

ISSN 1998-7927(print) ISSN 2664-6498 (online)

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2026-301-3-80-86>

УДК 004.9:37.091.33:004.89

## АНАЛІТИЧНА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ РЕЗУЛЬТАТІВ STEM-ОСВІТИ

Асманкіна А.А., Сотнікова Т.Г.

### ANALYTICAL COMPUTER-INTEGRATED SYSTEM FOR MONITORING STEM EDUCATION OUTCOMES

Asmankina A.A., Sotnikova T.H.

*У статті розглянуто проблему автоматизації процесів моніторингу результатів STEM-освіти в умовах цифровізації освітнього середовища та зростання обсягів освітніх даних. Сучасні STEM-підходи передбачають інтеграцію навчальних результатів з різних дисциплін, проєкту та дослідницьку діяльність, що ускладнює їх об'єктивне оцінювання за допомогою традиційних, переважно ручних і фрагментарних методів моніторингу. Недостатня системність обробки освітніх даних знижує оперативність аналізу та ефективність управлінських рішень у сфері освіти. Метою статті є розробка та дослідження підходів до створення інформаційної системи автоматизованого моніторингу результатів STEM-освіти на основі комп'ютерно-інтегрованих технологій. Запропоновано концепцію комп'ютерно-інтегрованої системи, яка забезпечує централізований збір, зберігання, обробку та аналіз освітніх даних, а також формування узагальнених показників результатів навчання.*

*У роботі розглянуто структурну організацію системи, інформаційні потоки та алгоритми автоматизованої обробки освітніх даних. Запропоновано застосування моделей аналізу результатів STEM-освіти, що забезпечують інтегральне оцінювання навчальних досягнень та підтримку прийняття управлінських рішень. Практичне значення запропонованого підходу полягає у можливості впровадження комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу в закладах загальної середньої та вищої освіти з метою підвищення об'єктивності оцінювання, оперативності аналізу та ефективності управління освітнім процесом у STEM-напрямі.*

*Використання таких систем сприяє більш усвідомленому аналізу навчальних досягнень*

*здобувачів освіти, дозволяє викладачам оперативно реагувати на зміни в освітньому процесі та формувати індивідуалізовані освітні траєкторії.*

*Окрему увагу приділено реалізації демонстраційного веб-прототипу аналітичного модуля, який підтверджує працездатність запропонованого алгоритму нормалізації та інтегрального оцінювання результатів STEM-освіти, а також демонструє можливість його практичного використання в умовах сучасного цифрового освітнього середовища.*

**Ключові слова:** STEM-освіта, комп'ютерно-інтегрована система, освітня аналітика.

**Вступ.** У сучасних умовах цифрової трансформації освіти особливої актуальності набуває створення комп'ютерно-інтегрованих аналітичних систем, здатних автоматично обробляти великі обсяги різнорідних освітніх даних та формувати узагальнені показники результативності навчання. Сучасний етап розвитку освіти характеризується активним упровадженням STEM-підходів, спрямованих на інтеграцію знань з науки, технологій, інженерії та математики з практичною діяльністю здобувачів освіти. Така інтеграція зумовлює підвищені вимоги не лише до організації освітнього процесу, а й до об'єктивного, системного та оперативного моніторингу результатів навчання. У межах STEM-освіти результати діяльності здобувачів формуються на основі різнорідних показників, які включають результати тестування, виконання лабораторних і проєктних робіт,

міждисциплінарні завдання та дослідницьку активність, що суттєво ускладнює їх комплексне оцінювання.

В умовах цифровізації освітнього середовища обсяги освітніх даних постійно зростають, а традиційні підходи до моніторингу результатів STEM-освіти, що ґрунтуються на ручній обробці та фрагментарному аналізі інформації, не забезпечують достатнього рівня оперативності та аналітичної глибини. Це ускладнює своєчасне виявлення проблемних аспектів навчального процесу та знижує ефективність управлінських рішень у сфері освіти. Виникає потреба у використанні автоматизованих засобів збору, обробки та аналізу освітніх даних, здатних працювати з багатокомпонентними інформаційними потоками.[1-3]

Одним із перспективних напрямів розв'язання зазначеної проблеми є застосування комп'ютерно-інтегрованих систем, які дозволяють об'єднати процеси моніторингу, аналізу та оцінювання результатів STEM-освіти в єдину інформаційну систему. Такі системи забезпечують централізований збір даних, їх структурування, формування узагальнених показників та створюють основу для підтримки прийняття управлінських рішень. Автоматизація процесів моніторингу сприяє підвищенню об'єктивності оцінювання, зменшенню впливу суб'єктивних чинників та підвищенню ефективності управління освітнім процесом.

