

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР. ІІ - 76.00.00.000 ІІЗ

Група ІІ-22-3

Марків Назарій

2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Факультет інформаційних технологій

Кафедра інженерії програмного забезпечення

Марків Назарій Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 004.4
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Інтелектуальна система підвищення ефективності та професійності

медиків

(назва роботи)

Інженерія програмного забезпечення

(назва освітньої програми)

121 - Інженерія програмного забезпечення

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач освітнього рівня Марків Н.А.
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Юрчишин Володимир Миколайович, д.т.н., професор
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри

доц. Бандура В.В.
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут, факультет інформаційних технологій
Кафедра інженерії програмного забезпечення
Ступінь вищої освіти бакалавр
Спеціальність 121 – Інженерія програмного забезпечення

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою ІІЗ

доц. В.В. Бандура

“ ” 2026 р.

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Марківу Назарію Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема проекту (роботи) “ Інтелектуальна система підвищення ефективності та професійності медиків”

керівник проекту (роботи) Юрчишин Володимир Миколайович, д.т.н., професор

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 21 ” квітня 2026р. № 179/7

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Результати і матеріали отримані під час проходження переддипломної практики

4. Зміст розрахунково - пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз предметної області використання сучасних платформ для навчання медиків

2. Методологічні засади симуляційного навчання в медицині

3. Архітектура та функціональна модель системи управління навчанням медиків

4. Програмна реалізація системи підвищення ефективності та професійності медиків

5. Специфікація та опис інформаційних блоків пропонованої системи

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Систематизація аналітичних метрик у навчання медичних працівників (рис. 1.1, ст. 19)

2. Основні функціональні блоки платформи навчання медичних працівників (рис. 1.2, ст. 22)

3. Ключові преференції SBME підходу (рис. 2.1, ст. 26)

4. Структура SMART цілей для навчання з використанням стимуляційних платформ (рис. 2.2, ст. 29)

5. Інтерфейс програмного комплексу SimCapture (рис. 2.3, ст. 32)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 21 квітня 2026 р.

Керівник

_____ (підпис)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз предметної області використання сучасних платформ для навчання медиків	04.05.2026	виконано
2	Методологічні засади симуляційного навчання в медицині	15.05.2026	виконано
3	Архітектура та функціональна модель системи управління навчанням медиків	21.05.2026	виконано
4	Програмна реалізація системи підвищення ефективності та професійності медиків	28.05.2026	виконано
5	Специфікація та опис інформаційних блоків пропонуваної системи	03.06.2026	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки бакалаврської роботи завідувачем кафедри	10.06.2026	виконано

Студент – дипломник

_____ Марків Н.А.

(підпис)

Керівник роботи

_____ Юрчишин В.М.

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить 82 сторінки, 27 рисунків, список використаних джерел із 37 найменуваннями.

Мета роботи: розробка інтелектуальної системи управління симуляційним навчанням медиків, що забезпечує підвищення ефективності навчального процесу, об'єктивізацію оцінювання результатів та формування професійних компетентностей.

Об'єкт дослідження - процес навчання медичних працівників.

Предмет дослідження - методи, моделі та архітектурні рішення побудови інтелектуальних систем управління навчанням на основі аналізу мультимодальних даних.

В першому розділі проведено аналіз предметної області та обґрунтовано доцільність використання інтелектуальних систем у симуляційному навчанні медиків

В другому розділі визначено методологічні засади симуляційного навчання та підходи до підвищення його ефективності

В третьому розділі розроблено архітектуру та функціональну модель інтелектуальної системи управління навчанням

В четвертому розділі реалізовано програмний прототип системи та підтверджено її практичну придатність.

Висновок: реалізовано програмний прототип системи, що демонструє можливість підвищення ефективності освітнього процесу та рівня професійної підготовки медичних працівників

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА, СИМУЛЯЦІЙНЕ НАВЧАННЯ, МЕДИЧНА ОСВІТА, МУЛЬТИМОДАЛЬНІ ДАНІ, АНАЛІЗ ДАНИХ, ХМАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ПРОФЕСІЙНА ПІДГОТОВКА, ОЦІНЮВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ НАВЧАННЯ

ANNOTATION

The bachelor's thesis contains 82 pages, 27 figures, a list of used sources with 37 names.

Purpose of the work: development of an intelligent system for managing simulation training of doctors, which ensures increasing the efficiency of the educational process, objectification of the assessment of results and formation of professional competencies.

The object of the study is the process of training of medical workers.

The subject of the study is methods, models and architectural solutions for building intelligent training management systems based on multimodal data analysis.

The first section analyzes the subject area and justifies the feasibility of using an intelligent system in simulation training of doctors.

The second section defines the methodological principles of simulation training and approaches to increasing its efficiency

The third section develops the architecture and functional model of the intelligent training management system

The fourth section implements a software prototype of the system and confirms its practical suitability.

Conclusion: a software prototype of the system has been implemented, demonstrating the possibility of increasing the efficiency of the educational process and the level of professional training of medical workers.

KEYWORDS: INTELLIGENT SYSTEM, SIMULATION LEARNING, MEDICAL EDUCATION, MULTIMODAL DATA, DATA ANALYSIS, CLOUD TECHNOLOGIES, PROFESSIONAL TRAINING, ASSESSMENT, LEARNING AUTOMATION

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ..... 10

ВСТУП..... 11

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ НАВЧАННЯ

МЕДИКІВ..... 14

1.1. Аналіз проблеми медичних помилок та ролі симуляційного навчання в сучасній медичній освіті 14

1.2. Концептуалізація інтелектуальних систем управління симуляційним навчанням у медичній освіті..... 16

1.2.1. Архітектурні принципи та функціональні можливості хмарно-орієнтованих платформ для підготовки медиків 16

1.2.2. Роль інформаційних технологій у трансформації симуляційної парадигми..... 17

1.2.3. Функціональна архітектура пропонованого рішення..... 18

1.3. Класифікація та методологія збору мультимодальних даних для об'єктивізації результатів навчання медичних працівників 18

1.3.1. Систематизація аналітичних метрик..... 18

1.3.2. Інтеграція даних у прогностичні моделі..... 20

1.4. Особливості розробки та впровадження хмарно-орієнтованої системи управління навчанням медичних фахівців..... 21

1.4.1. Архітектура та функціональні можливості інтелектуальної платформи для стандартизації симуляційної медичної освіти..... 21

1.4.2. Об'єктивізація оцінювання та мультимодальний аналіз даних 23

1.5 Висновки по розділу 24

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Інтелектуальна система підвищення ефективності та професійності медиків Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Акрушіє	
Розроб.		Марків Н.А.							
Перевір.		Юрчишин В.М.					6		
Реценз.		Григорчук Л.І.				ІФНТУНГ ІП-22-3			
Н. Контр.		Піх М.М.							
Затверд.		Бандура В.В.							

РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ СИМУЛЯЦІЙНОГО НАВЧАННЯ В МЕДИЦИНІ 25

- 2.1. Концептуалізація та преференції симуляційних технологій у медичній освіті 25
- 2.2. Методологічні основи проектування та оцінювання результативності програм симуляційного навчання 27
 - 2.2.1. Рекомендації щодо створення та дизайну симуляційних програм . 28
 - 2.2.2. Індивідуалізація зворотного зв'язку..... 29
- 2.3. Технологічний базис та програмні рішення для управління процесами симуляційного навчання 31
 - 2.3.1. Еволюція систем управління навчанням та їх адаптація до специфіки медичної освіти..... 31
 - 2.3.2. Спеціалізовані рішення для систем навчання медичних працівників..... 32
- 2.4 Висновки по розділу 33

РОЗДІЛ 3. АРХІТЕКТУРА ТА ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НАВЧАННЯМ МЕДИКІВ..... 35

- 3.1. Багаторівнева структура збору та аналізу даних..... 35
 - 3.1.1. Рівень суб'єкта навчання..... 35
 - 3.1.2. Рівень експертного контролю 36
 - 3.1.3. Рівень технологічного середовища 37
- 3.2. Концептуальна модель стандартизованого процесу симуляційного навчання..... 38
 - 3.2.1. Проектування та генерація стандартизованої навчальної програми..... 39
 - 3.2.2. Мультимодальний збір даних симуляційного сценарію..... 40
 - 3.2.3. Аналітична оцінка результативності та освітня статистика..... 40

3.3. Архітектурна побудова та системні характеристики інтелектуальної платформи управління навчанням	41
3.3.1. Ключові архітектурні принципи та атрибути системи.....	41
3.3.2. Функціональна декомпозиція рівнів архітектури.....	43
3.4. Клієнтські інтерфейси та мультимодальна взаємодія презентаційного рівня.....	45
3.4.1. Веб-інтерфейс адміністрування та прогностичної аналітики	45
3.4.2. Термінал збору та обробки біометричних сигналів	46
3.5. Архітектура та функціональна логіка прикладного рівня інтелектуальної системи	47
3.5.1. Функціональна типізація серверних сервісів	48
3.5.2. Деталізація компонентної структури рівня додатків	49
3.6. Мережева взаємодія та інтелектуальні методи обробки сигналів.....	51
3.6.1. Протоколи обміну даними та семантика RESTful API	51
3.6.2. Поточкова передача даних за протоколом STOMP	52
3.7 Висновки по розділу	53

РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СТИМУЛЯЦІЙНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ПРОФЕСІЙНОСТІ МЕДИКІВ

4.1. Організація архітектури персистентності та моделювання даних симуляційного навчання	55
4.1.1. Моделювання сутностей навчальної програми.....	56
4.1.2. Моделювання даних сесій	60
4.2. Структура та організація динамічних даних симуляційних сесій.....	60
4.2.1. Функціональна декомпозиція сутностей сесійного рівня.....	61
4.2.2. Синхронізація та цілісність мультимодальних даних	63
4.3. Специфікація та опис інформаційних блоків головної панелі керування навчальної платформи.....	63

4.4. Опис інтерфейсу моніторингу та адміністрування навчальних курсів	66
4.5. Опис інтерфейсу управління профілями учнів та моніторингу індивідуального прогресу	68
4.6. Специфікація інтерфейсу моніторингу результатів сесії	71
4.7. Опис інтерфейсу оцінки навчальних досягнень та валідації освітніх цілей	74
4.8 Висновки по розділу	76
ВИСНОВКИ	77
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	79
БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА	

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ACGME – Accreditation Council for Graduate Medical Education

BLOB – Binary Large Object

BPM – Beats Per Minute

BVP – Blood Volume Pulse

CORS – Cross-Origin Resource Sharing

FFT – Fast Fourier Transform

GSR – Galvanic Skin Response

HCP – Healthcare Professional

HR – Heart Rate

HRV – Heart Rate Variability

IBI – Inter-Beat Interval

SBME – Simulation-Based Medical Education

SMART – Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound

STOMP – Streaming Text Oriented Messaging Protocol

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасний етап розвитку систем охорони здоров'я характеризується зростанням вимог до якості підготовки медичних фахівців, що зумовлено як ускладненням клінічних процесів, так і необхідністю мінімізації ризиків для пацієнтів. У цьому контексті особливого значення набуває впровадження інноваційних освітніх технологій, здатних забезпечити ефективне формування професійних компетентностей. Одним із ключових напрямів трансформації медичної освіти є використання симуляційного навчання, яке дозволяє відтворювати клінічні ситуації в контрольованому середовищі без загрози для життя та здоров'я пацієнтів.

Разом із тим традиційні підходи до організації симуляційного навчання мають низку обмежень, зокрема суб'єктивність оцінювання, недостатній рівень аналітичної підтримки та відсутність інтегрованих механізмів збору й обробки даних. Розвиток інформаційних технологій, зокрема хмарних обчислень, штучного інтелекту та аналізу великих даних, створює передумови для формування нових підходів до управління освітніми процесами.

У зв'язку з цим актуальним є створення інтелектуальних систем, що поєднують можливості симуляційного навчання з автоматизованим аналізом мультимодальних даних та підтримкою прийняття рішень. Такі системи здатні забезпечити об'єктивізацію оцінювання, індивідуалізацію навчання та підвищення загальної ефективності підготовки медичних працівників.

У даній роботі розглянуто підходи до побудови інтелектуальної системи управління симуляційним навчанням медиків, визначено її архітектурні та функціональні особливості, а також реалізовано програмний прототип, що демонструє можливості практичного застосування запропонованих рішень.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Актуальність роботи

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю підвищення якості медичної освіти в умовах зростання складності клінічної практики та високих вимог до професійної підготовки медичних працівників. Значна кількість медичних помилок, що виникають унаслідок недостатнього рівня практичних навичок і неефективних методів навчання, обумовлює потребу в удосконаленні освітніх технологій.

Симуляційне навчання розглядається як один із найбільш перспективних напрямів підготовки медиків, проте його ефективність обмежується відсутністю інструментів об'єктивного оцінювання та системної аналітики. Водночас сучасні інформаційні технології відкривають можливості для створення інтелектуальних платформ, здатних інтегрувати різноманітні дані, здійснювати їх аналіз та формувати адаптивні рекомендації.

Особливої актуальності набуває використання мультимодальних даних, що включають поведінкові, фізіологічні та експертні показники, для підвищення точності оцінювання результатів навчання. Крім того, впровадження хмарно-орієнтованих архітектур забезпечує масштабованість та доступність освітніх систем.

Таким чином, розробка інтелектуальної системи управління симуляційним навчанням є важливим завданням, спрямованим на підвищення ефективності та професійності медичних працівників.

Метою роботи є розробка інтелектуальної системи управління симуляційним навчанням медиків, що забезпечує підвищення ефективності навчального процесу, об'єктивізацію оцінювання результатів та формування професійних компетентностей.

Об'єкт дослідження - процес навчання медичних працівників.

Предмет дослідження - методи, моделі та архітектурні рішення побудови інтелектуальних систем управління навчанням на основі аналізу мультимодальних даних.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати сучасний стан медичної освіти та проблеми медичних помилок.
2. Дослідити методологічні засади симуляційного навчання.
3. Розробити концептуальну та архітектурну модель інтелектуальної системи.
4. Сформувати підхід до збору та аналізу мультимодальних даних.
5. Реалізувати програмний прототип системи.

Методи дослідження

У роботі використано методи системного аналізу для дослідження предметної області, методи моделювання для побудови архітектури системи, методи аналізу даних для обробки мультимодальної інформації, а також методи програмної інженерії для реалізації програмного забезпечення.

Наукова новизна

Наукова новизна полягає у розробці комплексного підходу до побудови інтелектуальної системи управління симуляційним навчанням медиків, що базується на інтеграції мультимодальних даних та використанні аналітичних методів для об'єктивізації оцінювання. Удосконалено архітектурну модель системи за рахунок впровадження багаторівневої структури збору та обробки даних. Запропоновано підхід до стандартизації симуляційного навчання з використанням інтелектуальних технологій.

Практичне застосування

Результати роботи можуть бути використані у медичних навчальних закладах та центрах для підвищення якості підготовки фахівців. Розроблена система забезпечує автоматизацію процесів навчання, моніторингу та оцінювання результатів.

Бакалаврська робота містить 82 сторінки, 27 рисунків, 4 розділи, список використаних джерел із 37 найменуваннями.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ НАВЧАННЯ МЕДИКІВ

1.1. Аналіз проблеми медичних помилок та ролі симуляційного навчання в сучасній медичній освіті

Проблема безпеки пацієнтів залишається однією з найбільш гострих детермінант сучасної системи охорони здоров'я. Фундаментальна доповідь Інституту медицини (ІОМ) в 1999 р. стала відправною точкою для глобального перегляду підходів до мінімізації медичних ризиків, закликавши до системних зусиль на національному рівні [1]. Сучасні статистичні дані свідчать про те, що кожен третій госпіталізований пацієнт потенційно стикається з побічними ефектами терапії, а медична помилка посідає третє місце серед причин смертності після серцево-судинних та онкологічних захворювань [2, 3].

Генезис медичних помилок має мультифакторну природу. Ключовими дефіцитами, що призводять до небажаних подій, є:

- Когнітивні фактори: брак актуальних знань та помилковість клінічних суджень;
- Комунікативні бар'єри: неефективна міжособистісна взаємодія в медичних бригадах;
- Технічні недоліки: недостатній рівень володіння практичними навичками та маніпуляціями [4].

Традиційні методи підготовки медичних кадрів, що базуються на пасивному засвоєнні знань (лекційно-демонстраційний формат), виявляють свою невідповідність вимогам динамічного клінічного середовища. Вони не забезпечують необхідного рівня залученості та не формують стійких психомоторних реакцій. У зв'язку з цим, протягом останнього десятиліття

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

спостерігається парадигмальний зсув у бік активного навчання (Active Learning), орієнтованого на студента, що сприяє глибшій інтерналізації компетенцій та кращому збереженню знань [5].

Симуляційне медичне навчання (Simulation-Based Medical Education, SBME) постає як високоефективна освітня стратегія, що використовує моделювання клінічних сценаріїв з високим ступенем вірогідності. SBME дозволяє відтворити складні ситуації в контрольованому середовищі, виключаючи ризики для життя пацієнта [6]. Емпіричні дослідження підтверджують, що фахівці, які пройшли підготовку на основі SBME, демонструють значно вищі показники клінічної компетентності, що корелює з покращенням показників одужання та зниженням рівня ятрогенних ускладнень [7–11].

Попри доведену ефективність, широке впровадження SBME стикається з низкою методологічних та технологічних обмежень, які потребують наукового вирішення:

- відсутність стандартизації: на сьогодні не існує єдиної, загальноприйнятої навчальної програми SBME для багатьох вузькоспеціалізованих дисциплін. Варіативність підходів між установами ускладнює валідацію результатів навчання.

- проблема документування: сценарії симуляцій часто існують у статичних, негнучких форматах, що перешкоджає їхній адаптації до нових клінічних протоколів та обміну досвідом у межах професійної спільноти.

- дискретність оцінювання: поточна практика оцінювання результатів часто має суб'єктивний характер і зводиться до бінарної шкали «зараховано/не зараховано». Це не дозволяє виміряти «дельту» прогресу або провести диференціацію між рівнями майстерності (наприклад, перехід від «новачка» до «компетентного фахівця»).

- дефіцит предиктивної аналітики: відсутність централізованих баз даних та інструментів збору об'єктивних метрик (performance metrics) під час

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

самої симуляції унеможливилює точне прогнозування кількості сесій, необхідних конкретному учневі для досягнення експертного рівня.

Таким чином, існує об'єктивна потреба у створенні інтелектуальних систем управління навчанням, які б забезпечували стандартизацію контенту, об'єктивізацію оцінки на основі великих даних (Big Data) та надавали структурований, кількісно виражений зворотний зв'язок. Розв'язання цих питань дозволить трансформувати SBME з допоміжного методу в доказову інженерну систему формування професійної надійності медичного персоналу.

