

УДК 004.738

А. Я. Кулик¹, В. І. Ревенок¹, Я. А. Кулик², О. І. Нікольський¹

РОЗРОБКА, ВПРОВАДЖЕННЯ І ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМ-СИМУЛЯТОРІВ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З МЕДИЧНОЇ ТА БІОЛОГІЧНОЇ ФІЗИКИ

¹ Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова, Вінниця² Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. В статті розглянута важливість симуляційної освіти, яка допомагає студентам-медикам набути реального досвіду та навичок, необхідних для подальшого професійного розвитку. Особлива увага приділена комп'ютерним симуляторам при проведенні практичних і лабораторних занять. Розроблено і використовується в навчальному процесі сім програм-симуляторів лабораторних робіт з дисципліни «Медична та біологічна фізика». В статті в якості прикладу представлена програма-симулятор лабораторної роботи «Вивчення в'язкості рідини». Проведено аналіз варіантів формування результатів експерименту програмою-симулятором проти вимірювання значень цих результатів безпосередньо на екрані комп'ютера. Запропоновано методику для визначення діапазону генератора випадкових чисел з метою формування індивідуальних результатів експерименту програмою-симулятором на основі обчислення довірчого інтервалу. Доведено, що мінімальне і максимальне значення для генератора випадкових чисел доцільно вибирати з довірчих інтервалів, імовірність яких вища 0,95.

Ключові слова: симулятори, програми-симулятори, медична освіта, біологічна фізика, медична фізика.

Abstract. The article considers the importance of simulation education, which helps medical students acquire real experience and skills necessary for further professional development. Special attention is paid to computer simulators during practical and laboratory classes. Seven simulator programs for laboratory work in the discipline "Medical and Biological Physics" have been developed and are used in the educational process. As an example, the article presents a program-simulator of laboratory work "Study of liquid viscosity". An analysis of the options for forming the results of the experiment using a simulator program versus measuring the values of these results directly on the computer screen was carried out. A technique for determining the range of the random number generator for the purpose of forming individual results of the experiment by the simulator program based on the calculation of the confidence interval is proposed. It has been proven that the minimum and maximum values for the random number generator should be chosen from confidence intervals, the probability of which is higher than 0.95.

Key words: simulators, simulator programs, medical education.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2024-59-1-165-172>.

Вступ

Для встановлення правильного діагнозу захворювання і вибору відповідного напрямку лікування необхідна наявність високотехнологічного обладнання і кваліфікованого медичного персоналу. В процесі навчання в медичних закладах освіти студенти опановують теоретичну базу і набувають певного практичного досвіду. Саме останнє поглиблює і розширює теоретичні знання та формує необхідні вміння та навички [1].

Однією з основних технологій практичної підготовки сучасних медичних фахівців є симуляційна освіта. Вона використовує модель професійної діяльності з метою надання можливості кожному студенту виконати професійну діяльність або її елемент відповідно до професійних стандартів та/або порядками (правилами) надання медичної допомоги [2, 3]. В якості симуляторів широко використовуються фантоми, муляжі, анатомічні моделі, тренажери, комп'ютеризовані манекени, система ситуаційних завдань та інші засоби навчання, які допомагають створити реалістичне середовище для навчання та тренування студентів в різних галузях знань. Ці симулятори і засоби навчання розширюють можливості традиційного класичного навчання, дозволяючи студентам активно займатися практичною діяльністю і відчувати себе частинами реального процесу.

Фантоми, анатомічні моделі та муляжі допомагають студентам медикам вивчати анатомію та виконувати різні медичні процедури на практиці без ризику для пацієнтів. Тренажери і комп'ютеризовані манекени відтворюють складні сценарії, допомагаючи підготувати фахівців для відповіді на випадкові ситуації, які можуть виникнути в реальному житті. Системи ситуаційних завдань навчають студентів приймати рішення в стресових ситуаціях та адаптуватися до нових обставин.

З використанням віртуальної реальності та розширеної реальності студенти можуть зануритися в імітовані середовища для навчання та віртуальних тренувань, що робить навчання більш захоплюючим та практичним. Моделюючі програми допомагають майбутнім фахівцям випробовувати нові рішення та ідеї без супутнього ризику для пацієнта.