Незважаючи на наявність окремих програмних рішень для обліку навчальних досягнень, більшість із них не враховує специфіку STEM-освіти, яка характеризується міждисциплінарністю, проектною спрямованістю та необхідністю комплексного аналізу результатів навчання. Це зумовлює актуальність розробки та дослідження комп'ютерно-інтегрованих систем автоматизованого моніторингу результатів STEM-освіти, орієнтованих на підтримку освітньої аналітики та підвищення якості управління освітнім процесом.

**Мета та завдання дослідження.** Метою дослідження є розробка та обґрунтування підходів до автоматизації процесів моніторингу результатів STEM-освіти на основі комп'ютерно-інтегрованих систем, що забезпечують ефективний збір, обробку та аналіз освітніх даних для підтримки управлінських рішень. Для досягнення поставленої мети у статті розв'язуються такі

завдання: аналіз процесу моніторингу результатів STEM-освіти як об'єкта автоматизації; розробка концептуальної структури інформаційної системи автоматизованого моніторингу та визначення основних інформаційних потоків; формалізація алгоритмів обробки й аналізу освітніх даних у межах комп'ютерно-інтегрованої системи.

**Наукова новизна роботи** полягає у поєднанні інтегральної моделі оцінювання результатів STEM-навчання з клієнтською веб-реалізацією аналітичного модуля та архітектурно передбаченою інтеграцією з LMS-платформами, що формує основу комп'ютерно-інтегрованої системи освітнього моніторингу.[4]

**Основна частина.** Процес моніторингу результатів STEM-освіти характеризується складною структурою інформаційних потоків та значною кількістю різномірних показників, що відображають навчальні досягнення здобувачів освіти. До таких показників належать результати тестового контролю, виконання лабораторних і практичних робіт, проектної та дослідницької діяльності, а також інтегральні показники сформованості компетентностей. Інформація надходить з різних джерел, має різні формати подання та часову динаміку, що ускладнює її узагальнення та аналіз у межах традиційних підходів до оцінювання.[5]

Традиційні методи моніторингу результатів STEM-освіти, як правило, ґрунтуються на ручному зборі та обробці даних або використанні окремих програмних засобів, не інтегрованих у єдину систему. Такий підхід призводить до фрагментарності інформації, значних часових витрат на її обробку та підвищення ризику суб'єктивних помилок. Крім того, відсутність централізованої системи аналізу ускладнює формування узагальнених показників та знижує ефективність застосування результатів моніторингу для прийняття управлінських рішень у сфері STEM-освіти. У зв'язку з цим процес моніторингу доцільно розглядати як об'єкт автоматизації, що потребує застосування системного та комп'ютерно-інтегрованого підходу.

Для розв'язання зазначених проблем у роботі запропоновано концепцію комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу результатів STEM-освіти, яка дозволяє об'єднання процесів збору, зберігання, обробки та аналізу освітніх даних. Структура системи передбачає наявність підсистем введення даних, централізованої бази даних, аналітичного модуля та модуля

формування результатів моніторингу. База даних використовується для накопичення та структурованого зберігання інформації про навчальні результати, що забезпечує цілісність даних і можливість їх подальшого аналізу.[6, 7]

Запропонований алгоритм формує основу функціонування комп'ютерно-інтегрованої системи та забезпечує узгодженість усіх етапів обробки освітніх даних. Алгоритм обробки освітніх даних у комп'ютерно-інтегрованій системі (рис. 1) включає етапи попередньої обробки, нормалізації показників, формування інтегральних оцінок та аналітичних показників результатів STEM-освіти. На основі отриманих даних реалізується підтримка прийняття управлінських рішень шляхом формування узагальнених звітів, візуалізації результатів моніторингу та виявлення тенденцій у навчальному процесі. Запропонований підхід забезпечує підвищення об'єктивності оцінювання, скорочення часових витрат на аналіз освітніх даних та створює передумови для ефективного управління освітнім процесом у STEM-напрямі.[8]

