

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інформаційних технологій та електроніки
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих систем управління

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської науково-дослідної роботи

освітній ступінь: магістр

спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

(шифр і назва спеціальності)

**на тему «Автоматизація процесів моніторингу результатів STEM-
освіти за допомогою комп'ютерно-інтегрованих систем.»**

Виконав: студент групи АТП-24дм


(підпис)

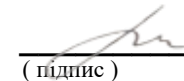
Т. О. Желага

Керівник


(підпис)

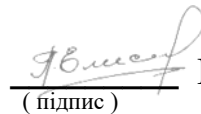
Т.Г. Сотнікова

Завідувачка кафедри


(підпис)

М.Г. Лорія

Рецензент


(підпис)

П.Й. Єлісєєв

Київ 2025

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

Факультет: Інформаційних технологій та електроніки
Кафедра: Комп'ютерно-інтегрованих систем управління
Освітньо-кваліфікаційний рівень: Магістр
Напрямок підготовки: 174 – Автоматизація комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка каф. КІСУ

_____ М.Г. Лорія

« 09 » грудня 2025 року

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Желага Тетяні Олексіївни

1. Тема магістерської НДР: «Автоматизація процесів моніторингу результатів STEM-освіти за допомогою комп'ютерно-інтегрованих систем»

2. Керівник роботи: доц. Сотнікова Т.Г.

Затверджені наказом вищого навчального закладу №242/17.02 від 28.11.2025 р.

3. Термін подання студентом роботи 14 грудня 2025 р.

4. Вихідні дані до роботи:

4.1. Нормативно-методична документація та принципи організації STEM-освіти і систем оцінювання навчальних результатів.

4.2. Інструктивні матеріали з експлуатації інформаційних та комп'ютерно-інтегрованих систем моніторингу освітніх результатів.

4.3. Нормативно-правові матеріали та рекомендації щодо цифровізації освітнього процесу, збору та аналізу освітніх даних.

4.4. Публікації з питань автоматизації моніторингу, аналізу та оцінювання результатів STEM-освіти.

4.5. Публікації з моделювання, аналізу та програмної реалізації комп'ютерно-інтегрованих систем обробки освітніх даних.

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

5.1. Вступ.

5.2. Аналіз сучасного стану автоматизації процесів моніторингу та оцінювання результатів STEM-освіти.

5.3. Аналіз існуючих комп'ютерно-інтегрованих систем збору, обробки та аналізу освітніх даних і постановка завдань магістерської науково-дослідної роботи.

5.4. Розробка концептуальної моделі системи моніторингу результатів STEM-освіти як об'єкта автоматизованого управління.

5.5. Теоретичні дослідження моделей оцінювання та аналізу результатів STEM-освіти з використанням комп'ютерно-інтегрованих підходів.

5.6. Розробка структури та алгоритмів комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу результатів STEM-освіти.

5.7. Моделювання та програмна реалізація роботи системи моніторингу в статичних і динамічних режимах функціонування.

5.8. Аналіз результатів моделювання та оцінка ефективності запропонованої системи автоматизованого моніторингу.

5.9. Висновки.

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

6.1. Структурні та функціональні схеми комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу результатів STEM-освіти.

6.1.1. Структурна схема автоматизованої системи збору, обробки та аналізу результатів STEM-освіти.

6.1.2. Архітектура комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу результатів STEM-освіти.

6.1.3. Алгоритмічна схема функціонування системи автоматизованого моніторингу та аналізу освітніх даних.

6.2. Інтерфейсна схема (мнемосхема) комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу результатів STEM-освіти.

6.3. Модель обробки та аналізу результатів STEM-освіти в комп'ютерно-інтегрованій системі.

6.4. Статичні та динамічні характеристики функціонування системи моніторингу освітніх результатів.

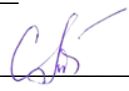
6.5. Результати моделювання та оцінка ефективності автоматизованого моніторингу результатів STEM-освіти.

7. **Дата видачі завдання:** 25 жовтня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасного стану автоматизації процесів моніторингу та оцінювання результатів STEM-освіти.	1.11.2025	
2.	Аналіз існуючих автоматизованих і комп'ютерно-інтегрованих систем збору, обробки та аналізу результатів STEM-освіти та розробка завдань для виконання магістерської науково-дослідної роботи.	1.11.2025	
3.	Розробка концептуальної та математичної моделі системи моніторингу результатів STEM-освіти.	5.11.2025	
4.	Розробка мнемосхем комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу результатів STEM-освіти.	8.11.2025	
5.	Розробка програмного забезпечення комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу результатів STEM-освіти в динамічному режимі функціонування.	15.11.2025	
6.	Теоретичні дослідження моделей оцінювання та аналізу результатів STEM-освіти в умовах автоматизованого моніторингу.	25.11.2025	
7.	Аналіз результатів теоретичних досліджень та оцінка ефективності комп'ютерно-інтегрованих методів моніторингу результатів STEM-освіти.	1.12.2025	
9.	Оформлення пояснювальної записки магістерської роботи та підготовка презентаційних матеріалів.	14.12.2025	

Здобувач вищої освіти  Т. О. Желага

Керівник магістерської НДР  Т.Г. Сотнікова

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка складається з 53 сторінок, містить 7 рисунків та 27 джерел літератури.

STEM-ОСВІТА, МОНІТОРИНГ ОСВІТНІХ РЕЗУЛЬТАТІВ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА, ІНФОРМАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ, СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА, БАЗА ДАНИХ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, АЛГОРИТМИ ОБРОБКИ ДАНИХ, ОСВІТНЯ АНАЛІТИКА, СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ.

Магістерська робота присвячена автоматизації процесів моніторингу та аналізу результатів STEM-освіти з використанням сучасних комп'ютерно-інтегрованих систем. Ключові слова: STEM-освіта, моніторинг освітніх результатів, автоматизація, комп'ютерно-інтегрована система, структурно-логічна схема, інформаційні потоки, база даних, математична модель, алгоритм обробки даних, система підтримки прийняття рішень, освітня аналітика.

Об'єктом теоретичного дослідження є процес моніторингу результатів STEM-освіти в закладах освіти, який характеризується багатокomпонентністю, значним обсягом різнорідних даних та необхідністю оперативного аналізу показників навчальних досягнень.

Метою магістерської науково-дослідної роботи є розробка комп'ютерно-інтегрованої системи автоматизованого моніторингу результатів STEM-освіти, яка забезпечує збір, зберігання, обробку та аналіз освітніх даних, а також формування аналітичної інформації для підтримки прийняття управлінських рішень у сфері освіти. Досягнення поставленої мети передбачає аналіз процесу моніторингу як об'єкта автоматизації, розробку структурно-логічної схеми системи та формалізацію алгоритмів обробки освітніх даних.

Методом дослідження є теоретичний метод із застосуванням електронно-обчислювальних машин, що дозволяє здійснювати математичне моделювання інформаційних процесів, дослідження алгоритмів аналізу результатів навчання та оцінювання ефективності функціонування комп'ютерно-інтегрованої системи.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПРИНЦИПІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ....	8
1.1 Проектування автоматизованих інформаційних систем.....	9
1.2 Моніторинг освітнього процесу за допомогою комп'ютерно-інтегрованих систем.....	15
1.3 Аспекти використання комп'ютерно-інтегрованих систем для моніторингу освітнього процесу.....	18
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ В СТАТИЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ.....	20
2.1. Алгоритм автоматизованої обробки та аналізу освітніх даних.....	20
2.2. Візуалізація результатів моніторингу STEM-освіти.....	24
РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ОЦІНЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ РЕЗУЛЬТАТІВ STEM-ОСВІТИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ПІДХОДІВ.....	27
3.1 Математична модель оцінювання результатів STEM-освіти.....	27
3.2. Структурно-логічна схема комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу.....	31
3.3. Аналіз ефективності запропонованих рішень.....	34
РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ.....	39
4.1 Аналіз результатів моделювання в статичному режимі	40
4.2 Аналіз динаміки інтегрального показника (перехідний процес)	43
4.3 Узагальнена оцінка ефективності системи.....	46
ВИСНОВКИ	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	52

ВСТУП

Сучасний етап розвитку освіти характеризується активним впровадженням STEM-підходів, які поєднують науку, технології, інженерію та математику з метою формування у здобувачів освіти системного мислення, практичних навичок та здатності до розв'язання прикладних задач. STEM-освіта орієнтована на інтеграцію теоретичних знань і практичної діяльності, використання цифрових технологій та міждисциплінарних зв'язків, що зумовлює підвищені вимоги до якості оцінювання результатів навчання та ефективності управління освітнім процесом.

В умовах цифровізації освіти зростає обсяг освітніх даних, які відображають результати навчальної діяльності здобувачів STEM-освіти, зокрема результати тестування, виконання проєктних і лабораторних робіт, участі у дослідницьких та командних проєктах. Традиційні підходи до моніторингу результатів навчання, що ґрунтуються на ручній обробці та фрагментарному аналізі даних, не забезпечують достатнього рівня оперативності, об'єктивності та аналітичної глибини. Це ускладнює своєчасне виявлення проблем у навчальному процесі та прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

У зв'язку з цим актуальним є впровадження автоматизованих засобів моніторингу результатів STEM-освіти, заснованих на використанні комп'ютерно-інтегрованих систем. Такі системи дозволяють здійснювати централізований збір, зберігання та обробку освітніх даних, забезпечують формування узагальнених показників якості навчання та створюють передумови для застосування методів освітньої аналітики. Автоматизація процесів моніторингу сприяє підвищенню прозорості оцінювання, зменшенню суб'єктивного впливу та оптимізації управління освітнім процесом у STEM-напрямі.

Незважаючи на наявність окремих програмних рішень для обліку навчальних досягнень, більшість із них не враховує специфіку STEM-освіти, яка характеризується міждисциплінарністю, проєктною діяльністю та необхідністю комплексного аналізу результатів. Це обумовлює доцільність розробки

спеціалізованих комп'ютерно-інтегрованих систем, орієнтованих саме на автоматизацію процесів моніторингу результатів STEM-освіти.

Актуальність даної магістерської роботи визначається потребою у створенні науково обґрунтованих підходів до автоматизації моніторингу освітніх результатів STEM-освіти з використанням комп'ютерно-інтегрованих систем, що забезпечують ефективну обробку освітніх даних та підтримку прийняття управлінських рішень.

Об'єктом дослідження у роботі є процес моніторингу результатів STEM-освіти.

Предметом дослідження є методи та засоби автоматизації процесів збору, обробки й аналізу освітніх даних у комп'ютерно-інтегрованих системах моніторингу.

Метою магістерської роботи є розробка комп'ютерно-інтегрованої системи автоматизації процесів моніторингу результатів STEM-освіти, що забезпечує підвищення об'єктивності, оперативності та аналітичної цінності оцінювання навчальних досягнень.

Досягнення поставленої мети передбачає аналіз процесу моніторингу як об'єкта автоматизації, розробку структурно-логічної схеми системи, побудову математичної моделі обробки освітніх даних та формування алгоритмів функціонування системи.

Методи дослідження ґрунтуються на теоретичному аналізі наукових джерел, методах математичного моделювання інформаційних процесів, а також використанні електронно-обчислювальних машин для дослідження та оцінювання ефективності запропонованих рішень. Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленої комп'ютерно-інтегрованої системи в закладах загальної середньої та вищої освіти для вдосконалення моніторингу результатів STEM-освіти, підвищення якості освітньої аналітики та ефективності управління освітнім процесом.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПРИНЦИПІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

В даний час склалися як основоположні науково-методичні положення та практичні рекомендації з проектування автоматизованих інформаційних систем (АІС), наступні принципи: системності, розвитку, сумісності, стандартизації та уніфікації, ефективності.