1.2. Концептуалізація інтелектуальних систем управління симуляційним навчанням у медичній освіті

1.2.1. Архітектурні принципи та функціональні можливості хмарно-орієнтованих платформ для підготовки медиків

Симуляційне медичне навчання на сучасному етапі постає як провідна стратегія формування цілісного спектра професійних компетенцій медичних працівників, що охоплює когнітивний, афективний та психомоторний домени. Попри доведену ефективність, існуючі методології SBME потребують суттєвої модернізації з метою підвищення якості освітнього досвіду та забезпечення адаптивності навчання до індивідуальних потреб фахівців.

Аналіз поточної практики реалізації симуляційних сценаріїв дозволяє виділити низку критичних дефіцитів, що обмежують потенціал даної освітньої моделі:

1. Складність проектування та відсутність колаборації: Симуляційний сценарій є багаторівневою структурою, що складається з детермінованої послідовності клінічних подій. Створення якісного контенту вимагає залучення мультидисциплінарної команди фахівців. Проте на сьогодні

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

відсутні уніфіковані цифрові механізми для міжінституційної співпраці та горизонтального обміну верифікованими навчальними програмами.

2. Дефіцит гранулярного зворотного зв'язку: Традиційні підходи до оцінювання в SBME часто мають дискретний характер і не забезпечують учасників та інструкторів достатнім обсягом об'єктивних, кількісно виражених даних. Це унеможлиблює проведення детального аналізу помилок та гальмує процес переходу від теоретичного засвоєння до впевненого володіння навичкою.

1.2.2. Роль інформаційних технологій у трансформації симуляційної парадигми

Інтеграція сучасних інформаційних технологій дозволяє подолати вищевказані обмеження шляхом автоматизації процесів збору та обробки даних. Використання веб-орієнтованих рішень забезпечує трансформацію сирової інформації, отриманої під час симуляції, у валідні аналітичні показники.

У межах даної роботи пропонується концепція багаторівневої інтелектуальної системи управління навчанням, завданнями якої є:

- надання інструментарію для легкого створення та структурування цифрових навчальних планів викладачами, техніками симуляційних центрів та дослідниками.

- впровадження комплексних наборів даних для об'єктивізації результатів навчання, що дозволяє відійти від суб'єктивних експертних оцінок на користь метрик, заснованих на доказах.

- надання індивідуалізованого зворотного зв'язку на основі кількісних показників успішності кожного учасника.

- використання методів інтелектуального аналізу даних для прогнозування динаміки набуття навичок та визначення майбутніх потреб у навчанні.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.3. Функціональна архітектура пропонованого рішення

Запропонована система базується на багаторівневій архітектурі, що дозволяє масштабувати навчальний контент та забезпечувати доступ до нього через веб-інтерфейс. Це вирішує проблему ізольованості симуляційних центрів, створюючи єдине інформаційне поле для академічної та професійної спільноти.

Зокрема, впровадження хмарних технологій дозволяє не лише зберігати сценарії, а й проводити порівняльний аналіз успішності різних груп учнів, що є критично важливим для оцінки ефективності самих навчальних програм та їхньої відповідності міжнародним стандартам медичної допомоги.

Перехід до використання інтегрованих цифрових платформ у SBME дозволяє трансформувати симуляцію з епізодичного заходу в керований, безперервний та об'єктивно вимірюваний процес професійного розвитку медичного персоналу.

1.3. Класифікація та методологія збору мультимодальних даних для об'єктивізації результатів навчання медичних працівників

Для переходу від суб'єктивного експертного спостереження до доказової моделі оцінювання компетентності, інтелектуальна система має здійснювати агрегацію та аналіз мультимодальних даних. Це дозволяє сформувати комплексний цифровий профіль фахівця, що базується не лише на фінальному результаті маніпуляції, а й на процесуальних характеристиках її виконання.

1.3.1. Систематизація аналітичних метрик

У межах розробленої архітектури дані, що підлягають збору та інтерпретації, класифікуються за чотирма ключовими доменами:

1. Часові (темпоральні) показники:

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальний час виконання сценарію (Time-to-Task): базова метрика, що вказує на рівень автоматизму навичок.

Латентність реакції: час між виникненням критичної події (наприклад, зупинка серця у віртуального пацієнта) та початком цільової дії інтервента.

Дискретність етапів: тривалість окремих «навчальних подій» у структурі сценарію, що дозволяє виявити конкретні етапи, на яких учень відчуває труднощі.

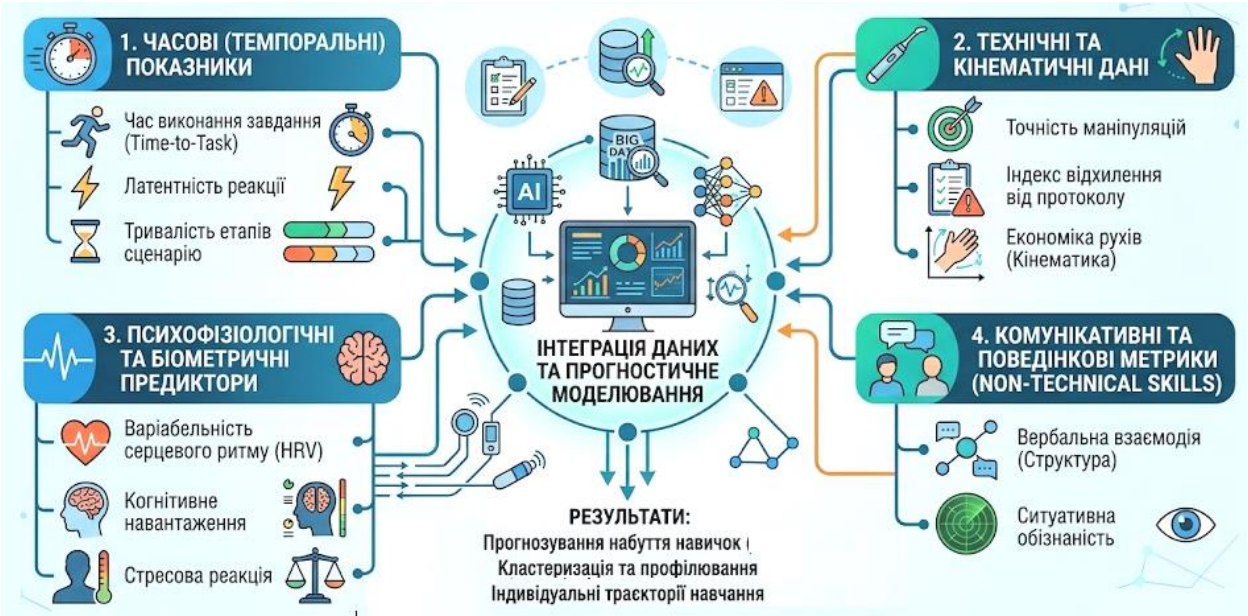


Рисунок 1.1 – Систематизація аналітичних метрик у навчання медичних працівників

2. Технічні та кінематичні дані:

Точність маніпуляцій: кількість успішних спроб щодо загальної кількості дій.

Індекс відхилення від протоколу: автоматизована фіксація порушень послідовності дій, передбачених клінічними настановами.

Економіка рухів: аналіз траєкторії та амплітуди рухів (особливо актуально для лапароскопічних симуляцій), що є прямим предиктором переходу від рівня «новачка» до «майстра».

3. Психофізіологічні та біометричні предиктори:

Варіабельність серцевого ритму (HRV): інтегральний показник стресостійкості та вегетативного балансу під час прийняття рішень у критичних ситуаціях.

Рівень когнітивного навантаження: визначається на основі аналізу фізіологічних маркерів (наприклад, частота кліпання, розширення зіниць або електроенергія активності мозку), що дозволяє оцінити, наскільки виконання завдання виснажує ресурси учня.

Динаміка стресової реакції: кореляція між складністю симуляційного стимулу та фізіологічною відповіддю організму, що є важливим для підготовки до роботи в умовах високого психоемоційного напруження.

4. Комунікативні та поведінкові метрики (Non-technical skills):

Інтенсивність та структура вербальної взаємодії: аналіз комунікації в команді (за допомогою методів обробки природної мови, NLP) для оцінки лідерських якостей та ефективності передачі інформації.

Ситуативна обізнаність: здатність учня адекватно інтерпретувати зміни в середовищі, що фіксується через послідовність звернень до моніторів або обладнання.

1.3.2. Інтеграція даних у прогностичні моделі

Процес збору вищезазначених даних не є самоціллю, а виступає фундаментом для функціонування аналітичного модуля системи. Використання методів машинного навчання дозволяє:

- проводити кластеризацію учнів: автоматично розподіляти фахівців на групи за рівнем підготовки (Novice, Advanced Beginner, Competent, Proficient, Expert).
- Визначати індивідуальні криві навчання: прогнозувати, після якої кількості повторень конкретний студент досягне плато майстерності.
- Верифікувати валідність сценаріїв: якщо значна кількість учнів демонструє аномально високий стрес або помилки на певному етапі, це може

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

свідчити про недоліки в дизайні самої навчальної програми, а не про низьку підготовку персоналу.

Впровадження мультимодального моніторингу в практику SBME дозволяє трансформувати суб'єктивний відгук викладача в об'єктивний аналітичний звіт. Це забезпечує не лише високу точність оцінювання, а й створює умови для формування індивідуалізованих освітніх траєкторій, що є критично важливим для сучасної доказової медичної освіти.

1.4. Особливості розробки та впровадження хмарно-орієнтованої системи управління навчанням медичних фахівців

1.4.1. Архітектура та функціональні можливості інтелектуальної платформи для стандартизації симуляційної медичної освіти

У сучасній парадигмі медичної освіти безперервне вдосконалення професійних компетенцій персоналу є визначальним фактором мінімізації іатрогенних помилок та оптимізації клінічних результатів. Симуляційне медичне навчання (Simulation-Based Medical Education, SBME) постає як домінантна методологія, що забезпечує безпечне середовище для апробації практичних навичок. Проте існуюча практика SBME стикається з проблемою дефіциту стандартизованих інструментів для верифікації результатів. Традиційні підходи до оцінювання часто обмежуються бінарною метрикою «зараховано/не зараховано» та суб'єктивним дебрифінгом, що не дозволяє здійснити глибокий аналіз динаміки набуття навичок або виявити латентні дефіцити в підготовці фахівців.

Для подолання вказаних обмежень у межах даної роботи розроблено концепцію багаторівневої хмарної системи управління навчанням (Learning Management System, LMS) з відкритим доступом. Запропоноване рішення базується на принципах доказової медицини та науково обґрунтованих

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

настановах SBME, трансформуючи процес адміністрування навчання в інтуїтивно зрозумілу, керовану даними екосистему.

Запропонована система забезпечує цифрову трансформацію повного циклу освітнього процесу — від проектування навчальних програм до прогностичної аналітики результатів. Основними функціональними блоками платформи є:

- Дизайнер навчальних траєкторій: дозволяє інструкторам структурувати цифрові програми, чітко визначаючи когнітивні та психомоторні цілі згідно з міжнародними стандартами.

- Модуль адаптивного тестування: інтегрує настроювані форми пре- та пост-симуляційного оцінювання. Це дає змогу верифікувати не лише фінальний рівень компетентності, а й дельту приросту знань, що є критичним для оцінки ефективності конкретного симуляційного сценарію.

- Конструктор симуляційних сценаріїв: базується на декомпозиції навчання на окремі «навчальні події». Кожна подія є цільовим стимулом, спрямованим на відпрацювання конкретної маніпуляції або прийняття клінічного рішення.

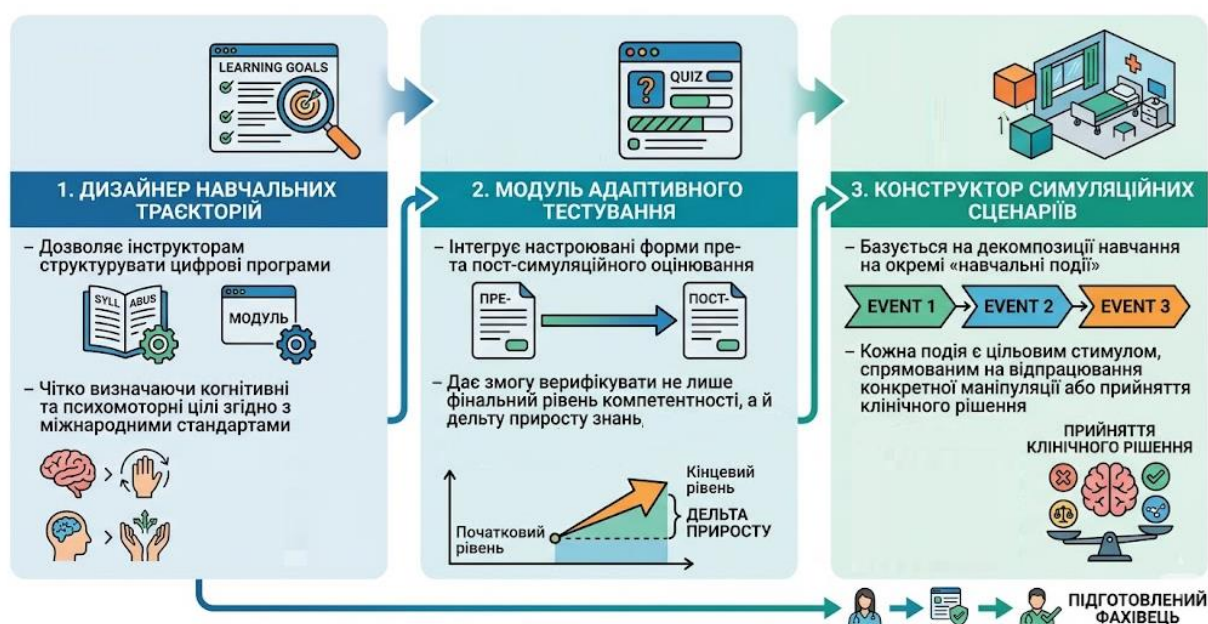


Рисунок 1.2 – Основні функціональні блоки платформи навчання медичних працівників

1.4.2. Об'єктивізація оцінювання та мультимодальний аналіз даних

Ключовою особливістю системи є перехід від дискретного оцінювання до безперервного моніторингу за рахунок інтеграції наступних механізмів:

- Динамічний зворотний зв'язок - реалізовано інструментарій для експертної оцінки в режимі реального часу. Інструктори мають можливість фіксувати результативність безпосередньо під час симуляції, що формує детальний цифровий профіль студента.

- Інтеграція біометричних параметрів: система передбачає збір та обробку фізіологічних даних учнів (частота серцевих скорочень, варіабельність серцевого ритму, рівень стресової реакції тощо) під час виконання сценаріїв. Це дозволяє використовувати об'єктивні фізіологічні маркери як предиктори когнітивного навантаження та впевненості у власних навичках.

- Прогностична аналітика та Dashboard-візуалізація: агрегація даних дозволяє системі прогнозувати майбутні потреби у навчанні та виявляти «вузькі місця» у програмі підготовки. Аналіз середньої успішності за групами дає змогу оцінювати валідність самих навчальних планів та їх відповідність встановленим освітнім цілям.

Валідація функціональних можливостей розробленої системи була здійснена на базі спеціалізованого центру імерсивного моделювання. Результати пілотного дослідження підтвердили гіпотезу про те, що впровадження стандартизованої хмарної платформи дозволяє:

- уніфікувати критерії оцінювання незалежно від людського фактора інструктора;
- забезпечити прозорість та відстежуваність прогресу кожного фахівця протягом тривалого часу;
- оптимізувати використання ресурсів симуляційного центру за рахунок перенесення підготовчих та аналітичних етапів у хмарне середовище.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Таким чином, перехід від традиційних методів SBME до інтелектуальних систем управління навчанням є необхідною умовою для формування висококомпетентного кадрового резерву в системі охорони здоров'я, що базується на принципах персоналізації та об'єктивізації освітнього процесу.

1.5 Висновки по розділу

У результаті аналізу предметної області встановлено, що проблема медичних помилок є системною та потребує впровадження інноваційних підходів до підготовки медичних фахівців. Обґрунтовано доцільність використання симуляційного навчання як ефективного інструменту формування професійних компетентностей у безпечному контрольованому середовищі. Визначено ключові архітектурні принципи хмарно-орієнтованих платформ, що забезпечують масштабованість, гнучкість та інтеграційні можливості систем навчання. Сформовано підхід до збору та обробки мультимодальних даних, що підвищує об'єктивність оцінювання результатів навчання. У підсумку закладено теоретичне підґрунтя для розробки інтелектуальної системи управління симуляційним навчанням медиків.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ СИМУЛЯЦІЙНОГО НАВЧАННЯ В МЕДИЦИНІ

2.1. Концептуалізація та преференції симуляційних технологій у медичній освіті

У сучасному дискурсі поняття «симуляція» тлумачиться широко: як використання людини (актора), технічного пристрою (манекена, тренажера, віртуального середовища) або створення сукупності умов з метою моделювання певного клінічного сценарію чи послідовності подій [8]. Ключовим параметром ефективної симуляції є забезпечення високого рівня вірогідності, що дозволяє репрезентувати реальні клінічні ситуації з максимальною автентичністю. Фундаментальною вимогою до учасника освітнього процесу (інтерна, лікаря-курсанта) у симуляційному середовищі є адекватне реагування на виклики та вирішення проблем у такий спосіб, який є типовим для природних умов професійної діяльності [8].

Історично методологія симуляції була запозичена медициною з високоризикових галузей промисловості, зокрема цивільної авіації та аерокосмічної сфери, де використання пілотажних тренажерів для підготовки та сертифікації персоналу є стандартом протягом багатьох десятиліть. Адаптація цього досвіду підтверджує, що симуляційні технології дозволяють здобувачам освіти набувати необхідних компетентностей в економічно ефективному, контрольованому та, що найважливіше, безпечному навчальному просторі.

Впродовж останнього десятиліття спостерігається інтенсивна парадигмальна зміна в медичній освіті, що характеризується глобальним визнанням та усвідомленням критичної важливості симуляційних методів навчання (Simulation-Based Medical Education - SBME). На сучасному етапі SBME трансформувалася в домінантну освітню стратегію, яка

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

імплементується на всіх рівнях підготовки медичних кадрів.

Ефективність SBME базується на комплексному підході, який забезпечує набуття здобувачами як суто технічних (психомоторних, маніпуляційних), так і нетехнічних (когнітивних та комунікативних) навичок, специфічних для конкретної медичної дисципліни або ролі в міжпрофесійній команді.



