

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління  
(повна назва)

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)  
(рівень вищої освіти)

Мікросервісна архітектура розумного кіберуніверситету  
(тема)

Виконав: здобувач IV курсу, групи КІУКІ-21-8  
Магомедов А.А.  
(прізвище, ініціали)


Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія  
Тип програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма  
Комп'ютерна інженерія  
(повна назва освітньої програми)

Керівник Хаханов В.І.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри АПОТ

  
(підпис)

Чумаченко С.В.  
(прізвище, ініціали)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія  
(шифр і назва)

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

Освітня програма Комп'ютерна інженерія  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри АПОТ



Чумаченко С.В.

(підпис)

« 06 » 05 2025 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Магомедову Арсену Абдулмуталімовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Мікросервісна архітектура розумного кіберуніверситету

затверджена наказом по університету від " 21 " 05 2025 р. № 403 Ст.

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 15.06.2025

3. Вихідні дані до роботи (проекту)

Моделі, метрики, архітектури розумного кіберуніверситету

Структура хмарних сервісів

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

Огляд технологій

Аналіз моделей, метрик кіберуніверситету, математичного апарату векторної логіки

Розробка структури кіберсервісу успішності здобувача на основі векторної логіки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів)

19 слайд

---

---

---

---

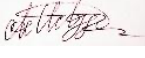
6. Консультанти розділів роботи (проекту)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи (проекту)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Видача теми проекту, узгодження і затвердження	06.05.2025 - 06.05.2025	
2	Аналіз проблемної галузі, постановка задачі, вибір інструментальних засобів. Складання аналітичного огляду стану технологій. Аналіз останніх досліджень та публікацій.	07.05.2025 - 10.05.2025	
3	Опис обраних моделей, методів та алгоритмів	10.05.2025 - 17.05.2025	
4	Розробка сервісів розумного кіберуніверситету	18.05.2025 - 23.05.2025	
5	Синтез векторної логіки успішності	24.05.2025 - 30.05.2025	
6	Верифікація	01.06.2025 - 05.06.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки	06.06.2025 - 10.06.2025	
8	Перевірка виконаного проекту керівником, допуск до захисту	11.06.2025 - 12.06.2025	
9	Захист проекту	26.06.2025	

Дата видачі завдання 06.05.2025

Здобувач  (підпис)

Магомедов А.А.

Керівник роботи  (підпис)

проф. Хаханов В.І.  
(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 46 с., 9 рисунків, 1 дод.,  
33 джерел.

### СИСТЕМА, АРХІТЕКТУРА, СЕРВІС, КІБЕРСОЦІАЛЬНИЙ КОМП'ЮТИНГ, МЕТРИКА, КІБЕРУНІВЕРСИТЕТ

Тематика роботи стосується питань створення мікросервісної архітектури розумного кіберуніверситету на основі моделей, метрик та технологій для кіберфізичних науково-освітніх процесів.

В роботі розглянуто стан технологій; аналіз сучасних публікацій, актуальні моделі, метрики, сервіси кіберуніверситету, математичний апарат на основі векторно-логічного комп'ютингу для обробки великих даних, запропоновано кіберсервіс векторної логіки здобувача вищої освіти.

## ABSTRACT

Bachelor's thesis contains 46 pages format A4, 9 figures, 1 application, 33 sources.

SYSTEM, ARCHITECTURE, SERVICE, CYBERSOCIAL  
COMPUTING, METRICS, CYBERUNIVERSITY

The topic of the work concerns the creation of a microservice architecture of a smart cyberuniversity based on models, metrics and technologies for cyberphysical scientific and educational processes.

The work considers the state of technology; analysis of modern publications, current models, metrics, cyberuniversity services, mathematical apparatus based on vector logic computing for processing big data, and proposes a vector logic cyberservice for a higher education applicant.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП	8
1 СТАН ТЕХНОЛОГІЙ	9
1.1 Тенденції розвитку технологій від Gartner	9
1.2 Аналіз досліджень та публікацій	16
1.3 Висновки та постановка завдання	21
2 МОДЕЛІ, МЕТРИКИ, ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ РОЗУМНОГО КІБЕРУНІВЕРСИТЕТУ	23
2.1 Розумний кіберуніверситет	23
2.2 Оцифрування відношень	25
2.3 Керована активність та метрика розумного кіберуніверситету	25
2.4 Хмарні сервіси (функціональності) розумного кіберуніверситету	27
2.5 Інноваційні сервіси розумного кіберуніверситету	29
2.6 Математичний апарат векторно-логічного комп'ютингу	34
2.7 Висновки до розділу 2	38
3 КІБЕРСЕРВІС ВЕКТОРНОЇ ЛОГІКИ УСПІШНОСТІ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ	39
3.1 Автоматна структура кіберуніверситету	39
3.2 Синтез та верифікація векторно-логічних моделей соціальних процесів	40
3.3 Синтез векторної логіки успішності	42
3.4 Верифікація	43
3.5 Висновки до розділу 3	45
ВИСНОВКИ	46
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	47
ДОДАТОК А_Графічна частина	53

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

AI – Artificial Intelligence (штучний інтелект);

AR – Augmented Reality;

CyUni – CyberUniversity;

EXTech – Employee Experience;

GenAI – Generative AI (генеративний ШІ);

HR – Human Resources;

HRTech – Human Resources Technologies;

IoT – Internet of Things;

LMS – Learning Management System;

LXP – Learning experience platform;

MOOC – Massive Open Online Courses;

VoE – Voice of the Employee;

VR – Virtual Reality;

ДНФ – диз'юнктивна нормальна форма;

ШІ – штучний інтелект.

## ВСТУП

Тематика роботи стосується питань створення мікросервісної архітектури розумного кіберуніверситету на основі моделей, метрик та технологій для кіберфізичних науково-освітніх процесів.

Задачі: огляд стану технологій; аналіз публікацій, аналіз моделей, метрик, сервісів кіберуніверситету, розробка кіберсервісу векторної логіки успішності здобувача вищої освіти.

Мета роботи – підвищення якості моніторингу та управління науково-освітніми процесами за рахунок розробки мікросервісної архітектури розумного кіберуніверситету з інтеграцією технологій big data, cloud computing, mobile services та cyber physical systems, IoT та сервіс-орієнтованих платформ програмування.

## 1 СТАН ТЕХНОЛОГІЙ

Аналізується стан сучасних технологій на основі прогнозів консалтингової компанії Gartner для HRTech. Наводиться огляд літератури.

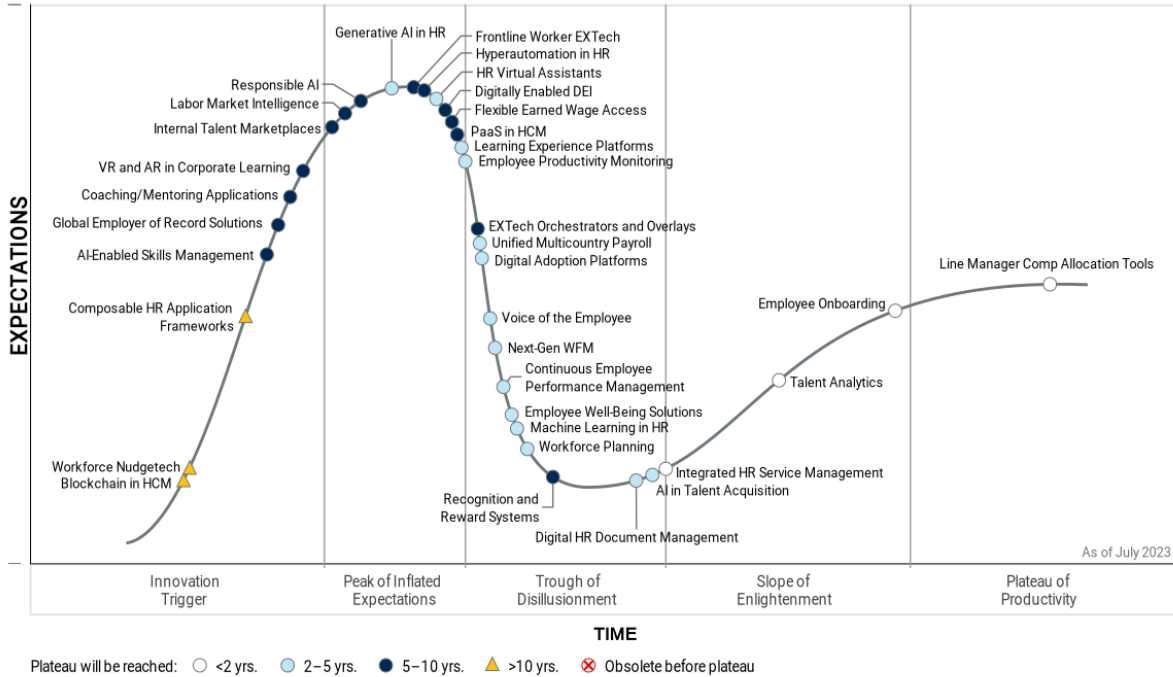
### 1.1 Тенденції розвитку технологій від Gartner

«Крива хайпа» Gartner для HRTech: ключові тренди 2023-2024. Gartner – американська консалтингова компанія, яка регулярно видає об'ємні дослідження, пов'язані з інформаційними технологіями. Звіт Gartner Hype Cycle for HR 2023-2024 Technology виявляє головні технологічні тренди, які можна впроваджувати вже в найближчі 2-5 років, а також які ще не скоро вийдуть на «плато продуктивності».

*Що таке "Крива хайпа" Gartner.* «Крива хайпа» збирає технології певного напрямку та розподіляє їх в одну з категорій: інноваційний тригер – перші згадки та публікації про нову технологію; пік надмірних очікувань – технологію широко обговорюють і від неї чекають на революцію; порятунок від ілюзій – у технології виявляють недоліки та завищені очікування змінюються розчаруванням; подолання недоліків – технологія позбавляється недоліків та дитячих хвороб, стає придатною для впровадження у бізнес; плато продуктивності – технологія приймається суспільством і стає нормою. У «кривій» є часові позначки, коли технологія вийде на плато і прогнозований термін може сягати 10 років.

*«Крива хайпа» HR-технологій.* У щорічному звіті Gartner 2023-2024, який присвячений HRTech [1], крива виглядає таким чином (рис. 1.1):

### Hype Cycle for HR Technology, 2023



Gartner

Рисунок 1.1 – «Крива хайпа» HR-технологій Gartner 2023-2024

З графіка (рис. 1.1) видно, що багато технологій так чи інакше пов'язані зі штучним інтелектом та спрямовані на управління людськими ресурсами. При цьому VR та AR все ще залишаються на рівні «інноваційного тригера». На думку аналітиків Gartner, основна перешкода – вартість розробки та впровадження контенту, а також погана інтеграція з LMS. Виділяються головні технології та тренди, які пов'язані з навчанням та розвитком співробітників.

