

Ревенок Віктор Іванович кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біологічної фізики, медичної апаратури та інформатики, Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова, м. Вінниця, <https://orcid.org/0000-0002-8239-6955>

Афанасюк Оксана Іванівна кандидат медичних наук, доцент, доцент закладу вищої освіти кафедри внутрішньої медицини №3, Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова, м. Вінниця, <https://orcid.org/0000-0001-7341-2899>

Кулик Ярослав Анатолійович кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, <https://orcid.org/0000-0001-8327-8259>

Добровольська Катерина В'ячеславівна кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри біологічної фізики, медичної апаратури та інформатики, Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова, м. Вінниця, <https://orcid.org/0000-0001-9517-1723>

ІНТЕРАКТИВНА ЦИФРОВА СИМУЛЯЦІЯ НЕВІДКЛАДНИХ СТАНІВ ЯК ІНСТРУМЕНТ ФОРМУВАННЯ КЛІНІЧНОГО МИСЛЕННЯ СТУДЕНТІВ-МЕДИКІВ

Анотація. У статті представлено розробку інтерактивної цифрової симуляційної системи невідкладних станів, спрямованої на формування клінічного мислення студентів медичних спеціальностей. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення якості практичної підготовки майбутніх лікарів в умовах обмеженого доступу до реальних клінічних випадків та зростання вимог до безпеки пацієнтів. Програмний комплекс реалізовано на базі середовища Unity із використанням модульної архітектури, що включає систему керування станами пацієнта, модель динаміки вітальних параметрів, механізм представлення лікарських засобів та алгоритм оцінювання дій користувача. Запропоновано математичну модель поступової зміни фізіологічних показників у часі та механізм суперпозиції фармакологічних ефектів, що забезпечує правдоподібність симуляції. Розроблений алгоритм оцінювання

ISSN 2786-6025 Online

враховує не лише факт виконання клінічної дії, але й її послідовність, своєчасність та відповідність поточному стану пацієнта, що унеможлиблює формальний набір балів через хаотичну взаємодію з інтерфейсом.

Результати функціонального тестування підтвердили стабільність роботи системи, коректність переходів між станами та освітню доцільність застосування цифрової симуляції як інструменту розвитку алгоритмічного клінічного мислення. Запропонований підхід може бути використаний у навчальному процесі закладів вищої медичної освіти та слугувати основою для подальшого розширення бібліотеки клінічних сценаріїв. Результати дослідження підтверджують потенціал системи як ефективного інструменту цифрової трансформації медичної освіти.

Ключові слова: клінічне мислення, симуляційне навчання, цифрова освітня технологія, віртуальний пацієнт, моделювання вітальних параметрів, алгоритмічне оцінювання, прийняття клінічних рішень, медична освіта, інтерактивна система.

Revenok Viktor Ivanovich Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biophysics, Informatics and medical equipment, National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya, <https://orcid.org/0000-0002-8239-6955>

Afanasiuk Oksana Ivanivna Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Higher Education Institution at the Department of Internal Medicine No. 3, National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya, <https://orcid.org/0000-0001-7341-2899>

Kulyk Yaroslav Anatoliyovych PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation and Intelligent Information Technologies, Vinnytsya National Technical University, Vinnytsya, <https://orcid.org/0000-0001-8327-8259>

Dobrovolska Kateryna Vyacheslavivna Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biophysics, Informatics and medical equipment, National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya, <https://orcid.org/0000-0001-9517-1723>

INTERACTIVE DIGITAL SIMULATION OF EMERGENCY CONDITIONS AS A TOOL FOR DEVELOPING CLINICAL REASONING IN MEDICAL STUDENTS

Abstract. The article presents the development of an interactive digital simulation system for emergency conditions aimed at fostering clinical reasoning in

medical students. The relevance of the study is determined by the need to improve the quality of practical training of future physicians under conditions of limited access to real clinical cases and increasing patient safety requirements.

The software system was implemented using the Unity environment with a modular architecture that includes a patient state management system, a model of vital signs dynamics, a mechanism for representing medications, and an algorithm for assessing user actions.

A mathematical model of gradual changes in physiological parameters over time and a mechanism of pharmacological effect superposition are proposed, ensuring the plausibility and consistency of the simulation. The developed assessment algorithm considers not only the fact of performing a clinical action but also its sequence, timeliness, and compliance with the current patient condition, preventing formal score accumulation through chaotic interaction with the interface.