Загалом, симулятори та інші засоби навчання створюють можливості для більш інтерактивного, практичного та ефективного освітнього процесу, допомагаючи студентам набути реального досвіду та навичок, необхідних для подальшого професійного розвитку [4].

Особливо спочатку в період пандемії, а потім повномасштабної війни, коли значна доля аудиторних занять перейшла в режим дистанційного навчання, подальший розвиток отримала комп'ютерна симуляція. Наявність ноутбука або монітора і комп'ютера з клавіатурою і мишею дозволяє працювати з моделями реальних процесів, віртуальними пацієнтами, тренажерами віртуальної реальності, зокрема, з ефектом присутності. Однак, слід зазначити, що симуляційні технології мають ширше використання на старших курсах медичних навчальних закладів. На молодших курсах, де викладають дисципліни теоретичного профілю, в основному обмежуються класичними прийомами – використання лабораторних макетів, наочних зразків і т. п. В умовах дистанційного навчання лекції, семінари, практичні та лабораторні заняття проводяться з використанням відомих сервісів, таких як MS Teams, Google Meet, Zoom інших хмарних сервісів [5, 6]. А знання оцінюються за допомогою сформованих текстових завдань, тестів. Стоєвню підготовки і проведення лекцій, семінарів і певних видів практичних занять, дані платформи мають в наявності необхідні інструменти: відео конференції, блокнот, чат та інші. Щодо практичних робіт з проведенням експерименту в середовищі MS Teams, Google Meet, Zoom можна застосовувати презентації або відео, де представлені прилади та інші технічні засоби, і демонстрацію їх роботи як в статичній, так і динамічній. Результатом виконання експерименту є таблиця з даними, яка передається студентам для подальшого опрацювання і формування висновків. Студенти, на жаль, за таких умов, не мають можливості безпосередньо приймати участь у проведенні експериментів і виступають у ролі спостерігачів.

Серед відомих програм симуляторів, зокрема з фізики, слід зазначити PhET - це понад 60 відкритих інтерактивних моделювань природничих і математичних концепцій, створене Університетом Колорадо в Боулдері [7]. Студенти можуть запускати симуляції, маніпулюючи різними аспектами даних, щоб зрозуміти природу того чи іншого явища. В Україні даний проект з успіхом використовують на уроках фізики, хімії в загальноосвітніх школах. У вищих навчальних закладах PhET є менш поширеним скоріше по причині вивчення не стільки суті явищ, скільки застосування їх у практичному аспекті.

Також відомі безкоштовні інтерактивні ресурси, STEM-заходи, де представлені наочні симулятори, відеофільми, текстова інформація. LabXchange – онлайн-платформа для наукової освіти від Гарвардського університету, яка включає розділи з фізики, математики і біології [8], Concord Consortium - онлайн-платформа для освіти з фізики, хімії, математики, науки про життя, Землю і космос [9], Merlot (hub) [10] - база даних від медичного інституту Говарда Хьюза, яка включає симуляції з фізики, хімії, біології, сільськогосподарства, інформатики, інженерії, астрономії, математики та статистики.

Віртуальні лабораторні симуляційні кейси від Labster нагадують справжню лабораторію [11]. За допомогою мишки студент переміщується у віртуальній лабораторії та проводить лабораторні дослідження. Віртуальний лаборант або лабораторний майданчик дає поради на цьому шляху. Віртуальні експерименти перериваються питаннями з декількома варіантами відповідей, на які необхідно правильно відповісти, перш ніж приступити до них. При цьому студент заробляє бали за правильні відповіді на запитання. Викладач може слідкувати за індивідуальними відповідями студентів, а також за тим, чи пройшли вони всі етапи симуляції. Під час віртуальних експериментів з'являються анімації хімічних або молекулярних процесів. Проведені дослідження [12] довели, що використання віртуальних лабораторних симуляцій сприяє підвищенню дослідницької активності студентів і мотивації, а також є ефективним доповненням до традиційної навчальної діяльності.

Мета

Розробка програм симуляторів лабораторних робіт з дисципліни «Медична та біологічна фізика».

Результати роботи

Симулятори реалізують завдання у відповідності до лабораторного практикуму з медичної та біологічної фізики [13]. Алгоритм виконання практичної роботи з показаний на рис.1.