1. *Nudgetech* – інноваційний тригер, 10 років до виходу плато. Цей термін означає «технології підштовхування», суть якої – за допомогою ШІ формувати поведінку, спрямовану на досягнення мети. При цьому співробітника не ставлять на рейки правильної поведінки – у нього залишається свобода вибору та подальші «підштовхування» спираються на аналітику роботи. Опитування Gartner показало, що 26% працівників вважають себе новачками у цифрових технологіях, які зустрічають на роботі. При цьому 55% важко знаходять потрібну інформацію, а 43% припускалися

помилки через необізнаність. Технологія nudgetech передбачає, що ШІ аналізує те, як співробітник працює, чого йому не вистачає для більшої ефективності та надає поради, спрямовує розвиток навичок. Експерти попереджають, що «підштовхування» має підтримуватися зворотним зв'язком і не має бути нав'язливим. Таким чином, nudgetech – це помічник для HR та менеджерів, але не самостійне рішення для розвитку співробітників.

*2. Управління навичками за допомогою ШІ – новаційний тригер, 5-10 років до виходу на плато.* Навички – основа управління персоналом. Їх своєчасна оцінка та розвиток допомагають компаніям стає гнучкими, що важливо у турбулентні періоди або під час реорганізації. HR карта навичок допоможе скласти стратегію найму. Набір програм та алгоритмів з управління талантами змінить підхід до планування та розподілу завдань, підвищить якість найманих співробітників. ШІ також зможе підказати, які навички потрібно здобути чи посилити співробітникам, щоб реалізувати стратегічні цілі компанії, тобто допоможе скласти план навчання.

Gartner звертає увагу, деякі навички зараз деградують, а впровадження цифрових рішень змінює ролі всередині компанії. Щоб впровадити управління навичками через ШІ, потрібно встановити стандартизовані описи, які були б зрозумілі нейромережам.

*3. Додатки для коучингу і наставництва – інноваційний тригер, 5-10 років до виходу на плато.* Такі додатки містять набір інструментів, які підвищують ефективність корпоративної програми наставництва. Для цього залучають внутрішні ресурси, спеціалізовані фірми або приватних осіб. Демократизація та розширення програм коучингу може зробити його стандартним очікуванням для менеджерів середньої ланки.

*4. Внутрішні ринки талантів – пік очікувань, 5-10 років до виходу плато.* Про цей тренд Gartner говорить не перший рік, і він не втрачає актуальності. Внутрішній ринок талантів – інтелектуальна платформа, де можна вибрати зовнішнього чи внутрішнього виконавця певного завдання чи

цілу команду. Найближчий аналог – біржі фрілансерів. Платформи для підбору талантів надають персоналізовані рекомендації, що відповідають унікальним навичкам та досвіду працівників. Ярмарок талантів дозволяє фокусуватися на навичках, а не ролях, постійно підтримувати професійний рівень та показувати співробітникам нові шляхи розвитку. Компанія отримує велику кількість гнучких команд, які можна збирати під проекти та економити час на пошук виконавців. HR зможуть отримати багато даних складної аналітики та прогнозування розвитку команд. Перешкодою може стати культура компанії: неготовність співробітників змінювати ролі та відділи, невисока гнучкість та постійна психологічна напруга.

5. *Системи аналітики ринку праці – пік очікувань, 5-10 років до виходу плато.* Інтелектуальні системи збирають та подають дані про зовнішній ринок праці та дозволяють планувати кадровий розвиток компанії та найм нових співробітників. Використовуючи оголошення про вакансії, резюме та масиви іншої інформації, HR може отримати уявлення про тенденції розвитку навичок: пропозицію, попит, географія, зниклі або нові компетенції. HR отримують більш повну картину розриву між попитом та пропозицією талантів усередині організації та за її межами. Такі дані можуть бути корисними під час трансформацій усередині компанії або виходу на нові ринки. Важливо враховувати, що аналітика не вирішує питань кадрового планування, а скоріше вказує напрямок, у якому можна рухатися. Є ще одне обмеження – не всі платформи можуть вільно віддавати дані, що помітно знижує якість аналітичних викладок.

6. *Генеративний ШІ в HR – пік очікувань, 2-5 років до виходу на плато.* Створення контенту за допомогою нейромереж однієї з найактуальніших напрямків. Генеративний ШІ дозволить швидше створювати навчальний контент або змінювати його формат, наприклад, зробити відео з презентації. ШІ також допоможе у створенні віртуальних помічників та чат-ботів.

Gartner попереджає, що ставитися до технології потрібно дуже обережно. Деякі постачальники рішень поспішають вийти на ринок і не

встигають доробити продукт. До кінця не вирішено питання з конфіденційністю даних, які потрапляють до ШІ, а підсумковий контент може містити помилкові дані.

7. *EXTech – пік очікувань, 5-10 років до виходу плато.* Термін EXTech походить від Employee Experience та описує набір технологій, які допомагають співробітниками отримувати та створювати новий досвід. Часто це мобільний додаток, у якому зібрано відразу кілька функцій: вирішення адміністративних завдань; навчальні програми; внутрішні комунікації; треки розвитку; програми благополуччя; віртуальні дошки пошани.

За оцінками Gartner, у світі налічується 2,8 мільярда співробітників, які працюють у «полях» (неофісних співробітників) і мають обмежений доступ до корпоративних ресурсів. Тим часом саме ці співробітники більше схильні до вигорання, а доступ до навчальних та довідкових матеріалів їм потрібен частіше, ніж офісним співробітникам. Польовим співробітникам потрібні інструменти, які б пов'язували їх із компанією, колегами та робочими системами. Дослідники відзначають, що по-справжньому ефективними подібні програми стають, коли ними користується більшість співробітників, але не окремі філії чи департаменти.

8. *Платформи персоналізації навчання (Learning experience platform) – пік очікувань, 2-5 років до виходу плато.* LXP – логічне продовження LMS, де акцент робиться на персоналізацію навчання. Якщо в LMS є всі інструменти для зберігання та проходження програм, то LXP використовує штучний інтелект та кураторство, щоб створити більш релевантні шляхи навчання, які спираються на переваги та рівень співробітника. LXP збільшує залученість до навчання, і розширює кількість програм, що надаються. Інтелектуальний підхід також дозволяє враховувати культурні та професійні особливості, які є у великих компаніях.

Gartner зазначає, що впровадження LXP вимагає створення більшої кількості навчальних програм, а також розробку окремого процесу, що дозволяє відстежити ефективність інвестицій у систему доставки контенту.

9. *Голос співробітника (Voice of the Employee) – рятування від ілюзій, 2-5 року до виходу на плато.* Програмне рішення, яке збирає та аналізує дані з опитувань співробітників, зворотного зв'язку та інших джерел, щоб виявити настрої співробітників. Багато компаній проводять щорічні опитування, але вони не дозволяють вловити більш тонкі зміни у настроях співробітників. Якщо в компанії відбувається реорганізація, то такі опитування швидше фіксують підсумкові результати, а не почуття співробітників у процесі. Тим часом, рішення щодо збору «голосів» дозволяють виявити проблеми на ранніх стадіях і швидше на них відреагувати. Наприклад, внести зміни до робочого режиму або впровадити нові цифрові інструменти. VoE переважно надає аналітичні дані. А користь від подібних технологій багато в чому залежить від того, як швидко компанія приймає рішення на основі отриманих даних.

10. *Безперервне управління ефективністю роботи співробітників – рятування від ілюзій, 2-5 року до виходу на плато.* Дані інструменти дозволяють керівникам і самим співробітникам відстежувати прогрес у досягненні цілей, отримувати відгуки колег та зворотний зв'язок, давати та отримувати відгуки про продуктивність та розвиток. Все частіше вони включають коучинг, а також прив'язку до систем винагороди (рейтингування). Інструменти управління ефективністю підвищують залученість та продуктивність, що дозволяє закликати особисті цілі розвитку до стратегії компанії. Їх можна використовувати для відстеження як проходить адаптація новачків. Бізнесу подібні інструменти дозволяють швидше виявляти проблеми, вибудовувати гнучкі, іноді персоналізовані робочі процеси. Одна з перешкод масового запровадження подібних інструментів – подолати опір самих співробітників та запровадити єдину оцінку цінності та нагород.

11. *Well-being програми – порятунок від ілюзій, 2-5 років до виходу на плато.* Well-being напрямок включає програми підтримки психічного стану, фізичного і ментального здоров'я, фінансового благополуччя. Серед

компонентів цих програм: мобільні додатки та пристрої, що носяться, інструкції та мотиваційний контент, спеціальні заходи. Програми підтримки працівників не втрачають актуальності. За даними Gartner, близько 70% роботодавців пропонують програми підтримки, але лише 56% співробітників вважають, що компанії піклуються про них. Це пов'язано з тим, що не всі співробітники залучені до програм або вони проводяться точково. Рішення для підтримки співробітників можуть стати драйвером підвищення якості роботи, а також покращення їхнього добробуту.

У Gartner відзначають, що успішність well-being активностей залежить від зворотного зв'язку самих співробітників: наскільки їм підходять програми, наскільки вони ефективні, застосовні тощо.

12. *Системи визнання та винагороди – рятування від ілюзій, 5-10 років до виходу на плато.* Багато компаній наприкінці року чи кварталу співробітників відзначають за певні досягнення. Це може виконання планів продажу, завершення проекту чи розробка нової технології, рейтингування.

У звіті Gartner пише про програмні засоби, які дозволяють висловити подяку співробітнику без прив'язки до якоїсь дати. Такі подяки та нагороди можуть бути грошовими, а можуть бути якимись бонусами: мерч, відгул чи інші нематеріальні нагороди. Подібні програми можна використовувати для мотивації наставників, заохочення дотримання техніки безпеки чи принципів компанії, підтримки корпоративної культури. Перешкодою для запровадження стають не лише обмежені фонди преміювання. Серед інших причин: незрозуміла рентабельність таких програм; недостатня обізнаність працівників щодо роботи системи; погляд на проект як тактичне рішення, а чи не стратегічне.

Таким чином, звіт Gartner показав, що сфера найму, адаптації та навчання знаходиться на межі глобальної трансформації: мобільні програми, прискорення деяких процесів, перегляд самої ролі співробітника в компанії. Одним із драйверів цих змін стає штучний інтелект, робота якого надасть багато нових інструментів.

## 1.2 Аналіз досліджень та публікацій

Створення розумного кіберуніверситету пов'язане з інтеграцією технологій big data, cloud computing, mobile services та cyber physical systems в рамках IoT-культури на основі використання сервіс-орієнтованих платформ програмування, які пропонують провідні компанії IBM, Google, Microsoft, NASA, Amazon, Facebook.

Аналіз досліджень у галузі створення кіберфізичних науково-освітніх сервісів [5-10, 17-20] свідчить про практичну відсутність на внутрішньому та зарубіжному ринку науки та освіти системного підходу до створення та впровадження хмарно-мобільних кіберсервісів з використанням метричних відносин, регулюючих правила цифрового моніторингу кіберуправління науково-освітніми процесами [21, 23, 24] для залучення зовнішніх інвестицій, підвищення якості послуг, продуктивності праці, рівня життя учасниць процесу. Така прогалина у наукових дослідженнях існує, незважаючи на високий рівень ринкової привабливості CyUni. Це пов'язано з труднощами передачі керування від людини до кібер-управління (сервісу) соціальними групами і виробничими процесами.