Принцип системності є найважливішим при створенні, функціонуванні та розвитку АІС. Він дозволяє підійти до досліджуваного об'єкта як єдиного цілого, виявити на цій основі різноманітні типи зв'язків між структурними елементами, що забезпечують цілісність системи, встановити напрями виробничо-господарської діяльності системи і реалізовувати нею конкретні функції. Системний підхід передбачає проведення двохаспектного аналізу, що отримав назву макро- і мікропідходів. При макроаналізі система або її елемент розглядаються як частина системи більш високого порядку. Особлива увага приділяється інформаційним зв'язкам: встановлюється їх кількість, виділяються і аналізуються ті зв'язки, які зумовлені метою вивчення системи, а потім вибираються найкращі з них, які реалізують задану цільову функцію. При мікроаналізі вивчається структура об'єкта, аналізуються її складові елементи з погляду їх функціональних характеристик, що виявляються через зв'язки з іншими елементами та зовнішнім середовищем. У процесі проектування АІС системний підхід дозволяє використовувати математичний опис функціонування, дослідження різних властивостей окремих елементів і системи в цілому, моделювати процеси, що вивчаються для аналізу роботи створюваних систем. Для АІС управління характерна багаторівнева ієрархія з вертикально супідрядними елементами (підсистемами). Переваги ієрархічних структур сприяли їх широкому поширенню в системах управління. Так, ієрархічна структура створює відносну свободу дій над окремими елементами для кожного рівня системи і можливість різних поєднань локальних критеріїв оптимальності з глобальним критерієм оптимальності функціонування системи в цілому. Вона забезпечує відносну гнучкість системи управління і можливість пристосовуватися до умов, що

змінюються, підвищує надійність за рахунок можливості введення надмірної кількості елементів, упорядкування напрямків потоків інформації.

Практичне значення системного підходу і моделювання полягає в тому, що він дозволяє в доступній для аналізу формі не тільки відобразити все істотне, що цікавить проектувальника системи, а й використовувати електронно обчислювальну машину (ЕОМ) для дослідження поведінки системи в конкретних заданих умовах. Тому в основі створення АІС наразі лежить метод моделювання на базі системного підходу, що дозволяє знаходити оптимальний варіант структури системи і тим самим забезпечувати найбільшу ефективність її функціонування.

Принцип розвитку полягає в тому, що АІС створюється з урахуванням можливості постійного поповнення та оновлення функцій системи і видів її забезпечення. Передбачається, що автоматизована система має нарощувати свої обчислювальні потужності, оснащуватися новими технічними та програмними засобами, бути здатною постійно розширювати та оновлювати коло завдань і інформаційний фонд, що створюється у вигляді системи баз даних.

Принцип сумісності полягає в забезпеченні здатності взаємодії АІС різних видів, рівнів у процесі їх спільного функціонування. Реалізація принципу сумісності дозволяє забезпечити нормальне функціонування інформаційних систем, здатність їхніх компонентів взаємодіяти, обмінюватися даними та працювати загоджено на різних рівнях, що підвищує рівень ефективності управління та господарювання в цілому.

Принцип стандартизації та уніфікації полягає в необхідності застосування типових, уніфікованих і стандартизованих елементів функціонування АІС. Впровадження у практику цього принципу при створенні і розбудові АІС дозволяє скоротити часові, трудові та вартісні витрати на створення АІС при максимально можливому використанні наявного досвіду формування проектних рішень і впровадження автоматизації проектувальних робіт.

Принцип ефективності полягає в досягненні раціонального співвідношення між витратами на створення АІС та цільовим ефектом, що буде одержаний при її функціонуванні.

Як правило, крім основних принципів для ефективного здійснення управління виділяють також ряд додаткових принципів, що деталізують загальні. Дотримання кожного з додаткових принципів дозволяє отримати певний економічний ефект.

Одним з таких принципів є принцип декомпозиції. Він використовується при вивченні особливостей, властивостей елементів і системи в цілому і заснований на поділі системи на частини, а саме - виділення окремих комплексів робіт, що створює умови для більш ефективного її аналізу та проектування.

Принцип першого керівника передбачає закріплення відповідальності під час створення системи за замовником - керівником підприємства, організації, тобто майбутнім користувачем, який відповідає за введення в дію і функціонування АІС.

Принцип нових задач - пошук постійного розширення можливостей системи, вдосконалення процесу управління, отримання додаткових результатних показників з метою оптимізації управлінських рішень. Використання цього принципу може супроводжуватися постановкою і реалізацією нових задач управління при використанні ЕОМ та інших технічних засобів.

Принцип автоматизації інформаційних потоків та документообігу передбачає комплексне використання технічних засобів на всіх стадіях проходження інформації від моменту її реєстрації до одержання результатних показників та формування управлінських рішень.

Принцип автоматизації проектування має на меті підвищити ефективність самого процесу проектування і створення АІС на всіх рівнях управління, забезпечуючи при цьому скорочення часових, трудових і вартісних витрат за рахунок впровадження індустріальних методів. Сучасний рівень розробки і впровадження систем дозволяє широко використовувати типізацію проектних рішень, уніфікацію методів і засобів при підготовці проектних

матеріалів, стандартизацію підходів при проектуванні окремих елементів систем і підсистем.

1.1 Проектування автоматизованих інформаційних систем

Проблеми проектування автоматизованих інформаційних систем в господарюванні пов'язані, з одного боку, з загальними теоретичними основами розвитку конкретного об'єкта господарювання (підприємства, організації, органу регіонального управління тощо), а з іншого - зі специфікою технології комп'ютерної обробки даних. Тому розглянуті базові принципи доповнюються організаційно-технологічними принципами створення АІТ, без яких неможлива розробка нових інформаційних технологій.

Принцип абстрагування полягає у виділенні істотних (з певного боку) аспектів системи і нехтування несуттєвим з метою представлення проблеми в більш простому загальному вигляді, зручному для аналізу і проектування.

Принцип формалізації полягає в необхідності суворого методичного підходу до вирішення проблеми, використанні формалізованих методів опису та моделювання процесів, що досліджують і проектують, включаючи бізнес-процеси функціонування системи.

Принцип концептуальної спільності полягає в неухильному дотриманні єдиної методології на всіх етапах проектування автоматизованої системи та всіх її складових.

Принцип несуперечності та повноти полягає у наявності всіх необхідних елементів у системі, що створюють, та узгодженій їх взаємодії.

Принцип незалежності даних передбачає, що моделі даних повинні бути проаналізовані і спроектовані незалежно від процесів їх обробки, а також від їх фізичної структури і розподілу в технічному середовищі.

Принцип структурування даних передбачає необхідність структурування та ієрархічної організації елементів інформаційної бази системи.

Принцип доступу кінцевого користувача полягає в тому, що користувач повинен мати засоби доступу до бази даних, які він може використовувати безпосередньо (без програмування).

Дотримання наведених принципів необхідне при виконанні робіт на всіх стадіях створення і функціонування АІС і АІТ, тобто протягом всього їх життєвого циклу.

Життєвий цикл (ЖЦ) - період створення і використання АІС (RTA), що охоплює її різні стани, починаючи з моменту виникнення необхідності в даній автоматизованій системі і закінчуючи моментом її повного виходу з ужитку у користувачів. Життєвий цикл АІС і АІТ дозволяє виділити чотири основні стадії: передпроектну, проектну, впровадження та функціонування. Від якості проектувальних робіт залежить ефективність функціонування системи. Тому кожна стадія проектування поділяється на ряд етапів і передбачає складання документації, що відбиває результати роботи.

АСУ складається з підсистем. Мета розбиття АСУ на підсистеми полягає у виділенні великих неоднорідних елементів для спрощення процесів проектування, впровадження та експлуатації АСУ. Всі підсистеми прийнято ділити на дві групи: функціональні і забезпечуючі. Функціональні підсистеми виділяють відповідно до управлінських функцій, що здійснюються на підприємстві: управління технічною підготовкою виробництва, основним виробництвом, допоміжним виробництвом, матеріально-технічним постачанням, техніко-економічним плануванням виробництва, бухгалтерським обліком, збутом, кадрами, якістю продукції та послуг, фінансами.

Забезпечуючі підсистеми призначені для забезпечення вирішення комплексу завдань функціональних підсистем. До складу забезпечуючих входять підсистеми технічного, інформаційного, математичного, програмного та організаційного забезпечення.

Підсистема технічного забезпечення - це комплекс технічних засобів, до якого входять засоби обчислювальної техніки, обладнання для організації

локальних мереж і підключення до глобальних мереж, пристрої реєстрації, накопичення і відображення інформації.

Підсистема інформаційного забезпечення включає у свій склад зовнішнє інформаційне забезпечення у вигляді вхідних і вихідних документів (у тому числі і в електронному вигляді), які використовуються при вирішенні функціональних завдань. І внутрішнє - орієнтоване на організацію бази даних самого підприємства.

Підсистема математичного забезпечення включає математичні методи, моделі, алгоритми, що використовуються при вирішенні завдань управління.

Підсистема програмного забезпечення включає системне програмне забезпечення, прикладні програми для вирішення завдань управління, а також інші програми, що використовуються на підприємстві.

Організаційне забезпечення складається з набору правил, інструкцій, положень та інших документів, що регламентують функціонування АСУП.

При вирішенні конкретних завдань, пов'язаних з управлінням підприємством, широко використовуються ряд формалізованих методів, які в літературі іноді називаються економіко-математичними. Велика частина з них знайшла застосування в сучасних АСУ. Під економіко-математичними методами прийнято розуміти комплекс формалізованих математичних методів, що дозволяють знаходити оптимальні чи близькі до них рішення економічних завдань. Постановка завдання повинна відображати існуючі обмеження економічного характеру. Для підприємств ці обмеження впливають із обмеженості ресурсів або з зовнішніх умов, в яких здійснюється їх господарська діяльність. Критерій оптимізації формалізується у вигляді цільової функції - вираз, який, виходячи з поставленого завдання, потрібно максимізувати або мінімізувати.

У ролі критеріїв оптимізації на різних рівнях системи управління підприємством можуть виступати, наприклад, обсяги продажів, прибуток, сумарне відхилення часу випуску від запланованого, рівень завантаження обладнання, сумарні витрати на виробництво і т. д.

Змінними в економіко-математичних моделях є керовані параметри. При вирішенні завдань оптимізації змінними можуть бути кількість виробів, що випускаються, час запуску/випуску, розміри партій, рівень запасів, час початку та закінчення операцій. Ще однією важливою особливістю економіко-математичних методів є те, що вони можуть бути потужним інструментом аналізу економічної ситуації. З їх допомогою, наприклад, можна швидко визначити, що при заданих обмеженнях допустимого рішення не існує. Деякі методи не обмежуються отриманням оптимального рішення. При сформованому плані вони дозволяють оцінювати чутливість оптимального плану до зміни зовнішніх умов або внутрішніх характеристик діяльності підприємства.

Різноманіття економіко-математичних методів досить широке. В основу короткого аналізу покладено характер математичного апарату.

Лінійне програмування полягає в пошуку оптимального рішення для лінійної цільової функції при лінійних обмеженнях і обмежень невід'ємності змінних.

У термінах лінійного програмування може формулюватися широке коло завдань планування виробництва, фінансової діяльності, техніко-економічного планування, планування науково-дослідних та дослідницько-конструкторських робіт (НДДКР). Особливість лінійного програмування полягає в тому, що з його допомогою можна не тільки отримати оптимальне рішення, але й успішно досліджувати чутливість отриманого рішення до змін висхідних даних. Результати аналізу на чутливість мають чітку економічну інтерпретацію.

Окремим випадком лінійного програмування є транспортна модель. Вона виходить природним чином при формалізації задачі планування перевезень, але з її допомогою можна вирішувати й інші завдання АСУ (призначення кадрів на робочі місця, складання змінних графіків та ін.) Специфічна структура обмежень задачі дозволила розробити ефективні методи вирішення.

Важливе місце в АСУ належить методам дискретного програмування, які орієнтовані на вирішення завдань оптимізації з цілочисельними (частково або повністю) змінними. Вимога цілочисельності у багатьох завданнях управління

виробництвом виступає на перший план, якщо мова йде, наприклад, про визначення оптимальної програми випуску виробів, число яких повинно бути цілим. Окремим випадком задач дискретного програмування є задачі з булевими змінними (0 або 1), тобто, завдання вибору одного з двох варіантів рішень для кожного об'єкта (число об'єктів може бути велике). Як приклад можна вказати задачі розміщення обладнання, формування портфеля замовлень і т. п.