The results of functional testing confirmed the stability of the system, the correctness of state transitions, and the educational feasibility of using digital simulation as a tool for developing structured and algorithmic clinical reasoning. The proposed approach can be applied in higher medical education institutions and may serve as a basis for expanding the library of clinical scenarios. The findings demonstrate the potential of the system as an effective instrument for the digital transformation of medical education.

Keywords: clinical reasoning, simulation-based learning, digital educational technology, virtual patient, computer modeling, algorithm-based assessment, clinical decision-making, medical education, interactive system.

Постановка проблеми. Сучасна медична освіта перебуває в умовах трансформації, зумовленої необхідністю підвищення якості практичної підготовки майбутніх лікарів та забезпечення безпечного середовища для формування клінічного мислення.

Обмежений доступ студентів до реальних клінічних випадків, зростання вимог до безпеки пацієнтів та потреба у стандартизованому оцінюванні прийняття рішень зумовлюють активний розвиток симуляційних технологій у медичній освіті.

Симуляційне навчання дозволяє моделювати клінічні ситуації різного рівня складності без ризику для пацієнта, створюючи умови для багаторазового відпрацювання навчальних алгоритмів та підвищення рівня компетентності студентів-медиків. У міжнародній практиці широко використовуються цифрові платформи віртуальних пацієнтів, що забезпечують інтерактивні сценарії та об'єктивне оцінювання клінічних рішень. Прикладами таких платформ є Body Interact та Oxford Medical Simulation, які описані в ряді рецензованих робіт як ефективні інструменти для розвитку клінічного мислення.

ISSN 2786-6025 Online

Однією з ключових проблем цифрових навчальних середовищ є формалізація клінічного мислення та створення механізму об'єктивного контролю прийняття рішень. Традиційні тестові методи оцінювання не відображають повною мірою логіку клінічного процесу, оскільки не враховують динамічний характер змін стану пацієнта та послідовність виконання дій. У цьому контексті особливого значення набуває розробка інтерактивних систем, що поєднують моделювання фізіологічних параметрів із алгоритмічним аналізом дій користувача.

Використання ігрових рушіїв для створення освітніх симуляцій відкриває додаткові можливості щодо реалізації динамічних сценаріїв, візуалізації станів пацієнта та програмної логіки переходів між ними. Зокрема, платформа Unity забезпечує гнучкість у реалізації інтерактивних інтерфейсів та моделюванні змін параметрів у реальному часі, що дозволяє створювати складні навчальні моделі без використання спеціалізованих комерційних симуляційних середовищ.

Таким чином, актуальною є розробка цифрової симуляційної системи, яка поєднує педагогічні принципи формування клінічного мислення з алгоритмічною моделлю оцінювання дій студента та механізмом динамічної зміни стану віртуального пацієнта.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній медичній освіті спостерігається активне впровадження цифрових технологій та симуляційних методів навчання, що спрямовані на формування практичних клінічних навичок майбутніх лікарів. Використання симуляційних систем дозволяє моделювати різноманітні клінічні ситуації без ризику для реального пацієнта та забезпечує безпечне середовище для відпрацювання професійних компетентностей.

Значний внесок у розвиток концепції симуляційного навчання зроблено в міжнародних дослідженнях. Зокрема, у роботі Issenberg та співавт. [1] проаналізовано ключові характеристики високоточних медичних симуляторів та доведено їхню ефективність у формуванні клінічних навичок. У дослідженні Gaba [2] розглянуто перспективи використання симуляційних технологій у системі охорони здоров'я та підкреслено їх важливу роль у підготовці медичних фахівців. Метаналіз Cook та співавт. [3] підтверджує, що застосування технологічно розширених симуляцій суттєво підвищує якість підготовки студентів медичних спеціальностей. Питання ефективності симуляційного навчання також досліджували McGaghie та співавт. [4], які довели, що навчання з використанням симуляції та цілеспрямованої практики демонструє значно кращі результати порівняно з традиційними методами клінічної підготовки. Подібні висновки наведено і в роботі Lateef [5], де симуляційне навчання розглядається як один із найбільш перспективних підходів до формування клінічного мислення та професійних навичок.

Дослідження Kovalyova [6] та Burchkov та співавт. [7] підкреслюють важливість інтеграції симуляційних технологій у систему безперервної медичної освіти та наголошують на необхідності створення сучасних цифрових навчальних платформ.