Тим не менш, існує достатньо публікацій [2, 11, 12, 16, 17, 21, 23, 24], що розглядають human-free управління фізичними та віртуальними процесами в рамках створення єдиної кіберекосистеми (cloud services + fog networks), що народжується на планеті.

Вчені та викладачі кафедри АПОТ долучилися до досліджень та мають низку публікацій з аналізованої тематики [18-20, 22-26, 28], які присвячені вирішенню наступних задач: 1) створення неарифметичних метрик та мультипроцесорів для паралельного аналізу великих даних у кіберпросторі за допомогою логічних операцій [22]; 2) адаптація квантових структур даних та методів для підвищення швидкодії віртуальних процесорів при пошуку інформації та прийнятті рішень [24, 25]; 3) реалізація кіберфізичних систем

точного цифрового моніторингу та активного управління фізичними та соціальними об'єктами та процесами без участі людини [18-20, 23, 28].

Інтегрально слід відзначити, що в останнє десятиліття з'явилася виражена ринкова тенденція переходу від використання програмних додатків до хмарних сервісів, про що свідчать матеріали конгресу [2, 3], де виступали провідні на ринку гравці, представлені компаніями та університетами: IBM, Google, Amazon, NASA, MIT, Berkeley, Oxford, Purdue.

Сервіс-орієнтовані технології диференціюються на такі платформи та принципи: 1) моделювання відносин між компонентами системи в режимі online; 2) використання сервіс-орієнтованих платформ замість операційних моделей програмування; 3) структури великих даних трансформуються у домени специфічних даних; 4) розпаралелювання інтелектуальних процесів шляхом використання мультипроцесорів машинного навчання; 5) пакетування комп'ютерів із системи доступних сервісів зі стандартними інтерфейсами; 6) інтеграція великих даних, хмарних та мобільних сервісів з кіберфізичними системами.

З окремих додатків, сервісів та сенсорів формується кіберфізичний простір, який включає три виражені компоненти: хмарні сервіси, розумні туманні (fog) мережі, сенсорні та актюаторні фізичні пристрої (mobile, ipad, ipod, lap top), що взаємодіють між собою у реальному часі. Тренд усіх провідних компаній, що формують індекс NASDAQ – відмова від пасивної концепції ІТ-моніторингу з поступовим переходом до активної фази управління кібер-фізичними та соціальними процесами та явищами на основі ІоТ-культури.

Роботи [29-32] присвячено розробці математичного апарату теорії векторно-логічного комп'ютингу.

У роботі [29] запропоновано комплексний підхід до кіберсоціального комп'ютингу, що включає моделі, методи та алгоритми, які використовують метрику подібності-різниці на основі унітарного кодування. Це дозволяє ефективно керувати критичними кіберсоціальними системами шляхом

обробки великих даних. Розроблений метод пошуку даних, що базується на теорії множин та аналізі частот, дозволяє визначати подібність між об'єктами, прогнозувати їх трансформацію та виявляти конфлікти інтересів. Запропоновано нове визначення ключових понять обчислювальної техніки, що враховує метричні співвідношення між процесами. Створено програмний інструмент для розрахунку подібності-різниці об'єктів, який показав високу ефективність у порівнянні з відомими системами виявлення плагіату.

В роботі [30] запропоновано новий підхід до моделювання цифрових пристроїв, що використовує інтелектуальні структури даних, які зберігаються в пам'яті. Цей підхід дозволяє моделювати як нормальну роботу пристрою, так і його несправності, представляючи їх у вигляді адрес в пам'яті. Розроблено метод моделювання несправностей, який використовує таблиці істинності та дедуктивні вектори для оцінки якості тестів логічних схем. Запропоновано прості формули для моделювання несправностей, синтезу дедуктивних матриць та моделювання без несправностей. Ключовою особливістю є використання інтелектуальних структур даних та алгоритму на основі транзакцій читання-запису для моделювання цифрової функціональності без несправностей безпосередньо в пам'яті. Це дозволяє реалізувати цифрову логіку (GL, RTL, SL) в будь-якій пам'яті без необхідності складних процедур синтезу. Запропоновано метод векторно-табличного моделювання в пам'яті, який дозволяє моделювати одиночні та множинні застрягли несправності (представлені як адреси) функціональних елементів з будь-якою кількістю входів. Для опису тестованих комбінацій несправностей вхідних ліній використовується таблиця істинності. Замість процесора використовуються транзакції читання-запису на інтелектуальних структурах даних. Розроблено векторно-логічний синтез дедуктивних матриць для моделювання несправностей з квадратичною обчислювальною складністю. Моделювання базується на суперпозиції трьох компонентів: вхідного тестового вектора, таблиці істинності несправностей та дедуктивної матриці. Цей підхід дозволяє уникнути необхідності в алгоритмі

моделювання для отримання списку несправностей, які виявляються тестом. Синтезовано автомат для дедуктивного моделювання несправностей (у вигляді адрес) логічних елементів цифрової схеми. Цей метод моделювання несправностей в оперативній пам'яті на інтелектуальних структурах даних орієнтований на реалізацію в SoC, FPGA, RISC-V, VLSI.

У роботі [31] підкреслено, що значення та обробка великих обсягів даних має вирішальне значення для прогресу суспільства та розвитку промисловості. Інтелектуальний аналіз цих даних є необхідною умовою для формування колективного інтелекту на рівні соціальних груп, компаній, держав і навіть всієї планети. В епоху великих даних економічна ефективність їх обробки стає пріоритетною. Ключовими факторами є швидкість обробки та енергоефективність. Тому рішення, що забезпечують паралельну обробку даних безпосередньо в центрах їх зберігання, матимуть постійний попит на IT-ринку. Дослідження спрямоване на підвищення економічної ефективності обробки великих даних. Для цього запропоновано використовувати дані як адреси в таблиці істинності, що дозволяє виявляти закономірності у виробничих процесах на основі метрик подібності та відмінності. Запропоновано архітектури інтелектуальних обчислень для управління соціальними процесами на основі моніторингу та аналізу великих даних. Зокрема, розглянуто обробку великих даних як адрес таблиці істинності для вирішення задач ідентифікації, кластеризації та класифікації патернів у соціальних та виробничих процесах. Розроблено сімейство автоматів для аналізу великих даних, представлених у вигляді адрес. Таблиця істинності розглядається як ефективний спосіб структурування даних, що дозволяє паралельно організовувати та пакувати великі обсяги інформації для визначення їх подібності, відмінності та еквівалентності. Представлення даних у вигляді адрес пов'язане з унітарним кодуванням патернів двійковими векторами. Запропонований механізм орієнтований на безпроцесорну обробку даних на основі read-write транзакцій з використанням технології in-memory computing, що значно економить час та енергію. Ключовими

перевагами є паралелізм, технологічна простота та лінійна обчислювальна складність. Розроблено паралельні алгоритми in-memory computing для економічного перетворення великих неструктурованих даних (адрес) у корисну структуровану інформацію. Запропоновано архітектуру in-memory computing з глобальним зворотним зв'язком та алгоритм матричної паралельної обробки великих даних, що включає структуру матричного аналізу для визначення подібності між векторами. Швидкість аналізу великих даних на матриці дедуктивних векторів лінійно залежить від кількості бітів у вхідних векторах. Розроблено метод ідентифікації патернів за ключовими словами.

У [32] досліджуються обчислювальні архітектури, що використовуються для вирішення задач проектування, тестування та управління соціальними процесами. Основний акцент робиться на моніторингу та обробці великих даних за допомогою векторної логіки. Розглядається використання таблиць істинності для вирішення комбінаторних задач, пов'язаних з технічною діагностикою, моніторингом та управлінням кіберфізичним та кіберсоціальним простором. Автори досліджують можливість заміни традиційної архітектури фон Неймана, де обчислення відбуваються в процесорі, на архітектуру, де обчислення відбуваються безпосередньо в пам'яті, використовуючи транзакції читання-запису на логічних векторах. Це може призвести до зменшення енергоспоживання та затримки. Пропонується використовувати таблиці істинності для опису тестових комбінацій несправностей. Представлення функціональності у вигляді менших елементів дозволяє зменшити обсяг пам'яті, необхідний для зберігання даних, але ускладнює алгоритми моделювання та збільшує час обробки. Натомість, використання логічних векторів дозволяє паралельно обробляти більшу кількість вхідних змінних за один такт. Якщо обсяг пам'яті не є обмеженням, використання одного логічного вектора для представлення функціональності є більш ефективним з точки зору часу обробки та простоти алгоритму моделювання. Це також

полегшує виконання функцій у виробництві. Таким чином, використання логічних векторів є кроком до створення інтелектуальних структур даних в пам'яті. Якщо швидкість доступу до пам'яті наблизиться до швидкості логічних схем у процесорі, наступним етапом розвитку електронних технологій буде перехід від процесорної логіки до векторної логіки в обчисленнях в пам'яті. Інтелектуальні структури даних для безвідмовного моделювання представлені як суперпозиція логічних векторів, що описують функціональність цифрової схеми. Наведено приклади використання великих даних як адрес таблиць істинності для створення векторної логічної моделі соціального процесу.

### 1.3 Висновки та постановка завдання

Проаналізовано технологічні тенденції, що визначені компанією Gartner за 2023-2024 роки. Проведено аналіз сучасних досліджень та публікацій. Робиться висновок про те, що кіберсоціальні процеси разом з їхнім моніторингом та управлінням виступають на перший план та вимагають глобальної трансформації, що спонукає до розвитку кіберсоціального комп'ютерингу, який становить предмет для дослідження, розвитку та впровадження комп'ютерними інженерами.

Світові процеси, пов'язані з наукою та освітою, мають сьогодні такі основні тренди: 1) укрупнення університетів до рівня 15-25 тисяч студентів, які стають помітними на освітньому ринку; 2) повсюдне впровадження MOOC (Massive Open Online Courses) технологій, що надають рівні права на освіту від найкращих учених та університетів усім жителям планети; 3) Віртуальна та фізична мобільність студентів, що забезпечує високий рівень знань та швидку соціальну адаптацію майбутнього фахівця до технологій та різних культур сучасного виробництва; 4) хмарні сервіси комп'ютерного тестування знань та умінь, що виключає корупційні відносини між викладачем та студентом; 5) кіберсервіс накопичення компетенцій викладача

та студента, що довічно супроводжує (моніторинг та управління) їх творчу активність в особистому віртуальному кабінеті; б) цифрове кіберуправління всіма науково-освітніми процесами в університетах, що виключає паперові носії та ручне регулювання інфраструктурою, ресурсами, кадрами та студентами. Актуальність та ринкова привабливість розумного кіберуніверситету визначається розвитком ринку науково-освітніх послуг.

Мета роботи – підвищення якості моніторингу та управління науково-освітніми процесами за рахунок розробки мікросервісної архітектури розумного кіберуніверситету з інтеграцією технологій big data, cloud computing, mobile services та cyber physical systems, IoT та сервіс-орієнтованих платформ програмування.