Для вирішення задач дискретного програмування розроблені різні алгоритми, в тому числі комбінаторні і випадкового пошуку.

Моделі стохастичного програмування описують ситуації, в яких елементи моделі є випадковими величинами з відомими функціями розподілу. Для задач лінійного програмування підхід до вирішення полягає у зведенні вихідної задачі до послідовності детермінованих, які розв'язуються ітеративно.

Мережеві моделі і методи застосовуються там, де є можливість чітко структурувати керований процес у вигляді графа, що описує взаємозв'язок робіт, ресурсів, витрат часу і т.п.

Динамічне програмування являє собою багатокроковий процес отримання рішення оптимального завдання. Найбільш природною виглядає формалізація динамічних задач, однак цей метод успішно може застосовуватися і для статичних задач, якщо вдається розбити рішення вихідної задачі на етапи. Серйозним обмеженням застосування методу динамічного програмування є розмірність завдань. Якщо розмірність велика, то необхідно запам'ятовувати великий обсяг проміжної інформації. Практично, рішення задач оптимізації можливо для систем, що мають розмірність не вище трьох.

Багатокритеріальні моделі відображають один з видів невизначеності в задачах пошуку оптимальних рішень - невизначеність цілей. Ці моделі і методи надзвичайно перспективні, оскільки багато завдань планування в АСУ можуть і повинні розглядатися як багатокритеріальні. Цей підхід дозволяє оптимізувати одержувані рішення по комплексу критеріїв, що відображають економічний, технологічний, соціальний, екологічний та інші аспекти діяльності підприємств. Математична статистика в АСУ застосовується для розв'язання задач аналізу та

прогнозування економічних та соціальних процесів на підприємствах, створення і коректування нормативної бази. Найчастіше застосовуються методи розрахунку статичних характеристик, кореляційного, регресійного і дисперсійного аналізу.

Теорія управління запасами дозволяє визначати рівні запасів матеріалів, напівфабрикатів, виробничих потужностей та інших ресурсів в залежності від попиту на них.

Теорія розкладів представляє собою методологічну основу для вирішення завдань упорядкування послідовності робіт. При цьому враховуються структура і параметри технологічного процесу. Для вирішення завдань, сформульованих у термінах теорії розкладів, використовують методи моделювання на основі пріоритетів.

Евристичні методи отримали в АСУ досить широке розповсюдження, і подальший прогрес у цьому напрямку пов'язаний з розробкою і впровадженням експертних систем. Експертні системи дозволяють накопичувати бази знань про виробничий процес.

Коло економіко-математичних моделей і методів надзвичайно широке. Їх застосування обмежується у зв'язку зі складністю створення адекватного опису виробничого процесу, отриманням рішень в умовах високої розмірності завдань, а також відсутністю необхідної для цього кількості кваліфікованого управлінського персоналу.

Процес управління в умовах функціонування автоматизованих інформаційних систем ґрунтується на економіко-організаційних моделях, що більш-менш адекватно відображають характерні структурно-динамічні властивості об'єкта. Адекватність моделі означає перш за все її відповідність об'єкту в сенсі ідентичності поведінки в умовах, що імітують реальну ситуацію, поведінку модельованого об'єкта і частини істотних для поставленої задачі характеристик і властивостей. Безумовно, повного повторення об'єкта в моделі бути не може, однак можна знехтувати несуттєвими для аналізу і прийняття управлінських рішень деталями.

1.2 Моніторинг освітнього процесу за допомогою комп'ютерно-інтегрованих систем

Моніторинг освітнього процесу в ЗВО може бути автоматизований і проводитися за допомогою комп'ютерно-інтегрованих систем.

Моніторинг освітнього процесу у ЗВО – це система збору, аналізу та поширення інформації про стан освітньої діяльності з метою оцінки її ефективності, прогнозування розвитку, виявлення тенденцій та прийняття управлінських рішень для своєчасного внесення змін та досягнення кращої якості.

Моніторинг відрізняється від одноразового контролю своєю систематичністю та безперервністю, використовуючи спеціальні технології вимірювання та аналізу, що забезпечує максимальну об'єктивність отриманих даних.

Моніторинг надає можливість зворотнього зв'язку для всіх учасників освітнього процесу.

Моніторингу піддають та є його основними об'єктами: учасники освітнього процесу (студенти, викладачі); освітні програми та навчальні плани; організація освітнього процесу та освітня діяльність закладу в цілому; результати навчання здобувачів освіти, рівень сформованості їхніх компетентностей; умови здійснення освітньої діяльності (матеріально-технічна база, інформаційні ресурси, управлінська діяльність).

Моніторинг проводиться за допомогою основних методів: опитування, тестування, спостереження, аналізу документації, аналізу статистичних даних.

Моніторинг проводять за такими його складовими частинами:

1. Визначення чітких цілей освітньої діяльності, які будуть відстежуватися.
2. Розробка плану заходів для досягнення поставлених цілей.
3. Систематичне відстеження та збір інформації про процес та результати освітньої діяльності (відстеження тенденцій у розвитку якості освіти; оцінювання відповідності фактичних результатів заявленим цілям; виявлення причин відхилень від цілей).

4. Аналіз зібраних даних для виявлення проблем, тенденцій та оцінки ефективності процесу.

5. Прийняття управлінських рішень для покращення освітнього процесу на основі результатів аналізу.

Підсумки моніторингу подаються в аналітичних матеріалах, схемах та діаграмах, обговорюються на спеціальних засіданнях і використовуються для розробки рекомендацій та корекції подальшої роботи.

Методи моніторингу освітнього процесу у ЗВО включають внутрішній моніторинг (збір, аналіз, прогнозування та управлінські рішення, що проводяться самим закладом) та зовнішній моніторинг (оцінка якості, що здійснюється незалежними структурами). Також застосовуються різні інструменти, такі як стандартизовані тести, анкетування, спостереження та аналіз результатів, зокрема державна підсумкова атестація, ЗНО, ЄФВВ/ЄВІ та міжнародні дослідження, наприклад PISA.

Методи внутрішнього моніторингу освітнього процесу у ЗВО можна поділити на основні та додаткові.

Метод самооцінювання — це метод за допомогою якого педагоги, здобувачі освіти та адміністрація оцінюють власну діяльність за визначеними критеріями і стандартами.

Метод внутрішньої оцінки полягає у тому, що адміністрація, керівники кафедр та інших структурних підрозділів оцінюють роботу викладачів, якість навчальних планів, матеріально-технічне забезпечення тощо.

Методом опитування проводяться анкетування, інтерв'ю або фокус-груп для збору даних від учасників освітнього процесу.

Методом спостереження систематично спостерігають за освітнім процесом та діяльністю студентів для об'єктивної оцінки їхнього розвитку та компетентностей.

Психологічні тестування — це метод дослідження мотивації, потреб та психологічного стану учасників освітнього процесу.

Аудит (внутрішній контроль) документації — це метод, згідно якого проводиться перевірка робочих програм навчальних дисциплін, силабусів, положень, протоколів засідань кафедр та вчених рад для забезпечення їх актуальності та відповідності нормативним вимогам.

Тестування (моніторинг) результатів навчання — метод відстеження академічних досягнень здобувачів освіти через різні види контролю (поточний, модульний, семестровий контроль) для оцінки ефективності методів викладання та відповідності фактичних результатів очікуваним.

Аналіз статистичних даних та звітів — метод аналізу даних, що стосуються різних аспектів освітньої діяльності (успішність студентів, працевлаштування випускників, звіт про атестацію кадрів тощо).

Метод зворотного зв'язку полягає у використанні онлайн-форм зворотного зв'язку, скриньок для пропозицій, обговорень з гарантами освітніх програм для оперативного виявлення проблемних аспектів та перспектив покращення якості.

Метод аналізу та підтримка процесів забезпечення академічної доброчесності.

Додатковими методами моніторингу освітнього процесу називають: аналіз та синтез (аналіз даних та їх узагальнення), порівняння (зіставлення різних показників та результатів), вимірювання (використання кількісних показників для оцінки), моделювання (побудова моделей для аналізу та прогнозування).

1.3 Аспекти використання комп'ютерно-інтегрованих систем для моніторингу освітнього процесу

Моніторинг освітнього процесу у закладах вищої освіти за допомогою комп'ютерно-інтегрованих систем є сучасним та ефективним підходом до управління якістю освіти в умовах цифровізації. За допомогою програмного забезпечення та цифрових платформ ці системи автоматизують збір, обробку, зберігання, аналіз та розповсюдження інформації про перебіг освітнього процесу, забезпечуючи безперервний аналіз його стану та прогнозування розвитку.

Використання КІС для моніторингу освітнього процесу мають такі переваги, як автоматизація збору даних. КІС дозволяють автоматично збирати дані про успішність, активність та інші показники освітнього процесу з різних джерел, таких як електронні журнали, системи управління навчанням (LMS), результати онлайн-тестування та опитувань.

Крім того, КІС забезпечують об'єктивність оцінювання. Використання стандартизованих тестів та автоматизованої перевірки зменшує вплив людського фактора та суб'єктивності на результати оцінювання.

Також КІС віднізняються оперативністю обробки інформації. Комп'ютерні системи миттєво обробляють великі обсяги даних, надаючи актуальну інформацію керівництву, викладачам та студентам.

За допомогою КІС проводять глибокий аналіз та звітність. КІС забезпечують учасників освітнього процесу аналітичними інструментами для виявлення тенденцій, проблемних зон та ефективності окремих освітніх програм чи методів викладання, формування звітів для прогнозування розвитку освітнього процесу, що сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень.

Результати моніторингу часто супроводжуються візуалізацією у вигляді графіків та звітів для кращого сприйняття.

КІС можна використовувати для прогнозування на основі попередніх даних моніторингу. Ці системи можуть прогнозувати подальші результати навчання та ефективність впровадження нових освітніх ініціатив.

За допомогою КІСП відбувається ефективна персоналізація та індивідуалізація ОП. Системи можуть відстежувати персональну успішність студентів, що дозволяє вчасно виявляти труднощі у навчанні, дає змогу застосовувати індивідуалізовані підходи та коригувати освітню траєкторію, адаптувати навчальні матеріали та методики, щоб краще відповідати запитам студентів.

Ці системи полегшують обмін інформацією між учасниками освітнього процесу, що робить зворотний зв'язок доступнішим, забезпечують систематичний та безперервний моніторинг для вчасно виявлення проблем та коригування.

Системи є прозорими і доступними. Вони забезпечують доступ до актуальних даних для всіх учасників освітнього процесу у режимі реального часу.

Крім того, за допомогою використання КІС формуються важливі цифрові компетенції як у студентів, так і у викладачів.

Важливою перевагою є підвищення якості ОП. Комп'ютеризація допомагає підвищити загальний рівень знань та якість викладання завдяки новітнім технологіям, оперативному зворотньому зв'язку та можливості дистанційного навчання.

Системи підтримують формувальне оцінювання в реальному часі, яке є інтерактивним. Воно використовує спостереження, опитування та цифрові інструменти для діагностики розуміння матеріалу, коригування процесу викладання та надання студентам можливості самооцінки.

Незважаючи на численні вагомі переваги, впровадження КІС стикається з певними проблемами. Наприклад, технічні проблеми такі, як залежність від стабільного інтернету, наявність електроенергії та достатньої матеріально-технічної бази для забезпечення усіх учасників освітнього процесу.

Кадрові проблеми полягають у необхідності належного рівня цифрової компетентності викладачів та персоналу для ефективного використання цих систем, а також забезпеченні технічної підтримки. Існує потреба в системному підході до підготовки та перепідготовки щодо методик застосування інформаційно-комп'ютерних технологій.