У вітчизняних дослідженнях також приділяється значна увага впровадженню симуляційних технологій у медичну освіту. Зокрема, у роботах [8–13] розглянуто досвід використання симуляційних методів навчання у підготовці студентів медичних спеціальностей, зокрема при вивченні внутрішньої медицини, хірургії та акушерства і гінекології. Автори відзначають, що використання симуляційних сценаріїв сприяє формуванню клінічного мислення, підвищує рівень засвоєння практичних навичок та покращує готовність студентів до професійної діяльності.

Окрему увагу в сучасних роботах приділено використанню інтелектуальних систем та автоматизованих підходів до генерації симуляційних сценаріїв. Так, у роботі Sumpter [14] розглянуто можливості використання сучасних інформаційних технологій для автоматизованого створення навчальних клінічних сценаріїв.

Незважаючи на значну кількість досліджень у цій галузі, питання формалізації алгоритму дій студента під час проходження симуляційного сценарію та розроблення математичних моделей об'єктивного оцінювання клінічних рішень залишаються недостатньо дослідженими. Зокрема, потребує подальшого розвитку підхід до оцінювання не лише кінцевого результату лікування, але й послідовності клінічного мислення студента.

У зв'язку з цим актуальним є розроблення моделей оцінювання, які враховують повноту виконання клінічного алгоритму, логічність прийняття рішень та ефективність запропонованого лікування у симуляційному середовищі.

Мета статті полягає в розробці та обґрунтуванні інтерактивної симуляційної системи навчання невідкладних станів, спрямованої на формуванні клінічного мислення студентів-медиків шляхом моделювання динамічних змін стану пацієнта та алгоритмічного оцінювання прийнятих рішень.

Виклад основного матеріалу. Сучасні симуляційні системи медичної підготовки часто відтворюють клінічні сценарії без достатнього рівня формалізації внутрішньої моделі стану пацієнта. Зміна вітальних показників нерідко має сценарний характер і не базується на узагальненій математичній моделі, що обмежує адаптивність системи та знижує об'єктивність оцінювання дій студента.

Для досягнення мети необхідно:

1. Побудувати концептуальну модель системи.
2. Розробити математичну модель динаміки вітальних параметрів.
3. Здійснити алгоритмічну реалізацію та формалізацію клінічних дій.

ISSN 2786-6025 Online

4. Визначити алгоритм оцінювання клінічних рішень.
5. Здійснити програмну реалізацію та провести експериментальну перевірку системи.

1. Концептуальна модель симуляційної системи

Інтерактивна система описується як множина взаємопов'язаних компонентів:

$$\text{System} = \{U, M, V, A, F\} \quad (1)$$

де

- U — користувач (студент);
- M — математична модель пацієнта;
- V — вектор вітальних параметрів;
- A — алгоритм оцінювання;
- F — механізм зворотного зв'язку.

Інтерфейс розробленої симуляційної системи (рис. 1) містить блок відображення вітальних показників, панель доступу до результатів лабораторних та інструментальних досліджень, меню вибору лікарських засобів і доз та інформаційне поле стану пацієнта.



Рис. 1. Інтерфейс розробленої симуляційної системи

Взаємодія відбувається через послідовність клінічних дій студента, які впливають на внутрішній стан моделі.

2. Математична модель динаміки стану пацієнта

Стан пацієнта в момент часу t описується вектором:

$$V(t) = (BP_{\text{sys}}(t), BP_{\text{dia}}(t), HR(t), P(t)) \quad (2)$$

де

BP_{sys} — систолічний артеріальний тиск,

BP_{dia} — діастолічний тиск,

HR — частота серцевих скорочень,

P — інтенсивність больового синдрому.

2.1. Базова динаміка патологічного процесу

За відсутності лікування:

$$dV(t) / dt = K_d \quad (3)$$

де

K_d — вектор коефіцієнтів прогресування.

У дискретній формі:

$$V_{t+1} = V_t + \Delta t \cdot K_d \quad (4)$$

2.2. Модель фармакологічного впливу

Фармакологічний ефект препарату:

$$E_i(t) = A_i(1 - e^{-k_i t}) \quad (5)$$

де

A_i — амплітуда впливу,

k_i — швидкість настання ефекту.

Суперпозиція ефектів:

$$V(t) = V_{\text{base}}(t) + \sum_{i=1}^n E_i(t) \quad (6)$$

2.3. Фізіологічні обмеження

$$V_{\text{min}} \leq V(t) \leq V_{\text{max}} \quad (7)$$

Це забезпечує клінічну достовірність моделі.