Задачі: огляд стану технологій; аналіз публікацій, аналіз моделей, метрик, сервісів кіберуніверситету, розробка кіберсервісу векторної логіки успішності здобувача вищої освіти.

## 2 МОДЕЛІ, МЕТРИКИ, ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ РОЗУМНОГО КІБЕРУНІВЕРСИТЕТУ

Розглядаються актуальні моделі, метрики, сервіси кіберуніверситету, математичний апарат на основі векторно-логічного комп'ютингу для обробки великих даних, що застосовується у подальшому для створення кіберсервісу векторної логіки здобувача вищої освіти [18-26, 28-32].

### 2.1 Розумний кіберуніверситет

Університет – це організація, що поєднує науковців, викладачів та допоміжний персонал, які використовують спільну інфраструктуру та керуються правовими нормами, внутрішніми документами та етичними принципами. Їхня діяльність спрямована на проведення передових наукових досліджень, підготовку кваліфікованих фахівців, затребуваних на ринку праці, надання освітніх послуг та створення науково-технічної продукції.

CyUni – це кіберфізична система, що використовує хмарні технології для інтелектуального управління науковими та освітніми процесами в університеті. Вона забезпечує онлайн-моніторинг, повністю автоматизована (human-free), відповідає законодавчим вимогам і внутрішнім нормам університету, стимулюючи інвестиції, наукові дослідження, підготовку затребуваних фахівців (рис. 2.1).

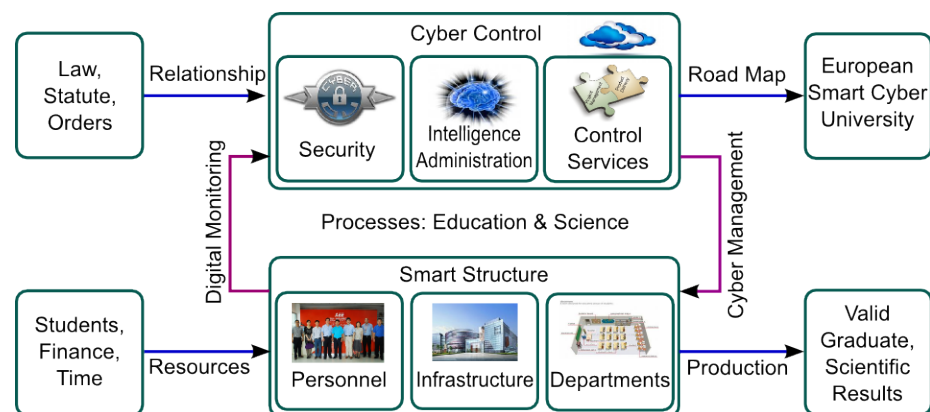


Рисунок 2.1 – Cyber Physical System – Smart Cyber University (CyUni) [19]

CyUni-система спрямована на покращення освіти та науки у вищій школі шляхом впровадження цифрового моніторингу та хмарного управління. Це дозволить підвищити прозорість, залучити інвестиції, збільшити продуктивність та покращити якість випускників і наукових розробок.

Структура CyUni побудована таким чином, щоб мінімізувати людський фактор у процесі прийняття рішень. Вона забезпечує інтеграцію інтелектуальних ресурсів та враховує інтереси колективу, використовуючи при цьому надійний кібер-моніторинг та управління для об'єктивної оцінки ситуації. Функціонування системи регулюється оцифрованими правилами, що дозволяє точно вимірювати та аналізувати взаємодію процесів.

Модель кіберсистеми CyUni визначено наступними взаємопов'язаними компонентами:

$$S = f(C, D, R, E, P), \quad (2.1)$$

де компонентами виступають: S (сервіс) – основна функція або послуга, яку надає система CyUni. Це передбачуване та вимірюване кібернетичне рішення або дія, спрямована на управління та вплив на фізичні процеси та явища в університеті; C (хмарні сервіси) – хмарні обчислювальні ресурси, що використовуються для збору, аналізу та обробки даних, з метою формування керуючих сигналів або прийняття рішень; D (дані) – цифрові відображення поточного стану процесів та компонентів університетського середовища; R (правила) – оцифровані норми, закони, статuti, положення та накази, які визначають функціонування процесів та явищ, представлені у вигляді, придатному для кількісної оцінки та обробки; E (експерти) – фахівці, відповідальні за розробку та формалізацію правил (відносин) взаємодії та функціонування процесів та явищ, які можна виміряти та оцінити; P (колектив) – група людей, яка уповноважує експертів на створення оцифрованих правил, що визначають функціонування, моніторинг та

управління системою, з метою досягнення високої продуктивності та покращення якості життя працівників.

## 2.2 Оцифрування відношень

Замість застарілих ІТ-технологій, на зміну приходить концепція "Інтернету речей" (IoT), а потім і "Інтернету всього". Замість простого спостереження за інформацією, пропонується активне, автоматизоване управління через хмарні сервіси. Це управління відбувається в цифровому світі, де фізичні процеси відстежуються та контролюються за допомогою сенсорів та обробляються на місці (fog-моніторинг). Мета – перевести наукові та освітні процеси в цифровий формат, щоб створити системи, які не тільки спостерігають, але й керують. В майбутньому, передбачається автоматизоване хмарне управління соціальними інститутами, що забезпечить прозоре та об'єктивне регулювання процесів на основі цифрових даних.

Оцифрування процесів передбачає врахування як технологічної складової, так і зручності для користувачів. Хоча технологічна частина займає значну більшість (80%) у розробці, а користувацький інтерфейс – лише 20%, вплив на користувачів розподіляється навпаки: 80% користувачів взаємодіють саме з інтерфейсом, і лише 20% залучені до технологічної частини. Оскільки користувача цікавить лише зручний інтерфейс, а не технічні деталі, регулювання цієї сфери має бути зосереджене на потребах широкого загалу. Необхідно уникати надмірної технічної специфіки, зрозумілої лише експертам, і зосередитися на простоті та доступності для звичайного користувача, який взаємодіє з системою.

## 2.3 Керована активність та метрика розумного кіберуніверситету

Інноваційний підхід передбачає перехід від пасивного ІТ-моніторингу до активного керування фізичними процесами в IoT-середовищі. Ключовим елементом є аналіз Big Data, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення.

Кіберфізична система "Smart Cyber University" використовує принципово нову автоматизовану модель обчислень, де хмарні сервіси відповідають за управління, а "туманні" мережі забезпечують моніторинг та виконання операцій безпосередньо на місцях.

Методи прийняття рішень кіберсистемою орієнтовані на аналіз великих даних за допомогою метричних відносин, що виключають безпосередню участь людини. Методи обчислень використовують віртуальні хмарні процесори, що працюють, у тому числі, за неарифметичною метрикою вимірювання об'єктів у кіберпросторі.

Цифровий кіберпростір науки та освіти виступає базою для розгортання масштабованих, повністю автоматизованих хмарних кіберсервісів. Оцифрування як фізичних, так і віртуальних елементів науково-освітніх процесів є критично важливим для забезпечення кіберфізичного моніторингу та управління університетом. З цією метою необхідно розробити систему метрик компетенцій, що дозволить кількісно оцінювати якість ключових структурних та процесуальних компонентів університету, а саме: відносини з зацікавленими сторонами, стратегічний план розвитку (Roadmap), систему управління, кадровий потенціал, інфраструктуру, наявні ресурси, результати діяльності (освітні послуги, випускники, наукові публікації та розробки), наукову та освітню діяльність.

Кожна метрика повинна використовувати змінні, які визначають простір вимірювання. Ці змінні можуть бути булевими (істина/хибність), лінгвістичними (описаними словами) або числовими, причому числові значення мають бути нормалізовані в діапазоні від 0 до 1. Точність градації значень параметра метрики в межах від нуля до одиниці залежить від типу послуг, які надаються користувачам кіберфізичних систем. Наприклад:

1. Для прийняття бінарних рішень ("так" чи "ні") достатньо простого булевого значення.

2. Оцінка процесів або об'єктів для керівництва (наприклад, "добре", "погано", "відмінно", "задовільно") потребує додаткових пояснень та контексту.

3. Для точного визначення якості однотипних процесів або явищ та їх ранжування за заданою метрикою компетенцій необхідний безперервний інтервал дійсних чисел від 0 до 1.

Недоліком використання єдиної інтегральної оцінки є втрата інформації про значення окремих складових параметрів метрики. Тому, окрім інтегрального показника, важливо зберігати значення всіх структурних змінних, які використовуються для аналізу системних процесів та явищ.

Параметри, що використовуються для формування метрик інтегральних показників якості університетів, добре відомі експертам. Однак, наразі відсутні сервіси, які б дозволяли прогнозувати зміни в системних компонентах університету шляхом моделювання змін вхідних або внутрішніх змінних.

У технічних галузях системи імітації та тренажери є важливими інструментами для експлуатації та ремонту складних систем, таких як літаки, автомобілі та атомні станції. Аналогічні системи необхідні і в науково-освітній сфері.

#### 2.4 Хмарні сервіси (функціональності) розумного кіберуніверситету

Світ рухається до цифрового формату, і паперові документи відходять у минуле. Тому хмарні сервіси в кіберуніверситеті повинні: повністю замінити папір, працювати об'єктивно, без впливу чиновників, активно управляти всіма цифровими процесами, пов'язаними з навчанням, наукою та виробництвом в університеті.

На рис. 2.2 показано архітектуру кіберфізичної системи, що об'єднує хмарні технології, туманні обчислення та мобільні пристрої, використовуючи технології Інтернету речей.

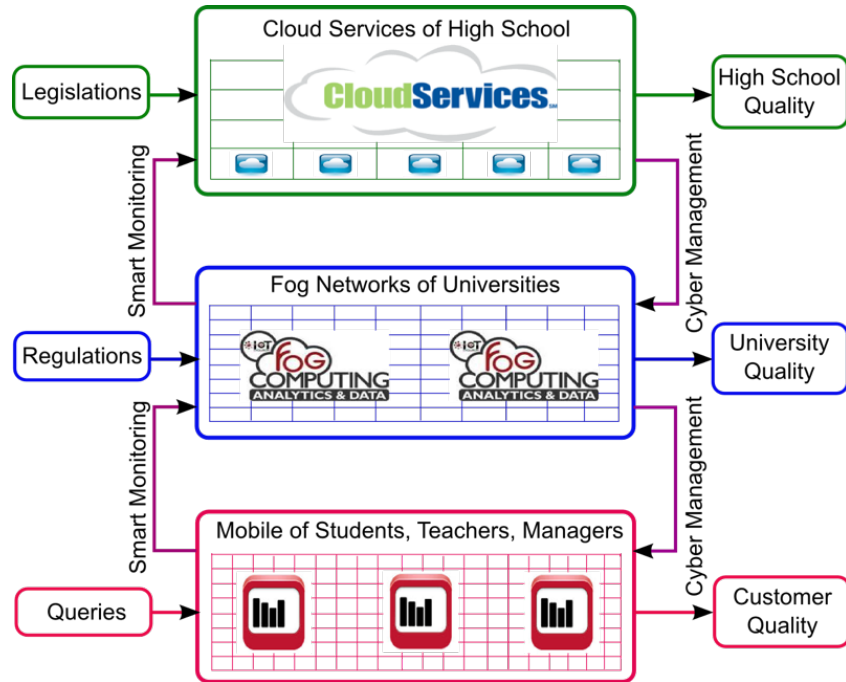


Рисунок 2.2 – Схема сервісів кібер-університету як IoT-платформа [20]

Комп'ютерним інженерам варто зосередитися на створенні сервісів для управління науково-освітніми процесами в хмарі, використовуючи fog-моніторинг. Це необхідно для впровадження концепції "розумного кіберуніверситету". Цикл управління в кіберсистемі, що включає моніторинг, вимірювання та управління, базується на принципі: "Щоб управляти, потрібно вимірювати". Цей цикл складається з етапів: збір даних, їх аналіз, оцінка та прийняття рішень.