Алгоритм автоматизованої обробки та аналізу освітніх даних

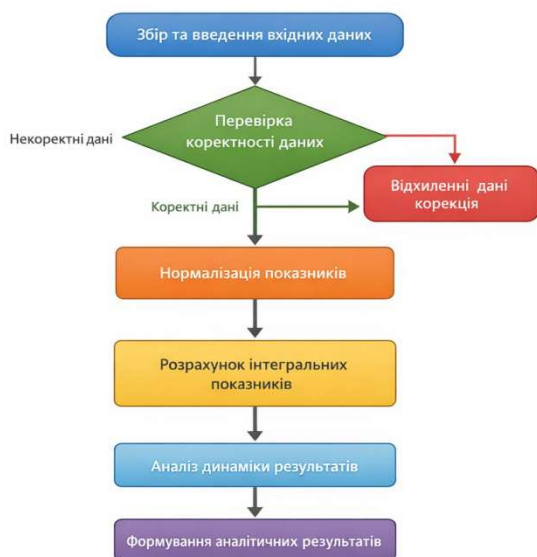


Рис. 1. Розроблений алгоритм автоматизованої обробки та аналізу освітніх даних, який є основою функціонування комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу результатів STEM-освіти

Для перевірки працездатності алгоритму нормалізації та формування інтегрального показника розроблено демонстраційний веб-прототип комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу. Прототип реалізує введення показників, їх нормалізацію в інтервалі  $[0;1]$  з

урахуванням прямої/зворотної спрямованості та розрахунок ISTEM як зваженої суми.

Прототип забезпечує введення показників навчальної діяльності, їх нормалізацію відповідно до заданих діапазонів значень та напрямку впливу показників, а також автоматичне обчислення інтегрального показника ISTEM як зваженої адитивної моделі. Архітектура прототипу базується на клієнтській веб-реалізації, що імітує взаємодію підсистем збору даних, аналітичної обробки та візуалізації результатів моніторингу.[9]

Такий підхід дозволяє продемонструвати принципи функціонування комп'ютерно-інтегрованої системи без необхідності розгортання повноцінної серверної інфраструктури та може бути використаний як основа для подальшої розробки програмно-апаратного рішення.

Демонстраційний веб-прототип комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу (рис. 2) реалізує повний цикл автоматизованої обробки освітніх даних. На першому етапі користувач вводить або імпортує набір показників, що характеризують результати STEM-навчання, зокрема результати тестування, лабораторних робіт, проєктної діяльності та навчальної активності. Програмна частина прототипу, реалізована засобами HTML та JavaScript, виконує попередню обробку даних і здійснює їх лінійну нормалізацію відповідно до заданих діапазонів значень та напрямку впливу показників.[10] Далі система автоматично обчислює інтегральний показник ISTEM як зважену адитивну модель, що дозволяє об'єднати різномірні характеристики навчальної діяльності в єдиний кількісний індикатор. Наступним етапом є візуалізація результатів у вигляді таблиць і графічних діаграм, що забезпечує швидке порівняння результатів між записами та сприяє аналітичному осмисленню даних.[11] Прототип працює у клієнтському веб-середовищі без необхідності серверної інфраструктури, що демонструє можливість інтеграції алгоритмів моніторингу в освітні інформаційні системи різних рівнів — від закладів загальної середньої освіти до закладів вищої освіти. Основною метою розробленого програмного інструменту є спрощення процесу аналізу результатів STEM-освіти, підвищення об'єктивності оцінювання та підтримка прийняття управлінських рішень на основі цифрових освітніх даних.