Методичні проблеми включають в себе невідповідність змісту освітніх програм потребам сучасного ринку праці, відсутність єдиної системи створення, розповсюдження та регулярного оновлення якісних електронних навчальних матеріалів.

Психологічні проблеми іноді виявляються у психологічному опорі впровадженню нових технологій і наданні переваги традиційним методам навчання. Також є ймовірність емоційного та психологічного перевантаження учасників освітнього процесу через тривалу взаємодію з цифровими

платформами, можливість негативних наслідків для фізичного та емоційного здоров'я, зокрема погіршення зору і навичок живого спілкування.

Крім того, може виникнути проблема академічної доброчесності, оскільки в онлайн-середовищі складніше контролювати дотримання правил академічної доброчесності і це може сприяти плагіату та списуванню.

Використання технологій може відволікати студентів від основного навчального матеріалу, що може вплинути на результати навчання.

Проблемою безпеки даних є забезпечення надійного захисту персональних даних та результатів навчання.

Розглядаючи переваги і неоліки впровадження КІС в освітній процес, можна зробити висновок, що, в цілому, комп'ютерно-інтегровані системи є ключовим інструментом у забезпеченні якості сучасної вищої освіти. Вони дозволяють здійснювати комплексний та ефективний моніторинг усіх видів освітньої діяльності. Але їх впровадження потребує відповідної технічної інфраструктури, підготовки персоналу та чіткої методології.

РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ В СТАТИЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Другий розділ магістерської роботи присвячений практичній реалізації автоматизації процесів моніторингу результатів STEM-освіти з використанням комп'ютерно-інтегрованих систем. У межах розділу розглядаються підходи до формалізації інформаційних процесів, розробки алгоритмів обробки освітніх даних та побудови математичної моделі оцінювання результатів навчальної діяльності. Основна увага зосереджується на створенні цілісного алгоритмічного та аналітичного підґрунтя, яке забезпечує об'єктивний, оперативний та інформативний аналіз результатів STEM-навчання .

Автоматизація моніторингу освітніх результатів потребує системного підходу до обробки різномірних даних, що надходять із різних компонентів навчального процесу. Тому у розділі послідовно розглядаються етапи автоматизованої обробки даних, засоби їх візуалізації та математичне моделювання інтегральних показників результатів STEM-освіти. Запропоновані рішення спрямовані на підвищення інформативності освітньої аналітики та створення умов для підтримки прийняття управлінських рішень у сфері STEM-освіти.

2.1. Алгоритм автоматизованої обробки та аналізу освітніх даних

Автоматизація процесів моніторингу результатів STEM-освіти потребує розробки формалізованого алгоритму обробки освітніх даних, який забезпечує їх коректний аналіз у статичних і динамічних режимах функціонування системи. Освітні дані характеризуються різномірністю, неоднорідністю шкал оцінювання

та динамічністю зміни в часі, що унеможлиблює їх ефективну обробку без застосування спеціалізованих алгоритмічних підходів.

Запропонований алгоритм автоматизованої обробки та аналізу освітніх даних реалізує послідовність взаємопов'язаних етапів, починаючи від отримання вхідної інформації та завершуючи формуванням аналітичних результатів, придатних для подальшої візуалізації та підтримки прийняття управлінських рішень.

На першому етапі здійснюється формування та введення вхідних даних. До вхідної інформації належать результати навчальної діяльності здобувачів STEM-освіти, зокрема результати тестування, оцінки за лабораторні та практичні роботи, показники виконання проєктних завдань, а також додаткові параметри, що характеризують рівень сформованості компетентностей. Дані можуть надходити з електронних журналів, систем дистанційного навчання, баз даних або файлів зовнішніх форматів. На цьому етапі дані інтегруються в єдине інформаційне середовище комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу.

Другий етап алгоритму передбачає автоматизовану перевірку коректності та повноти вхідних даних. Перевірка включає виявлення пропущених значень, логічних суперечностей, виходу показників за допустимі межі та дублювання інформації. Некоректні або неповні дані або автоматично коригуються відповідно до заданих правил, або виключаються з подальшого аналізу. Реалізація цього етапу дозволяє підвищити достовірність результатів моніторингу та зменшити вплив випадкових похибок.

На третьому етапі здійснюється нормалізація освітніх показників. Оскільки результати навчальної діяльності можуть бути представлені в різних шкалах оцінювання, нормалізація забезпечує приведення всіх показників до єдиного безрозмірного інтервалу. Це створює умови для коректного порівняння результатів та подальшого інтегрального оцінювання. Нормалізовані значення використовуються як вхідні параметри для розрахунку узагальнених показників результатів STEM-освіти.

Четвертий етап алгоритму полягає у розрахунку кількісних та інтегральних показників результатів навчання. На цьому етапі виконується автоматизоване

обчислення часткових оцінок за окремими компонентами навчальної діяльності та формування інтегрального показника результатів STEM-освіти. Розрахунок здійснюється відповідно до математичної моделі оцінювання, яка враховує вагомість окремих складових навчального процесу. Отримані показники дозволяють оцінювати рівень навчальних досягнень як окремих здобувачів освіти, так і навчальних груп у цілому.

П'ятий етап алгоритму пов'язаний з аналізом динаміки освітніх результатів. На основі часових рядів інтегральних показників здійснюється аналіз зміни результатів STEM-освіти впродовж певного періоду навчання. Це дозволяє виявляти тенденції покращення або погіршення навчальних досягнень, оцінювати ефективність застосованих педагогічних методик та своєчасно виявляти проблемні ділянки освітнього процесу.

Завершальним етапом алгоритму є формування вихідних аналітичних результатів. До них належать узагальнені показники успішності, аналітичні таблиці, підготовлені набори даних для подальшої візуалізації та звітності. Вихідні результати є основою для реалізації модуля візуалізації та системи підтримки прийняття рішень у межах комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу.

Алгоритм автоматизованої обробки та аналізу освітніх даних

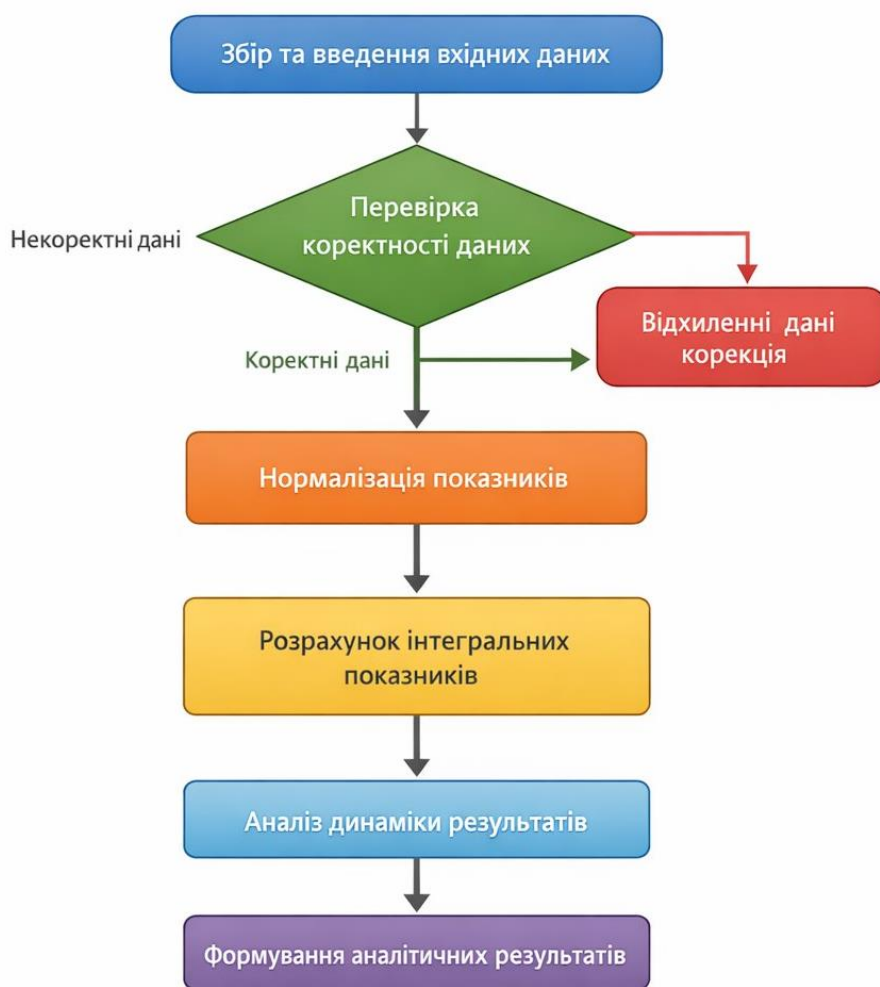


Рис.2.1 - Алгоритм автоматизованої обробки та аналізу освітніх даних

Алгоритм автоматизованої обробки та аналізу освітніх даних може бути представлений у вигляді блок-схеми, що відображає логіку взаємодії між окремими етапами та потоками даних. Така формалізація дозволяє реалізувати алгоритм у вигляді програмного модуля та забезпечує масштабованість і адаптивність системи до різних умов функціонування, зокрема у статичних та динамічних режимах моніторингу результатів STEM-освіти.

Однією з ключових задач автоматизованої обробки освітніх даних є приведення різномірних показників навчальних досягнень до єдиної шкали вимірювання. У процесі моніторингу результатів STEM-освіти використовуються показники, отримані з різних джерел, які можуть бути подані в різних діапазонах значень та мати різну розмірність. Без попередньої нормалізації такі показники не

можуть бути безпосередньо використані для інтегрального оцінювання, оскільки це призводить до спотворення результатів аналізу.

Для усунення зазначених недоліків у запропонованому алгоритмі застосовується процедура нормалізації, яка забезпечує перехід від початкових значень освітніх показників до безрозмірних величин у фіксованому інтервалі, як правило, від 0 до 1.

Нехай x_i — початкове значення i -го освітнього показника, яке характеризує окремий компонент навчальної діяльності здобувача STEM-освіти, наприклад результат тестування, лабораторної або проєктної роботи. Для кожного показника визначаються мінімально та максимально можливі або фактично зафіксовані значення відповідно $x_i^{\min}$ та $x_i^{\max}$.

У загальному випадку нормалізоване значення показника x_i норм $x_i^{\text{норм}}$ визначається за формулою лінійної нормалізації:

$$x_i^{\text{норм}} = \frac{x_i - x_i^{\min}}{x_i^{\max} - x_i^{\min}}$$

де x_i — початкове значення i -го освітнього показника;

$x_i^{\min}$ — мінімальне допустиме або спостережуване значення i -го показника;

$x_i^{\max}$ — максимальне допустиме або спостережуване значення i -го показника;

$x_i^{\text{норм}}$ — нормалізоване значення показника, приведене до інтервалу $[0; 1]$.

Застосування наведеної формули забезпечує виконання умов:

$$0 \leq x_i^{\text{норм}} \leq 1$$

що дозволяє коректно порівнювати різні показники між собою незалежно від їх початкової шкали вимірювання. Виведення формули нормалізації ґрунтується на лінійному перетворенні інтервалу $[x_i^{\min}; x_i^{\max}]$ у безрозмірний інтервал $[0; 1]$. При цьому значенню $x_i = x_i^{\min}$; відповідає $x_i^{\text{норм}} = 0$, а значенню $x_i = x_i^{\max}$ — $x_i^{\text{норм}} = 1$.

Проміжні значення визначаються пропорційно відносному положенню початкового показника в заданому діапазоні. У випадках, коли освітній показник має зворотну спрямованість, тобто зменшення його значення відповідає

покращенню результатів навчання (наприклад, кількість помилок або час виконання завдання), застосовується модифікована формула нормалізації:

$$x_i^{\text{норм}} = \frac{x_i^{\text{max}} - x_i}{x_i^{\text{max}} - x_i^{\text{min}}}$$

Така форма нормалізації забезпечує уніфіковану інтерпретацію результатів, за якої більші значення нормалізованих показників завжди відповідають вищому рівню навчальних досягнень. Нормалізовані освітні показники $x_i^{\text{норм}}$ використовуються на наступних етапах алгоритму для розрахунку інтегральних оцінок результатів STEM-освіти та аналізу їх динаміки у часі. Застосування процедури нормалізації дозволяє підвищити об'єктивність автоматизованого моніторингу та забезпечує коректність математичного моделювання процесів оцінювання навчальних результатів.