Для цифрової оцінки процесів або явищ, враховуючи різні параметри, пропонується використовувати матрицю компетенцій. Ця матриця формується на основі метрик, розроблених експертами або за допомогою аналізу великих даних з Інтернету. Матриця компетенцій може бути використана для прозорого розподілу заохочень (як матеріальних, так і нематеріальних) між учасниками оцінювання, відповідно до їхніх рейтингів у процесах або явищах, що оцінюються.

## 2.5 Інноваційні сервіси розумного кіберуніверситету

Для створення розумного кіберуніверситету необхідно об'єднати потужність технологій великих даних, хмарних обчислень, мобільних сервісів та кіберфізичних систем в рамках концепції Інтернету речей (IoT). Основою для цього слугують сервіс-орієнтовані платформи програмування, що надаються провідними технологічними компаніями, такими як IBM, Google, Microsoft, NASA, Amazon та Facebook (рис. 2.3): блок обчислення (сервіси розробки додатків, хмарних обчислень, керування контейнерами); блок збереження (хмарні сховища даних та сервісів, хмари керування даними та великих таблиць); блок великих даних (сервіси керування запитами, хмари потоків даних, процедур обробки даних, обміну повідомленнями); сервісний блок (сервіси створення інтерфейсів, автоматичного перекладу, передбачення рішення).



Рисунок 2.3 – Схема технологічної платформи Google Computing

Розумний кіберуніверситет, побудований на основі інноваційних сервісів, є структурним прототипом для глобального науково-освітнього віртуального кіберпростору Global Smart Cyber University (рис. 2.4).

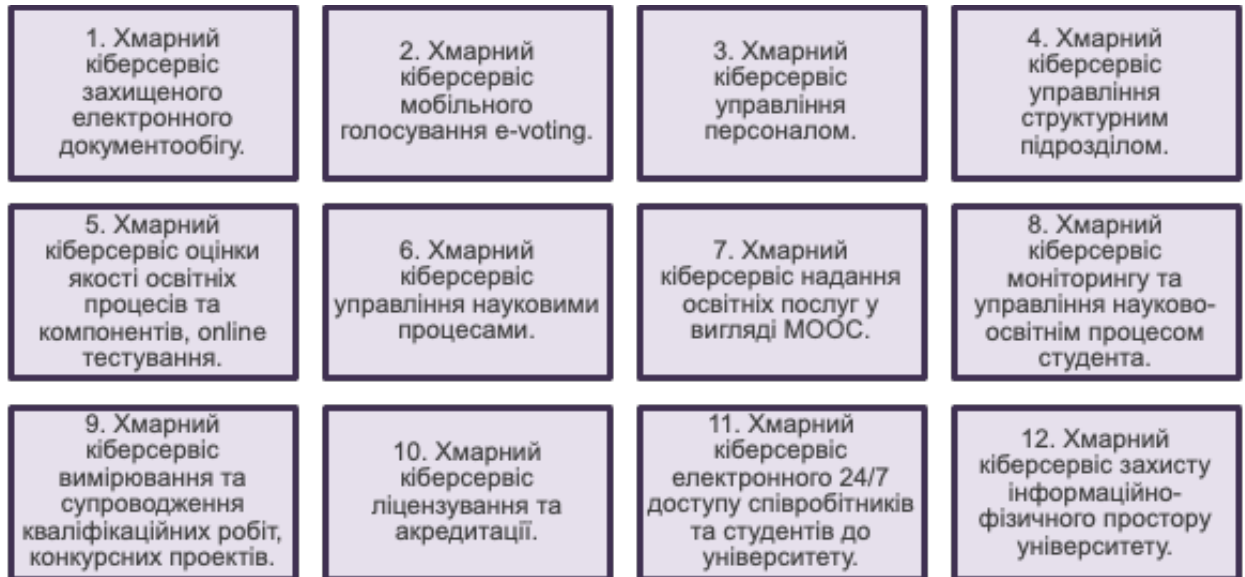


Рисунок 2.4 – Схема інноваційних хмарно-мобільних сервісів розумного кіберуніверситету

1. Хмарний кіберсервіс захищеного електронного документообігу, що спеціально розроблений для науково-освітніх установ. Він дозволяє ефективно керувати документами, відстежувати прогрес та приймати обґрунтовані рішення на основі даних, використовуючи цикл "факт – вимір – оцінка – дія". Система повністю переводить документообіг в цифровий формат, використовуючи Cloud ID-card, електронну пошту та мобільні пристрої, що значно спрощує та прискорює робочі процеси, а також підвищує їхню прозорість та безпеку.

2. Хмарний кіберсервіс мобільного голосування e-voting забезпечує зручний та ефективний спосіб для проведення голосувань та опитувань. Він підтримує опитування громадської думки, студентські голосування, прийняття рішень на зборах, а також вибори експертів, студентського самоврядування та керівного складу.

3. Хмарний кіберсервіс управління персоналом, що забезпечує прозору та об'єктивну оцінку діяльності студентів та співробітників. За допомогою онлайн-моніторингу, вимірювання та рейтингування цифрових метрик компетенцій, система дозволяє розробити справедливі стимули та обрати найкращих кандидатів на керівні та науково-педагогічні посади.

4. Хмарний кіберсервіс управління структурним підрозділом дозволяє ефективно управляти кафедрою завдяки online моніторингу та аналізу ключових показників науково-освітньої діяльності. Це забезпечує можливість оперативно реагувати на зміни, приймати обґрунтовані рішення та автоматично генерувати необхідну документацію, оптимізуючи роботу кафедри.

5. Хмарний кіберсервіс оцінки якості освітніх процесів та компонентів дозволяє об'єктивно оцінити якість освітнього процесу та знання студентів. Це забезпечує справедливе проведення іспитів та заліків, усуваючи будь-які можливості для упередженого ставлення з боку викладачів.

6. Хмарний кіберсервіс управління науковими процесами забезпечує прозорий та об'єктивний розподіл ресурсів (фінанси, кадри, час). Він використовує цифрову систему оцінювання, засновану на експертних метриках, для аналізу діяльності вчених, підрозділів, наукових результатів, проектів та пропозицій.

7. Хмарний кіберсервіс надання освітніх послуг у вигляді MOOC курсів забезпечує управління навчальним процесом, використовуючи прозору систему розподілу фінансів та навчального часу (кредитів) між підрозділами та викладачами. Розподіл ресурсів та оцінка внеску кожного учасника в розвиток університету здійснюються на основі чітких метрик, що дозволяє об'єктивно оцінювати їхню роботу та вплив на імідж закладу.

8. Хмарний кіберсервіс моніторингу та управління науково-освітнім процесом студента забезпечує: відстеження активності та успішності в реальному часі; автоматизоване створення та безпечне зберігання електронної документації; персоналізований віртуальний кабінет з доступом

через мобільний додаток та електронну пошту.

9. Хмарний кіберсервіс вимірювання та супроводження бакалаврських, магістерських та дисертаційних робіт, а також конкурсних проектів поєднує міжнародні стандарти оцінювання наукової цінності з внутрішніми критеріями якості, розробленими фахівцями.

10. Хмарний кіберсервіс ліцензування та акредитації спеціальностей що забезпечує оцінювання науково-освітньої діяльності кафедр. Результатом є автоматизоване формування пакету документів, призначеного для проведення зовнішнього оцінювання якості освітніх процесів.

11. Хмарний кіберсервіс електронного 24/7 доступу та моніторингу забезпечує зручний та цілодобовий доступ до інформації про відвідування аудиторій співробітниками та студентами за допомогою мобільних пристроїв та ID-карток. Передбачено електронний банкінг для швидкої оплати навчання та можливість використання кафедральних карток для покупок, що спрощує управління фінансами кафедри.

12. Хмарний кіберсервіс захисту інформаційно-фізичного простору університету забезпечує контроль доступу до всіх електронних компонентів та процесів, які впливають на роботу вишу.

Зазначені сервіси базуються на наступних ключових принципах кіберфізичних систем, спрямованих на модернізацію та оптимізацію управління університетом.

1. Мобільний моніторинг та хмарне управління: забезпечення оперативного контролю та управління науково-освітніми процесами з використанням мобільних технологій та хмарних платформ, мінімізуючи бюрократичне втручання.

2. Оцифрування метричних відносин: переведення внутрішніх документів та правил університету в цифровий формат для об'єктивного вимірювання та рейтингування діяльності підрозділів, студентів та співробітників.

3. Цифрові метрики компетенцій: створення цифрових профілів

компетенцій для оцінки працівників та цифрових паспортів для структурних підрозділів.

4. Безпаперовий документообіг: повний перехід на електронний документообіг з використанням цифрових підписів, ID-карт, електронної пошти та мобільних телефонів.

5. Електронне голосування: забезпечення можливості дистанційного голосування для експертів, що дозволяє приймати рішення без фізичної присутності на засіданнях.

6. Електронні вибори: проведення виборів на керівні та науково-педагогічні посади на основі змагання цифрових метрик компетенцій кандидатів.

7. Кібер-фізична експертна система: використання хмарних сервісів для метричного оцінювання проектів та пропозицій, що мінімізує ризики прийняття необґрунтованих рішень.

8. Цифровий вимір процесів: перехід до точного та об'єктивного управління університетом шляхом цифрового вимірювання всіх процесів, замість авторитарного підходу.

9. Моделювання кібер-рішень: прогнозування ефективності та потенційних наслідків впровадження нових кібер-рішень за допомогою хмарного моделювання.

10. Прозорий розподіл ресурсів: розподіл фінансування на основі об'єктивної оцінки внеску кожного підрозділу та співробітника в загальний успіх університету.

11. Персоналізоване навчання: забезпечення індивідуального темпу навчання та цілодобового доступу до навчальних матеріалів (лекції, онлайн-курси) для кожного студента.