3. Алгоритмічна реалізація та формалізація клінічних дій

Алгоритм функціонування системи передбачає циклічне оновлення стану з дискретним кроком часу. На кожному кроці враховуються:

1. Базова динаміка патології.

ISSN 2786-6025 Online

2. Активні фармакологічні ефекти.
3. Перевірка фізіологічних меж.
4. Оновлення інтерфейсу.

3.1. Формалізація обов'язкових клінічних етапів

Для відповідності клінічним протоколам визначено множину обов'язкових дій:

$$C = \{I_q, I_d, D, T\} \quad (8)$$

де

I_q — проведення опитування пацієнта;

I_d — аналіз результатів лабораторних та інструментальних методів;

D — вибір препарату;

T — визначення дози та шляху введення.

Коректна клінічна послідовність:

$$I_q \rightarrow I_d \rightarrow D \rightarrow T \quad (9)$$

Порушення цієї логіки зменшує коефіцієнт логічності.

4. Алгоритм оцінювання клінічних рішень

Базова формула оцінювання:

$$S = \left(\sum_{j=1}^m B_j \right) \cdot L \cdot T \quad (10)$$

де

B_j — бали за правильні дії;

L — коефіцієнт логічності;

T — коефіцієнт своєчасності.

Коефіцієнт логічності:

$$L = \begin{cases} 1 \\ \alpha \\ \beta \end{cases} \quad 0 < \beta < \alpha < 1 \quad (11)$$

де

1 — усі етапи виконано правильно;

α — пропущений один етап;

β — порушено послідовність.

Індикатор повноти виконання:

$$F_c = N_{\text{completed}} / N_{\text{required}} \quad (12)$$

де

$N_{\text{completed}}$ — кількість обов'язкових клінічних дій, які студент фактично виконав під час проходження симуляційного сценарію;

N_{required} — загальна кількість обов'язкових клінічних дій, передбачених алгоритмом навчального сценарію.

Тоді узагальнена формула оцінювання клінічних рішень:

$$S = \left(\sum_{j=1}^m B_j \right) \cdot L \cdot T \cdot F_c \quad (13)$$

Коефіцієнт ефективності лікування:

$$\eta = (V_{\text{initial}} - V_{\text{final}}) / V_{\text{initial}} \quad (14)$$

де

V_{initial} — початкове значення показника стану пацієнта на момент початку симуляційного сценарію;

V_{final} — значення відповідного показника після завершення лікувальних дій студента.

5. Програмна реалізація

Прототип системи реалізовано в середовищі Unity. Архітектура складається з таких функціональних модулів:

- **Модуль моделювання стану пацієнта**

Відповідає за збереження та динамічну зміну вітальних параметрів (артеріальний тиск, частота серцевих скорочень, рівень болю тощо).

- **Модуль клінічних дій студента**

Реалізує механізм вибору дій (опитування, призначення лікарських засобів, вибір дозування, метод введення).

- **Модуль фармакологічної взаємодії**

Забезпечує програмну реалізацію впливу лікарських засобів на вітальні параметри з урахуванням дозування та способу введення.

- **Модуль алгоритмічного оцінювання**

Аналізує послідовність і логіку дій студента та формує підсумковий бал із урахуванням коректних і некоректних рішень.

• Інтерфейсний модуль (UI)

Забезпечує інтерактивну взаємодію користувача із системою та відображення змін стану пацієнта в режимі реального часу.

Дані про препарати структуровані у вигляді окремих об'єктів із параметрами впливу на відповідні компоненти вектора стану.

6. Експериментальна перевірка та аналіз результатів

Проведено тестування за трьома сценаріями:

1. Відсутність лікування — прогресивне погіршення.
2. Коректне та своєчасне лікування — стабілізація параметрів.
3. Порушення клінічного алгоритму — зниження підсумкової оцінки.

Отримані результати підтверджують, що запропонована модель:

- забезпечує причинно-наслідковий зв'язок;
- формалізує клінічне мислення;
- унеможлиблює хаотичне набрання балів;
- підвищує об'єктивність оцінювання.

Висновки. У роботі розглянуто підхід до побудови симуляційної навчальної системи для підтримки підготовки студентів медичних спеціальностей із використанням формалізованої моделі оцінювання клінічних рішень.