Після виконання нормалізації освітніх показників виникає необхідність у формуванні узагальненої кількісної оцінки результатів STEM-освіти, яка дозволяє комплексно оцінювати рівень навчальних досягнень здобувачів освіти з урахуванням різних компонентів навчальної діяльності. Для цього у межах запропонованого алгоритму використовується інтегральний показник, що поєднує окремі нормалізовані освітні показники в єдину узагальнену характеристику.

Нехай результати STEM-освіти описуються сукупністю n нормалізованих показників $x_1^{\text{норм}}$, $x_2^{\text{норм}}$, ..., $x_n^{\text{норм}}$, кожен з яких характеризує окремий аспект навчальної діяльності, зокрема теоретичну підготовку, практичні навички, проєктну діяльність та рівень сформованості компетентностей. Оскільки вплив різних компонентів на загальний результат може бути нерівнозначним, доцільно враховувати вагові коефіцієнти.

Інтегральний показник результатів STEM-освіти I^{STEM} визначається у вигляді зваженої суми нормалізованих показників за формулою:

$$I^{\text{STEM}} = \sum_{i=1}^n w_i x_i^{\text{норм}}$$

де I^{STEM} — інтегральний показник результатів STEM-освіти;

$x_i^{\text{норм}}$ — нормалізоване значення i -го освітнього показника;

w_i — ваговий коефіцієнт i -го показника; n — кількість показників, що використовуються для оцінювання.

Вагові коефіцієнти w_i відображають відносну значущість окремих компонентів навчальної діяльності та повинні задовольняти умову нормування:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, w_i \geq 0$$

Зазначена умова забезпечує коректну інтерпретацію інтегрального показника та його належність до інтервалу $[0;1]$ за умови, що всі нормалізовані показники також належать цьому інтервалу. Виведення формули інтегрального показника ґрунтується на припущенні про адитивний характер впливу окремих компонентів навчальної діяльності на загальний результат STEM-освіти. Кожен нормалізований показник вносить вклад у загальну оцінку пропорційно своїй вагомості, що дозволяє гнучко адаптувати модель оцінювання до специфіки навчального процесу та освітніх цілей.

Для аналізу результатів у динамічному режимі функціонування системи інтегральний показник розглядається як функція часу:

$$I^{STEM}(t) = \sum_{i=1}^n w_i x_i^{\text{норм}}(t)$$

де t — дискретний або безперервний момент часу, що відповідає етапу навчального процесу.

Такий підхід дозволяє здійснювати моніторинг зміни результатів STEM-освіти впродовж часу, виявляти тенденції розвитку навчальних досягнень та оцінювати ефективність впроваджених педагогічних і організаційних рішень. Інтегральний показник I^{STEM} , отриманий у межах алгоритму автоматизованої обробки освітніх даних, використовується як основний кількісний критерій для подальшої візуалізації результатів моніторингу, порівняльного аналізу та

підтримки прийняття управлінських рішень у комп'ютерно-інтегрованій системі автоматизованого моніторингу STEM-освіти.

2.2. Візуалізація результатів моніторингу STEM-освіти

Ефективність автоматизованого моніторингу результатів STEM-освіти значною мірою визначається не лише коректністю алгоритмів обробки даних, але й зручністю подання отриманих результатів для кінцевих користувачів. Тому важливою складовою комп'ютерно-інтегрованої системи є модуль візуалізації, який забезпечує наочне та інформативне відображення результатів аналізу освітніх даних.

K9 fx

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	№	Тест_norm	Лаб_norm	Проект_norm	Комплет_norm					
2	1	0,5625	0,028571429	0,379310345	1					
3	2	1	0,885714286	0,896551724	0,756756757					
4	3	0	0,371428571	0,482758621	0,459459459					
5	4	0,75	1	0,172413793	0,72972973					
6	5	0,15625	0	0,655172414	0,918918919					
7	6	0,625	0,314285714	0,206896552	0,459459459					
8	7	0,65625	0,685714286	1	0					
9	8	0,65625	1	0,896551724	0,567567568					
10	9	0,40625	0,085714286	0	0,594594595					
11	10	0,21875	0,8	0,724137931	0,378378378					
12	11	0,625	0,885714286	0,034482759	0,675675676					
13	12	0,9375	0,028571429	0,137931034	0,567567568					
14	13	0,25	1	0,793103448	0,054054054					
15	14	0,96875	0,371428571	0,931034483	0,486486486					
16	15	1	0,228571429	0,206896552	0,405405405					
17	16	0,96875	0,714285714	0,448275862	0,594594595					
18	17	0,53125	0,314285714	0,862068966	0,864864865					
19	18	0,25	0,485714286	0	0,459459459					
20	19	0,9375	0,628571429	-0,103448276	0,432432432					
21	20	0,1875	0,342857143	0,862068966	0,432432432					
22	21	0,34375	0,228571429	0,586206897	0,810810811					
23	22	0,96875	0,6	0,172413793	0,513513514					
24	23	0,40625	0,428571429	1	0,972972973					
25	24	0	0,971428571	0,344827586	0,513513514					
26	25	0,71875	0,942857143	0,655172414	0					
27	26	0,25	0,2	1,068965517	0,297297297					
28	27	1	0,114285714	0,206896552	0,297297297					
29	28	0,15625	0,914285714	0	0,378378378					
30	29	0,15625	0,514285714	0,379310345	0,135135135					
31	30	0,5625	0,171428571	0,75862069	0,702702703					
32	31	0,53125	0,457142857	0,620689655	0,081081081					
33	32	0,9375	0,314285714	0,413793103	0,108108108					
34	33	1	1,028571429	0,034482759	0,675675676					
35	34	0,65625	0,028571429	0,068965517	0,135135135					
36	35	0,71875	0,171428571	0,931034483	0,054054054					
37	36	0,90625	0,914285714	0,482758621	0,540540541					
38	37	0,9375	0,714285714	-0,068965517	0,648648649					
39	38	0,3125	0,657142857	0,103448276	0,864864865					
40	39	0,90625	0,571428571	0,724137931	0,567567568					
41	40	1	0,742857143	0,137931034	0,567567568					
42	41	0,3125	1,057142857	1	0,378378378					
43	42	0,625	0,4	0,24137931	0,243243243					

Дані Нормалізація Інтегральний_показник Візуалізація

Рис. 2.2.1 – Розрахунок нормалізованих показників та інтегрального показника I^{STEM}

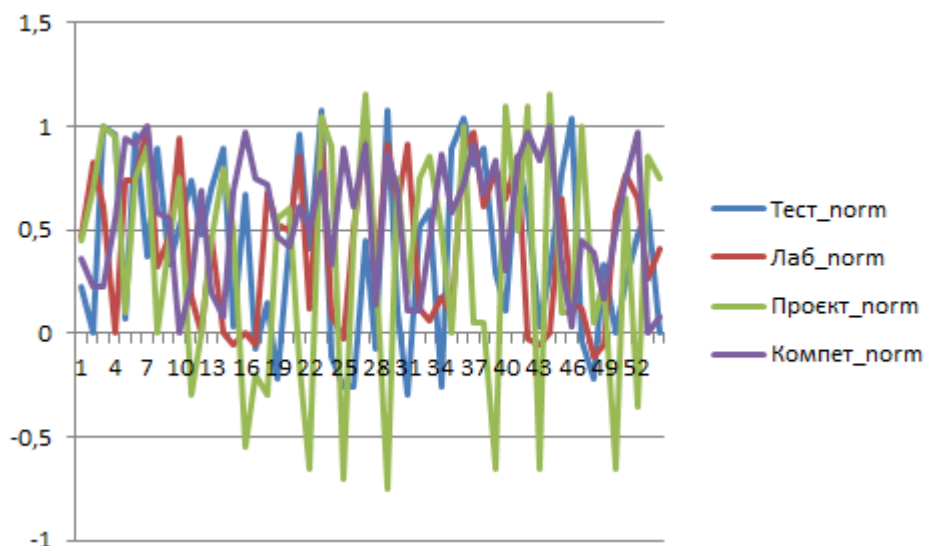


Рис.2.2.2 – Графік нормалізованих показників результатів STEM-освіти

Візуалізація результатів моніторингу STEM-освіти ґрунтується на використанні нормалізованих показників та інтегрального показника I^{STEM} , що дозволяє уніфікувати подання результатів незалежно від джерела та типу вхідних даних. Отримані кількісні оцінки можуть бути представлені у вигляді графіків, діаграм та аналітичних індикаторів, які відображають як поточний стан навчальних досягнень, так і їх зміну в часі.

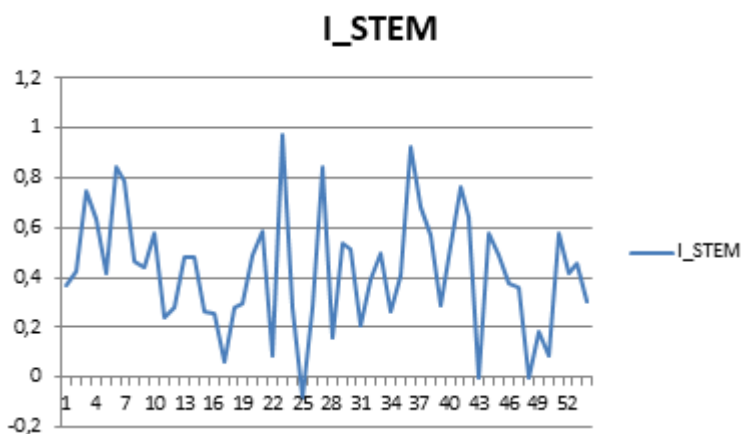


Рис.2.2.3 - Динаміка інтегрального показника результатів STEM-освіти

B2		=0,3*Нормалізація!B2+0,25*Нормалізація!C2+0,25*Нормалізація!D2+0,2*Нормалізація!E2														
№	STEM															
1	0,06245															
2	0,42853															
3	0,63464															
4	0,37243															
5	0,57548															
6	0,43899															
7	0,58348															
8	0,47842															
9	0,40869															
10	0,55566															
11	0,24626															
12	0,52315															
13	0,50122															
14	0,5583															
15	0,7622															
16	0,52167															
17	0,12674															
18	0,69864															
19	0,61124															
20	0,68246															
21	0,34234															
22	0,46919															
23	0,14567															
24	0,47883															
25	0,17766															
26	0,41316															
27	0,38059															
28	0,47556															
29	0,62857															
30	0,49716															
31	0,37009															
32																

Рис.2.2.4 – Розрахунки інтегрального показника I^{STEM}

Одним із основних засобів візуалізації є графіки динаміки інтегрального показника $I^{STEM}(t)$, які дозволяють аналізувати зміну результатів STEM-освіти впродовж навчального періоду. Такі графіки дають можливість виявляти тенденції зростання або зниження навчальних досягнень, а також оцінювати вплив педагогічних та організаційних рішень на результати навчання.

Для аналізу структури результатів навчальної діяльності доцільно використовувати діаграми розподілу нормалізованих показників за окремими компонентами STEM-освіти. Це дозволяє визначити сильні та слабкі сторони підготовки здобувачів освіти, зокрема рівень теоретичних знань, практичних навичок та проєктної діяльності. Такий підхід сприяє більш глибокому аналізу результатів у порівнянні з використанням лише інтегральної оцінки.