## 2.6 Математичний апарат векторно-логічного комп'ютингу

Векторно-логічний комп'ютинг використовує пам'ять (in-memory) та транзакції читання-запису для ефективного аналізу даних і управління різноманітними процесами – від фізичних до соціальних та бізнес-процесів. Він базується на даних моніторингу і діє як інтелектуальна система, що самостійно приймає рішення. Він поєднує математичну модель та алгоритм вирішення задачі, використовує надмірні структури даних, що дозволяє значно спростити алгоритми аналізу та управління. Фактично, для будь-якої задачі можна створити таку детальну модель, що алгоритм її розв'язання стає тривіальним. Завдяки цьому, векторно-логічний комп'ютинг значно зменшує час обчислень та споживання енергії при управлінні процесами в різних сферах. Використання надмірних структур даних в оперативній пам'яті дозволяє суттєво спростити алгоритми, що робить його ефективним інструментом для управління складними системами.

Інтелектуальний комп'ютинг прагне до оптимальної взаємодії алгоритмів і моделей у будь-якому обчислювальному середовищі (хмара, туман, периферія) з метою швидкого та енергоефективного вирішення задач, використовуючи різні архітектури обчислень, такі як штучний інтелект, фон Неймана, квантові або in-memory комп'ютинг.

Розроблені в [29-32] архітектури, моделі та алгоритми застосовуються для морального управління соціальними процесами на основі їх вичерпного моніторингу. Вирішуються питання управління бізнесом на основі моніторингу з метою його оптимізації шляхом побудови двійкової моделі бізнес-процесів на універсумі примітивів. Пропонуються економічні механізми modeling for simulation для вирішення завдань пасивного та активного комп'ютингу у трьох просторах (фізичному соціальному та кібернетичному). Розглядаються механізми обнулення обчислювальної складності алгоритму рахунок експоненційної складності структур даних з урахуванням векторної логіки. Розглядаються інженерні рішення соціальних

проблем на основі використання комп'ютерних архітектур для толерантного метричного управління соціальними процесами. Всі архітектури, моделі та алгоритми інтелектуального vector-logic processor-free комп'ютера використовують лише read-write транзакції на надлишкових векторно-логічних моделях, вміщених у пам'яті, де зберігаються великі дані. Існує повна аналогія процесів modeling и simulation на основі векторно-логічних та інтелектуальних моделей.

Smart model – це розумні структури даних для моделювання будь-якого вхідного набору сигналів для визначення стану виходів без алгоритму.

AI-modeling – це синтез моделі за відомими станами входів-виходів.

AI (forward) simulation – це процес визначення стану виходів за відомими станами входів. Це також робочий режим формування inference.

AI backsimulation (backpropagation) – це процес визначення стану входів за відомими станами виходів, що застосовується при пошуку помилок та оптимізації смарт-моделі.

Testing map – це карта тестування функціональності, що вирішує питання моделювання та діагностування несправностей, синтезу мінімального тесту та оцінки його якості.

Усі зазначені процеси оперують трьома компонентами (тест-модель-помилки) рівняння

$$T \oplus L \oplus F = 0, \quad (2.2)$$

серед яких два мають бути відомі для пошуку третього: T – тест, L – модель, F – помилки. Але якщо відома модель помилок, можна по одному компоненту згенерувати два інших. Це промпт-комп'ютинг.

Побудувати таблицю істинності шляхом синтеза вектора [32]

$$Y = f(X) \quad (2.3)$$

для процесу чи явища – це вирішити завдання ідентифікації патернів (змінних) ключовими словами у бізнес-потокі великих даних.

Ідентифікатор шаблону визначається проекцією вектора  $Y$  на змінну

$$x_i: Pr_{x_i} = Y \wedge x_i. \quad (2.4)$$

Рядки та стовпці в таблиці істинності різні, що використовується для ідентифікації процесів та явищ.

Будь-які дані можна подати, як адреси, при унітарному кодуванні патернів у метриці універсуму примітивів.

Smart data (for fault simulation) – структури явних даних (вектори, таблиці, матриці), пов'язані між собою єдиною (unified) метрикою простору.

Таблиці істинності – це ефективний спосіб замінити складні умовні конструкції if у коді [32]. По суті, таблиця істинності представляє собою всі можливі варіанти if-операторів, організовані у вигляді таблиці з чіткими адресами для кожного логічного випадку. Завдяки унітарному кодуванню, навіть великі обсяги даних можна компактно представити у вигляді таблиці істинності. Унікальність таблиці істинності полягає в тому, що вона може одночасно містити інформацію про схожі та відмінні риси даних, що робить її потужним інструментом для моделювання складних систем з суперечливими властивостями:

$$S \oplus D = 1. \quad (2.5)$$

Таблиця істинності відслідковує не лише метрику подібності-відмінності для ключових даних. Таблиця істинності відстежує метрику similarity-difference для упорядкованої структури відносин між класами еквівалентностей, складених з урахуванням ключових даних. Дивно, але кожна адреса таблиці істинності, незалежно від кількості одиниць, має однакову інтегральну оцінку tf/idf [33].

У таблиці істинності для кожного рядка (адреси) можна знайти парний йому симетричний рядок. Якщо застосувати операцію XOR до цих двох рядків, результатом буде вектор, що складається лише з одиниць. При роботі з великими обсягами даних для оцінки щільності заповнення таблиці істинності використовуються два показники: вони визначають, наскільки багато одиниць міститься в логічному векторі відносно загальної кількості його елементів  $V/2^n$  і структуризації даних (потужність задіяних ключових слів універсуму віднесених до класів еквівалентності або задіяних стовпців таблиці істинності  $U/V$ ). Ідеальне значення обох оцінок прагне одиниці. Ці оцінки допомагають вибрати оптимальну кількість змінних для формування вікна спостереження (кількість змінних) при обробці великих даних.

Хоча таблиці істинності, як інструмент моделювання обчислень, існують вже понад століття і сьогодні практично не використовуються для організації обчислень, вони мають важливу перевагу. Вони дозволяють створити логічну цифрову модель бізнес-процесу, що фактично є цифровим двійником. Ця модель дає можливість аналізувати різні аспекти процесу, включаючи виявлення помилок, допущених оператором.

У роботі [32] висувається ідея застосування таблиць істинності як оптимального інструменту для структурного аналізу великих обсягів даних, а також для моделювання дефектів, що виникають на входах логічних елементів і схем. Пропонується використовувати одиничні значення вхідних змінних таблиці істинності для представлення всіх можливих комбінацій несправностей, які можуть виникнути на входах логічного елемента. Логічний вектор, що є частиною таблиці істинності, використовується для створення дедуктивного вектора. Цей вектор дозволяє переносити інформацію про будь-які комбінації несправностей у схемі з входів елемента на його вихід. Таким чином, дедуктивні вектори логічного елемента здатні передавати інформацію про будь-які поєднання вхідних несправностей, представлених одиничними координатами вхідних змінних таблиці істинності, на вихід без необхідності моделювання.

## 2.7 Висновки до розділу 2

Наведено основні підходи до оцифрування освітньо-наукових процесів, їх структуру та описано основні хмарні сервіси кіберуніверситету. Проаналізовано математичний апарат на основі векторно-логічного комп'ютингу для обробки великих даних, що застосовується у подальшому для створення кіберсервісу векторної логіки здобувача вищої освіти.

### 3 КІБЕРСЕРВІС ВЕКТОРНОЇ ЛОГІКИ УСПІШНОСТІ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Виконується синтез векторної логіки відмінної успішності здобувача вищої освіти для реалізації у хмарному сервісі розумного кіберуніверситету на основі теорії векторно-логічного комп'ютингу.

#### 3.1 Автоматна структура кіберуніверситету

Організація кіберуніверситету побудована на основі автоматної структури, що підтримує ключові процеси, такі як наукова діяльність та навчання, а також обслуговують основні елементи системи: студентів, викладачів та кафедри. Як приклад, можна навести хмарні додатки, спеціально розроблені для активної підтримки студентів. Ці мобільні сервіси надають кожному студенту необхідну інформацію та інструменти через їхні особисті пристрої в режимі реального часу (рис. 3.1).

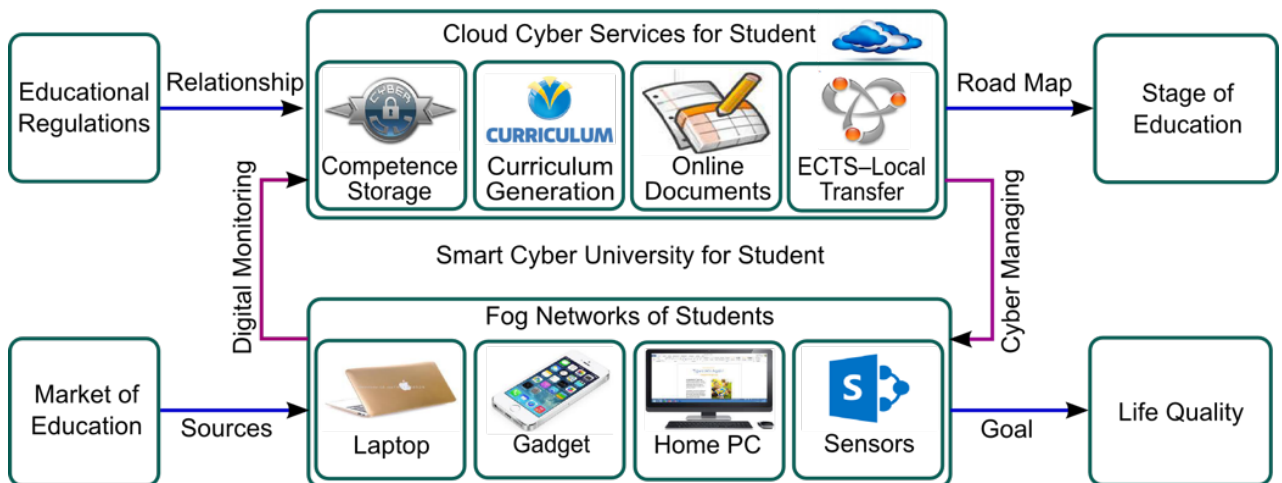


Рисунок 3.1 – Схема автоматної моделі кіберфізичної CyUni-системи для здобувача вищої освіти [23]

До переліку можливостей системи входять:

1. Обчислення та надання інформації про поточний інтегральний рейтинг студента, а також оцінок під час екзаменів.
2. Створення персоналізованих навчальних планів, що враховують індивідуальний рівень знань та навичок студента.
3. Автоматизоване створення електронних документів, які підтверджують досягнення студента, зокрема приведення сертифікатів до вимог ECTS.
4. Оперативне інформування студента про всі важливі події та документи, що стосуються його навчання, включаючи розклад, зміни в ньому, можливості для наукової та волонтерської діяльності, отримані оцінки, зміни в рейтингу, а також відповідні накази та положення.

Цей перелік сервісів може бути розширений, дотримуючись аналогічного принципу роботи кіберфізичної системи.

### 3.2 Синтез та верифікація векторно-логічних моделей соціальних процесів

Розглядається синтез логіки соціальних процесів та її верифікація за допомогою векторних механізмів автоматичного синтезу та аналізу даних [29-32] (рис. 3.2).