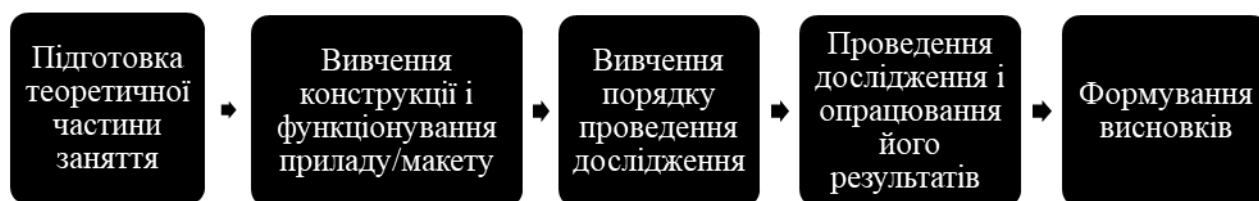


Рисунок 1 – Алгоритм виконання практичної роботи з дисципліни «Медична та біологічна фізика»

Враховуючи, що використання симуляторів передбачає застосування інтернет-браузерів, для розробки була обрана мова розмітки гіпертексту html, каскадні таблиці стилів css і мова програмування JavaScript. В цілому розроблено і використовується в навчальному процесі сім програм-симуляторів лабораторних робіт з дисципліни «Медична та біологічна фізика» [14-19].

В якості прикладу розглянемо виконання лабораторної роботи «Вивчення в'язкості рідини» з дисципліни «Медична та біологічна фізика» з використанням програми симулятора.

Відповідно до методичних вказівок з лабораторного практикуму [13] і алгоритму представленому на рис. 1, студентам пропонується вивчити теоретичний матеріал з методів вимірювання коефіцієнта динамічної в'язкості рідини, а також ознайомитись з конструкцією і принципом роботи віскозиметра Оствальда. Ознайомитися з будовою віскозиметра Оствальда можливо (рис 2), натиснувши кнопку «Довідка» на основному екрані симулятора безпосередньо після його завантаження (рис 3).

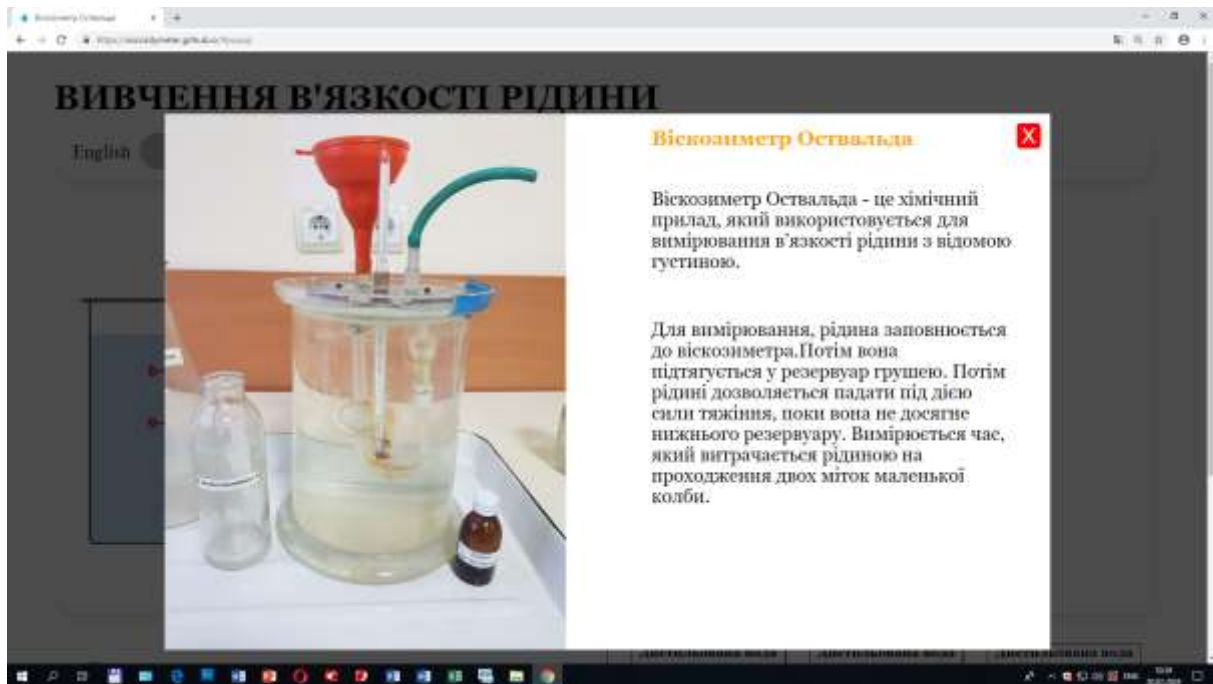


Рисунок 2 – Інтерфейс довідки програми-симулятора віскозиметра Оствальда

Далі симулятор відповідно до порядку виконання роботи [13] реалізує наступні завдання.