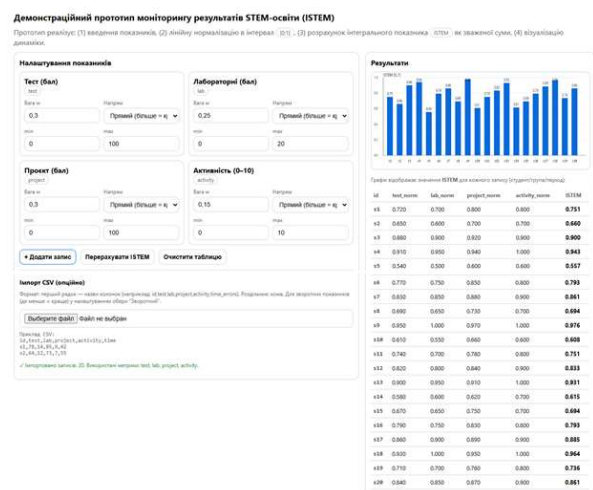


Рис. 2. Візуалізація інтегрального показника ISTEM у демонстраційному веб-прототипі системи моніторингу

З точки зору програмної архітектури розроблений прототип має модульну структуру та умовно поділяється на три функціональні компоненти: модуль введення даних, модуль аналітичної обробки та модуль візуалізації результатів.[12] Модуль введення забезпечує імпорт та редагування показників STEM-навчання, аналітичний модуль реалізує алгоритми нормалізації та обчислення інтегрального показника ISTEM, тоді як модуль візуалізації відповідає за графічне представлення результатів моніторингу.

Такий підхід відповідає принципам побудови комп'ютерно-інтегрованих систем і створює основу для подальшого розширення функціоналу, зокрема інтеграції з базами даних або освітніми платформами.

Перспективним напрямом розвитку запропонованої системи є інтеграція з існуючими системами управління навчанням, зокрема Moodle, що дозволить автоматизувати збір даних із електронних журналів оцінювання та мінімізувати ручне введення інформації.[13] Застосування API платформи LMS дозволяє можливість формування єдиного інформаційного простору моніторингу результатів STEM-освіти та підвищує рівень автоматизації освітньої аналітики.

Запропонована архітектура інтеграції (рис. 3) демонструє можливість автоматизованого обміну освітніми даними між системами управління навчанням та аналітичними модулями моніторингу. Застосування стандартизованих інтерфейсів взаємодії забезпечує масштабованість рішення та створює передумови для подальшого розвитку цифрових

інструментів оцінювання результатів STEM-освіти.[14] Інтеграція з LMS-платформами розглядається як ключовий елемент переходу від локальних прототипів до повноцінних комп'ютерно-інтегрованих освітніх систем.



Рис. 3. Схема інтеграції LMS Moodle з аналітичним модулем ISTEM у структурі комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу

Таким чином, запропонована концепція системи, алгоритмічна модель обробки даних та реалізований веб-прототип формують цілісну основу для експериментальної перевірки ефективності автоматизованого моніторингу результатів STEM-освіти.

Результати та їх обговорення. Результати дослідження свідчать, що автоматизація процесів моніторингу результатів STEM-освіти дозволяє суттєво підвищити оперативність та об'єктивність аналізу освітніх даних. Застосування комп'ютерно-інтегрованої системи забезпечує централізований збір і обробку інформації, зменшує часові витрати на аналіз результатів навчання та мінімізує вплив суб'єктивних чинників, притаманних традиційним методам оцінювання. Це створює умови для своєчасного виявлення проблемних аспектів освітнього процесу та оперативного коригування навчальних траєкторій.

Отримані результати узгоджуються з сучасними тенденціями розвитку освітньої аналітики, де інтегральні показники розглядаються як ефективний інструмент узагальнення різнорідних навчальних даних та підтримки прийняття рішень на основі доказового підходу.

Перевагою запропонованого підходу є комплексний характер моніторингу, що поєднує різнорідні показники результатів STEM-освіти в єдиній інформаційній системі та забезпечує формування інтегральних оцінок навчальних досягнень. Запропонована структура системи та алгоритми обробки даних дозволяють здійснювати аналітичну обробку результатів у статичних і динамічних режимах, а також формувати аналітичну інформацію для

підтримки прийняття управлінських рішень на різних рівнях управління освітнім процесом.

1) Нормалізація (лінійна):

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

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  $[0; 1]$ .