Запропоновано структуру симуляційного сценарію, яка передбачає послідовне виконання студентом ключових етапів клінічного алгоритму: проведення опитування пацієнта, аналіз результатів лабораторних та інструментальних досліджень, вибір лікарського препарату, а також визначення дози та шляху його введення. Така структура дозволяє наблизити процес навчання до реальної клінічної практики та формує у студентів навички системного прийняття медичних рішень.

Розроблено математичну модель оцінювання дій студента, що враховує коректність клінічних рішень, логічність послідовності дій, повноту виконання обов'язкових етапів та ефективність призначеного лікування. Запропонований підхід дозволяє кількісно оцінювати процес проходження симуляційного сценарію та мінімізувати суб'єктивність оцінювання.

Запровадження коефіцієнтів логічності та повноти клінічного обстеження дає можливість оцінювати не лише кінцевий результат лікування, але й правильність клінічного мислення студента. Це підвищує педагогічну ефективність симуляційного навчання та сприяє формуванню практичних професійних компетентностей.

Отримані результати можуть бути використані під час розроблення навчальних симуляторів, систем дистанційного медичного навчання та цифрових освітніх платформ для підготовки майбутніх лікарів.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розширення бібліотеки клінічних сценаріїв, удосконалення моделей оцінювання складних клінічних ситуацій та інтеграцію симуляційної системи з електронними навчальними середовищами закладів вищої освіти.

Література:

1. Issenberg S. B. Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning / McGaghie W. C., Petrusa E. R., Gordon D. L., Scalese R. J. // *Medical Teacher*. – 2005. – Vol. 27. – No. 1. – pp. 10-28. DOI: 10.1080/01421590500046924 [in English].
2. Gaba D. M. The future vision of simulation in health care // *Quality and Safety in Health Care*. – 2004. – Vol. 13 (Suppl. 1). – pp. 2-10. DOI: 10.1136/qshc.2004.009878 [in English].
3. Cook D. A. Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis / Hatala R., Brydges R. et al. // *JAMA*. – 2011. – Vol. 306. – No. 9. – pp. 978-988. DOI: 10.1001/jama.2011.1234 [in English].
4. McGaghie W. C. Does simulation-based medical education with deliberate practice yield better results than traditional clinical education? / Issenberg S. B., Cohen E. R., Barsuk J. H., Wayne D. B. // *A meta-analytic comparative review of the evidence. Academic Medicine*. – 2011. – Vol. 86. – No. 6. – pp. 706-711 [in English].
5. Lateef F. Simulation-based learning: Just like the real thing // *Journal of Emergencies, Trauma and Shock*. – 2010. – Vol. 3. – No. 4. – pp. 348–352 [in English].
6. Kovalyova O. Implementation of simulation technologies in medical education // *Continuing Professional Education: Theory and Practice*. – 2019. – No. 1. – pp. 36-41[in English].
7. Bychkov O. S. Analysis of simulation training experience in forming readiness of future doctors for professional practice / Tsivenko O. I., Cherkova N. V., Dushyk L. M. // *Current Problems of Modern Medicine*. – 2022. – Vol. 9. – pp. 5-11[in English].
8. Гудима А. А. Досвід використання симуляційних методів навчання для здобувачів вищої освіти за спеціальностями «Медицина» і «Медсестринство» / Ляхович Р. М., Кіцак Я. М. // *Медична освіта*. – 2024. – №2. – С. 102-108.
9. Ханюков О. О. Імплементация симуляційного тренінгу надання невідкладної допомоги для студентів при вивченні внутрішньої медицини / Єгудіна Є. Д., Гетьман М. Г., Калашникова О. С. // *Медична освіта*. – 2019. – №1. – С. 45-50.
10. Фіра Д. Б. Симуляційне навчання студентів як метод формування професійних хірургічних навичок // *Медична освіта*. – 2017. – №4. – С. 95-99.
11. Моцюк Ю. Б. Використання симуляційних методів навчання у підготовці майбутніх лікарів / Остафійчук С. О., Басюга І. О. // *Медична освіта*. – 2023. – №3. – С. 75-80.
12. Кулик А. Перспективи впровадження і розвитку освітніх віртуальних лабораторій в Україні / Ревенок В., Нікольський О., Титарчук Є. // *Наука і техніка сьогодні*. – 2024. – №3(31). – С. 557-569. DOI: 10.52058/2786-6025-2024-3(31)-557-569
13. Кулик А. Розробка, впровадження і використання програм-симуляторів лабораторних робіт з медичної та біологічної фізики / Ревенок В., Нікольський О., Кулик Я. // *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. – 2024. – №1. – С. 165-172. DOI: 10.31649/1999-9941-2024-59-1-165-172
14. Sumpter S. Automated generation of high-quality medical simulation scenarios through integration of semi-structured data and large language models / arXiv preprint. – 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2404.19713> [in English].