Векторні механізми, що лежать в її основі, мають наступні переваги перед іншими підходами:

- 1) дозволяють легко будувати логічні моделі, використовуючи унітарне кодування патернів даних на основі набору примітивних елементів;
- 2) забезпечують швидку та енергоефективну обробку даних завдяки паралельній обробці двійкових векторів в пам'яті, що є більш ефективним, ніж традиційні методи, такі як бази даних або технології обробки великих даних;
- 3) спрощують процес тестування та верифікації логічних моделей соціальних процесів завдяки автоматичному створенню тестових карток.

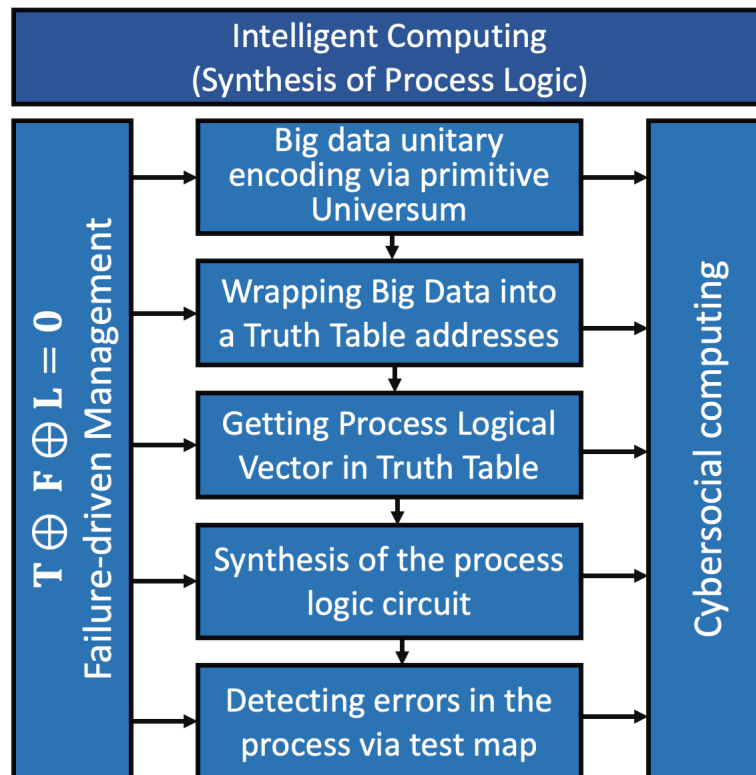


Рисунок 3.2 – Схема синтезу та верифікації векторно-логічних моделей соціальних процесів

Завдання, що вирішуються:

- 1) використання унікальних властивостей таблиці істинності для синтезу та верифікації логічної моделі соціального процесу, ідентифікації суб'єктів за метрикою відмінності-подібності та еквівалентування даних, як адрес;
- 2) еквівалентування знань студентів з дисциплін, засвоєних на відмінно;
- 3) визначення логічного вектора та схеми соціальної функціональності, що ідентифікує відмінну успішність групи з 4 студентів;
- 4) результати як висновки до лабораторного дослідження для захисту: таблиця істинності унітарного кодування даних. Таблиця істинності еквівалентних даних, логічний вектор функціональності, схема соціальної функціональності, побудована на основі використання карток Карно для отримання мінімальної ДНФ;

5) практичні завдання: еквівалентування студентів з відмінного засвоєння курсів; виділення студентів, які мають виняткові знання з курсів; визначення проблемних курсів, які мають відмінних оцінок серед студентів.

### 3.3 Синтез векторної логіки успішності

Завдання вирішуються за лінійну обчислювальну складність. Результат розв'язання згаданих завдань подано на рис. 3.3.

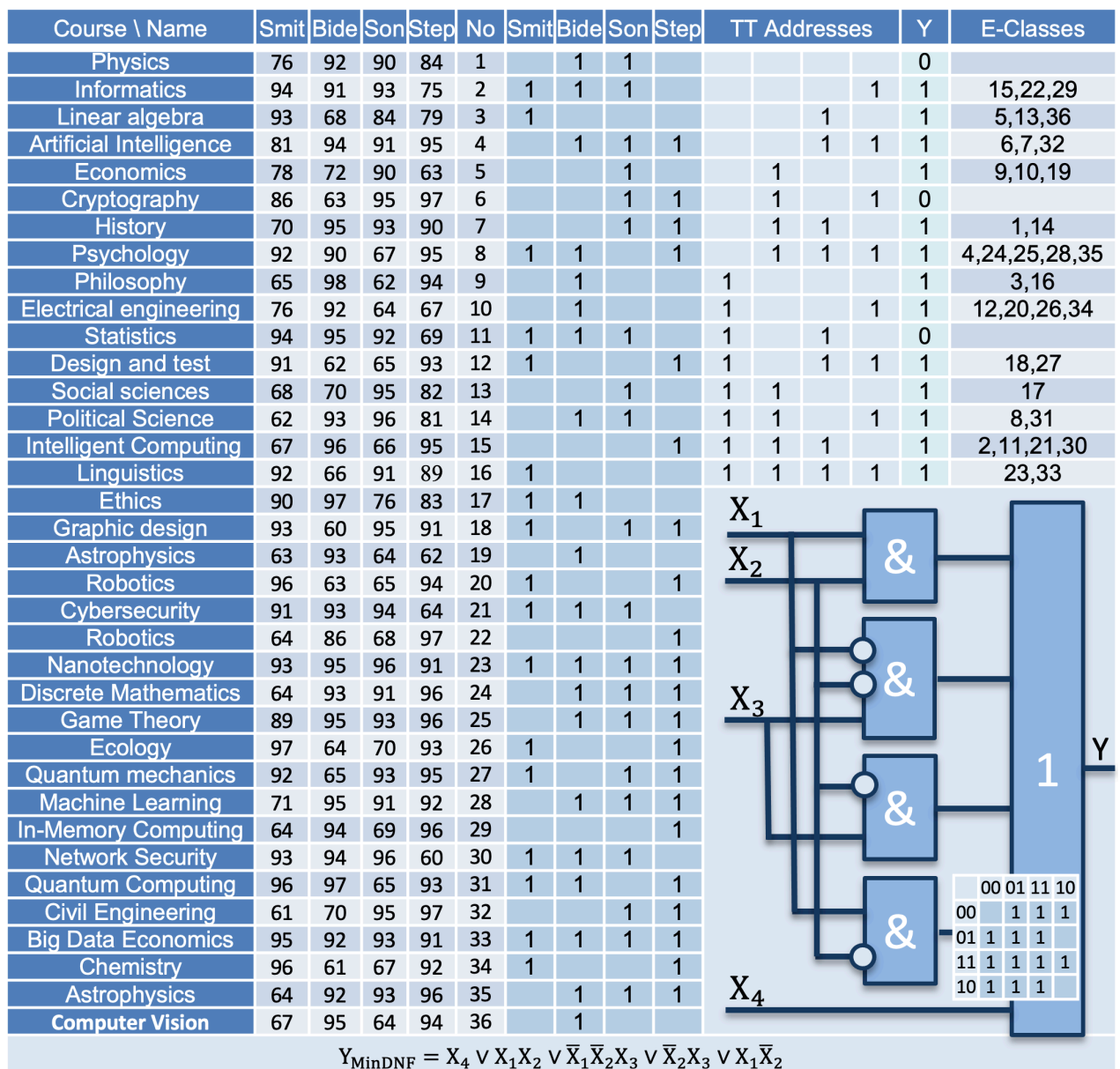


Рисунок 3.3 – Схема синтезу векторної логіки успішності

Тут наведено:

- 1) дисципліни, які вивчаються студентами за п'ять років навчання в університеті;
- 2) оцінки, одержувані кожним із чотирьох студентів з усіх дисциплін;
- 3) двійкова матриця відмінних оцінок, які показані одиничними значеннями координат;
- 4) стандартна таблиця істинності від чотирьох змінних та логічний вектор, координата якого дорівнює одиниці  $L_i=1$ , якщо існує хоча б одна відмінна оцінка у студентів з даного предмета;
- 5) E-classes – еквівалентні класи дисциплін, що мають ідентичну структуру відмінних оцінок;
- 6) за логічним вектором відмінної успішності будується карта Карно, мінімальна ДНФ, логічна схема;
- 7) остання може бути ідеальною моделлю відмінної успішності студентів щодо курсів університету.

### 3.4 Верифікація

Для тестової верифікації отриманої логічної моделі відмінної успішності студентів використовувався механізм побудови карток тестування несправностей за логічним вектором (рис. 3.4).



### 3.5 Висновки до розділу 3

Розглянуто синтез сервісу успішності здобувачів вищої освіти в межах університету на основі використання механізмів in-memo комп'ютингу обробки великих даних за допомогою логічного вектора соціального процесу для подальшої імплементації його до хмарного сервісу кіберуніверситету. Наведено автоматичну процедуру та алгоритм побудови логічної моделі зазначеного соціального процесу, а також автоматичну процедуру верифікації моделі за допомогою векторних механізмів побудови карти тестування.

Застосування векторної логіки для обробки великих даних має суттєві переваги над іншими підходами: спрощена розробка логіки – моделювання процесів стає простішим завдяки використанню унітарного кодування шаблонів, що базується на наборі базових елементів; ефективність обробки – паралельна обробка двійкових векторів безпосередньо в пам'яті забезпечує значну економію часу (низька затримка) та енергії порівняно з традиційними методами, такими як бази даних або існуючі технології обробки великих даних, що використовують процесори; легкість верифікації – створення тестових сценаріїв для перевірки логічної моделі соціального процесу стає простішим.

## ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано технологічні тенденції, що визначені компанією Gartner за 2023-2024 роки. Проведено аналіз сучасних досліджень та публікацій. Наголошено на тому, що кіберсоціальні процеси разом з їхнім моніторингом та управлінням виступають на перший план та вимагають глобальної трансформації, що спонукає до розвитку кіберсоціального комп'ютингу, який становить предмет для дослідження, розвитку та впровадження комп'ютерними інженерами. Визначено актуальність розробок, пов'язаних з розумним кібер-університетом.