Рисунок 2.1 – Ключові преференції SBME підходу

Фундаментальна цінність SBME полягає в оптимізації процесу підготовки фахівців, здатних ефективно функціонувати в сучасному медичному середовищі. Аналіз наукової літератури дозволяє виділити наступні ключові преференції симуляційного підходу:

- створення безризикового простору, де помилки, допущені учнями під час навчання, не завдають фізичної чи моральної шкоди реальним пацієнтам. Це вирішує етичну дилему навчання «на пацієнті».

- сценарії дозволяють здобувачам багаторазово практикувати складні або високоризикові процедури до досягнення рівня майстерності, що сприяє вдосконаленню та закріпленню навичок без часового тиску реальної клінічної ситуації.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

- SBME уможлиблює створення умов, які неможливо або вкрай складно відтворити в природній клінічній практиці через їх рідкість або загрозу для життя пацієнта. Прикладом є відпрацювання алгоритмів дій при зупинці серця у вагітної або управління масивною акушерською кровотечею в умовах конфлікту всередині операційної бригади.

- симуляція є ідеальним інструментом для навчання управлінню ресурсами в кризових ситуаціях, фокусуючись на комунікації, лідерстві, розподілі завдань, ситуаційній обізнаності та прийнятті рішень в умовах дефіциту часу.

- на відміну від реальної практики, SBME забезпечує навчання з контролем часу. Симуляційний сценарій можна прискорити, сповільнити, поставити на паузу для негайного дебрифінгу або повторити з тієї ж точки, що забезпечує стандартизацію освітнього впливу для всіх здобувачів.

Таким чином, симуляційне медичне навчання постає не просто як допоміжний інструмент, а як системний підхід, що дозволяє поєднати теоретичні знання з практичними навичками, мінімізуючи людський фактор та підвищуючи загальну безпеку надання медичної допомоги.

2.2. Методологічні основи проектування та оцінювання результативності програм симуляційного навчання

Емпіричні дослідження останніх десятиліть переконливо підтверджують ефективність симуляційного навчання (SBME) як інструменту детермінованого покращення клінічних знань та практичних навичок медичного персоналу [6]. Учасники освітнього процесу, залучені до високоавтентичних симуляцій, демонструють верифікований рівень компетентності в клінічних умовах, що безпосередньо корелює з оптимізацією результатів лікування пацієнтів [7–11].

Успішна імплементація програми медичної симуляції, спрямованої на

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечення активного навчання, вимагає ретельного дотримання доказових рекомендацій. Системний аналіз дозволяє класифікувати ці рекомендації за двома стратегічними векторами:

- проектування та структурування симуляційної програми.
- забезпечення індивідуалізованого зворотного зв'язку, цілеспрямованої практики та моніторингу траєкторії набуття навичок.

2.2.1. Рекомендації щодо створення та дизайну симуляційних програм

Визначення навчальних цілей є фундаментальним етапом трансформації теоретичних конструктів у практичну площину. Згідно з вимогами, кожна освітня програма повинна генерувати ієрархічну систему цілей для кожного кваліфікаційного рівня. Відповідно до стандартів, навчальна мета має досягатися через синергію клінічного навчання, дидактичних заходів та контрольованої медичної практики.

У науковій літературі прийнято розмежовувати поняття «мета» (Goal) та «завдання» (Objective). Мета — це загальне твердження, що описує очікуваний вектор результатів курсу. Завдання — конкретні, детерміновані дескриптори дій, які здобувач має безпомилково виконувати після завершення етапу навчання.

Для забезпечення валідності завдань у медичній освіті широко застосовується структура SMART, яка передбачає наступні критерії:

- Specific (Конкретність): Чітке визначення очікуваного результату.
- Measurable (Вимірюваність): Наявність кількісних або якісних метрик ступеня досягнення.
- Achievable (Досяжність): Реалістичність завдань з огляду на наявні ресурси.
- Relevant (Актуальність): Пряма кореляція завдань із загальною стратегією курсу.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

- Time-bound (Часова визначеність): Встановлення чітких дедлайнів виконання.



Рисунок 2.2 – Структура SMART цілей для навчання з використанням стимуляційних платформ

Головною метою SBME є забезпечення «трансферу навчання» — здатності застосовувати набуті знання в реальних клінічних умовах. Для цього симуляційне середовище повинно характеризуватися високою фізичною та функціональною вірогідністю. Це означає, що кожна дія в симуляційному просторі має призводити до наслідків, ідентичних тим, що виникають у реальній практиці.

Важливою умовою є реалізація навчання в контрольованому середовищі, що дозволяє інструкторам стандартизувати освітні можливості та адаптувати складність сценарію до поточних потреб учня.

2.2.2. Індивідуалізація зворотного зв'язку

Надання індивідуалізованого зворотного зв'язку є критичною стратегією, що забезпечує ефективність SBME. На відміну від сумативного оцінювання («зараховано/не зараховано»), зворотний зв'язок надає гранулярну інформацію про продуктивність. Він може бути реалізований у двох форматах:

- Real-time feedback: надається безпосередньо під час симуляції (системою або інструктором).

- Debriefing: аналітична сесія після завершення сценарію.

Для забезпечення об'єктивності зворотного зв'язку використовуються два типи інструментарію:

- Контрольні списки (Checklists): бінарні інструменти («так/ні»), ефективні для оцінки дотримання жорстких протоколів безпеки.

- Рейтингові шкали (Rating scales): дозволяють оцінити якісний аспект виконання (наприклад, шкала Лікерта або числові значення 0–100). Дослідження доводять, що шкалювання є більш валідною мірою продуктивності, оскільки відображає ступінь майстерності.

SBME базується на принципах компетентнісного підходу, де метою є досягнення кожним учнем встановленого порогу майстерності. Ключовим аспектом тут є баланс складності: завдання повинні викликати помірний когнітивний виклик, уникаючи як низької залученості, так і когнітивного перевантаження.

Перехід від статусу «новачка» до «експерта» вимагає повторюваної цілеспрямованої практики. Агрегація даних про успішність дозволяє будувати індивідуальні траєкторії набуття навичок (Skill Trajectories). Оскільки високотехнологічна симуляція є ресурсомісткою, використання аналітичних систем для визначення оптимальної кількості тренувань є критичним.

Моніторинг кривих навчання дозволяє ідентифікувати момент досягнення плато майстерності, що мінімізує надлишкові тренування та дозволяє здійснювати ре-тренінг («освіження» навичок) лише тоді, коли дані свідчать про їхню деградацію. Такий підхід не лише підвищує якість освіти, а й суттєво оптимізує інституційні витрати на симуляційне навчання.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

2.3. Технологічний базис та програмні рішення для управління процесами симуляційного навчання

2.3.1. Еволюція систем управління навчанням та їх адаптація до специфіки медичної освіти

Стрімка еволюція обчислювальних потужностей, розвиток парадигми хмарних обчислень (Cloud Computing) та модернізація мережевої інфраструктури протягом останнього десятиліття зумовили фундаментальну трансформацію освітньої галузі. Одним із визначальних результатів цієї цифровізації стало впровадження систем управління навчанням (Learning Management Systems, LMS) — інтегрованих програмних комплексів (веб-орієнтованих або мобільних додатків), призначених для адміністрування, документування, відстеження та розгортання освітніх програм у цифровому середовищі.

У контексті сучасної вищої школи впровадження LMS забезпечує низку стратегічних переваг:

- Інституціоналізація курсів: можливість централізованого проектування та управління контентом;
- Диференціація ролей: гнучке керування правами доступу та взаємодією між суб'єктами освітнього процесу (студент, інструктор, адміністратор);
- Стандартизація навчальних планів: створення уніфікованих програм, придатних для масштабування в межах декількох установ;
- Мультимедійна конвергенція: підтримка різноманітних форматів цифрового контенту для стимулювання активного навчання;
- Екзистенційна доступність: реалізація концепції навчання «у будь-який час та в будь-якому місці»;
- Об'єктивізація оцінювання: уніфікація критеріїв перевірки знань та надання гранулярного зворотного зв'язку в режимі реального часу;

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

- Репозитарність: можливість накопичення, поширення та рекурентного використання освітніх ресурсів між мережевими зацікавленими сторонами.

2.3.2. Спеціалізовані рішення для систем навчання медичних працівників

Незважаючи на домінування на ринку універсальних LMS (Blackboard Learn, Moodle, Canvas) [10], симуляційне медичне навчання висуває специфічні вимоги, що призвело до появи нішевих рішень. Одним із найбільш репрезентативних прикладів є програмний комплекс SimCapture від B-line Medical.



Рисунок 2.3 – Інтерфейс програмного комплексу SimCapture

Дане хмарно-орієнтоване рішення автоматизує ключові етапи управління симуляційним центром, зокрема:

- Планування та логістику симуляційних сесій;
- Синхронний відеозапис маніпуляцій для подальшого аналізу;

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

- Збір емпіричних даних через цифрові контрольні списки;
- Проведення структурованого дебрифінгу на основі відеодоказів;
- Генерацію аналітичних звітів щодо індивідуального прогресу здобувачів.

Незважаючи на наявність комерційних платформ, аналіз показує, що поточні системи не повною мірою реалізують потенціал керованої даними освіти. Можна виділити наступні критичні недоліки існуючих рішень:

- сценарії та оцінки залишаються специфічними для конкретної установи. Відсутність єдиних протоколів обміну даними унеможливорює агрегацію результатів для проведення аналізу великих даних та міжінституційного порівняльного аналізу.

- у багатьох системах відсутній жорсткий зв'язок між навчальними цілями та конкретними показниками продуктивності в сценарії.

- значна частина установ досі використовує паперові носії або неструктуровані текстові документи для фіксації результатів симуляцій.

- оцінювання часто обмежується суб'єктивним сприйняттям інструктора або короткими коментарями в блокноті, що не дозволяє побудувати точну траєкторію набуття навичок.

Таким чином, існує об'єктивна потреба у розробці інтелектуальних LMS для SBME. Такі системи повинні не просто автоматизувати запис відео, а й забезпечувати глибоку інтеграцію цілей навчання з об'єктивними метриками, гарантувати інтероперабельність даних між установами та надавати прогностичну аналітику щодо готовності фахівців до реальної клінічної практики.

2.4 Висновки по розділу

Дослідження методологічних засад симуляційного навчання дозволило визначити його як ключовий елемент сучасної медичної освіти.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Проаналізовано принципи проєктування навчальних програм, що базуються на стандартизації сценаріїв, адаптивності та орієнтації на результати навчання. Встановлено, що індивідуалізація зворотного зв'язку суттєво підвищує ефективність засвоєння практичних навичок. Узагальнено розвиток систем управління навчанням та виявлено їх обмеження у контексті медичної галузі. Обґрунтовано необхідність створення спеціалізованих інтелектуальних платформ, здатних враховувати специфіку клінічної підготовки.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. АРХІТЕКТУРА ТА ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НАВЧАННЯМ МЕДИКІВ

3.1. Багаторівнева структура збору та аналізу даних

Об'єктивна необхідність подолання викликів у сфері симуляційного медичного навчання (SBME), зумовлює потребу в розробці рішення для стандартизації процесів проектування, адміністрування та верифікації результатів навчання. У межах даного дослідження пропонується архітектура багаторівневої хмарно-орієнтованої платформи, що забезпечує прогностичне моделювання динаміки набуття навичок медичними фахівцями та предиктивне визначення майбутніх освітніх траєкторій.

Пропоноване рішення інтегрує інструментарій дозволяючи формувати цифрові навчальні програми, накопичувати мультимодальні масиви даних та надавати індивідуалізований зворотний зв'язок. Фундаментальною метою системи є перехід до стратегії навчання, керованої даними, що є критичним для підвищення безпеки пацієнтів та мінімізації клінічних ризиків.

Функціонування платформи базується на безперервному моніторингу та генерації даних на трьох ієрархічних рівнях: суб'єкта навчання (учня), експерта (інструктора) та технологічного середовища.

3.1.1. Рівень суб'єкта навчання

Дані рівня учня охоплюють усю сукупність інформації, отриманої безпосередньо від медичного персоналу під час проходження симуляційних сценаріїв. Структура цього рівня включає:

- діагностичне оцінювання (Pre-assessment): Формується на етапі вхідного контролю через адаптивні опитувальники. Гнучкість системи дозволяє створювати форми, що релевантні конкретним модулям,

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечуючи інструктора об'єктивними даними про базовий рівень компетентності фахівця ще до початку активної фази навчання.

- результуюче оцінювання (Post-assessment): Використовується для верифікації інкременту (приросту) знань та навичок. Крім когнітивного контролю, ці форми інтегрують методики самооцінки функціонального стану, що дозволяє оцінити суб'єктивне сприйняття робочого навантаження, рівня стресу та залученості.

- біометричний моніторинг: Система забезпечує збір та обробку фізіологічних показників за допомогою носимих сенсорних пристроїв. Ключовими параметрами є:

- Частота серцевих скорочень (HR);
- Варіабельність серцевого ритму (HRV);
- Гальванічна реакція шкіри (GSR);
- Температура.

Як було вже обґрунтовано, дані показники є об'єктивними корелятами афективних станів та когнітивного навантаження, виступаючи предикторами надійності фахівця в екстремальних клінічних ситуаціях.

3.1.2. Рівень експертного контролю

Дані рівня інструктора базуються на формалізованому експертному оцінюванні дій учня. Запропонована платформа дозволяє інструкторам здійснювати кількісну верифікацію результатів для кожної дискретної «навчальної події» у структурі сценарію.

Методологія оцінювання на цьому рівні передбачає:

- Співвіднесення кожної дії учня з цілями навчальної програми (SMART-орієнтири);
- Визначення ступеня досягнення специфічних клінічних завдань;
- Формування бази для агрегованого аналізу успішності як окремих осіб, так і цілих професійних груп.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

3.1.3. Рівень технологічного середовища

Дані рівня середовища інтегрують об'єктивну інформацію безпосередньо з локації проведення симуляції, забезпечуючи доказову базу для подальшого аналізу:

- Мультимедійна реєстрація: Синхронізовані аудіо- та відеозаписи дозволяють проводити ретроспективну оцінку подій, виявляти приховані помилки в комунікації та ергономіці рухів.

- Телеметрія симуляційного обладнання: Збір даних у реальному часі з манекенів-симуляторів, що включає зміни показників життєдіяльності віртуального пацієнта як безпосередню реакцію на дії учня.

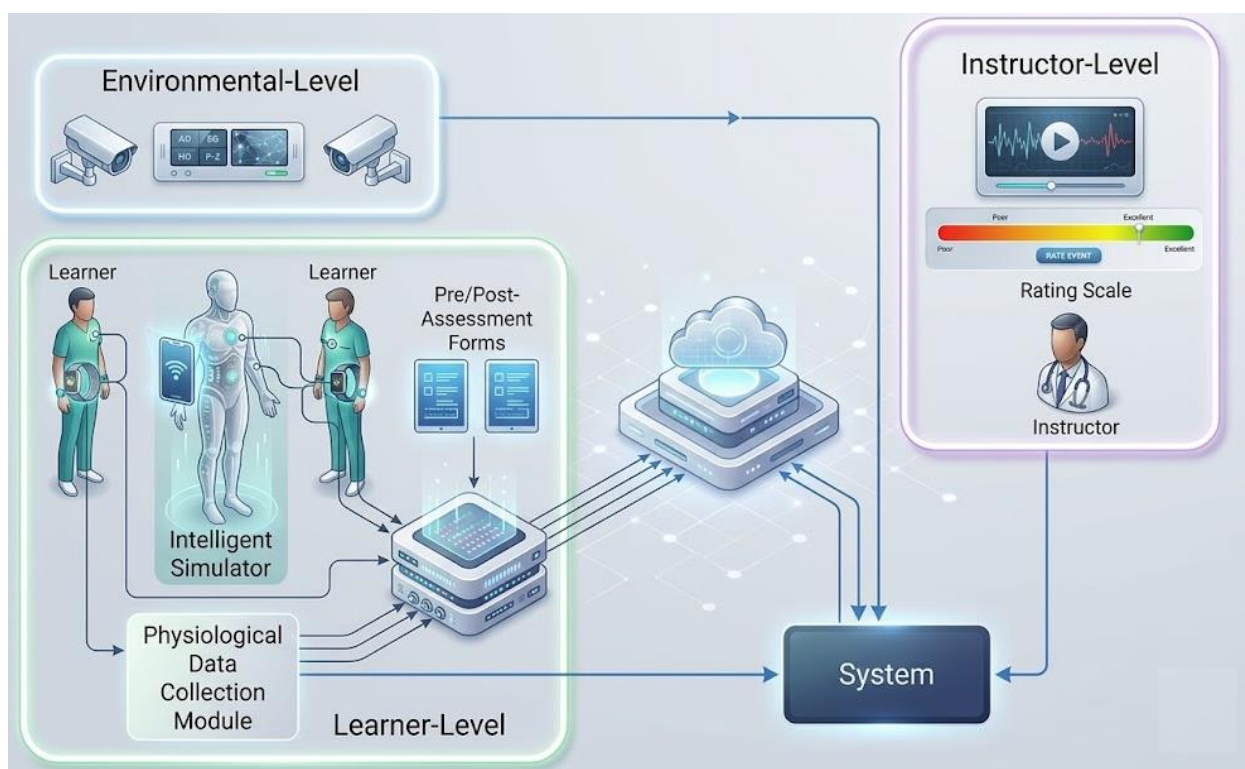


Рисунок 3.1 – Структура системи навчання медичних працівників

Інтеграція даних усіх трьох рівнів у межах єдиної інтелектуальної платформи створює передумови для формування прогностичних моделей навчання. Це дозволяє не лише констатувати факт набуття навички, а й

оцінювати психофізіологічну «ціну» успіху, що є критично важливим для забезпечення стабільної професійної діяльності медичних працівників.

3.2. Концептуальна модель стандартизованого процесу симуляційного навчання

Результатом проведеного дослідження стала розробка архітектури інтелектуальної веб-орієнтованої системи управління навчанням, адаптованої до специфічних вимог симуляційної медичної освіти (SBME). Запропонована платформа трансформує традиційні підходи до навчання, впроваджуючи рішення, кероване даними (data-driven solution), що базується на рекомендаціях щодо доказової медичної освіти.

Система забезпечує інструментарій для моніторингу та оцінювання результативності учнів у режимі реального часу. Функціональні можливості платформи включають цифрові контрольні списки, механізми вимірювання об'єктивної продуктивності, суб'єктивні рейтингові шкали та модулі реєстрації фізіологічних показників. Агреговані дані формують «цифровий слід» освітнього процесу, що дозволяє не лише відстежувати індивідуальну динаміку набуття навичок, а й проводити валідацію та оптимізацію самих навчальних програм.

Центральним елементом системи є стандартизований цикл SBME, який забезпечує єдність проектування, реалізації та аналізу навчання. Даний процес ієрархічно розподіляється на три ключові сегменти (рис. 3.2):

- Проектування та генерація стандартизованої навчальної програми.
- Мультимодальний збір даних симуляційного сценарію.
- Аналітична оцінка результативності та освітня статистика.