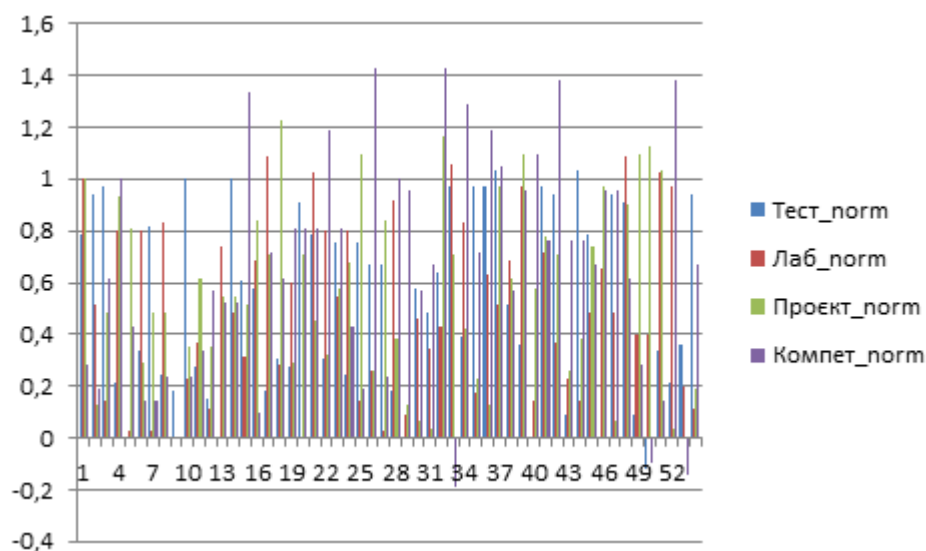


Рис.2.2.5 - Розподіл нормалізованих показників за компонентами STEM-освіти

Важливим елементом візуалізації є індикатори рівня сформованості компетентностей, які можуть бути реалізовані у вигляді шкал або кольорових маркерів. Застосування індикаторів дозволяє швидко оцінювати відповідність результатів STEM-освіти заданим критеріям та пороговим значенням, що є особливо корисним для підтримки прийняття управлінських рішень.

Модуль візуалізації може адаптуватися до різних ролей користувачів системи. Для викладачів основна увага зосереджується на детальному аналізі результатів окремих здобувачів освіти та навчальних груп, тоді як для адміністрації закладу освіти доцільним є використання узагальнених аналітичних панелей, що відображають загальні тенденції та рівень ефективності STEM-освіти.

Візуалізація результатів моніторингу STEM-освіти є важливим елементом комп'ютерно-інтегрованої системи, який забезпечує підвищення наочності, інформативності та практичної цінності результатів автоматизованого аналізу освітніх даних. Отримані візуальні представлення створюють основу для подальшого аналізу ефективності системи та формування обґрунтованих управлінських рішень.

РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ОЦІНЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ РЕЗУЛЬТАТІВ STEM-ОСВІТИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ПІДХОДІВ

У попередньому розділі було розглянуто алгоритмічні та програмні аспекти автоматизованого моніторингу результатів STEM-освіти, а також реалізацію процедур обробки, інтегрування та візуалізації освітніх даних. Разом із тим ефективність функціонування комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу значною мірою визначається науковою обґрунтованістю математичних моделей, які лежать в основі оцінювання та аналізу результатів навчальної діяльності.

Розділ 3 присвячений теоретичним дослідженням моделей оцінювання результатів STEM-освіти з урахуванням специфіки комп'ютерно-інтегрованих підходів до обробки освітніх даних. Основна увага зосереджується на формалізації процесу оцінювання навчальних досягнень, побудові математичної моделі інтегрального показника результатів STEM-освіти та аналізі властивостей запропонованої моделі.

Процес оцінювання результатів STEM-освіти характеризується багатофакторністю, оскільки навчальні досягнення формуються під впливом різних компонентів освітнього процесу, таких як теоретична підготовка, практичні навички, проєктна діяльність та рівень сформованості компетентностей. Тому побудова математичної моделі потребує врахування взаємозв'язків між окремими показниками, а також їх вагомості у формуванні узагальненої оцінки.

У межах даного розділу здійснюється теоретичний аналіз адитивної моделі інтегрального оцінювання, досліджуються умови її коректності, стійкості та інтерпретованості результатів. Окрему увагу приділено аналізу поведінки інтегрального показника в динамічних режимах функціонування системи, що дозволяє оцінювати зміну результатів STEM-освіти у часі та виявляти тенденції розвитку навчальних досягнень.

Застосування комп'ютерно-інтегрованих підходів у теоретичних дослідженнях моделей оцінювання створює передумови для підвищення об'єктивності та адаптивності процесу моніторингу результатів STEM-освіти. Отримані теоретичні результати слугують основою для подальшого аналізу ефективності запропонованої системи автоматизованого моніторингу та формування рекомендацій щодо її практичного використання.

3.1 Математична модель оцінювання результатів STEM-освіти

Математична модель оцінювання результатів STEM-освіти в межах комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу повинна забезпечувати формалізований перехід від первинних освітніх даних до узагальненого кількісного критерію, придатного для порівняння, аналізу динаміки та прийняття управлінських рішень. З огляду на багатокomпонентність STEM-освіти, доцільно використовувати модель, у якій загальний результат формується на основі сукупності нормалізованих показників окремих складових навчальної діяльності.

Нехай для кожного здобувача освіти (або навчальної групи) на момент часу t формується вектор освітніх показників

$$x(t) = [x_1(t) \ x_2(t) \ \dots \ x_n(t)]^T,$$

де $x_i(t)$ — значення i -го показника (результат тестування, лабораторних робіт, проєктної діяльності, показник компетентностей тощо), n — кількість показників, що використовуються для оцінювання.

Нормалізація показників

Для забезпечення порівнюваності показників, заданих у різних шкалах, виконується нормалізація. Нехай x_i^{min} та x_i^{max} — відповідно мінімально та максимально допустимі (або спостережувані) значення i -го показника. Тоді нормалізована величина $z_i(t)$ визначається як лінійне перетворення інтервалу $[x_i^{min}; x_i^{max}]$ у $[0;1]$:

$$Z_i(t) = \frac{x_i(t) - x_i^{min}}{x_i^{max} - x_i^{min}} \cdot f_0, \quad 0 \leq z_i(t) \leq 1.$$

Якщо показник має зворотну спрямованість (менше — краще), застосовується інверсна нормалізація:

$$Z_i(t) = \frac{x_i^{max} - x_i(t)}{x_i^{max} - x_i^{min}}.$$

Отримаємо нормалізований вектор

$$z(t) = [z_1(t) \ z_2(t) \ \dots \ z_n(t)]^T.$$

Формалізація інтегрального показника та вагові коефіцієнти Інтегральний показник результатів STEM-освіти $I^{STEM}(t)$ задається як зважена адитивна згортка нормалізованих показників:

$$I^{STEM}(t) = \sum_{i=1}^n w_i x_i^{norm}(t),$$

де w_i — ваговий коефіцієнт i -го показника, що відображає його значущість у загальній оцінці.

Для коректності інтерпретації моделі вагові коефіцієнти задаються з обмеженнями:

$$w_i \geq 0, \sum_{i=1}^n w_i = 1.$$

За цих умов виконується важлива властивість моделі: якщо всі $z_i(t) \in [0; 1]$, то інтегральний показник також належить цьому інтервалу:

$$0 \leq I^{STEM}(t) \leq 1.$$

Доведення випливає з того, що $I^{STEM}(t)$ є опуклою комбінацією величин $Z_i(t)$: мінімум досягається за $Z_i(t) = 0$, максимум — за $Z_i(t) = 1$.

У матричному вигляді модель інтегрального оцінювання подається як

$$I^{STEM}(t) = w^T z(t),$$

$$\text{де } w = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_n]^T.$$

Вибір вагових коефіцієнтів може здійснюватися відповідно до освітніх пріоритетів (наприклад, більша вага проєктній діяльності у STEM), експертного оцінювання або нормативних вимог закладу освіти. Для прикладу, у випадку

чотирьох компонентів (тест, лабораторні, проєкт, компетентності) можливе задання:

$$w = [0.30 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.20]^T ,$$

що відповідає реалізації в розробленому шаблоні обчислень.

Узагальнена функція оцінювання

Узагальнену модель оцінювання можна подати як композицію трьох перетворень: нормалізація, зважена згортка та, за потреби, нелінійне відображення в рейтингову шкалу:

$$I_{\text{STEM}}(t) = F(x(t)) = G(N(x(t))),$$

де $N(\cdot)$ — оператор нормалізації, $G(\cdot)$ — оператор інтегрування (зважена сума). Якщо потрібно перейти до шкали оцінок, наприклад 0–100 або 0–12, застосовується масштабування:

$$S(t) = S_{\min}^{[f_0]} + (S_{\max}^{[f_0]} - S_{\min}^{[f_0]}) I_{\text{STEM}}(t),$$

де $S(t)$ — підсумковий бал у заданій шкалі, $S_{\min}$ та $S_{\max}$ — мінімальне і максимальне значення шкали (наприклад, 0 та 100).

Динамічна модель та перехідна функція Для моніторингу в динамічному режимі необхідно описати, як інтегральний показник змінюється в часі під впливом нових даних або керуючих впливів (змін методики, додаткових занять, коригувань програми тощо). Оскільки освітні дані надходять дискретно (за темами, модулями, тижнями), доцільно використовувати дискретну динамічну модель.

Найпростішою та водночас практично обґрунтованою моделлю є модель інерційної ланки першого порядку в дискретному часі (експоненціальне згладжування), яка описує «пам'ять» системи та поступове накопичення навчальних результатів:

$$I_{\text{STEM}}[k] = \alpha I_{\text{STEM}}[k-1] + (1-\alpha) u[k], \quad 0 < \alpha < 1,$$

де k — номер етапу (дискретний момент часу), $u[k]$ — «вхід» системи, який відповідає поточній миттєвій оцінці на етапі k , сформованій за адитивною моделлю:

$$u[k] = \sum_{i=1}^n w_i z_i[k]$$

Параметр α визначає інерційність: при $\alpha \rightarrow 1$ система реагує повільно (результат сильно залежить від попередніх етапів), при $\alpha \rightarrow 0$ — швидко (результат майже миттєво слідує за новими даними).

Модель є лінійною різницевою, тому її передатна (перехідна) функція в z -області (Z-перетворення) має вигляд:

$$W(z) = \frac{I_{\text{STEM}}(z)}{U(z)} = \frac{1 - \alpha}{1 - \alpha z^{-1}}.$$

Ця передатна функція відповідає дискретній аперіодичній (інерційній) ланці першого порядку. Перехідна характеристика (відгук на одиничний стрибок) для випадку, коли на вході $u[k] = 1$ для $k \geq 0$ і $I_{\text{STEM}}[-1] = 0$, дорівнює:

$$I_{\text{STEM}}[k] = 1 - \alpha^{k+1}.$$

Отриманий вираз показує, що інтегральний показник асимптотично прямує до 1, а швидкість наближення визначається параметром α . У контексті STEM-освіти це інтерпретується як поступове «накопичення» результатів навчання та зменшення впливу одиничних випадкових коливань (разових успіхів чи невдач).

