматизація навчання, інтеграція Open edX із зовнішніми інструментами та питання безпеки платформи Open edX.

В четвертому розділі виконано оптимізацію продуктивності платформи Open edX. Описано технічні варіанти виконання оптимізації веб-додатку та проведено оптимізацію API ендпоінту.

Оптимізація продуктивності дозволила значно зменшити обсяг даних, що передаються, та кількість SQL-запитів. В результаті було досягнуто значного підвищення продуктивності системи, зокрема майже в 20 разів скоротився час виконання запиту, майже в 45 разів скоротився час на обробку SQL-запитів та в 32 рази зменшилась кількість SQL-запитів.

Частково результати роботи було апробовано на XXVIII Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка і молодь у XXI столітті» в рамках конференції «Перспективи розвитку інфокомунікацій та інформаційно-вимірювальних технологій» та опубліковано тези доповіді [19] за тематикою кваліфікаційної роботи.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Open edX [Електронний ресурс] // Appsembler. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://appsembler.com/glossary/open-edx-overview/>.
2. Raouna K. What is Online Learning? Brief History, Benefits & Limitations [Електронний ресурс] / Kyriaki Raouna // LearnWorlds. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.learnworlds.com/what-is-online-learning/>.
3. Portianyі A. History Of E-learning System [Електронний ресурс] / Anton Portianyі // AcademyOcean. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://academyocean.com/blog/post/history-of-e-learning-system>.
4. Cohen K. Advantages and Disadvantages of Online Classes [Електронний ресурс] / Kobi Cohen // International University of Applied Sciences. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iu.org/blog/studying-online/advantages-and-disadvantages-of-online-classes/>.
5. Malmstrom H. Online E-Learning System [Електронний ресурс] / Hannah Malmstrom // SC Training. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://training.safetyculture.com/blog/electronic-learning-management-system/>.
6. Sternecky L. Why Elearning is Essential in Higher Education [Електронний ресурс] / Lauren Sternecky // LearnDash. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: https://www.learndash.com/elearning-in-higher-ed-now-an-expectation/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw65-zBhBkEiwAjrQrMD7_DYD-j143wXI2C9ulbd6T98r1y4MXSEiCpKQGDts1SxoxXJWiIxoC7jsQAvD_BwE.
7. Josep G. 5 Reasons Why Online Learning is the Future of Education in 2024 [Електронний ресурс] / Gemma Josep // Educations. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.educations.com/articles-and-advice/5-reasons-online-learning-is-future-of-education-17146>.
8. Федоров Ю. Наскільки актуальне онлайн-навчання в Україні у 2024 році [Електронний ресурс] / Юрій Федоров // Kreschatic. – 2024. – Режим

доступу до ресурсу: <https://kreschatic.kiev.ua/ukrayina/2024/04/29/naskilky-aktualne-onlajn-navchannya-v-ukrayini-u-2024-roczi.html>.

9. Проблеми і перспективи розвитку онлайн-освіти : монографія / за заг. ред. д-рки екон. наук, проф. Т. А. Васильєвої, С. І. Котенка. – Суми : Сумський державний університет, 2023. – 125 с.

10. Рушанський С. Тренди онлайн навчання в 2024 році в Україні та 20 LMS для побудови системи навчання персоналу [Електронний ресурс] / Сергій Рушанський // HrAssist. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://hrassist.pro/uk/blog/trendi-onlajn-navchannya-v-2024-roczi-v-ukrayini-ta-30-lms-dlya-pobudovi-sistemi-navchannya-personalu>.

11. Raouna K. What is an LMS (Learning Management System)? [Електронний ресурс] / Kyriaki Raouna // LearnWorlds. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.learnworlds.com/lms-learning-management-system/>.

12. Burton C. The Top 10 Online Learning Platforms for 2024 [Електронний ресурс] / Colin Burton // Thinkific. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.thinkific.com/blog/online-learning-platforms/>.

13. Open edX Platform Architecture [Електронний ресурс] // Open edX. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: https://docs.openedx.org/en/latest/developers/references/developer_guide/architecture.html.

14. Open edX [Електронний ресурс] // Appsembler. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://appsembler.com/glossary/open-edx-overview/>.

15. Creating Online Training Courses on Open edX [Електронний ресурс] // Appsembler. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://appsembler.com/blog/creating-online-training-courses-on-open-edx/>.

16. Montoya J. C. 10 Ways of Integrating the Open edX Platform with External Tools [Електронний ресурс] / Juan Camilo Montoya // Open edX. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.edunext.co/articles/10-ways-of-integrating-the-open-edx-platform-with-external-tools/>.

17. Lipscomb-Vásquez W. Understanding Open edX Security Vulnerabilities [Електронний ресурс] / Wanda Lipscomb-Vásquez // Open edX. – 2023. – Режим

доступу до ресурсу: <https://www.edunext.co/articles/understanding-open-edx-security-vulnerabilities/>.

18. Lipscomb-Vásquez W. Manage Open edX Security Vulnerabilities with the Common Vulnerability Scoring System (CVSS) [Електронний ресурс] / Wanda Lipscomb-Vásquez // Open edX. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.edunext.co/articles/optimize-open-edx-security-with-cvss/>.

19. Галій А.К. Оптимізація процесу онлайн навчання на платформі Open edX / А.К. Галій, науковий керівник к.т.н., доц. Д.В. Чеботарьова // Тези доповідей 28-го Міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті». Збірник матеріалів форуму. Т.4. – Харків: ХНУРЕ. 2024. – С. 103 – 104.