ЗАВДАННЯ 1. ВИМІРЮВАННЯ ЧАСУ ВИТІКАННЯ РІДИН ЧЕРЕЗ КАПІЛЯР ВІСКОЗИМЕТРА.

1.1. На основному екрані симулятора (рис. 3) вибрати в якості досліджуваної рідини дистильовану воду при температурі 24°C і підтвердити вибір, натиснувши кнопку «Підтвердити».

1.2. Залити дистильовану воду в віскозиметр, натиснувши кнопку «Залити рідину».

1.3. Підтягнути рідину гумовою грушею вище мітки 8, використавши кнопку «Підтягнути рідину».

1.4. Виміряти час τ_0 витікання дистильованої води через капіляр між мітками 8 і 9, натиснувши кнопку «Почати експеримент». Провести 5 таких вимірів і результати автоматично будуть занесені в таблицю.

1.5. Завершити експеримент з дистильованою водою, натиснувши кнопку «Злити воду».

1.6. Вибрати досліджувану рідину дистильована вода зі спиртом при температурі 24°C і натиснути кнопку «Підтвердити».

1.7. Провести 5 вимірювань часу τ_{x1} витікання досліджуваної рідини при температурі $t_1=24^{\circ}\text{C}$ аналогічно пунктам 2.2 – 2.5. Результати автоматично будуть занесені в таблицю.

1.8. Значення ρ_0 , η_0 , ρ_x наведені в таблиці для температури $t_1=24^{\circ}\text{C}$.

ЗАВДАННЯ 2. ВІВЧЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА В'ЯЗКІСТЬ РІДИНИ.

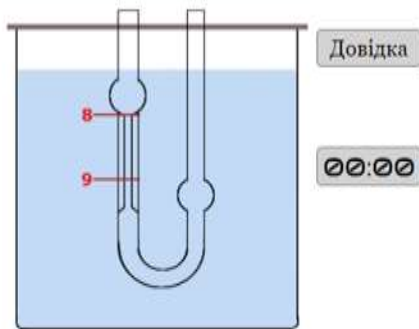
2.1. На основному екрані симулятора (рис. 3) вибрати в якості досліджуваної рідини дистильовану воду зі спиртом при температурі 32°C і натиснути кнопку «Підтвердити».

2.2. Провести 5 вимірювань часу τ_{x2} витікання досліджуваної рідини при температурі $t_2=32^{\circ}\text{C}$ аналогічно пунктам 1.2 – 1.5. Результати автоматично будуть занесені в таблицю.

Симулятор може бути встановлений на сервері, а студенти – виконувати роботу через інтернет-браузер.

ВИВЧЕННЯ В'ЯЗКОСТІ РІДИНИ

English Українська



Оберіть рідину та температуру

- Дистильована вода при $t = 24^{\circ}\text{C}$
- Дистильована вода + спирт при $t = 24^{\circ}\text{C}$
- Дистильована вода + спирт при $t = 32^{\circ}\text{C}$

Підтвердити

- Залити рідину
- Підтягнути рідину
- Почати експеримент
- Злити воду

№	Дистильована вода		Дистильована вода + спирт		Дистильована вода + спирт	
	$t_1 = 24^{\circ}\text{C}$		$t_1 = 24^{\circ}\text{C}$		$t_2 = 32^{\circ}\text{C}$	
	$\tau_0,$ с	$\tau_x,$ с	$\tau_0,$ с	$\tau_x,$ с	$\tau_0,$ с	$\tau_x,$ с
	$\rho_0 =$ 0,99733 кг/м ³	$\eta_0 =$ 0,00091 Н·с/м ²	$\rho_x =$ 0,80741 кг/м ³	$\eta_x =$? Н·с/м ²		

Рисунок 3 – Інтерфейс “Вивчення в’язкості рідини” програми-симулятора віскозиметра Оствальда

Таким чином, студенти після виконання лабораторної роботи на симуляторі отримають індивідуальні результати проведення експерименту.