Запропонований процес, забезпечує замкнений цикл управління якістю освіти та складається з трьох інтегрованих фаз:

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

1. Фаза проектування. На цьому етапі закладається фундамент навчання. Використання чітко визначених цілей та стандартизованих форм оцінювання гарантує, що симуляційний сценарій буде спрямований на конкретні дефіцити навичок.

2. Фаза активної симуляції. Ключовою інновацією є паралельний збір об'єктивних (фізіологічних) та суб'єктивних (експертних) даних. Це дозволяє системі бачити не лише результат дії учня, а й його внутрішній стан (рівень стресу, впевненість).

3. Фаза аналітики. Завершальний етап перетворює масиви «сирих» даних у валідні звіти. Це дозволяє перейти від простого оцінювання до глибокої статистики, яка допомагає інструкторам зрозуміти, наскільки ефективною є сама навчальна програма.

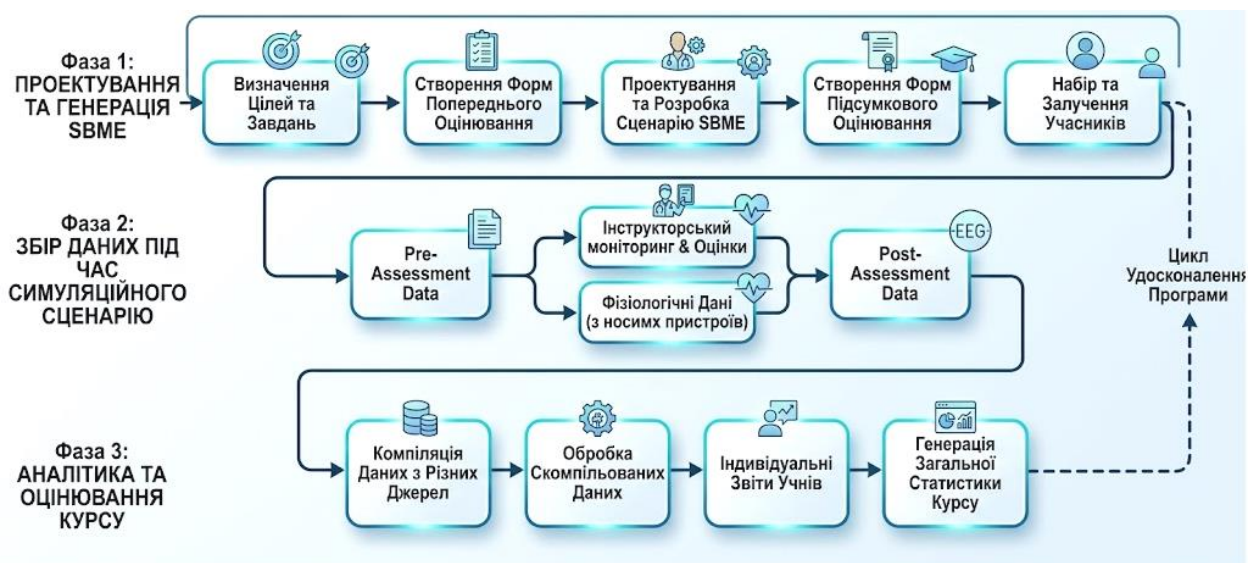


Рисунок 3.2 – Операційна модель реалізації процесу навчання медичних працівників

3.2.1. Проектування та генерація стандартизованої навчальної програми

Платформа надає викладачам уніфікований інтерфейс для конструювання освітнього контенту, який базується на принципах

структурно-логічної послідовності. Компонентами цифрової навчальної програми є:

- Декларація цілей та завдань: визначення очікуваних результатів навчання згідно з таксономією освітніх цілей (наприклад, за схемою SMART).
- Інструментарій діагностичного оцінювання (Pre-assessment): цифрові форми для верифікації базового рівня знань та готовності учня до симуляції.
- Бібліотека клінічних сценаріїв: набір стандартизованих ситуаційних задач, що реалізуються в імерсивному середовищі.
- Валідація результатів (Post-assessment): форми підсумкового контролю для вимірювання дельти приросту компетентності.

Система підтримує масштабованість, дозволяючи адмініструвати необмежену кількість здобувачів освіти та забезпечувати наскрізне відстеження їхнього прогресу протягом усього терміну навчання.

3.2.2. Мультимодальний збір даних симуляційного сценарію

Ключовою особливістю системи є здатність до агрегації даних з гетерогенних джерел. Модуль збору даних функціонує на двох рівнях:

- Рівень учня: автоматизована фіксація фізіологічних параметрів та результатів проходження цифрових модулів.
- Рівень інструктора: внесення експертних оцінок безпосередньо під час виконання маніпуляцій учнем, що дозволяє зафіксувати часові та якісні показники продуктивності.

Цей підхід забезпечує об'єктивізацію оцінювання та мінімізує вплив суб'єктивного фактора екзаменатора.

3.2.3. Аналітична оцінка результативності та освітня статистика

Обробка накопичених даних здійснюється аналітичним модулем, який генерує звіти за двома векторами:

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Індивідуальний профіль компетентності: детальна візуалізація успішності конкретного фахівця, порівняння його результатів із встановленим порогом майстерності та прогнозування траєкторії подальшого розвитку.

- Статистика освітньої програми: агрегований аналіз ефективності курсу. Якщо значна частка учнів демонструє низькі показники за певною «навчальною подією», система ідентифікує це як необхідність корекції дизайну самого сценарію або методів викладання.

Застосування методів інтелектуального аналізу даних у цьому сегменті дозволяє виявляти латентні закономірності в процесі засвоєння складних медичних маніпуляцій, що є фундаментом для створення адаптивних освітніх систем.

3.3. Архітектурна побудова та системні характеристики інтелектуальної платформи управління навчанням

У даному розділі представлено опис програмної архітектури, розробленої для реалізації стандартизованого потоку процесів симуляційного медичного навчання, концептуальну модель якого було обґрунтовано у попередньому підрозділі. Запропонована система базується на багаторівневій архітектурі, що забезпечує чітке розмежування інтерфейсу користувача (презентаційний рівень), бізнес-логіки (рівень додатків) та механізмів персистентності (рівень даних). Такий підхід гарантує гнучкість, повторне використання компонентів та високу масштабованість системи.

3.3.1. Ключові архітектурні принципи та атрибути системи

Проектування архітектури здійснювалося з урахуванням необхідності створення «цифрового сліду» всього процесу та базувалося на таких визначальних атрибутах:

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Незалежна модульність (Separation of Concerns): Архітектура розподілена на три високорівневі рівні, кожен з яких декомпонований на функціональні підмодулі з незалежним програмним кодом та технологічним стеком. Це дозволяє здійснювати ізольоване технічне обслуговування та модернізацію окремих компонентів без ризику дестабілізації всієї системи.

2. Інфраструктурна агностичність (Cross-platform capability): Система спроектована для розгортання в різних операційних середовищах:

- Хмарна інфраструктура: розміщення на публічних серверах (наприклад, AWS) для забезпечення глобального доступу через мережу Інтернет.

- Локальна мережа (Intranet): розгортання в межах внутрішньої мережі медичної установи для підвищення безпеки даних.

- Автономний режим (Standalone): встановлення на окремій обчислювальній станції із забезпеченням локального зберігання конфіденційної інформації.

3. Екосистемна сумісність та інтероперабельність: Платформа підтримує відкриті інтерфейси програмування додатків (Open APIs). Це є критично важливим для інтеграції сторонніх апаратних та програмних рішень, таких як багатоканальні фізіологічні монітори, носимі біометричні пристрої та інтелектуальні тренажери-манекени.

4. Горизонтальна масштабованість: Архітектурні рішення дозволяють системі ефективно обробляти зростаючі масиви даних (зокрема, потокове відео та фізіологічні сигнали високої частоти дискретизації) при збільшенні кількості одночасних користувачів.

5. Адаптивна підтримка та моніторинг: Застосування гнучких методологій розробки (Agile/DevOps) забезпечує безперервну інтеграцію (CI/CD) нових функціональних можливостей. Вбудовані модулі системного журналювання (logging) дозволяють здійснювати проактивний моніторинг

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

стану системи та відстежувати користувацьку активність у межах освітнього процесу.

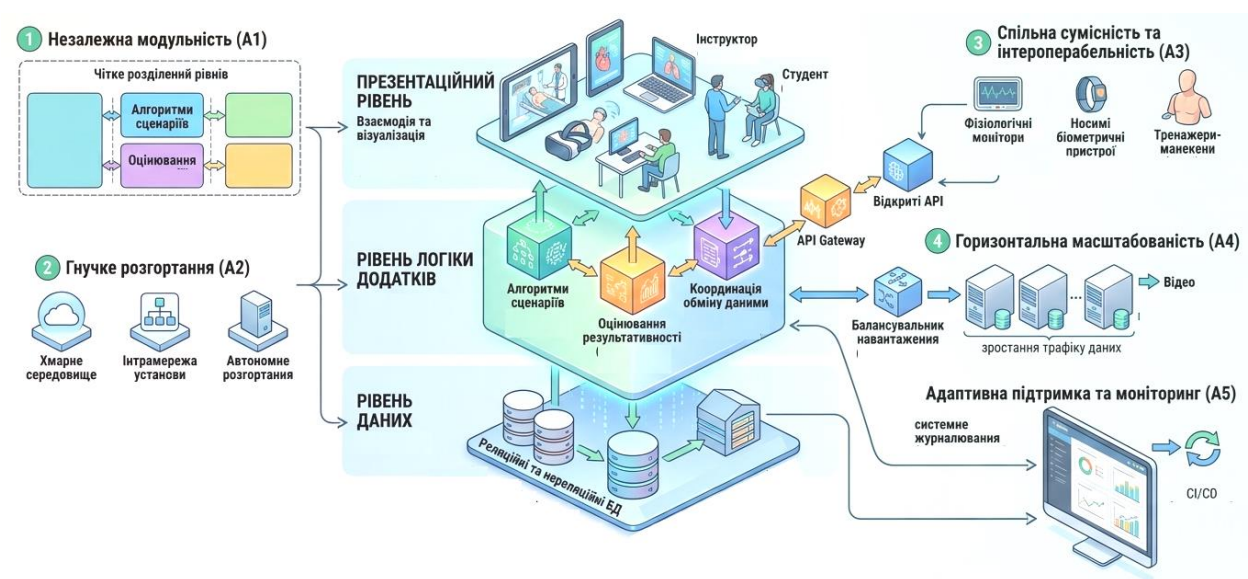


Рисунок 3.3 – Архітектура інтелектуальної платформи навчання медиків

3.3.2. Функціональна декомпозиція рівнів архітектури

Високорівнева логіка взаємодії компонентів платформи представлена трирівневою моделлю, яка забезпечує стабільне функціонування освітнього середовища:

- Презентаційний рівень (Presentation Layer) забезпечує інтерфейсну взаємодію між користувачем (інструктором, студентом або адміністратором) та системою. Він відповідає за візуалізацію даних, прийом команд керування сценаріями та відображення аналітичних звітів у реальному часі.
- Рівень логіки додатків (Application/Logic Layer) виконує роль проміжного програмного забезпечення (middleware). Тут реалізовані основні алгоритми обробки освітніх сценаріїв, правила оцінювання результативності та логіка інтеграції біометричних даних. Рівень додатків координує обмін інформацією між інтерфейсом та сховищем даних, що детально описано у наступному підрозділі.

- Рівень даних (Data Persistence Layer) базується на реляційних або нереляційних базах даних і відповідає за надійне зберігання цифрового профілю учнів, параметрів симуляційних сценаріїв та результатів тестування.

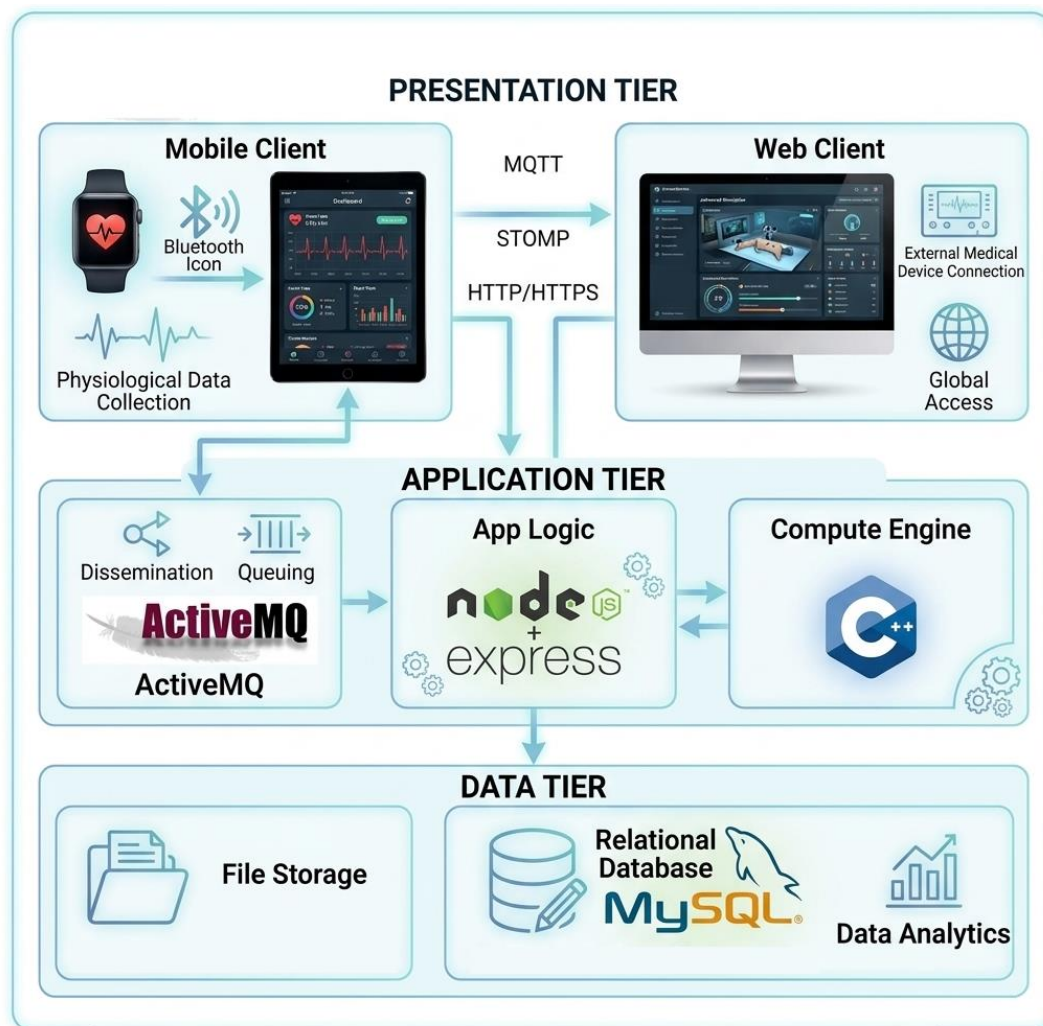


Рисунок 3.4 – Представлення рівнів архітектури початкової системи

Запропонована багаторівнева архітектура створює надійний технологічний фундамент для переходу до об'єктивного, керованого даними симуляційного навчання. Розділення рівнів представлення та логіки дозволяє адаптувати систему до специфічних потреб різних медичних дисциплін, забезпечуючи при цьому високу швидкість обробки інформації та безпеку освітнього контенту.

3.4. Клієнтські інтерфейси та мультимодальна взаємодія презентаційного рівня

Презентаційний рівень є фронтальною частиною архітектури системи, що забезпечує безпосередню взаємодію користувачів із програмним комплексом. Його функціональне призначення полягає в агрегації вхідних даних від суб'єктів освітнього процесу та візуалізації результатів обробки інформації, отриманих від рівня прикладних сервісів. Для забезпечення високої інтерактивності та мобільності в межах клінічних симуляційних центрів архітектурою передбачено використання двох типів клієнтських додатків: стаціонарного (веб-клієнт) та мобільного (термінал збору біометрії).

3.4.1. Веб-інтерфейс адміністрування та прогностичної аналітики

Веб-клієнт розроблений як кросплатформенний додаток, що функціонує в середовищі веб-браузера. Він базується на компонентно-орієнтованій архітектурі, що дозволяє реалізувати складні сценарії управління навчальним процесом. Ключові функціональні вектори веб-клієнта включають:

1. Дизайн цифрових навчальних траєкторій.

Інструментарій дозволяє інструкторам здійснювати формалізацію цілей навчання згідно з міжнародними стандартами. Модуль проектування підтримує декомпозицію симуляційного сценарію на дискретні «навчальні події», що є критичним для подальшої об'єктивізації оцінювання.

2. Мультирівнева агрегація даних.

Система забезпечує реєстрацію експертних оцінок та результатів самооцінювання здобувачів через настроювані форми пре- та пост-симуляційного контролю.

3. Візуалізація та порівняльний аналіз.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Реалізовано інтерактивні дашборди для відображення кореляції між технічною продуктивністю учня та його фізіологічними реакціями. Алгоритми інтелектуальної платформи дозволяють здійснювати бенчмаркінг — порівняння успішності окремого фахівця із середньозваженими показниками відповідної когорти, що сприяє ідентифікації зон професійного ризику.

3.4.2. Термінал збору та обробки біометричних сигналів

Другий компонент презентаційного рівня — спеціалізований додаток, призначений для інтеграції з носимими сенсорними технологіями (наприклад, біометричними браслетами). Мобільний клієнт виступає в ролі інтелектуального шлюзу (Gateway), що забезпечує наступні можливості:

- Синхронізація за протоколами BLE: Бездротове підключення до фізіологічних моніторів для реєстрації об'єму пульсової хвилі, температури епідермісу та гальванічної реакції шкіри.

- Локальна цифрова обробка сигналів: Вбудований блок обробки реалізує алгоритми низькорівневої фільтрації шумів та артефактів руху, а також здійснює екстракцію ознак (наприклад, розрахунок частоти серцевих скорочень) у реальному часі.

- Передача оброблених потоків даних до серверного рівня за протоколами потокової передачі повідомлень, що гарантує цілісність інформації в умовах динамічного симуляційного середовища навчання медиків.