2. Проаналізовано моделі та технологічні рішення розумного кіберуніверситету, основні підходи до оцифрування освітньо-наукових процесів, їх структуру та описано основні хмарні сервіси кіберуніверситету, а також математичний апарат на основі векторно-логічного комп'ютингу для обробки великих даних, що застосовується у подальшому для створення кіберсервісу векторної логіки здобувача вищої освіти

3. Виконано синтез векторної логіки відмінної успішності здобувача вищої освіти для реалізації у хмарному сервісі розумного кіберуніверситету на основі теорії векторно-логічного комп'ютингу.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2024  
[<https://www.gartner.com/en/articles/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2024>]
2. Ahmed S. H. Cyber Physical System: Architecture, applications and research challenges / S. H. Ahmed, G. Kim, D. Kim // *2013 IFIP Wireless Days (WD)*. – Valencia, Spain. – 13-15 November 2013: proceedings. – IEEE, 2014. – P. 1-5, doi: 10.1109/WD.2013.6686528.
3. 2015 IEEE 4th International Congress on Big Data. – Proceedings of IEEE SERVICES. – USA, New York City. – June 27 – July 2, 2015: proceedings. – IEEE, 2015. DOI: [10.1109/BigDataCongress35851.2015](https://doi.org/10.1109/BigDataCongress35851.2015)
4. Physical-Cyber-Social Computing: Looking Back, Looking Forward / [P. Barnaghi, A. P. Sheth, V. Singh, M. Hauswirth] // *IEEE Internet Computing*. – 2015, 19 (3). – P. 7-11. <https://doi.org/10.1109/MIC.2015.65>
5. From Cloud Governance to IoT Governance / [A. Copie, T.-F. Fortis, V.I. Munteanu, V. Negru] // *27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*. – Barcelona, Spain. – 25-28 March 2013: proceedings. – IEEE, 2013. – P. 1229-1234. doi: 10.1109/WAINA.2013.169.
6. Lei C.-U. Building a smart laboratory environment at a university via a cyber-physical system / C.-U. Lei, H.-N. Liang and K. L. Man // *IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE)*. – Bali, Indonesia. – 26-29 August 2013: proceedings. – IEEE, 2013. – P. 243-247. doi: 10.1109/TALE.2013.6654439.
7. The Smart University Experience: An NFC-Based Ubiquitous Environment / [M. V. Bueno-Delgado, P. Pavón-Marino, A. De-Gea-García and A. Dolón-García] // *2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in*

*Ubiquitous Computing*. – Palermo, Italy. – 4-6 July 2012: proceedings. – IEEE, 2012. – P. 799-804. doi: 10.1109/IMIS.2012.110.

8. Li T. Intelligent document technology in university educational administration management system / T. Li, W. Mao // *IEEE International Symposium on IT in Medicine and Education (ITME)*. – Xiamen, Chinap. – 12-14 December 2008: proceedings. – IEEE, 2008. – P. 103-107. doi: 10.1109/ITME.2008.4743831

9. Owoc M. Knowledge management as foundation of smart university / M. Owoc, K. Marciniak // *Federated Conference on Computer Science and Information Systems*. – Krakow, Poland. – 08-11 September 2013: proceedings. – IEEE, 2013. – P. 1267-1272.

[https://www.researchgate.net/publication/261339541\\_Knowledge\\_management\\_as\\_foundation\\_of\\_smart\\_university](https://www.researchgate.net/publication/261339541_Knowledge_management_as_foundation_of_smart_university)

10. CFD Cyber Education Service Using Cyberinfrastructure for e-Science / [J. Moon, C. Kim, Y. Kim and K. W. Cho, 2008 *Fourth International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management*. – Gyeongju, Korea (South). – 02-04 September 2008: proceedings. – IEEE, 2008. – P. 306-313, doi: 10.1109/NCM.2008.130.

11. Electronic document management: A paperless university model / [S. Mushhad, M. Gilani, J. Ahmed, M. A. Abbas] // *2009 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology*. – Beijing, China. – 8-11 August 2009: proceedings. – IEEE, 2009. – P. 440-444, doi: 10.1109/ICCSIT.2009.5234679.

12. Liu X. X. High Availability Benchmarking for Cloud Management Infrastructure / X. X. Liu, J. Qiu, J. M. Zhang // *International Conference on Service Sciences*. – Wuxi, China. – 22-23 May 2014: proceedings. – IEEE, 2015. – P. 163-168, doi: 10.1109/ICSS.2014.28.

13. Nugroho H. Proposed model of Vocational University Governance and measurement model by utilizing the ISO 38500 framework and COBIT 5 enabler / H. Nugroho and K. Surendro // *International Conference on ICT for Smart Society*. –

Jakarta, Indonesia. – 13-14 June 2013: proceedings. – IEEE, 2013. – P. 1-5. doi: 10.1109/ICTSS.2013.6588069.

14. Braun D. Governance of universities and scientific innovation / D. Braun // *2011 Atlanta Conference on Science and Innovation Policy*. – Atlanta, GA, USA. – 15-17 September 2011: proceedings. – IEEE, 2011. – P. 1-37. doi: 10.1109/ACSIP.2011.6064463.

15. Work in progress – Open Education Metric (OEM) developing metric to measure open education service quality / [B. Priyogi, B. A. Nan Cenka, A. A. G. Y. Paramartha, A. Rubhasy] // *2014 The 1st International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering*. – Semarang, Indonesia. – 8 November 2014: proceedings. – IEEE, 2014. – P. 319-323, doi: 10.1109/ICITACEE.2014.7065764.

16. Zhu J. Evaluation of the Teacher Quality in University Based on the Unascertained Measurement Model / J. Zhu, H. Xujie // *2009 Second International Symposium on Electronic Commerce and Security*. – Nanchang, China. – 22-24 May 2009: proceedings. – IEEE, 2009. – P. 222-225. doi: 10.1109/ISECS.2009.143.

17. Jani H.M. Intellectual capacity building in higher education: Quality assurance and management / H.M. Jani // *5th International Conference on New Trends in Information Science and Service Science (NISS)*. – United States: proceedings. – 2011. vol. 2. – P. 361-366.

[https://www.researchgate.net/profile/Hajar-Mat-Jani/publication/254009801\\_Intellectual\\_capacity\\_building\\_in\\_higher\\_education\\_Quality\\_assurance\\_and\\_management/links/56d24e5608aeb52500cff83d/Intellectual-capacity-building-in-higher-education-Quality-assurance-and-management.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Hajar-Mat-Jani/publication/254009801_Intellectual_capacity_building_in_higher_education_Quality_assurance_and_management/links/56d24e5608aeb52500cff83d/Intellectual-capacity-building-in-higher-education-Quality-assurance-and-management.pdf)

18. Cyber Physical Social Systems – Future of Ukraine / [V. Hahanov, W. Gharibi, A.P. Kudin, I. Hahanov, C. Ngene, Y. Tiekura, D. Krulevska, A. Yerchenko, A. Mishchenko, D. Shcherbin, A. Priymak] // *IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*. – Kiev, Ukraine. – 26-29 September 2014: proceedings. – IEEE, 2014. – P. 67 – 81. doi: 10.1109/EWDTS.2014.7027108.

19. Big Data driven cyber physical systems / [V. Hahanov, V. Miz, E. Litvinova, A. Mishchenko, D. Shcherbin] // *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics*. – Lviv, Ukraine. – 24-27 February 2015: proceedings. – IEEE, 2015. – P. 76-80. doi: 10.1109/CADSM.2015.7230800.

20. Cloud Service – Cyber Social Democracy and Smart University / [V. Abdullayev, V. Hahanov, E. Litvinova, F. Dahiri, A. Arefiev, Y. Hahanova] // IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). – Batumi, Georgia. – 26-29 September 2015: proceedings. – IEEE, 2015. – P. 176-180. doi: 10.1109/EWDTS.2015.7493104.

21. Enabling Future Education with Smart Services / P. Tantatsanawong, A. Kawtrakul and W. Lertwipatrakul // *2011 Annual SRII Global Conference*. – San Jose, CA, USA. – 29 March – 2 April 2011: proceedings. – IEEE, 2011. – P. 550-556. doi: 10.1109/SRII.2011.63.

22. Big Data Driven Cyber Analytic System / [V. Hahanov, E. Litvinova, W. Gharibi, S. Chumachenko] // IEEE International Congress on Big Data. – New York, NY, USA. – 27 June – 2 July 2015: proceedings. – IEEE, 2015. – P. 615-622. doi: 10.1109/BigDataCongress.2015.94.

23. Міщенко О. С. Моделі і методи кіберфізичного комп'ютингу для цифрового моніторингу та хмарного управління університетом : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.05 "Комп'ютерні системи та компоненти" / О. С. Міщенко ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 2018. – 28 с. <http://openarchive.nure.ua/handle/document/6281>

24. Qubit data structure of computing devices / [V.I. Hahanov, W. Gharibi, E.I. Litvinova, A.S. Shkil] // *Electronic modeling*. – 2015. – Vol. 37, no 1. – P. 76-99. <https://www.emodel.org.ua/en/archive/2015/37-1>

25. Qubit technology analysis and diagnosis of digital devices / [V.I. Hahanov, Tamer Bani Amer, S.V. Chumachenko, E.I. Litvinova] // *Electronic modeling*. – 2015. – Vol. 37, no 3. – P. 17-40. <https://www.emodel.org.ua/en/archive/2015/37-3>

26. Hahanov V. 12 Infrastructure Intellectual Property for SoC Simulation and Diagnosis Service / V. Hahanov // In: Adamski, M., Barkalov, A., Węgrzyn, M. (eds) Design of Digital Systems and Devices. Lecture Notes in Electrical Engineering, Springer, Berlin, Heidelberg. – 2011. – Vol 79. – P. 289–330. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-17545-9\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-642-17545-9_12)

27. Krimmer R. How Much Does an e-Vote Cost? Cost Comparison per Vote in Multichannel Elections in Estonia / R. Krimmer, D. Duenas-Cid, I. Krivonosova, P. Vinkel, A. Koitmae // In: Krimmer, R., et al. Electronic Voting. E-Vote-ID 2018. Lecture Notes in Computer Science. – Springer, Cham, 2018. – Vol 11143. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00419-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00419-4_8)

28. CyUni Service – Smart Cyber University / [V. Hahanov, S. Chumachenko, A. Mishchenko, Mazen Abdelrahman Abdelaziz Hussein, A. Hahanova, I. Filippenko] // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). Batumi, Georgia. – 26-29 September 2015: proceedings. – IEEE, 2015. – P. 129-136. doi: 10.1109/EWDTS.2015.7493103

29. Big Data Critical Computing Based on the Similarity-Difference Metric / [V. H. Abdullayev, L. Shapa, V. Hahanov et al.] // IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). – Varna, Bulgaria. – 4-6 September 2020: proceedings. – IEEE, 2020. – P. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ewdts50664.2020.9225110>

30. In-Memory Fault as Address Simulation / [Gharibi W., Chumachenko S. Miroshnyk M. et al.] // East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Batumi, Georgia, 22-25 September 2023: proceedings. – IEEE, 2023. – P. 1–7. <https://doi.org/10.1109/ewdts59469.2023.10297038>

31. Інтелектуальний комп'ютинг в пам'яті / В. І. Хаханов, В. Х. Абдуллаєв, С. В. Чумаченко та ін. // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2024. – №1. – С. 161–174. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2024-1-15>

32. Truth Table Based Intelligent Computing / [V. Hahanov, E. Litvinova, Z. Davitadze et al.] // 31st International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and System (MIXDES), Gdansk, Poland, 27-28 June 2024: proceedings. – IEEE, 2024. – P. 199–204. <https://doi.org/10.23919/mixdes62605.2024.10614035>

33. Liu H. A Study of the Application of Weight Distributing Method Combining Sentiment Dictionary and TF-IDF for Text Sentiment Analysis / H. Liu, X. Chen, and X. Liu // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 32280-32289. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3160172.