2) Для показників із зворотною спрямованістю (наприклад, кількість помилок/час)

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

3) Інтегральний показник результатів STEM-освіти

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

4) Умова для ваг

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

На першому етапі використовується лінійна нормалізація, яка переводить початкове значення показника  $x_i$  у безрозмірну величину  $x_i^{\text{норм}}$  в межах інтервалу  $[0; 1]$ . Для цього враховуються мінімальне та максимальне можливі або спостережувані значення показника  $x_i^{\min}$  та  $x_i^{\max}$ . Такий підхід уніфікує дані та робить їх порівнюваними незалежно від початкової шкали.

У випадках, коли показник має зворотну спрямованість — тобто менше значення відповідає кращому результату, наприклад кількість помилок або час виконання — застосовується модифікована формула нормалізації. Це дозволяє зберегти єдину інтерпретацію: більші нормалізовані значення завжди означають кращий результат.

Після нормалізації формується інтегральний показник результатів STEM-освіти  $I^{\text{STEM}}$  як зважена сума нормалізованих

показників. Вагові коефіцієнти  $w_i$  відображають значущість кожного компонента, а їх сума дорівнює одиниці, що забезпечує коректність інтегральної оцінки.

Таким чином, запропонована модель дозволяє кількісно та об'єктивно оцінювати результати STEM-освіти і надалі аналізувати їх у статичному та динамічному режимах моніторингу.

Тестування веб-прототипу на модельних наборах даних підтвердило коректність роботи етапів нормалізації та формування інтегрального показника, а візуалізація ISTEM забезпечує швидке порівняння результатів між записами та підтримує прийняття управлінських рішень.

Для перевірки працездатності алгоритму нормалізації та інтегрального оцінювання було сформовано модельний набір даних із 20 записів, що відображають результати тестування, лабораторних робіт, проектної діяльності та навчальної активності. Дані були імпортовані у розроблений веб-прототип системи моніторингу, який автоматично виконує нормалізацію показників у межах інтервалу  $[0; 1]$  та обчислює інтегральний показник ISTEM. Отримані результати підтвердили коректність алгоритму обробки та можливість візуального аналізу динаміки результатів STEM-навчання.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості впровадження комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу в закладах загальної середньої та вищої освіти для підвищення якості оцінювання результатів STEM-освіти. Застосування автоматизованого підходу сприяє підвищенню прозорості освітньої аналітики, оптимізації управління навчальним процесом та створенню передумов для подальшого розвитку цифрових освітніх середовищ.

Застосування демонстраційного прототипу підтвердило, що навіть клієнтські веб-рішення можуть виступати ефективною основою для побудови комп'ютерно-інтегрованих систем моніторингу, забезпечуючи оперативність обробки даних та наочність представлення результатів STEM-навчання.

**Висновки.** Процес моніторингу результатів STEM-освіти характеризується багатокомпонентністю інформаційних потоків і різномірністю показників навчальних досягнень, що зумовлює доцільність його розгляду як об'єкта автоматизації з застосуванням комп'ютерно-інтегрованих

підходів. Запропонована концепція комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу забезпечує централізований збір, зберігання та обробку освітніх даних, що дозволяє підвищити цілісність інформації та ефективність аналітичної обробки результатів STEM-освіти. Реалізація алгоритмів автоматизованої обробки та інтегрального оцінювання результатів навчання сприяє підвищенню об'єктивності моніторингу та зменшенню впливу суб'єктивних чинників, притаманних традиційним методам оцінювання. Застосування комп'ютерно-інтегрованої системи створює передумови для підтримки прийняття управлінських рішень у закладах загальної середньої та вищої освіти на основі аналітичних даних про результати STEM-освіти. Отримані результати можуть бути використані як основа для подальшого розвитку автоматизованих систем освітньої аналітики та вдосконалення цифрових освітніх середовищ у STEM-напрямі.

Реалізація демонстраційного веб-прототипу підтвердила можливість практичного впровадження запропонованого підходу без складної серверної інфраструктури та засвідчила ефективність застосування інтегрального показника ISTEM для аналітичної підтримки освітнього процесу. Отже, перспективним напрямом подальших досліджень є інтеграція системи з LMS-платформами, зокрема Moodle, що дозволить автоматизувати збір даних із електронних журналів та розширити можливості освітньої аналітики.