3.4.3. Технологічний стек та інструментальні засоби реалізації

Вибір технологічного стека обумовлений вимогами до масштабованості, безпеки та продуктивності інтерфейсів розроблюваної інтелектуальної системи навчання медичних працівників наведено в таблиці 3.1.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

**Таблиця 3.1 - Характеристика програмно-технологічних засобів
презентаційного рівня**

Компонент	Технологія / Бібліотека	Функціональне призначення
Ядро веб-клієнта	React.js / Redux	Побудова реактивного інтерфейсу та централізоване управління станом програми.
Візуалізація даних	D3.js / Charts	Генерація динамічних графіків та інтерактивних діаграм фізіологічних сигналів.
Мережева взаємодія	Axios / STOMP	Забезпечення HTTP-запитів та потокової передачі даних (WebSockets).
Обробка медіа	Video-react	Управління відтворенням та анотуванням відеозаписів симуляційних сесій.
Мобільний стек	Swift / Core Bluetooth	Низькорівнева взаємодія з апаратними сенсорами в середовищі
Управління даними	Json2csv	Експорт результатів у форматі CSV для подальшого статистичного аналізу отриманих даних

Використання компонентно-орієнтованого підходу (React.js) та адаптивної верстки (Bootstrap) дозволяє уніфікувати користувацький досвід на різних пристроях (робочі станції, планшети), забезпечуючи викладачам мобільність під час оцінювання практичних навичок безпосередньо біля симуляційного обладнання.

Запропонована конфігурація презентаційного рівня вирішує проблему ізолюваності різних типів даних. Поєднання потужних аналітичних можливостей веб-клієнта з мобільністю сенсорних терміналів дозволяє створити цілісне інформаційне середовище для об'єктивного моніторингу та оцінювання клінічної компетентності медичних фахівців.

3.5. Архітектура та функціональна логіка прикладного рівня інтелектуальної системи

Прикладний рівень виступає ядром інтелектуальної системи, забезпечуючи оркестрацію бізнес-логіки, обробку вхідних потоків даних та

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		47

координацію взаємодії між інтерфейсом користувача та рівнем персистентності. Даний рівень реалізований як сукупність серверних вебсервісів у середовищі Node.js, що дозволяє використовувати неблокуючу модель введення-виведення для ефективної обробки асинхронних запитів.

Архітектурною особливістю прикладного рівня є повне розмежування від технологічного стека презентаційного рівня. Використання стандартизованих інтерфейсів прикладного програмування (Web API) забезпечує високу інтероперабельність: система залишається агностичною до типу клієнтського додатка (iOS, Android або Web). Такий підхід мінімізує витрати на майбутню модернізацію, дозволяючи інтегрувати нові типи клієнтів без модифікації серверної логіки.

3.5.1. Функціональна типізація серверних сервісів

Для забезпечення вимог щодо продуктивності та надійності, прикладний рівень декомпоновано на два функціонально незалежні блоки: вебсерверний сервіс (обробка адміністративних та аналітичних запитів) та мобільний серверний сервіс (обробка високочастотних сигналів від біометричних пристроїв).

Вебсерверний сервіс виконує роль координатора освітнього процесу та забезпечує:

- Управління сесіями та безпеку: реалізація механізмів аутентифікації та авторизації, що гарантує конфіденційність медичних та персональних даних. Використання токенів сесій дозволяє оптимізувати взаємодію користувача з платформою, виключаючи необхідність повторної ідентифікації при кожному запиті.

- Об'єктно-реляційне управління програмами SBME: реалізація повного циклу операцій (CRUD) щодо створення та модифікації цілей навчання, генерації форм оцінювання та структурування симуляційних сценаріїв.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

- Агрегацію мультимодальних даних: збір відповідей учнів та експертних оцінок інструкторів з подальшою математичною обробкою для формування статистичних звітів та порівняльного аналізу успішності.

- Взаємодію з рівнем даних: трансляція бізнес-запитів у структуровані запити до бази даних (SQL) для забезпечення цілісності та персистентності інформації.

Мобільний серверний сервіс спеціалізується на обробці даних у режимі реального часу і характеризується:

- Високою пропускнуою здатністю: використання протоколу STOMP (Streaming Text Oriented Messaging Protocol) забезпечує стабільну передачу потокових даних від носимих сенсорів.

- Універсальністю інтеграції: відкрита архітектура API дозволяє підключати до системи гетерогенні діагностичні пристрої сторонніх виробників без зміни базового коду.

- Реал-тайм візуалізацією: підтримка механізмів передачі фізіологічних сигналів (ЕКГ, BVP, GSR) для їх відображення на дашбордах інструкторів під час симуляції.

3.5.2. Деталізація компонентної структури рівня додатків

Високорівнева архітектура прикладного рівня (рис. 3.5) базується на принципах модульності та відмовостійкості. Кожен сервіс має незалежну структуру, оптимізовану під конкретні типи навантаження.

Модуль безпеки (CORS & Auth) реалізує політику спільного використання ресурсів між різними джерелами, дозволяючи доступ до API лише авторизованим клієнтам, що запобігає несанкціонованим запитам та Cross-Site Scripting (XSS) атакам.

Маршрутизатор HTTP/FTP запитів забезпечує диференційовану обробку запитів: HTTP — для структурованих даних та керуючих команд;

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

FTP — для передачі важкого мультимедійного контенту (відеозаписів симуляцій).

Контролер (Business Logic Middle-ware) - центральний вузол обробки, де реалізована логіка трансформації вхідних даних у вихідні результати. Він координує роботу з моделлю даних та зовнішніми нативними модулями.

Нативні розширення (Node C++ Addons) - використання низькорівневого коду (C/C++) дозволяє виконувати обчислювально інтенсивні завдання, такі як цифрова обробка сигналів (DSP) та алгоритми машинного навчання, без втрати продуктивності середовища Node.js.

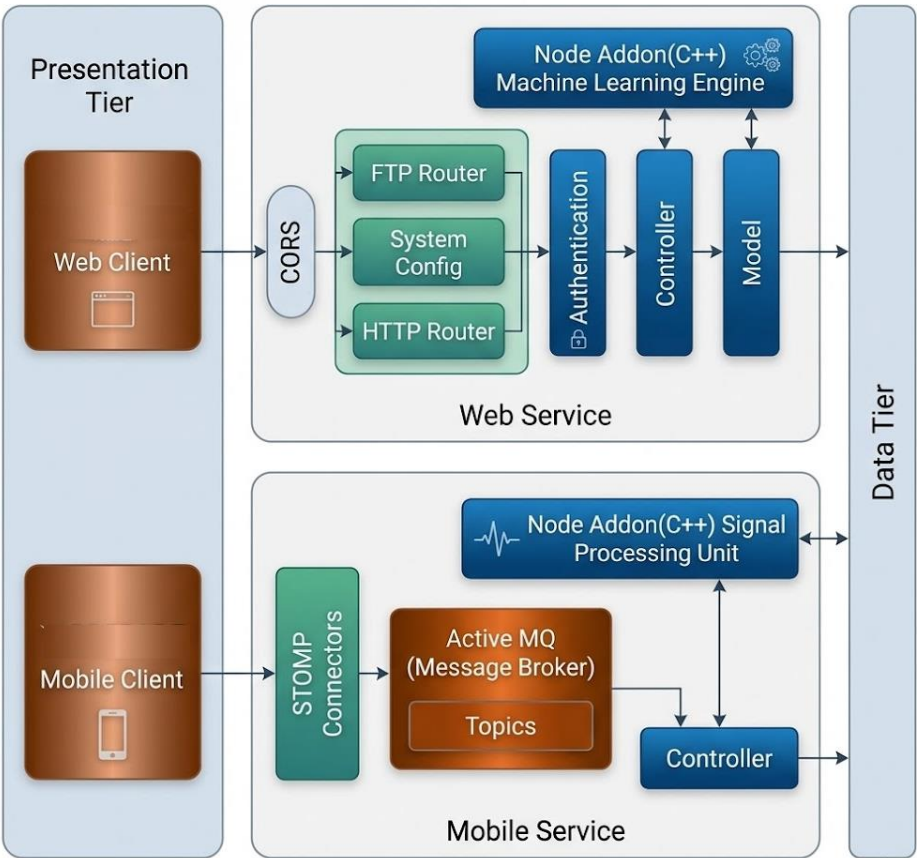


Рисунок 3.5 – Архітектура прикладного рівня

3.5.3. Оптимізація обробки поточкових даних за допомогою брокерів повідомлень

Особливе місце в архітектурі мобільного сервісу посідає використання брокера повідомлень (наприклад, Apache ActiveMQ). Дане рішення дозволяє:

- Асинхронну обробку: брокер виступає буфером для вхідних фізіологічних сигналів, що генеруються великою кількістю носимих пристроїв одночасно.

- Гарантовану доставку: запобігання втраті критичних даних у періоди пікового навантаження на систему.

- Масштабованість: можливість обробки великої пропускної здатності за рахунок чергування повідомлень та надання контролеру часу на їх послідовну інтерпретацію.

Реалізація прикладного рівня на основі модульної сервіс-орієнтованої архітектури з використанням нативних розширень та брокерів повідомлень створює необхідний технологічний заділ для обробки великих масивів медичних даних. Це забезпечує високу точність фізіологічного моніторингу та стабільність функціонування системи в умовах інтенсивного освітнього процесу, дозволяючи впроваджувати складні аналітичні інструменти для оцінювання клінічної компетентності.

3.6. Мережева взаємодія та інтелектуальні методи обробки сигналів

У межах розробленої архітектури системи особлива увага приділяється забезпеченню високої надійності передачі даних та об'єктивізації оцінювання за допомогою обробки фізіологічних сигналів у реальному часі.

3.6.1. Протоколи обміну даними та семантика RESTful API

Для забезпечення взаємодії між презентаційним рівнем та прикладними сервісами реалізовано набір із понад 30 інтерфейсів прикладного програмування (API), що базуються на архітектурному стилі REST. Використання протоколу HTTP дозволяє структурувати запити та відповіді, забезпечуючи уніфікований доступ до ресурсів системи. Семантика взаємодії базується на стандартних методах:

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

- GET: отримання стану ресурсу (наприклад, результатів успішності).
- POST: створення нових сутностей (додавання результатів сесії).
- PUT/PATCH: повна або часткова модифікація існуючих даних.
- DELETE: видалення об'єктів із бази даних.

Типовий запит на отримання результатів продуктивності учня (id=43) супроводжується кодом стану 200 OK, що підтверджує успішну обробку. Обмін даними здійснюється у форматі JSON (JavaScript Object Notation), який завдяки своїй легкості та ієрархічній структурі («ключ-значення») є оптимальним для передачі комплексних метаданих симуляції (назва сценарію, темпоральні мітки, ідентифікатори інструкторів та посилання на детальні звіти).

3.6.2. Поточкова передача даних за протоколом STOMP

Для трансляції біометричних сигналів високої частоти дискретизації використання стандартного HTTP-протоколу є неефективним через значні накладні витрати на встановлення з'єднання для кожного пакета. Натомість у системі імплементовано протокол STOMP (Streaming Text Oriented Messaging Protocol), який працює в синергії з брокером повідомлень (наприклад, ActiveMQ).

Переваги використання STOMP у симуляційному середовищі:

- Персистентність з'єднання: виключає затримки на встановлення рукописання.
- Гнучкість інтеграції: дозволяє підключати необмежену кількість комерційних фізіологічних моніторів.
- Ефективність смуги пропускання: мінімізація заголовків пакетів, що є критичним при частоті передачі сигналу BVP на рівні 64 Гц.

Запропонована система містить модуль цифрової обробки сигналів (Digital Signal Processing, DSP), функціональне призначення якого полягає в екстракції біометричних характеристик (наприклад, стресового

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

навантаження) із сирих даних фотоплетизмограми (PPG). З огляду на обчислювальну складність, алгоритми DSP можуть виконуватися як на стороні клієнта (Edge Computing), так і на сервері, залежно від балансу енергоспоживання пристрою вимірювання фізичних показників та пропускної здатності мережі.

У мобільних симуляційних середовищах сигнали PPG часто спотворюються артефактами руху. Для їх нейтралізації в системі використовується дані триосьового акселерометра. Алгоритм компенсації шумів складається з таких етапів:

1. Інтерполяція: приведення частоти дискретизації акселерометра (32 Гц) до частоти PPG (64 Гц).
2. Спектральний аналіз: застосування швидкого перетворення Фур'є (FFT) для переходу в частотну область.
3. Спектральне віднімання: спектр потужності акселерометра віднімається зі спектра PPG для усунення частотних компонентів, викликаних рухами руки.
4. Екстракція частоти: пошук домінантного піку в діапазоні 0.9–3 Гц, що відповідає фізіологічному ритму серця.

Поєднання протоколів STOMP для передачі даних та методів мультимодальної обробки сигналів (PPG + акселерометрія) дозволяє системі отримувати об'єктивні фізіологічні маркери навіть в умовах активного руху учня. Це створює надійний фундамент для інтелектуального аналізу когнітивного навантаження медичних фахівців під час симуляційного навчання.

3.7 Висновки до розділу

У межах розділу розроблено концептуальну та архітектурну модель інтелектуальної системи управління навчанням медиків. Запропоновано

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

багаторівневу структуру збору та аналізу даних, що забезпечує комплексне представлення навчального процесу. Сформовано модель стандартизованого симуляційного навчання, яка охоплює всі етапи від проєктування до аналітичної оцінки результатів. Визначено ключові архітектурні принципи системи, зокрема модульність, масштабованість та підтримку потокової обробки даних. Деталізовано функціональну декомпозицію системи та механізми взаємодії її компонентів.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СТИМУЛЯЦІЙНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ПРОФЕСІЙНОСТІ МЕДИКІВ

4.1. Організація архітектури персистентності та моделювання даних симуляційного навчання

Рівень персистентності (Data Layer) запропонованої інтелектуальної системи забезпечує структуроване зберігання «цифрового сліду» процесу симуляційного медичного навчання. Це включає навчальні програми, результати мультимодального оцінювання та гетерогенні масиви даних, отримані під час симуляцій. Взаємодія між прикладним рівнем та рівнем даних реалізується через мову структурованих запитів (SQL) та спеціалізовані API для неструктурованих даних.

З огляду на різноманітність інформаційних потоків у SBME, у межах даної роботи обґрунтовано доцільність застосування гібридної моделі зберігання, яка інтегрує три типи одиниць зберігання:

- реляційна база даних використовується для зберігання структурованих транзакційних даних (метадані курсів, профілі користувачів, результати тестів). Реляційна модель гарантує дотримання властивостей ACID (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability), що є критичним для цілісності освітніх записів:

- атомарність: гарантує повне виконання транзакції або її повне скасування.

- узгодженість: забезпечує перехід бази даних з одного дійсного стану в інший.

- ізолюваність: дозволяє коректну обробку паралельних запитів без взаємного впливу.

- стійкість: забезпечує збереження даних у разі системних збоїв.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- нереляційна база даних (NoSQL) - документно-орієнтована модель (наприклад, MongoDB) застосовується для високоінтенсивного запису потокових фізіологічних даних. Вибір NoSQL обумовлений такими факторами:

- висока швидкість запису: фізіологічні сигнали генеруються кожну секунду у великих обсягах.

- горизонтальна масштабованість: можливість обробки великих масивів сирих даних без втрати продуктивності.

- гнучкість схеми: адаптація до різних типів сенсорів без необхідності перебудови структури таблиць.

- файлове сховище призначене для зберігання великих двійкових об'єктів (Binary Large Objects, BLOB), таких як відеозаписи симуляцій та архівні CSV-файли. У базах даних зберігаються лише метадані та посилання (URI) на ці ресурси.

4.1.1. Моделювання сутностей навчальної програми

Структура даних курсу SBME базується на діаграмі «сутність-зв'язок» (Entity-Relationship, ER), яка детермінує архітектуру освітнього контенту. Центральним вузлом є сутність Курс, яка координує взаємодію між іншими компонентами системи (рис. 4.1).

Дані навчальної програми класифікуються за такими ключовими сутностями:

- Курс (Course): основний агрегатор, що містить ідентифікаційні дані, темпоральні характеристики створення/модифікації та приналежність до конкретного академічного підрозділу. Має зв'язки типу «один-до-багатьох» (1:N) з основними освітніми елементами.

- Освітні цілі (Learning Objectives): сутність, що зберігає формалізовані очікувані результати. Кожна ціль виступає дескриптором для конкретних запитань у формах оцінювання та цільових подій у сценарії.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

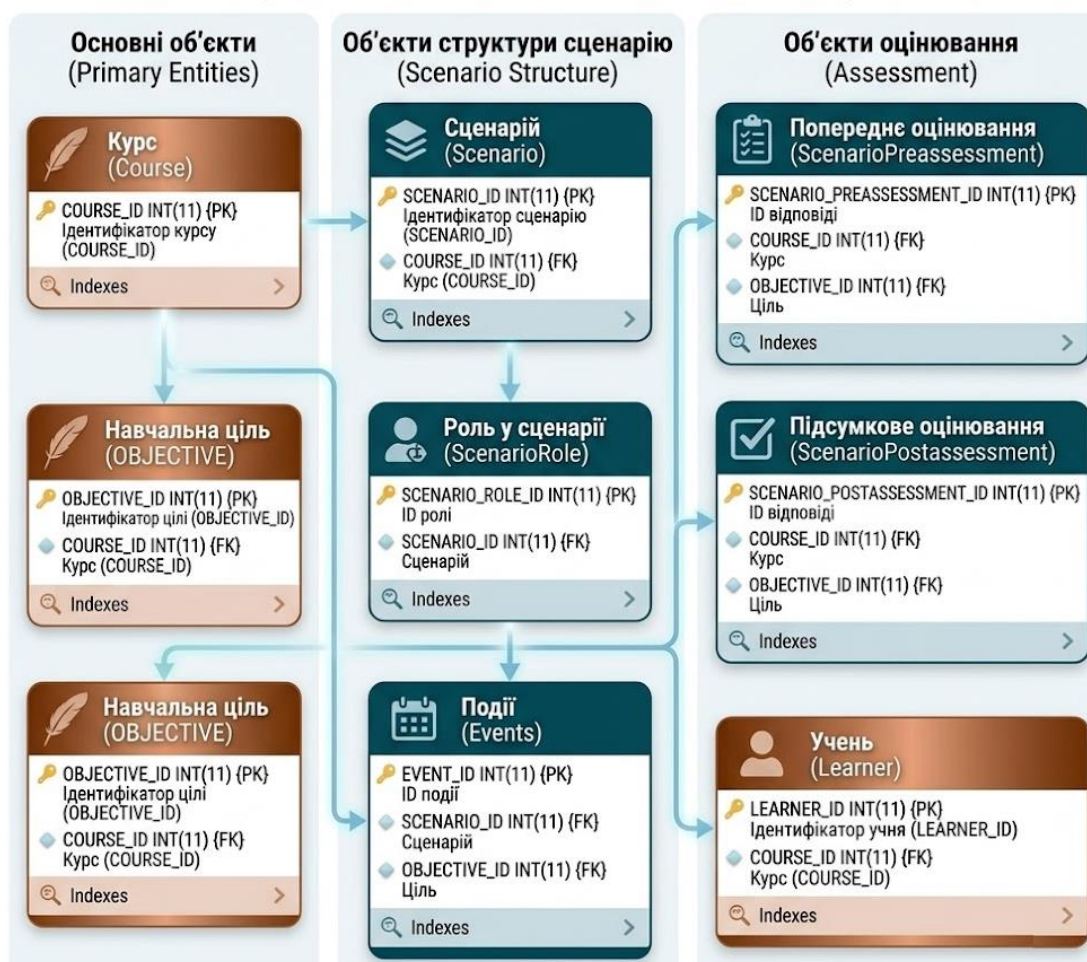


Рисунок 4.1 – Схема архітектури даних процесу симуляції

- Діагностичне та підсумкове оцінювання (Pre/Post-Assessment): сутності, що описують архітектуру тестування. Кожен запис містить текст питання, тип (числовий, шкала, вибір), очікувану відповідь та зв'язок із відповідною освітньою ціллю.
- Сценарій (Scenario): репрезентує логічну одиницю симуляції, пов'язану з курсом.
- Навчальні події (Learning Events): темпоральні маркери всередині сценарію. Кожна подія описує необхідну навичку, запланований час виникнення та референтні життєві показники симульованого пацієнта.
- Учень (Learner): профіль учасника, що включає академічний статус, рівень підготовки та інституційну ідентифікацію.