У безперервному наближенні (для теоретичного аналізу) динаміку інтегрального показника можна описати диференціальним рівнянням аперіодичної ланки першого порядку:

$$T \frac{dI_{\text{STEM}}(t)}{dt} + I_{\text{STEM}}(t) = u(t) =$$

$I_{\text{STEM}}(t) = u(t)$, де T — стала часу, що визначає «інерційність» освітнього процесу як об'єкта моніторингу. Передатна функція в операторній формі: $W(s)$

$$= I_{\text{STEM}}(s) U(s) =$$

$$W(s) = \frac{I_{\text{STEM}}(s)}{U(s)} = \frac{1}{Ts + 1}$$

Перехідна функція (відгук на одиничний стрибок $u(t) = 1$) дорівнює:

$$I_{\text{STEM}}(t) = 1 - e^{-t/T}.$$

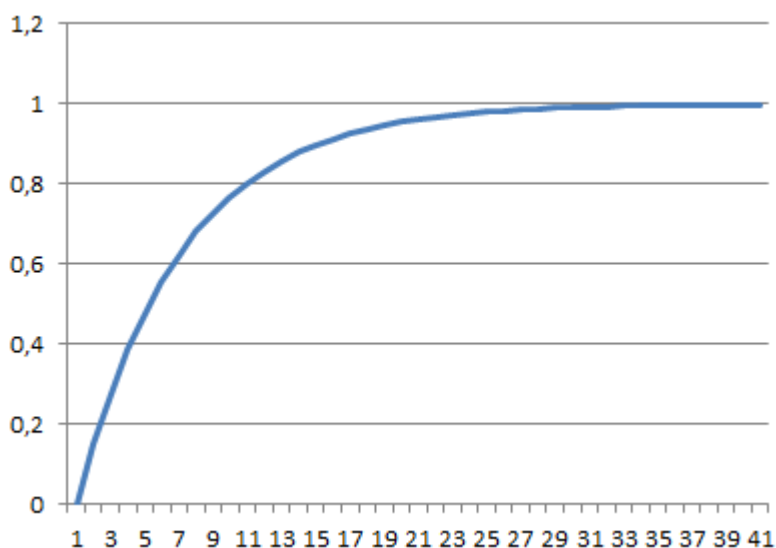


Рис.3.1 - Перехідний процес $I_{STEM}(k)$ при одиничному стрибку

Таким чином, запропонована математична модель включає статичну частину (формування інтегрального показника як зваженої згортки нормалізованих показників) та динамічну частину (опис зміни інтегральної оцінки у часі через інерційні моделі першого порядку). Отримані залежності створюють теоретичну основу для подальшого моделювання, аналізу результатів моніторингу та оцінювання ефективності комп'ютерно-інтегрованої системи автоматизованого моніторингу STEM-освіти.

3.2. Структурно-логічна схема комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу

Комп'ютерно-інтегрована система моніторингу результатів STEM-освіти являє собою багаторівневу інформаційну систему, призначену для автоматизованого збору, обробки, аналізу та візуалізації освітніх даних. Побудова структурно-логічної схеми такої системи дозволяє формалізувати взаємозв'язки між окремими функціональними модулями, визначити напрями інформаційних потоків та забезпечити цілісне уявлення про функціонування системи в статичних і динамічних режимах.

Основою структурно-логічної схеми є блок джерел даних, який формує вхідну інформацію для системи моніторингу. До цього блоку належать результати тестування, оцінки за лабораторні та практичні роботи, показники проєктної

діяльності, а також дані, що характеризують рівень сформованості STEM-компетентностей. Дані можуть надходити з електронних журналів, систем дистанційного навчання, локальних баз даних або файлів зовнішніх форматів. Таким чином, блок джерел даних забезпечує інтеграцію різномірної освітньої інформації в єдине інформаційне середовище.

Наступним елементом структурно-логічної схеми є модуль попередньої обробки даних, який реалізує алгоритми перевірки коректності, фільтрації та нормалізації вхідних показників. На цьому етапі виконується приведення освітніх даних до уніфікованого формату, усунення некоректних значень та формування нормалізованих показників, придатних для подальшого математичного моделювання. Модуль попередньої обробки забезпечує достовірність і порівнюваність даних, що є необхідною умовою ефективного моніторингу.

Центральним елементом системи є аналітичний модуль, у межах якого реалізується математична модель оцінювання результатів STEM-освіти. Саме в цьому модулі здійснюється розрахунок інтегрального показника результатів STEM-освіти на основі нормалізованих даних та заданих вагових коефіцієнтів, а також аналіз динаміки зміни цього показника у часі. Аналітичний модуль забезпечує формування кількісних оцінок, що відображають рівень навчальних досягнень окремих здобувачів освіти, навчальних груп або освітніх програм у цілому. Результати аналітичної обробки передаються до модуля візуалізації, який забезпечує наочне представлення результатів моніторингу у вигляді графіків, діаграм та індикаторів рівня сформованості компетентностей. Візуалізація орієнтована на різні категорії користувачів системи та може адаптуватися залежно від їхніх функціональних потреб. Для викладачів передбачено детальний аналіз результатів навчання, тоді як для адміністрації закладу освіти формується узагальнена аналітична інформація для підтримки прийняття управлінських рішень.

Завершальним елементом структурно-логічної схеми є модуль підтримки прийняття рішень, який використовує результати аналітики та візуалізації для формування рекомендацій щодо коригування освітнього процесу. Цей модуль

дозволяє оцінювати ефективність застосованих педагогічних методик, виявляти проблемні ділянки STEM-освіти та сприяти підвищенню якості навчання.



Рис. 3.2 - Структурно-логічна схема комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу результатів STEM-освіти

Структурно-логічна схема комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу результатів STEM-освіти відображає повний цикл обробки освітніх даних — від їх надходження з різних джерел до формування аналітичної інформації та підтримки управлінських рішень. Запропонована структура забезпечує модульність, масштабованість та адаптивність системи, що створює передумови для її практичного впровадження в освітній процес.

3.3. Аналіз ефективності запропонованих рішень

Ефективність комп'ютерно-інтегрованої системи автоматизованого моніторингу результатів STEM-освіти визначається її здатністю підвищувати об'єктивність, оперативність та інформативність оцінювання навчальних досягнень у порівнянні з традиційними підходами. Проведений аналіз дозволяє

оцінити переваги запропонованих рішень з позицій організації освітнього процесу, якості аналітичних даних та підтримки прийняття управлінських рішень.

Традиційний підхід до оцінювання результатів STEM-освіти, як правило, ґрунтується на розрізненому аналізі окремих показників, ручній обробці даних та суб'єктивному узагальненні результатів. За таких умов ускладнюється порівняння різних компонентів навчальної діяльності, зростає ймовірність помилок, а отримані оцінки не завжди відображають реальний рівень сформованості STEM-компетентностей. Крім того, традиційні методи практично не забезпечують аналізу динаміки результатів навчання, що обмежує можливості своєчасного коригування освітнього процесу.

Запропонована комп'ютерно-інтегрована система моніторингу усуває зазначені недоліки за рахунок автоматизації основних етапів обробки освітніх даних. Застосування формалізованих алгоритмів перевірки та нормалізації показників забезпечує коректність і порівнюваність результатів незалежно від джерела та шкали оцінювання. Це суттєво підвищує об'єктивність оцінювання та зменшує вплив суб'єктивного чинника.

Використання інтегрального показника результатів STEM-освіти дозволяє перейти від фрагментарного аналізу окремих оцінок до комплексного кількісного критерію, що узагальнює різні аспекти навчальної діяльності. Такий підхід спрощує порівняльний аналіз результатів між різними навчальними групами, етапами навчання або освітніми програмами, що практично неможливо реалізувати в межах традиційного підходу без значних часових витрат.

Суттєвою перевагою автоматизації є можливість аналізу результатів STEM-освіти в динамічному режимі. Запропонована математична модель та інерційний характер обчислення інтегрального показника дозволяють відслідковувати тенденції зміни навчальних досягнень у часі, згладжувати випадкові коливання та об'єктивно оцінювати вплив педагогічних і організаційних рішень. У традиційних системах оцінювання такий аналіз, як правило, або відсутній, або виконується епізодично.

Важливим чинником підвищення ефективності є використання засобів візуалізації результатів моніторингу. Графіки динаміки, діаграми розподілу та індикатори рівня сформованості компетентностей забезпечують наочне представлення результатів і спрощують їх інтерпретацію для різних категорій користувачів. Це підвищує швидкість прийняття управлінських рішень та зменшує навантаження на викладачів і адміністрацію закладу освіти.

Таким чином, автоматизація процесів моніторингу результатів STEM-освіти за допомогою комп'ютерно-інтегрованих систем забезпечує підвищення точності, оперативності та аналітичної цінності оцінювання навчальних досягнень у порівнянні з традиційним підходом. Запропоновані рішення створюють умови для більш ефективного управління освітнім процесом, своєчасного коригування навчальних програм та підвищення якості STEM-освіти в цілому.

РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ

У попередніх розділах магістерської роботи було розроблено алгоритмічні та теоретичні основи автоматизованого моніторингу результатів STEM-освіти, побудовано математичну модель оцінювання навчальних досягнень та сформовано структурно-логічну схему комп'ютерно-інтегрованої системи. Разом із тим практична цінність запропонованих рішень визначається їх здатністю забезпечувати ефективний аналіз реальних або модельних даних, а також наочне підтвердження переваг автоматизації у порівнянні з традиційними підходами.

Розділ 4 присвячений аналізу результатів моделювання роботи системи автоматизованого моніторингу результатів STEM-освіти та оцінці ефективності запропонованої комп'ютерно-інтегрованої системи. У межах розділу здійснюється дослідження функціонування алгоритмів обробки та інтегрування освітніх даних у статичних і динамічних режимах, а також аналіз поведінки інтегрального показника результатів STEM-освіти в часі.

На основі отриманих результатів моделювання проводиться оцінка здатності системи забезпечувати об'єктивне та оперативне відображення змін у навчальних досягненнях, виявляти тенденції розвитку STEM-компетентностей та згладжувати випадкові коливання результатів навчання. Особлива увага приділяється аналізу впливу параметрів моделі, зокрема коефіцієнта інерційності, на динаміку інтегрального показника та стабільність результатів моніторингу.

Крім того, у розділі розглядається ефективність використання засобів візуалізації для інтерпретації результатів автоматизованого аналізу освітніх даних. Графіки динаміки, діаграми розподілу нормалізованих показників та індикатори рівня сформованості компетентностей використовуються для підтвердження інформативності та практичної цінності запропонованої системи для різних категорій користувачів.

Результати аналізу, наведені у даному розділі, дозволяють зробити узагальнені висновки щодо ефективності комп'ютерно-інтегрованої системи автоматизованого моніторингу та обґрунтувати доцільність її впровадження у процес управління якістю STEM-освіти.

4.1 Аналіз результатів моделювання в статичному режимі

Аналіз результатів моделювання в статичному режимі спрямований на оцінку роботи комп'ютерно-інтегрованої системи автоматизованого моніторингу результатів STEM-освіти за умов фіксованих або квазісталих значень вхідних освітніх показників. У статичному режимі досліджується відповідність інтегрального показника результатів STEM-освіти поточному рівню навчальних досягнень без урахування інерційних ефектів та часових змін.

На першому етапі аналізу розглянуто результати нормалізації освітніх показників, що характеризують окремі компоненти STEM-освіти, зокрема результати тестування, лабораторних робіт, проєктної діяльності та рівень сформованості компетентностей. Нормалізовані значення показників, приведені до інтервалу $[0;1]$, подано у вигляді графіків, що дозволяє здійснювати їх коректне порівняння незалежно від початкових шкал оцінювання. Отримані результати свідчать про ефективність процедури нормалізації, оскільки всі показники перебувають у єдиному діапазоні та зберігають відносні співвідношення між складовими навчальної діяльності.

Подальший аналіз виконано на основі інтегрального показника результатів STEM-освіти, сформованого як зважена сума нормалізованих показників. У статичному режимі інтегральний показник відображає миттєвий узагальнений рівень навчальних досягнень для кожного окремого етапу навчання. Графічне представлення інтегрального показника демонструє його чутливість до змін окремих компонентів STEM-освіти та підтверджує коректність вибору вагових коефіцієнтів.

Аналіз діаграм розподілу нормалізованих показників за окремими компонентами STEM-освіти показує, що запропонована система дозволяє

виявляти сильні та слабкі сторони навчальної підготовки. Наприклад, у випадках, коли значення нормалізованих показників практичної або проєктної діяльності є нижчими за інші компоненти, інтегральний показник відповідним чином зменшується, що відображає реальний стан сформованості STEM-компетентностей. Така властивість є принципово важливою з точки зору об'єктивності оцінювання.

Отримані результати також підтверджують адитивний характер запропонованої моделі оцінювання. Зміна будь-якого окремого нормалізованого показника призводить до пропорційної зміни інтегрального показника відповідно до його вагового коефіцієнта. Це забезпечує прозорість моделі та можливість інтерпретації результатів, що є суттєвою перевагою порівняно з традиційними підходами до оцінювання, які часто не дозволяють простежити внесок окремих компонентів у загальну оцінку.