References:

1. Issenberg S. B. Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning / McGaghie W. C., Petrusa E. R., Gordon D. L., Scalese R. J. // *Medical Teacher*. – 2005. – Vol. 27. – No. 1. – pp. 10-28. DOI: 10.1080/01421590500046924
2. Gaba D. M. The future vision of simulation in health care // *Quality and Safety in Health Care*. – 2004. – Vol. 13 (Suppl. 1). – pp. 2-10. DOI: 10.1136/qshc.2004.009878
3. Cook D. A. Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis / Hatala R., Brydges R. et al. // *JAMA*. – 2011. – Vol. 306. – No. 9. – pp. 978-988. DOI: 10.1001/jama.2011.1234
4. McGaghie W. C. Does simulation-based medical education with deliberate practice yield better results than traditional clinical education? / Issenberg S. B., Cohen E. R., Barsuk J. H., Wayne D. B. // *A meta-analytic comparative review of the evidence. Academic Medicine*. – 2011. – Vol. 86. – No. 6. – pp. 706-711.
5. Lateef F. Simulation-based learning: Just like the real thing // *Journal of Emergencies, Trauma and Shock*. – 2010. – Vol. 3. – No. 4. – pp. 348–352.
6. Kovalyova O. Implementation of simulation technologies in medical education // *Continuing Professional Education: Theory and Practice*. – 2019. – No. 1. – pp. 36-41.
7. Bychkov O. S. Analysis of simulation training experience in forming readiness of future doctors for professional practice / Tsivenko O. I., Cherkova N. V., Dushyk L. M. // *Current Problems of Modern Medicine*. – 2022. – Vol. 9. – pp. 5-11.
8. Hudyma, A. A., Liakhovych, R. M., Kitsak, Ya. M. (2024). Dosvid vykorystannia symuliatyinykh metodiv navchannia dlia zdobuvachiv vyshchoi osvity za spetsialnostiamy “Medytsyna” i “Medsestrynstvo” [Experience of using simulation training methods for higher education students in specialties “Medicine” and “Nursing”]. *Medychna osvita*, 2, 102–108
9. Khaniukov, O. O., Yehudina, Ye. D., Hetman, M. H., Kalashnykova, O. S. (2019). Implementatsiia symuliatyinoho treninhu nadannia nevidkladnoi dopomohy dlia studentiv pry vyvchenni vnutrishnoi medytsyny [Implementation of simulation training in emergency care for students studying internal medicine]. *Medychna osvita*, 1, 45–50 [in Ukrainian].
10. Fira, D. B. (2017). Symuliatyine navchannia studentiv yak metod formuvannia profesiinykh khirurhichnykh navychok [Simulation-based training as a method for developing professional surgical skills]. *Medychna osvita*, 4, 95–99 [in Ukrainian].
11. Motsiuk, Yu. B., Ostafichuk, S. O., Basiuha, I. O. (2023). Vykorystannia symuliatyinykh metodiv navchannia u pidhotovtsi maibutnykh likariv [Use of simulation training methods in the education of future physicians]. *Medychna osvita*, 3, 75–80 [in Ukrainian].
12. Kulyk, A., Revenok, V., Nikolskyi, O., Tytarchuk, Ye. (2024). Perspektyvy vprovadzhennia i rozvytku osvitnykh virtualnykh laboratorii v Ukraini [Prospects for the implementation and development of educational virtual laboratories in Ukraine]. *Nauka i tekhnika sohodni*, 3(31), 557–569. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-3\(31\)-557-569](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-3(31)-557-569) [in Ukrainian].
13. Kulyk, A., Revenok, V., Nikolskyi, O., Kulyk, Ya. (2024). Rozrobka, vprovadzhennia i vykorystannia prohram-symuliatoriv laboratornykh robit z medychnoi ta biolohichnoi fizyky [Development, implementation and use of simulator programs for laboratory works in medical and biological physics]. *Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia*, 1, 165–172. <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2024-59-1-165-172> [in Ukrainian].
14. Sumpter S. Automated generation of high-quality medical simulation scenarios through integration of semi-structured data and large language models / arXiv preprint. – 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2404.19713>

Дата першого надходження статті до видання: 10.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.03.2026