- Ролі (Roles): забезпечує мультидисциплінарність симуляції, визначаючи функціональні обов'язки кожного учасника (наприклад, анестезіолог, операційна медсестра), що дозволяє аналізувати командну взаємодію.

Рисунок 4.1 відображає реляційну структуру даних, де головними об'єктами є навчальний курс (course) та навчальні цілі (objective). від них відгалужуються симуляційні сценарії, ролі та системи оцінювання.

1. Основні (базові) об'єкти

Ці таблиці є фундаментальними; інші дані залежать від них.

Таблиця: Курс (Course)

Призначення: Зберігає інформацію про навчальний курс.

Ключі: COURSE_ID (Унікальний ідентифікатор).

Зв'язок: Кожен курс може мати багато цілей (OBJECTIVE), оцінювань та учнів (Learner).

Таблиця: Навчальна ціль (OBJECTIVE)

Призначення: Визначає конкретні цілі або завдання курсу.

Ключі: OBJECTIVE_ID (Ідентифікатор цілі).

Зв'язок: Завжди належить до конкретного курсу (COURSE_ID). Один курс може мати кілька цілей. Цілі використовуються для зв'язування оцінювань та подій.

2. Об'єкти структури сценарію

Ці таблиці визначають, як побудований симуляційний сценарій.

Таблиця: Сценарій (Scenario)

Призначення: Визначає сам симуляційний сценарій (наприклад, «Серцево-легенева реанімація в дорослого»).

Ключі: SCENARIO_ID (Ідентифікатор сценарію).

Зв'язок: Належить до конкретного курсу (COURSE_ID). На основі сценарію будуються ролі та події.

Таблиця: Роль у сценарії (ScenarioRole)

Призначення: Описує ролі, які учасники можуть виконувати в сценарії (наприклад, «Лідер команди», «Медсестра», «Спостерігач»).

Ключі: SCENARIO_ROLE_ID.

Зв'язок: Завжди належить до конкретного сценарію (SCENARIO_ID).

Таблиця: Події (Events)

Призначення: Фіксує ключові дії або події, що відбуваються під час симуляції (наприклад, «Медикамент введено», «Апарат ШВЛ підключено»).

Ключі: EVENT_ID.

Зв'язок: Належить до сценарію (SCENARIO_ID) і може бути безпосередньо зв'язаний з конкретною навчальною ціллю (OBJECTIVE_ID).

3. Об'єкти оцінювання та аналітики

Ці таблиці використовуються для вимірювання успішності учнів до та після симуляції.

Таблиця: Попереднє оцінювання сценарію (ScenarioPreassessment)

Призначення: Опитувальник або тест, який проводиться до симуляції.

Ключі: SCENARIO_PREASSESSMENT_ID.

Зв'язок: Завжди належить до конкретного курсу (COURSE_ID) та зв'язаний з навчальною ціллю (OBJECTIVE_ID). Це дозволяє оцінити, наскільки учень готовий до досягнення цієї цілі.

Таблиця: Підсумкове оцінювання сценарію (ScenarioPostassessment)

Призначення: Опитувальник або тест, який проводиться після симуляції.

Ключі: SCENARIO_POSTASSESSMENT_ID (зверніть увагу: у вашій вихідній схемі в цьому полі вказано _PREASSESSMENT_ID, що, ймовірно, є помилкою або особливістю іменування).

Зв'язок: Аналогічно попередньому, належить до курсу та цілі. Це дозволяє виміряти прогрес або рівень освоєння цілі після навчання.

4. Учасники (Participants)

Таблиця: Учень (Learner)

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Призначення: Зберігає інформацію про учнів.

Ключі: LEARNER_ID.

Належить до курсу (COURSE_ID). Учень може брати участь у різних сценаріях та проходити оцінювання.

Дана архітектура дозволяє створити повноцінний «data-driven» профіль симуляції. Кожна дія та подія (Events) можуть бути співставлені з навчальною ціллю (OBJECTIVE), а порівняння результатів попереднього та підсумкового оцінювання дозволяє інструктору точно виміряти ефективність симуляційного навчання.

4.1.2. Моделювання даних сесій

Рівень даних сесії призначений для фіксації динамічних результатів, згенерованих під час активної фази симуляції. Він забезпечує збереження відповідей на тести, експертних оцінок інструкторів та часових рядів біометричних параметрів.

Така організація даних дозволяє системі не лише констатувати рівень знань, а й будувати індивідуальні криві навчання, зіставляючи технічну продуктивність учня (виконання навчальних подій) із його фізіологічною вартістю, що є фундаментом для предиктивної аналітики в медичній освіті.

Запропонована гібридна архітектура рівня персистентності дозволяє ефективно поєднати сувору структурованість реляційних моделей для адміністрування навчання з високою продуктивністю NoSQL-рішень для обробки біометричних великих даних.

4.2. Структура та організація динамічних даних симуляційних сесій

Дані сесій симуляційного медичного навчання складають сукупність сутностей, що забезпечують персистентність емпіричної інформації, накопиченої безпосередньо під час реалізації освітнього процесу. На відміну

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

від статичних даних курсу, сесійні дані мають динамічний характер і формують «цифровий профіль» результативності учня. Структура цих даних базується на поєднанні суб'єктивних експертних оцінок (Instructor-level) та об'єктивних показників стану учня (Learner-level).

На рисунку 4.2 представлено діаграму «сутність-зв'язок» (ER), що детермінує логіку збереження результатів симуляційної активності.

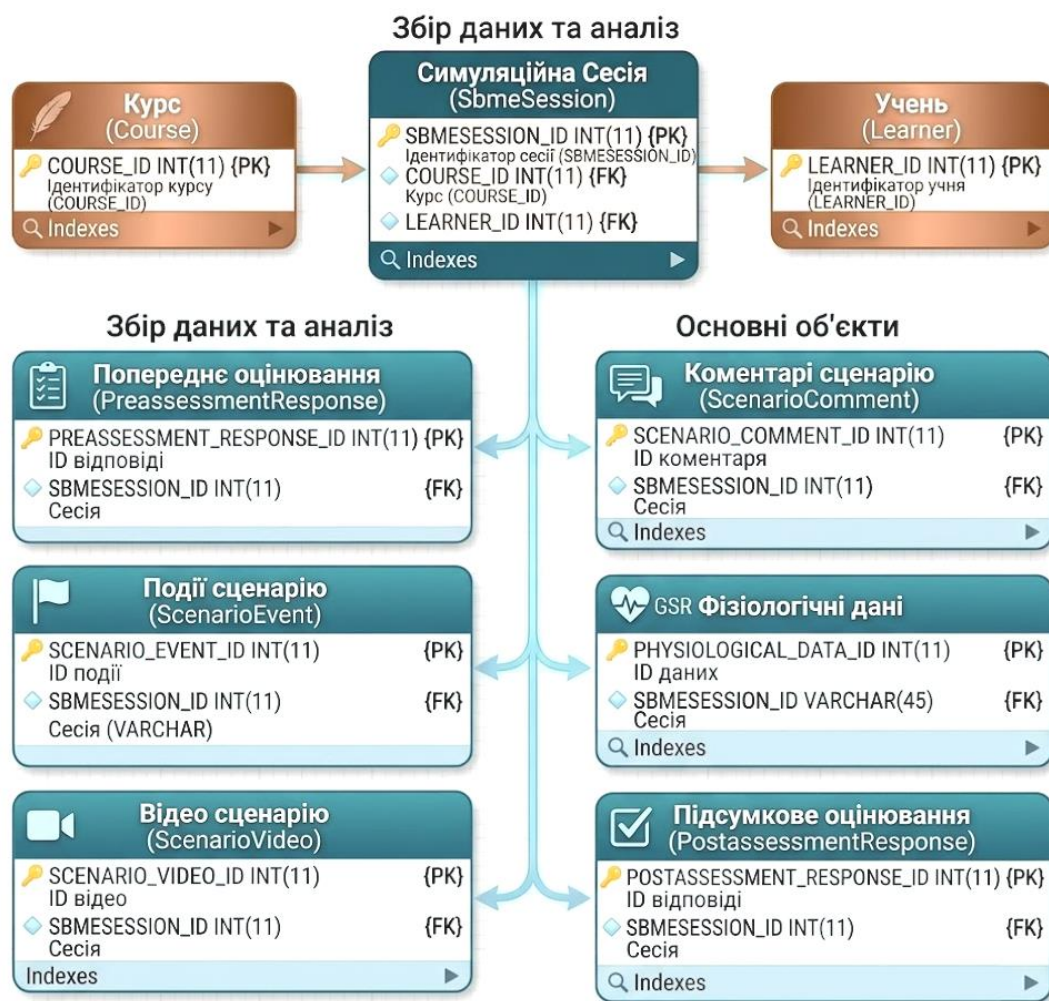


Рисунок 4.2 – Архітектура бази даних збереження результатів

4.2.1. Функціональна декомпозиція сутностей сесійного рівня

Для забезпечення комплексного аналізу компетенцій архітектура рівня даних передбачає використання таких ключових сутностей:

- Сесія симуляції (SBME Session): Центральна сутність, що виступає логічним якорем для всієї накопиченої інформації. Кожен запис у цій таблиці ідентифікує унікальний випадок участі учня в конкретній програмі. Вона містить зовнішні ключі (Foreign Keys) до сутностей «Учень» та «Курс», а також часові мітки початку та завершення активності, що є критичним для розрахунку загальної тривалості маніпуляцій.

- Результати діагностичного та підсумкового контролю (Pre/Post-Assessment Responses): Сутності, що зберігають відповіді респондентів на верифікаційні запитання. Дані структуровані у такий спосіб, щоб забезпечити автоматизований розрахунок «дельти» приросту знань шляхом порівняння вхідних та вихідних балів.

- Експертні коментарі (Scenario Comments): Репозиторій неструктурованих або напівструктурованих нотаток інструктора. Важливою особливістю є використання часових міток у форматі UNIX, що дозволяє синхронізувати зауваження викладача з конкретними кадрами відеозапису або аномаліями на графіках фізіологічних сигналів.

- Реєстрація навчальних подій (Scenario Events): Сутність, що фіксує результативність виконання критичних етапів сценарію. Оцінка кожної події (наприклад, «інтубація трахеї» або «введення адреналіну») дозволяє визначити рівень технічної майстерності учня та відповідність його дій встановленим протоколам.

- Біометричні масиви (Physiological Data): Сутність, призначена для зберігання часових рядів фізіологічних сигналів. З огляду на високу частоту дискретизації, ці дані часто індексуються за ідентифікатором сесії, що дозволяє проводити подальшу кореляцію між когнітивним навантаженням учня та складністю клінічної ситуації.

- Мультимедійні метадані (Scenario Video Metadata): Оскільки фактичні відеофайли великого об'єму зберігаються у файловій системі (Blob Storage), дана сутність містить лише посилання (URI) на ресурси, назви міток та

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

параметри кодування. Це забезпечує швидкий доступ до візуальних доказів під час дебрифінгу.

4.2.2. Синхронізація та цілісність мультимодальних даних

Ключовою проблемою при проектуванні сесійного рівня є забезпечення часової синхронізації між гетерогенними джерелами даних.

Для вирішення цього завдання в системі реалізовано механізм єдиної часової сітки, де кожна подія (будь то фізіологічний відгук, дія на манекені або коментар викладача) прив'язується до системного часу сервера. Це дозволяє при аналізі результатів відтворювати цілісну картину подій:

- співставляти піки стресової реакції з моментами прийняття критичних рішень;
- візуалізувати відеозапис маніпуляції одночасно з телеметрією симулятора пацієнта.

Організація даних на рівні сесії забезпечує формування валідного та деталізованого «цифрового сліду» медичного фахівця. Синергія суб'єктивних оцінок інструктора та об'єктивних фізіологічних метрик створює передумови для розробки інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у медичній освіті, дозволяючи точно ідентифікувати етапи, на яких учень потребує додаткового тренування.

4.3. Специфікація та опис інформаційних блоків головної панелі керування навчальної платформи

На рисунку 4.3 поданий інтерфейс користувача спеціалізованої навчальної системи, призначеної для управління симуляційним медичним навчанням (SBME). Дизайн платформи виконано у сучасному мінімалістичному стилі з використанням карток для візуалізації ключових метрик та процесів.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

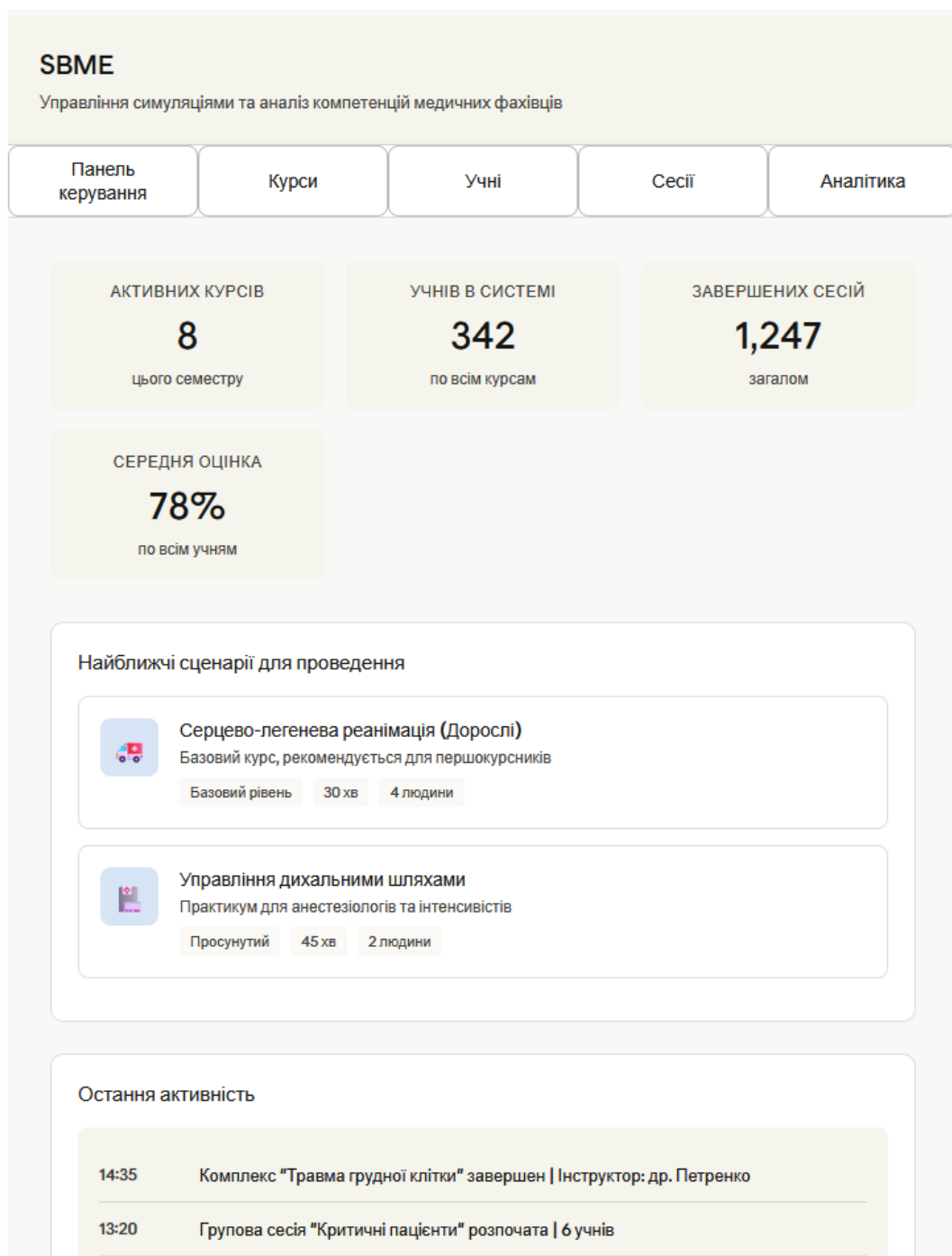


Рисунок 4.3 – Головна сторінка начальної платформи

Наведемо детальний опис функціональних блоків інтерфейсу в контексті науково-практичної архітектури системи:

1. Верхня панель навігації та заголовна частина

У верхній частині інтерфейсу розташовано ідентифікатор системи та її функціональне призначення: «Управління симуляціями та аналіз

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

компетенцій медичних фахівців». Горизонтальне меню забезпечує швидкий доступ до основних модулів системи, що відповідають описаній раніше архітектурі:

- Панель керування (поточний активний розділ);
- Курси (модуль створення навчальних програм);
- Учні (база даних учасників та їхніх профілів);
- Сесії (адміністрування активних та минулих симуляцій);
- Аналітика (модуль обробки даних та генерації звітів).

2. Блок ключових показників

Центральна частина панелі містить агреговані статистичні дані, що дозволяють інструктору миттєво оцінити масштаб та результативність навчального процесу:

- Кількісні показники: Відображено число активних курсів, загальну кількість зареєстрованих учнів та обсяг проведених сесій.
- Якісні показники: Виведено середній бал успішності по всій системі, що є результатом обробки даних попереднього та підсумкового оцінювання (Pre/Post-assessments).

3. Операційний блок: Найближчі сценарії

Цей розділ демонструє можливості модуля генерації програм. Кожен сценарій представлений окремою інтерактивною карткою з метаданими:

- Назва та опис: Наприклад, «Серцево-легенева реанімація (Дорослі)» із зазначенням цільової аудиторії (першокурсники).
- Параметризація: Вказано рівень складності (базовий/просунутий), тривалість сесії (30/45 хв) та рекомендовану кількість учасників. Це підтверджує можливість інструктора налаштовувати сценарії відповідно до конкретних навчальних цілей.