Результати моделювання в статичному режимі підтверджують працездатність запропонованого алгоритму автоматизованої обробки освітніх даних та коректність математичної моделі оцінювання результатів STEM-освіти. Комп'ютерно-інтегрована система забезпечує формування узагальнених показників, що адекватно відображають поточний рівень навчальних досягнень і можуть бути використані для подальшого динамічного аналізу та підтримки прийняття управлінських рішень.

4.2 Аналіз динаміки інтегрального показника (перехідний процес)

Аналіз динаміки інтегрального показника результатів STEM-освіти спрямований на дослідження поведінки комп'ютерно-інтегрованої системи автоматизованого моніторингу в умовах зміни вхідних освітніх даних у часі. На відміну від статичного режиму, динамічний режим дозволяє оцінити інерційні властивості системи, її здатність згладжувати випадкові коливання результатів навчання та відображати загальні тенденції розвитку STEM-компетентностей.

Для дослідження динамічних властивостей системи використано модель інерційної ланки першого порядку, яка описує зміну інтегрального показника

I_{STEM} у відповідь на одиничний стрибок вхідного впливу. В якості такого впливу розглянуто різку зміну узагальненої миттєвої оцінки результатів STEM-освіти, що імітує суттєве покращення або погіршення навчальних досягнень на окремому етапі освітнього процесу.

На графіку перехідного процесу інтегрального показника, наведеному на рис.3.1, спостерігається характерна аперіодична реакція системи з асимптотичним наближенням до усталеного значення. Початкове значення інтегрального показника дорівнює нулю, після чого відбувається його монотонне зростання до рівня, що відповідає усталеному стану системи. Такий характер перехідного процесу підтверджує адекватність вибраної динамічної моделі та відсутність коливальних процесів, що є важливим для коректного моніторингу освітніх результатів.

Швидкість протікання перехідного процесу визначається значенням коефіцієнта інерційності моделі. Зі збільшенням значення цього коефіцієнта спостерігається уповільнення реакції системи на зміну вхідних даних, що відповідає накопичувальному характеру освітніх результатів. У контексті STEM-освіти це означає, що інтегральний показник не реагує надмірно на одиничні випадкові зміни результатів, а формується на основі узагальнених тенденцій навчального процесу.

Аналіз часу встановлення інтегрального показника показує, що система досягає усталеного значення після обмеженої кількості етапів, що свідчить про компроміс між оперативністю та стійкістю оцінювання. Така властивість є суттєвою перевагою автоматизованого підходу, оскільки дозволяє своєчасно виявляти сталі зміни у результатах STEM-освіти без впливу короткочасних коливань.

Порівняння динамічного режиму роботи системи з традиційними підходами до оцінювання показує, що використання інерційної моделі інтегрального показника забезпечує більш об'єктивне відображення реального рівня навчальних досягнень. У традиційних системах різкі зміни окремих оцінок можуть суттєво

впливати на підсумкові результати, тоді як у запропонованій системі їх вплив згладжується за рахунок динамічних властивостей моделі.

Результати аналізу перехідного процесу підтверджують ефективність використання динамічної математичної моделі інтегрального показника в комп'ютерно-інтегрованій системі автоматизованого моніторингу. Запропонований підхід забезпечує стійкість, інерційність та інформативність оцінювання результатів STEM-освіти, що створює надійне підґрунтя для прийняття обґрунтованих управлінських рішень у сфері освіти.

4.3 Узагальнена оцінка ефективності системи

Узагальнена оцінка ефективності запропонованої комп'ютерно-інтегрованої системи автоматизованого моніторингу результатів STEM-освіти ґрунтується на аналізі результатів моделювання в статичних і динамічних режимах функціонування, а також на порівнянні отриманих результатів із можливостями традиційних підходів до оцінювання навчальних досягнень. Проведений аналіз дозволяє зробити висновок щодо доцільності використання автоматизованих методів обробки та аналізу освітніх даних у процесі управління якістю STEM-освіти.

Результати статичного моделювання підтверджують коректність роботи алгоритмів автоматизованої обробки освітніх даних та адекватність математичної моделі інтегрального оцінювання. Нормалізація показників забезпечує їх порівнюваність, а формування інтегрального показника дозволяє отримати узагальнену кількісну характеристику рівня навчальних досягнень. Запропонована система забезпечує прозорість оцінювання, оскільки вплив кожного окремого компонента STEM-освіти на загальний результат може бути чітко простежений та інтерпретований.

Аналіз динамічного режиму функціонування системи показав, що використання інерційної моделі інтегрального показника дозволяє ефективно згладжувати випадкові коливання результатів навчання та відображати сталі тенденції розвитку STEM-компетентностей. Перехідний процес має аперіодичний

характер і характеризується стабільним наближенням до усталеного значення, що свідчить про стійкість системи та відсутність небажаних коливань у результатах моніторингу.

Використання засобів візуалізації результатів моніторингу суттєво підвищує інформативність системи та зручність інтерпретації отриманих даних. Графіки динаміки інтегрального показника, діаграми розподілу нормалізованих показників і індикатори рівня сформованості компетентностей забезпечують наочне представлення результатів для різних категорій користувачів. Це сприяє оперативному виявленню проблемних аспектів STEM-освіти та прийняттю обґрунтованих управлінських рішень.

Порівняння запропонованої системи з традиційними підходами до оцінювання показує, що автоматизований моніторинг дозволяє зменшити трудомісткість обробки освітніх даних, підвищити об'єктивність оцінювання та забезпечити можливість аналізу результатів у динаміці. Традиційні методи, як правило, не дозволяють реалізувати комплексний аналіз та оперативно реагувати на зміни у навчальному процесі, тоді як комп'ютерно-інтегрована система усуває ці обмеження.

Узагальнена оцінка ефективності підтверджує, що запропонована система автоматизованого моніторингу результатів STEM-освіти є працездатною, стійкою та інформативною. Її впровадження створює умови для підвищення якості освітньої аналітики, оптимізації управління освітнім процесом та покращення результатів STEM-освіти в цілому.

ВИСНОВОК

У магістерській роботі розв'язано актуальну науково-практичну задачу автоматизації процесів моніторингу результатів STEM-освіти з використанням комп'ютерно-інтегрованих систем. Актуальність дослідження зумовлена зростанням обсягів освітніх даних, необхідністю підвищення об'єктивності оцінювання навчальних досягнень та впровадженням сучасних підходів до управління якістю STEM-освіти в умовах цифровізації освітнього процесу.

У процесі виконання роботи проаналізовано особливості STEM-освіти як об'єкта автоматизованого моніторингу та визначено основні вимоги до системи обробки й аналізу освітніх даних. Розроблено алгоритм автоматизованої обробки результатів навчальної діяльності, який включає етапи перевірки коректності даних, нормалізації показників, формування інтегральної оцінки та візуалізації результатів моніторингу. Запропонований алгоритм забезпечує уніфіковане подання різнорідних освітніх показників і створює основу для комплексного аналізу результатів STEM-освіти.

Побудовано математичну модель оцінювання результатів STEM-освіти, у якій інтегральний показник сформовано як зважену згортку нормалізованих показників з урахуванням їх вагомості. Розширення моделі на динамічний випадок дозволило описати зміну інтегральної оцінки у часі за допомогою інерційної ланки першого порядку та дослідити перехідний процес системи. Отримані результати підтвердили стійкість і адекватність моделі для аналізу навчальних досягнень у статичних і динамічних режимах.

Розроблено структурно-логічну схему комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу результатів STEM-освіти, яка відображає повний цикл обробки освітніх даних — від надходження інформації з різних джерел до формування аналітичних результатів і підтримки прийняття управлінських рішень. Запропонована структура характеризується модульністю та масштабованістю, що забезпечує можливість її адаптації до різних умов функціонування закладів освіти.

На основі результатів моделювання виконано аналіз ефективності запропонованої системи автоматизованого моніторингу. Показано, що автоматизація процесів обробки та аналізу освітніх даних дозволяє підвищити об'єктивність оцінювання, зменшити трудомісткість аналізу результатів та забезпечити можливість дослідження динаміки навчальних досягнень. Порівняно з традиційними підходами, запропонована система забезпечує більш інформативне та наочне подання результатів STEM-освіти.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розроблених алгоритмів, математичної моделі та структурно-логічної схеми при впровадженні автоматизованих систем моніторингу результатів STEM-освіти у закладах загальної середньої та вищої освіти. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення системи управління освітнім процесом, підвищення якості освітньої аналітики та підтримки прийняття обґрунтованих управлінських рішень у сфері STEM-освіти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про освіту : Закон України від 05.09.2017 № 2145-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19>
2. Про вищу освіту : Закон України від 01.07.2014 № 1556-VII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>
3. Концепція розвитку STEM-освіти в Україні : розпорядження КМУ від 05.08.2020 № 960-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-p>
4. Міністерство освіти і науки України. STEM-освіта в Україні : офіційний портал. URL: <https://mon.gov.ua/ua/tag/stem-osvita>
5. Bybee R. W. STEM Education: Opportunities and Challenges. Arlington : NSTA Press, 2013. 192 p.
6. Breiner J. M., Johnson C. C., Harkness S. S., Koehler C. M. What Is STEM? A Discussion About Conceptions of STEM Education. *International Journal of STEM Education*. 2012. Vol. 1(1).
7. Sanders M. STEM, STEM Education, STEMmania. *The Technology Teacher*. 2009. Vol. 68(4). P. 20–26.
8. OECD. Education at a Glance 2023: OECD Indicators. Paris : OECD Publishing, 2023. URL: <https://www.oecd.org/education/education-at-a-glance/>
9. OECD. Innovative Learning Environments. Paris : OECD Publishing, 2017.
10. UNESCO. Digital Transformation of Education. Paris : UNESCO, 2021. URL: <https://www.unesco.org/en/digital-education>
11. Siemens G. Learning Analytics: The Emergence of a Discipline. *American Behavioral Scientist*. 2013. Vol. 57(10). P. 1380–1400.
12. Ferguson R. Learning Analytics: Drivers, Developments and Challenges. *International Journal of Technology Enhanced Learning*. 2012. Vol. 4(5/6). P. 304–317.

13. Romero C., Ventura S. Educational Data Mining: A Review of the State of the Art. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 2010. Vol. 40(6). P. 601–618.
14. Baker R. S. J. D., Inventado P. S. Educational Data Mining and Learning Analytics. In: *Learning Analytics*. New York : Springer, 2014. P. 61–75.
15. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE).
16. Sommerville I. Software Engineering. 10th ed. Boston : Pearson, 2016. 816 p.
17. Pressman R. S., Maxim B. R. Software Engineering: A Practitioner's Approach. 8th ed. New York : McGraw-Hill, 2015.
18. Кудін А. П., Шевченко О. О. Інформаційні системи та технології в освіті. Київ : НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2019. 256 с.
19. Морзе Н. В., Кузьмінська О. Г. Цифрові технології в освіті. Київ : Університет «Україна», 2020. 244 с.
20. Спирін О. М. Інформаційно-аналітичні системи управління освітою. Житомир : ЖДУ, 2018. 312 с.
21. Антонюк В. С., Биков В. Ю. Моніторинг якості освіти з використанням ІКТ. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2019. № 4.
22. Биков В. Ю. Моделі організаційних систем відкритої освіти. Київ : Атіка, 2009.
23. European Commission. DigCompEdu: European Framework for the Digital Competence of Educators. Luxembourg, 2017.
24. PISA 2022 Results. OECD Publishing, 2023. URL: <https://www.oecd.org/pisa/>
25. ISO/IEC 12207:2017. Systems and software engineering — Software life cycle processes.
26. North M., Zadeh L. Big Data Analytics in Education. *IEEE Computer*. 2014. Vol. 47(8). P. 13–15.

27. Shum S. B., Ferguson R. Social Learning Analytics. *Educational Technology & Society*. 2012. Vol. 15(3). P. 3–26.