### Література

- Hall O., O'Neill M., Murphy P. *Computer-Integrated Information Systems: Analysis and Design*. London : Springer, 2019. 312 p.
- Lee J., Bagheri B., Kao H.-A. A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems // *Manufacturing Letters*. 2015. Vol. 3. P. 18–23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>.
- Romero C., Ventura S. Educational data mining and learning analytics: an updated survey // *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*. 2020. Vol. 10, no. 3. DOI: <https://doi.org/10.1002/widm.1355>
- Siemens G., Long P. Penetrating the fog: analytics in learning and education // *EDUCAUSE Review*. 2011. Vol. 46, no. 5. P. 30–40.
- Dawson S., Gašević D., Siemens G. Learning analytics: measurement innovations to support employee development // *Journal of Workplace Learning*. 2019.
- ISO/IEC 25010:2011. *Systems and software engineering – Systems and software quality requirements and evaluation (SQuaRE)*. International Organization for Standardization, 2011.
- Gartner. *Analytics ascendancy model: a framework for implementing data-driven decision making*. Gartner Research, 2021.
- Chatti M. A., Dyckhoff A. L., Schroeder U. A reference model for learning analytics // *International Journal of Technology Enhanced Learning*. 2018.
- Shute V. J., Kim Y. J. Formative and stealth assessment // *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*. New York : Springer, 2020.
- UNESCO. *Artificial intelligence and education: guidance for policy-makers*. Paris : UNESCO Publishing, 2021.
- Kitchin R. *The data revolution: big data, open data, data infrastructures and their consequences*. London : SAGE Publications, 2019. 240 p.
- Siemens G., Baker R. S. J. d. Learning analytics and educational data mining: towards communication and collaboration // *Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics and Knowledge*. New York : ACM, 2012. P. 252–254. DOI: <https://doi.org/10.1145/2330601.2330661>.
- Ferguson R. Learning analytics: drivers, developments and challenges // *International Journal of Technology Enhanced Learning*. 2012. Vol. 4, № 5–6. P. 304–317. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJTEL.2012.051816>
- Dougiamas M., Taylor P. C. Moodle: using learning communities to create an open source course management system // *Proceedings of the World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications*. 2003. P. 171–178.

### Asmankina A.A., Sotnikova T.H. Analytical computer-integrated system for monitoring stem education outcomes

The article addresses automation of STEM education outcome monitoring processes under conditions of educational environment digitalization and increasing educational data volume. Modern STEM approaches involve integration of learning outcomes across disciplines, as well as project-based and research activities, which complicates objective assessment using traditional, mainly manual and fragmented monitoring methods. Insufficient systematization of educational data processing reduces analysis efficiency and limits effectiveness of decision-making in education.

The study aims to develop and investigate approaches to designing an automated STEM education

*outcome monitoring information system based on computer-integrated technologies. A computer-integrated system concept is proposed, ensuring centralized data collection, storage, processing, and analysis, as well as generation of generalized learning outcome indicators.*

*The paper examines system structural organization, information flows, and automated educational data processing algorithms. Application of STEM education outcome analysis models is proposed, enabling integral assessment of learning achievements and supporting decision-making processes. Practical significance of the proposed approach lies in the possibility of implementing a computer-integrated monitoring system in secondary and higher education institutions to improve assessment objectivity, increase analysis efficiency, and enhance STEM education process management.*

*Such systems support more meaningful analysis of student learning outcomes, enable instructors to respond promptly to changes in the educational process, and facilitate development of individualized learning trajectories.*

*Particular attention is given to implementation of a demonstration web-based analytical module prototype, confirming functionality of the proposed normalization and integral evaluation algorithm for STEM education*

*outcomes and demonstrating its applicability within modern digital educational environments.*

**Keywords:** *STEM education, computer-integrated system, educational analytics.*

**Асманкіна Анастасія Анатоліївна** – асистент кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.

ORCID [0000-0002-1484-6037](https://orcid.org/0000-0002-1484-6037)

**Сотнікова Тетяна Генадіївна** – к.т.н., доц., кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління, Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.

ORCID:[0000-0001-6929-7672](https://orcid.org/0000-0001-6929-7672)

Дата першого надходження статті 10.02.2026.

Дата прийняття статті до друку після рецензування 25.03.2026.

Дата публікації 11.05.2026.



Стаття з відкритим доступом,  
відповідно до умов ліцензії  
[Creative Commons \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)