4. Моніторинг активності

Нижній блок системи забезпечує реєстрацію подій у реальному часі. Журнал активності фіксує:

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

- Час завершення або початку сесій;
- Назви конкретних навчальних модулів (наприклад, Комплекс «Травма грудної клітки»);
- Відповідальних інструкторів та кількість залучених учнів.

Інтерфейс характеризується високим рівнем інформативності та структурованості. Використання контрастної типографіки для числових даних та іконографіки для візуального кодування типів сценаріїв сприяє зниженню когнітивного навантаження на інструктора. Дана візуальна модель повністю відповідає концепції data-driven платформи, де складні процеси обробки фізіологічних та академічних даних конвертуються у зрозумілі індикатори успішності та операційні статуси.

4.4. Опис інтерфейсу моніторингу та адміністрування навчальних курсів

На рисунку 4.4 подано інтерфейс модуля «Курси» інтелектуальної системи, який відповідає за адміністрування та моніторинг навчальних програм симуляційного медичного навчання.

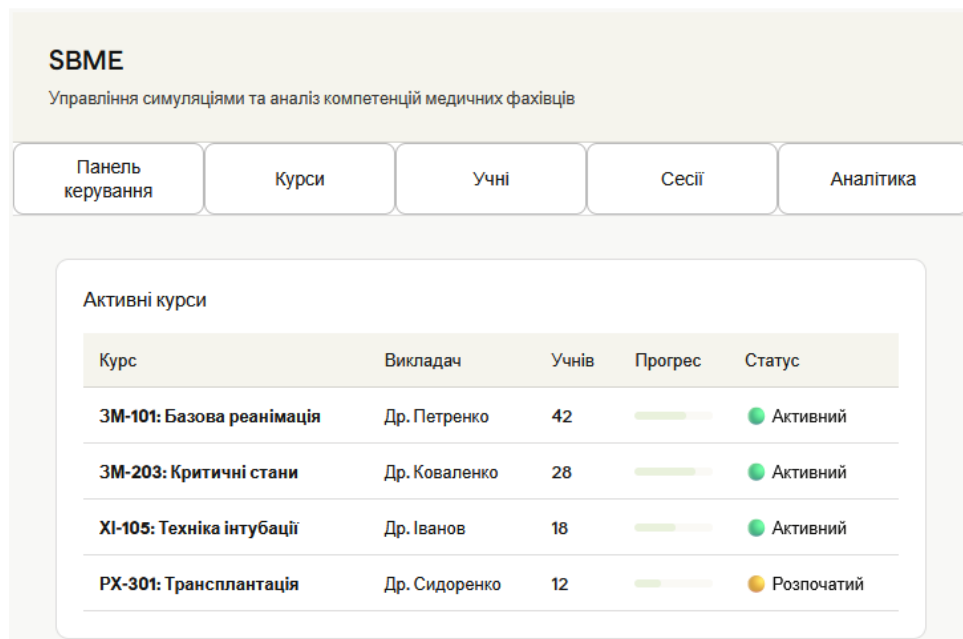


Рисунок 4.4 – Інтерфейс модуля курсів

Виконаємо опис структурних елементів даного інтерфейсу (рис. 4.4):

1. Функціональна архітектура та навігація

Верхній сегмент інтерфейсу містить стандартизовану панель навігації, що забезпечує контекстний перехід між ключовими модулями системи (Панель керування, Курси, Учні, Сесії, Аналітика). Це відповідає вимогам до побудови багатофункціональних LMS-систем, де кожен розділ є логічним продовженням етапу проектування або оцінювання.

2. Реєстр активних навчальних програм

Центральним елементом інтерфейсу є блок «Активні курси», реалізований у вигляді структурованої таблиці. Дана форма представлення даних дозволяє здійснювати комплексний моніторинг освітнього процесу за декількома параметрами:

- Ідентифікація та номенклатура: Кожен курс має унікальний код (наприклад, ЗМ-101, ХІ-105) та тематичну назву, що відображає клінічну спрямованість симуляції (Базова реанімація, Техніка інтубації тощо).

- Супровід та відповідальність: Графа «Викладач» вказує на закріпленого інструктора, що забезпечує дотримання принципу конфіденційності та ієрархії доступу, описаного в архітектурі системи (модуль автентифікації).

- Масштабованість: Показник «Учнів» відображає кількісне залучення суб'єктів до конкретного курсу, що важливо для статистичного аналізу вибірки.

3. Динамічні індикатори прогресу та статусу

Інтерфейс інтегрує інструменти візуалізації стану виконання навчальних планів у реальному часі:

- Progress Bar (прогрес): Лінійна візуалізація ступеня завершеності курсу, що базується на відношенні проведених симуляційних сесій до загального плану програми.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Operational Status (статус): Кольорове маркування станів (Активний — зелений, Розпочатий — жовтий) дозволяє інструктору оперативно диференціювати етапи життєвого циклу програми.

Даний інтерфейс є практичною реалізацією першої фази життєвого циклу системи. Він дозволяє переходити від теоретичного визначення цілей до безпосереднього керування списком навчальних заходів, інтегруючи дані про викладацький склад та контингент учнів.

4.5. Опис інтерфейсу управління профілями учнів та моніторингу індивідуального прогресу

На рисунку 4.5 подано інтерфейс модуля «Учні» (або підрозділу «Профілі учнів») системи. Цей екран є практичною реалізацією функціоналу збору та відображення персоналізованих даних про суб'єктів навчання.

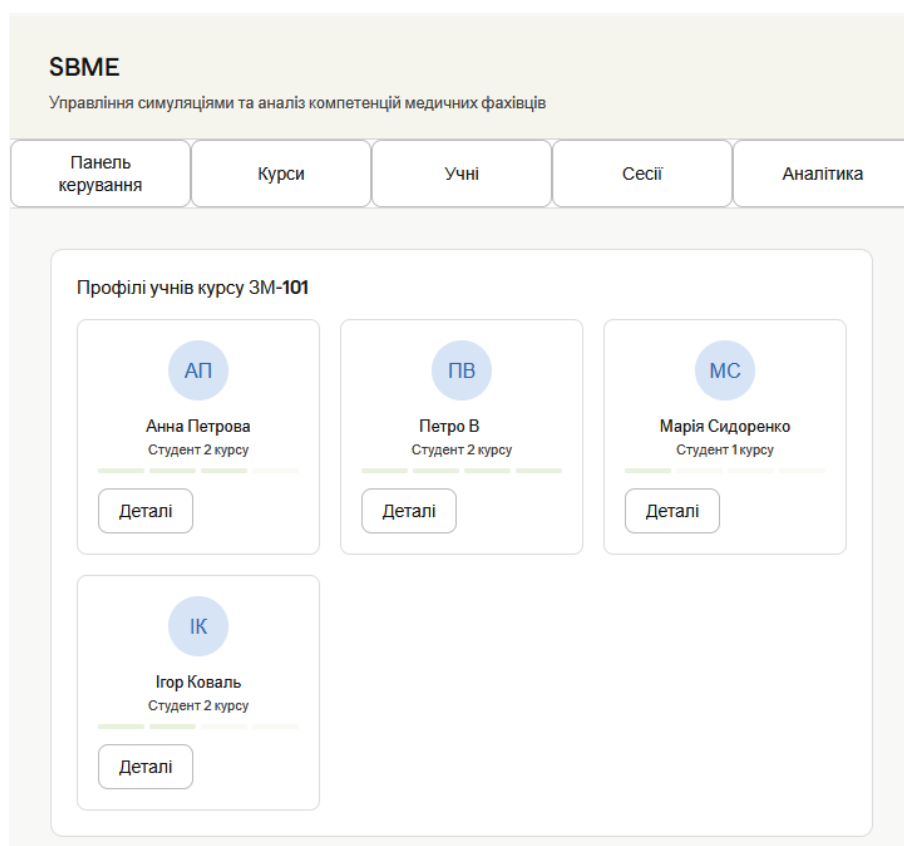


Рисунок 4.5 – Інтерфейс модуля “учні”

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Нижче наведено опис структурних та функціональних елементів цього інтерфейсу:

1. Контекстна ієрархія та навігація

Верхня частина інтерфейсу зберігає консистентність із загальною архітектурою платформи, відображаючи назву системи та головне меню. Виділений розділ «Профілі учнів курсу ЗМ-101» свідчить про інтеграцію між модулями: система фільтрує базу даних учнів відповідно до обраної навчальної програми, що було спроектовано на етапі створення куррикулуму.

2. Візуалізація персональних карток учнів

Інтерфейс використовує модульну сітку для представлення профілів студентів. Кожна картка є інформаційним вузлом, що містить:

- Аватар з ініціалами: Для швидкої візуальної ідентифікації.
- Персональні дані: Прізвище, ім'я та академічний статус (наприклад, «Студент 2 курсу»), що дозволяє інструктору враховувати базовий рівень підготовки при оцінюванні.
- Індикатор прогресу (Progress Bar): Під кожним профілем розташована дискретна шкала, яка візуалізує ступінь виконання навчальних завдань у межах поточного курсу.

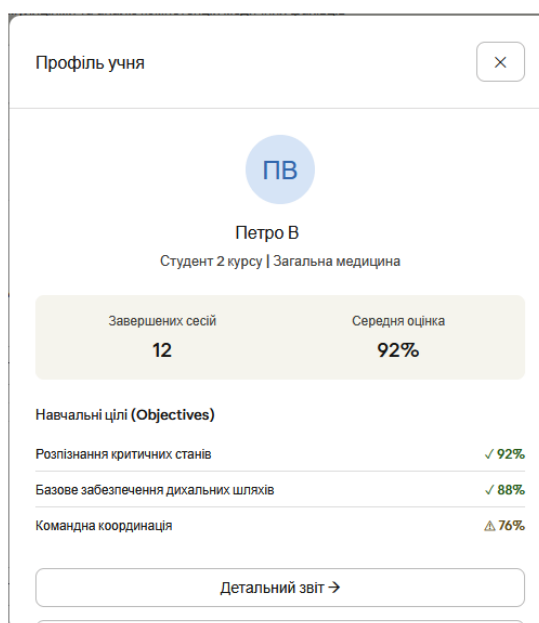


Рисунок 4.6 – Профіль учня (коротка форма)

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Інтерактивні елементи та доступ до даних

Кнопка «Деталі» на кожній картці є точкою входу до розширеного аналітичного профілю учня. Згідно з архітектурою, цей перехід відкриває доступ до:

- Результатів Pre-assessment та Post-assessment опитувань.
- Архіву фізіологічних даних, зібраних під час симуляцій.
- Індивідуальних оцінок та коментарів інструктора.

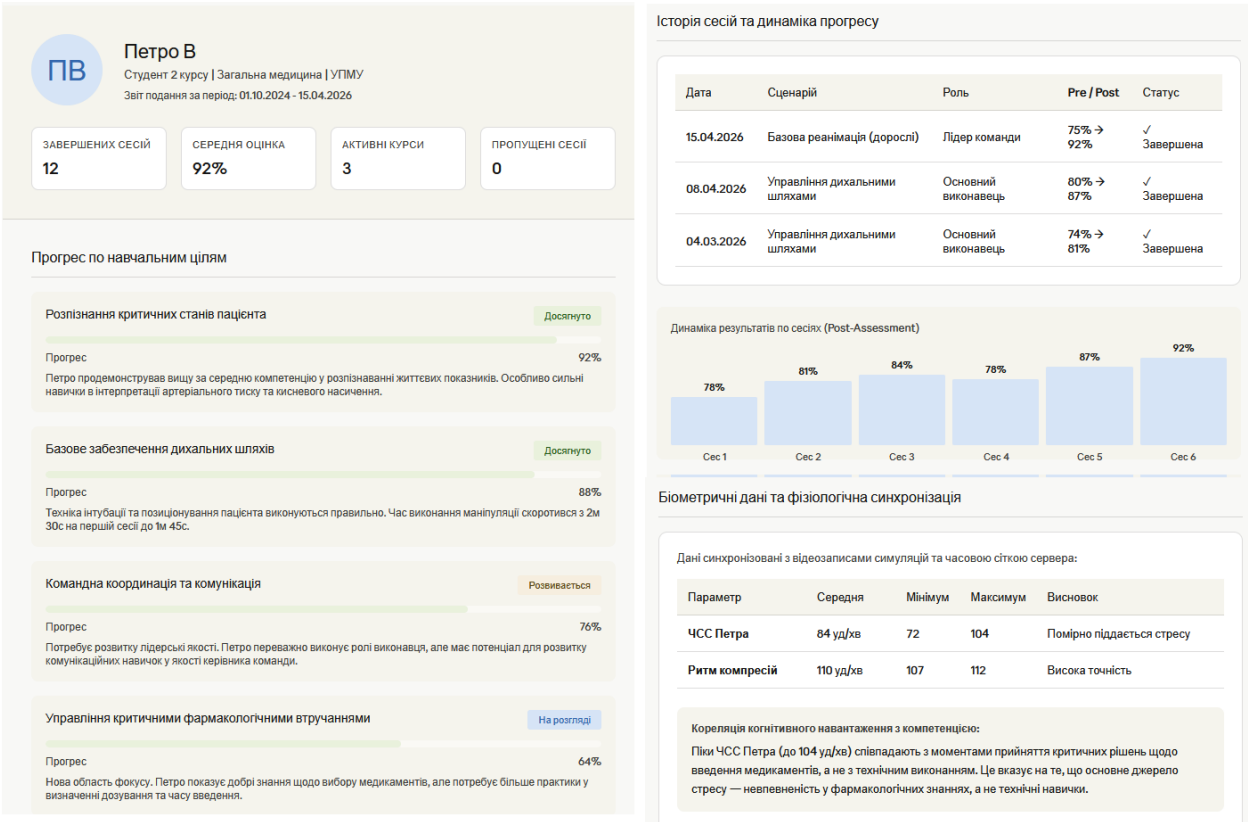
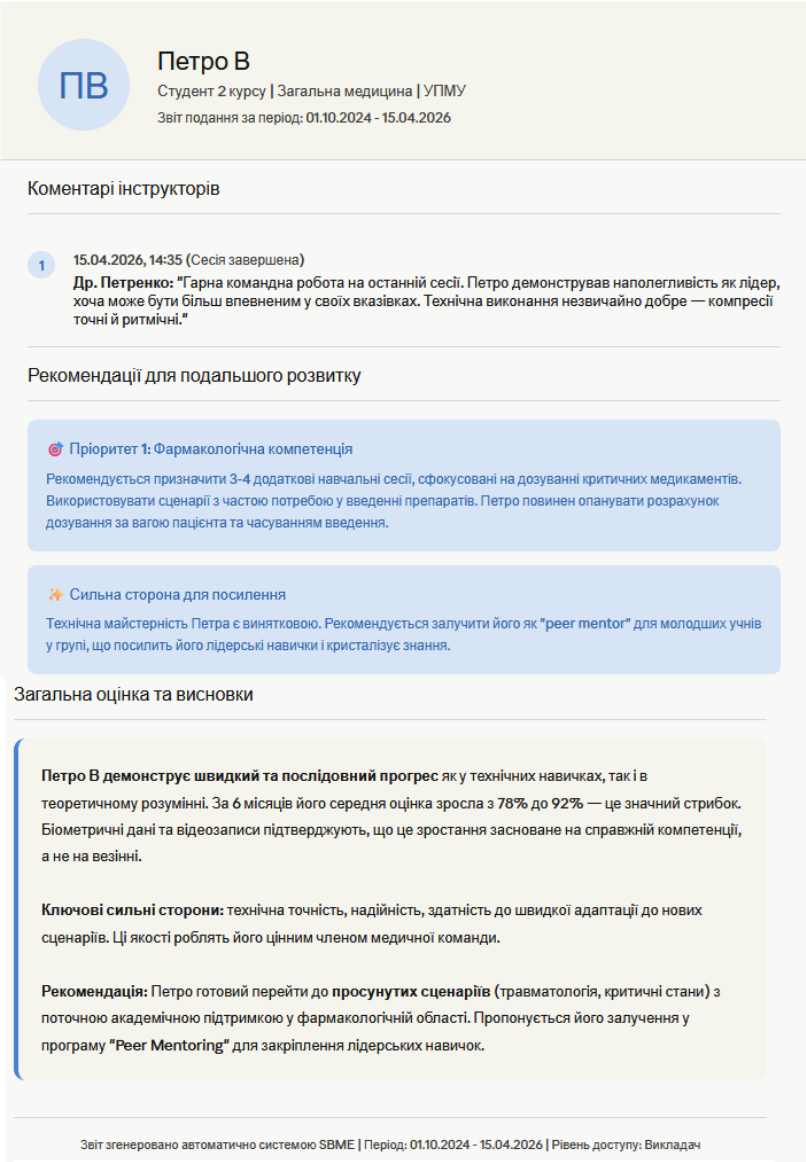


Рисунок 4.7 – Профіль учня (детальна інформація)

Даний екран є фронтенд-відображенням Learner-level Assessment Module. Він дозволяє не просто бачити список студентів, а й здійснювати порівняльний аналіз успішності групи в межах одного курсу. Такий підхід забезпечує трансформацію сирих даних у зрозумілу структуру для подальшого прийняття педагогічних рішень.



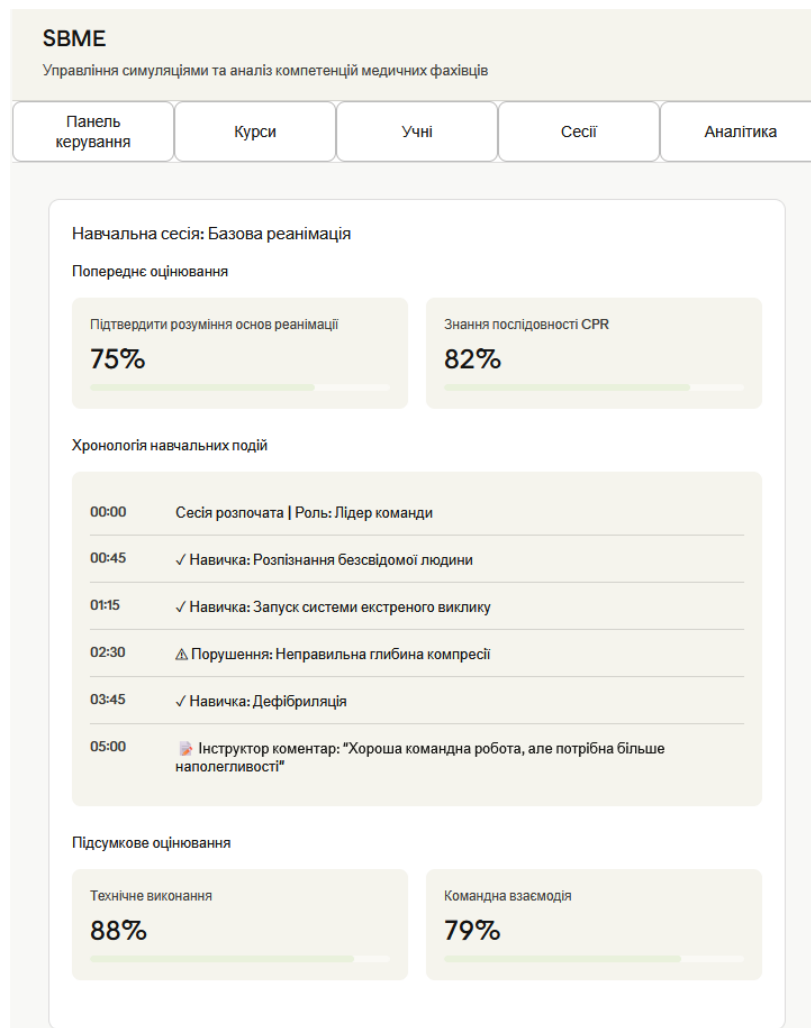


Рисунок 4.9 – Інтерфейс модуля сесії

Виконаємо опис структури та функціональних можливостей цього інтерфейсу:

1. Ідентифікація та контекст сесії

У верхній частині робочої області відображено назву активної сесії: «Базова реанімація». Інтерфейс інтегрований із загальною навігаційною панеллю системи, що забезпечує швидкий перехід до аналітики або списку курсів.

2. Аналіз вхідного рівня знань (Pre-assessment)

Перший блок візуалізує результати попереднього оцінювання, проведеного безпосередньо перед початком симуляції. Дані представлені у вигляді відсоткових індикаторів за конкретними когнітивними цілями:

- Підтвердження розуміння основ реанімації;
- Знання послідовності CPR.

Це дозволяє інструктору співвіднести теоретичну підготовку учня з його подальшими практичними діями.

3. Хронологія навчальних подій

Центральний блок представляє собою часову шкалу симуляції, що автоматично генерується системою на основі дій учня та позначок інструктора:

- Таймінг: Фіксація подій з точністю до секунди.
- Типологія подій: Система диференціює успішне виконання навичок (позначка «✓»), виявлені порушення чи помилки (позначка «⚠») та організаційні моменти.

- Об'єктивний контроль: Зафіксовано такі критичні навички, як «Розпізнання безсвідомої людини», «Запуск системи виклику», «Дефібриляція».

- Експертний відгук: В кінці хронології відображається інтегрований коментар інструктора, що забезпечує якісний зворотний зв'язок.

4. Підсумкове оцінювання результативності

Нижній блок відображає результати навчання, отримані шляхом обробки даних після завершення сесії:

- Технічне виконання: Об'єктивна метрика якості маніпуляцій.
- Командна взаємодія: Оцінка м'яких навичок (soft skills) та комунікації.

Даний інтерфейс є візуальною реалізацією Data Acquisition Module та Learner-level Assessment Module. Він дозволяє:

- Об'єднувати суб'єктивні оцінки викладача з об'єктивними часовими мітками подій.
- Виявлення конкретного моменту помилки (наприклад, «Неправильна глибина компресії» на 02:30) дозволяє проводити цілеспрямований дебрифінг.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

- Оцінювати прогрес, виконувати порівняння вхідних з підсумковими дає можливість кількісно виміряти ефективність навчального впливу.

4.7. Опис інтерфейсу оцінки навчальних досягнень та валідації освітніх цілей

На рисунку 4.10 подано інтерфейс модуля «Аналітика» (розділ аналітики курсу). Цей екран є візуалізацією Course-level Assessment Module, який агрегує дані всіх учасників для оцінки ефективності навчальної програми в цілому.

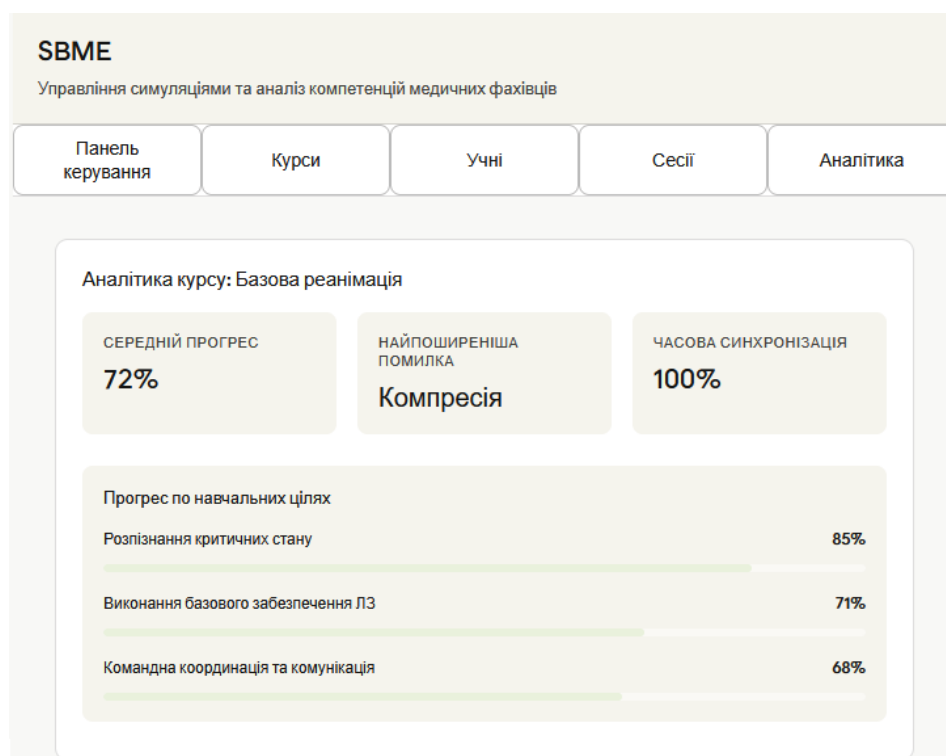


Рисунок 4.10 – Інтерфейс аналітики курсу

Виконаємо опис структурних елементів цього інтерфейсу:

1. Глобальні метрики курсу

У верхній частині робочої області розташовані картки з ключовими показниками ефективності для курсу «Базова реанімація»:

- Середній прогрес: Інтегральний показник, що відображає рівень успішності всієї групи учнів відносно встановлених стандартів курсу.

- Найпоширеніша помилка: Результат автоматизованого аналізу блоку Scenario Events. Система ідентифікує найбільш критичну прогалину в практичних навичках студентів, що дозволяє інструктору внести корективи в методику викладання.

- Часова синхронізація: Технічний індикатор, що підтверджує цілісність збору даних (фізіологічних показників, відео та відміток інструктора) та їх точну прив'язку до часової шкали сценаріїв.

2. Деталізація за навчальними цілями

Нижній блок інтерфейсу демонструє реалізацію зв'язку між архітектурою бази даних (таблиця OBJECTIVE) та фактичними результатами навчання:

- Розпізнання критичних станів (85%): Найвищий показник, що свідчить про успішне засвоєння діагностичного етапу.

- Виконання базового забезпечення ЛЗ (71%): Показник технічних маніпуляцій, який корелює з виявленою помилкою в компресії.

- Командна координація та комунікація (68%): Оцінка нетехнічних навичок (CRM), яка вказує на потенційну потребу в додаткових тренінгах із взаємодії.

Цей інтерфейс виконує роль інструмента стратегічного аналізу для адміністраторів та провідних інструкторів:

- якщо середній прогрес за певною ціллю стабільно низький, це сигналізує про необхідність перегляду дизайну сценарію або методів навчання.

- перехід від суб'єктивного сприйняття групи («здається, вони справляються») до об'єктивного числового аналізу.

- розуміння «найпоширенішої помилки» дозволяє зосередити ресурси системи на відпрацюванні конкретних, найбільш проблемних навичок.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.8 Висновки по розділу

У розділі реалізовано програмну складову інтелектуальної системи управління симуляційним навчанням медиків. Розроблено структуру персистентності та моделі даних, що забезпечують цілісність і узгодженість інформації. Запропоновано підходи до організації та синхронізації мультимодальних даних симуляційних сесій. Реалізовано інтерфейси користувача для адміністрування, моніторингу та оцінювання результатів навчання. Отримані результати підтверджують практичну придатність системи для підвищення ефективності та професійності медичних працівників.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі здійснено вирішення прикладного завдання розробки інтелектуальної системи підвищення ефективності та професійності медичних працівників на основі інтеграції сучасних інформаційних технологій, симуляційного навчання та методів аналізу мультимодальних даних.

У першому розділі виконано ґрунтовний аналіз предметної області, який дозволив встановити, що проблема медичних помилок залишається критичною для систем охорони здоров'я та значною мірою зумовлена недостатнім рівнем практичної підготовки, обмеженістю об'єктивних методів оцінювання та фрагментарністю освітніх підходів. Обґрунтовано доцільність використання симуляційного навчання як ефективного інструменту формування професійних компетентностей медиків, що забезпечує безпечне середовище для відпрацювання клінічних сценаріїв. Визначено ключові архітектурні принципи побудови інтелектуальних хмарно-орієнтованих платформ, зокрема масштабованість, модульність, інтероперабельність та орієнтацію на дані.

У другому розділі досліджено методологічні засади симуляційного навчання в медицині, що дало змогу визначити його як системоутворюючий елемент сучасної медичної освіти. Проаналізовано підходи до проєктування симуляційних програм, зокрема принципи сценарного моделювання, стандартизації навчального контенту та адаптивності освітніх траєкторій. Встановлено, що ключовим чинником підвищення ефективності навчання є індивідуалізація зворотного зв'язку на основі аналітики даних. Узагальнено еволюцію систем управління навчанням та визначено їх обмеження у контексті медичної освіти, що обґрунтовує необхідність створення спеціалізованих інтелектуальних рішень, здатних враховувати специфіку клінічної підготовки та високі вимоги до точності оцінювання.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

У третьому розділі розроблено архітектуру та функціональну модель інтелектуальної системи управління навчанням медиків. Запропоновано багаторівневу структуру збору та аналізу даних, що включає рівень суб'єкта навчання, експертного контролю та технологічного середовища, забезпечуючи цілісне представлення навчального процесу. Сформовано концептуальну модель стандартизованого симуляційного навчання, яка охоплює етапи проєктування програм, проведення сесій, збору мультимодальних даних та їх аналітичної обробки. Визначено ключові архітектурні атрибути системи, такі як розподіленість, масштабованість, відмовостійкість та підтримка потокової обробки даних. Деталізовано функціональну декомпозицію прикладного рівня, клієнтських інтерфейсів та сервісів, що реалізують логіку обробки даних, прогнозування та підтримки прийняття рішень.

У четвертому розділі реалізовано програмну складову інтелектуальної системи, зокрема спроектовано структуру персистентності та моделі даних, що відображають специфіку симуляційного навчання. Розроблено моделі сутностей навчальних програм і сесій, що дозволяють забезпечити цілісність, узгодженість та масштабованість даних. Запропоновано механізми синхронізації мультимодальних потоків інформації, що є критично важливими для коректного аналізу результатів навчання. Реалізовано інтерфейси адміністрування, моніторингу та оцінювання, які забезпечують зручну взаємодію користувачів із системою, візуалізацію аналітичних показників та підтримку процесів прийняття освітніх рішень.

Практична значущість отриманих результатів полягає у можливості впровадження розробленої системи в освітній процес медичних закладів для підвищення якості підготовки фахівців, зниження рівня медичних помилок та формування об'єктивної системи оцінювання компетентностей.

					БР.ІП – 76.00.00.000 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Smith J., Brown T. Intelligent Systems in Medical Education: A Simulation-Based Approach // Journal of Medical Systems. – New York: Springer, 2021. – Vol. 45, No. 3. – pp. 1–15.
2. Johnson P., Lee K. Simulation Training and Reduction of Medical Errors // The Lancet Digital Health. – London: Elsevier, 2020. – Vol. 2, No. 6. – pp. 301–309.
3. Williams R., Chen L. Cloud-Based Platforms for Healthcare Training // IEEE Access. – New York: IEEE, 2022. – Vol. 10. – pp. 11234–11248.
4. Miller A., Davis S. Multimodal Data Analytics in Medical Simulation // ACM Transactions on Computing for Healthcare. – New York: ACM, 2021. – Vol. 2, No. 4. – pp. 1–20.
5. Anderson B., Clark M. Artificial Intelligence in Clinical Education Systems // Computers in Biology and Medicine. – Oxford: Elsevier, 2019. – Vol. 109. – pp. 85–95.
6. Taylor G., Wilson P. Design of Simulation-Based Learning Environments // Medical Education. – Oxford: Wiley-Blackwell, 2020. – Vol. 54, No. 7. – pp. 620–630.
7. Moore D., Green J. Adaptive Learning in Medical Training Systems // Educational Technology & Society. – Taiwan: IFETS, 2021. – Vol. 24, No. 2. – pp. 45–57.
8. Harris L., Young E. Big Data in Healthcare Education Analytics // Journal of Biomedical Informatics. – San Diego: Elsevier, 2022. – Vol. 128. – pp. 104020.
9. White S., Martin R. Evaluation Metrics in Simulation-Based Medical Training // Advances in Health Sciences Education. – Dordrecht: Springer, 2020. – Vol. 25. – pp. 897–912.

					БР.ІІІ – 76.00.00.000 ІІЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

10. Thompson H., Garcia F. RESTful Architectures in E-Learning Systems // IEEE Software. – New York: IEEE, 2019. – Vol. 36, No. 2. – pp. 56–63.
11. Walker P., Adams N. Cloud Computing in Medical Simulation Platforms // Future Generation Computer Systems. – Amsterdam: Elsevier, 2021. – Vol. 115. – pp. 522–531.
12. Scott D., Nguyen T. Learning Analytics for Healthcare Professionals // Computers & Education. – Oxford: Elsevier, 2020. – Vol. 148. – pp. 103789.
13. Perez J., Kumar S. Integration of Biometric Data in Training Systems // IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics. – New York: IEEE, 2022. – Vol. 26, No. 5. – pp. 2101–2110.
14. Brown C., Wilson A. Simulation-Based Assessment in Medical Education // Academic Medicine. – Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2019. – Vol. 94, No. 10. – pp. 1500–1506.
15. Zhang Y., Li X. Intelligent Decision Support in Medical Training // Expert Systems with Applications. – Oxford: Elsevier, 2021. – Vol. 165. – pp. 113905.
16. Robinson M., Scott P. Design Patterns for Educational Software Systems // Software: Practice and Experience. – Chichester: Wiley, 2020. – Vol. 50, No. 8. – pp. 1450–1465.
17. Clark D., Evans H. Simulation Technologies in Healthcare Education // BMJ Simulation & Technology Enhanced Learning. – London: BMJ Publishing, 2021. – Vol. 7. – pp. 120–126.
18. Green K., Hall J. Data-Driven Education Systems in Medicine // IEEE Transactions on Learning Technologies. – New York: IEEE, 2022. – Vol. 15, No. 3. – pp. 345–356.
19. Adams R., Baker S. Architecture of Distributed Learning Systems // Journal of Systems Architecture. – Amsterdam: Elsevier, 2020. – Vol. 107. – pp. 101713.

					БР.ІІІ – 76.00.00.000 ІІЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

20. Lee S., Park H. Real-Time Data Processing in Simulation Platforms // Future Internet. – Basel: MDPI, 2021. – Vol. 13, No. 9. – pp. 230.
21. Johnson M., White P. Personalized Feedback in Medical Training // Medical Teacher. – London: Taylor & Francis, 2020. – Vol. 42, No. 4. – pp. 420–426.
22. Kumar R., Singh V. Machine Learning for Skill Assessment in Healthcare // Pattern Recognition Letters. – Amsterdam: Elsevier, 2022. – Vol. 153. – pp. 14–21.
23. Allen T., Scott L. Digital Transformation of Medical Education // International Journal of Medical Informatics. – Amsterdam: Elsevier, 2021. – Vol. 149. – pp. 104429.
24. Chen Z., Wang Y. Intelligent Tutoring Systems in Healthcare Training // Artificial Intelligence in Medicine. – Oxford: Elsevier, 2020. – Vol. 107. – pp. 101902.
25. Greenfield D., Thomas R. Cloud-Native Architectures for Education Platforms // IEEE Cloud Computing. – New York: IEEE, 2021. – Vol. 8, No. 3. – pp. 34–42.
26. Martin J., Lopez G. Simulation Scenarios Design in Clinical Training // Nurse Education Today. – Oxford: Elsevier, 2019. – Vol. 79. – pp. 120–125.
27. Singh A., Patel D. Data Integration Techniques for Learning Systems // Information Systems. – Oxford: Elsevier, 2022. – Vol. 103. – pp. 101879.
28. Walker S., Green D. Multimodal Learning Analytics in Healthcare // IEEE Access. – New York: IEEE, 2021. – Vol. 9. – pp. 55678–55690.
29. Brown P., Davis L. Interactive Dashboards for Education Systems // Journal of Visualization. – Tokyo: Springer, 2020. – Vol. 23. – pp. 1121–1133.
30. Lewis H., Carter J. Software Architecture for Intelligent Systems // ACM Computing Surveys. – New York: ACM, 2021. – Vol. 54, No. 5. – pp. 1–36.

					БР.ІІІ – 76.00.00.000 ІІЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

31. Miller T., Scott A. Evaluation of Clinical Competence Using Simulation // Medical Education Review. – London: Wiley, 2022. – Vol. 56. – pp. 200–210.

32. Davis P., Clark R. Web-Based Systems for Medical Training // IEEE Internet Computing. – New York: IEEE, 2020. – Vol. 24, No. 6. – pp. 72–79.

33. Nguyen L., Tran H. Data Streaming in Distributed Systems // Journal of Parallel and Distributed Computing. – Amsterdam: Elsevier, 2021. – Vol. 150. – pp. 45–56.

34. White D., Harris K. Artificial Intelligence for Medical Skill Enhancement // AI in Healthcare. – Cham: Springer, 2022. – pp. 89–105.

35. Scott R., Moore J. Standardization in Simulation-Based Education // Simulation in Healthcare. – Philadelphia: Lippincott, 2020. – Vol. 15, No. 3. – pp. 180–186.

36. Taylor M., Brown E. Educational Data Mining in Healthcare // Journal of Educational Data Mining. – Pittsburgh: IEDMS, 2021. – Vol. 13, No. 2. – pp. 25–40.

37. Wilson T., Adams P. Design of Intelligent Learning Environments // Computers in Human Behavior. – Oxford: Elsevier, 2022. – Vol. 129. – pp. 107138.

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи: “Інтелектуальна система підвищення ефективності та професійності медиків”

Обсяг пояснювальної записки: 82 аркуші.

Дата закінчення роботи: 9 червня 2026 р.

Підпис студента _____