При проектуванні симуляторів виникають різні питання як щодо методики проведення експерименту, так і програмно-технічної його реалізації. Результати експерименту можуть автоматично записуватись, наприклад, у таблицю, а можуть вимірюватись студентом з екрану. У вищенаведеному прикладі вбудований секундомір кожного разу автоматично вимірює час протікання досліджуваної рідини між мітками у віскозиметрі Оствальда і результат програмно записується в таблицю. Роль студента у даному випадку полягає у налаштуванні вхідних параметрів (вибір рідини, заливка її у віскозиметр, підтягуванні рідини вище відповідних міток і запуск експерименту). Результати експерименту студент візьме з таблиці для подальшого опрацювання. Другий варіант, який передбачає самостійне вимірювання результатів експерименту з екрану, є більш наближеним до реальності в плані залучення студента до виконання лабораторної роботи. Для наведеної вище роботи студент має самостійно вимірювати час протікання рідини між мітками 8 і 9. Але, з іншої сторони, існує велика ймовірність фальсифікації або використання результатів, отриманих іншими студентами. Тому формування результатів експерименту програмою є більш прийнятним варіантом. Крім того, результат обробки експериментальних даних в цьому випадку може бути перевірений програмою-симулятором і відповідно оцінений. В табл. 1 наведена порівняльна характеристика варіантів отримання даних під час проведення експерименту.

Використання програм-симуляторів передбачає індивідуальне виконання лабораторних робіт студентами, а, відповідно, формування індивідуальних результатів експериментів. Для цього на основі реально проведеного експерименту генератору випадкових чисел програмно задається діапазон зміни вихідних даних – мінімальне і максимальне значення. Виходячи з концепції загального підходу обробки даних і статистичного аналізу у випадку експериментального дизайну [20], слід врахувати мінімальне і максимальне значення, які вже отримали.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика варіантів отримання даних під час проведення експерименту

Варіант отримання експериментальних даних	Наближеність до реальних умов проведення експерименту	Можливість підміни результатів експерименту	Об'єктивність результатів обробки експериментальних даних
За допомогою програми-симулятора	ні	ні	так
Візуально з екрану комп'ютера	так	так	ні – у випадку підміни експериментальних даних

Нехай в результаті експерименту є 5 значень: 6,5, 7,0, 7,5, 6,0, 6,2. Мінімальне значення 6,0. Вибираємо мінімальне значення як 6,0 або трохи менше, наприклад, 5,5, щоб врахувати можливу варіацію. Максимальне значення 7,5. Вибираємо максимальне значення як 7,5 або трохи більше, наприклад, 8,0, щоб врахувати можливу варіацію. Отже, якщо вибрати мінімальне значення 5,5 і максимальне значення 8,0, то можна використовувати генератор випадкових чисел для отримання нових випадкових значень у межах цього діапазону.

Ще один спосіб, який можна використати для визначення діапазону генератора випадкових чисел – це обчислення інтервалу довіри. Інтервал довіри або довірчий інтервал можна розглядати як інтервал значень випадкової величини, що є сумісними з даними дослідів і не суперечать їм. У межах довірчого інтервалу з заданою довірчою імовірністю можна отримати значення шуканої випадкової величини [21]. Для вищенаведених результатів експерименту у випадку нормального закону їх розподілу і кількості випробувань n менше 30 (випадок малої вибірки) знайдемо наступні показники [22]:

- середнє значення вибірки: $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 6,6$
- стандартне відхилення вибірки: $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0,6$
- стандартну помилку середнього: $SE = \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,3$
- табличні значення t-розподілу для імовірностей 0,95, 0,98, 0,99, 0,999 і $n=5$: $t_{0,95}=2,8$, $t_{0,98}=3,7$, $t_{0,99}=4,6$, $t_{0,999}=8,6$
- похибку для імовірностей 0,95, 0,98, 0,99, 0,999 : $\delta_{0,95} = t_{0,95} \cdot SE = 0,8$,
 $\delta_{0,98} = t_{0,98} \cdot SE = 1,0$, $\delta_{0,99} = t_{0,99} \cdot SE = 1,2$, $\delta_{0,999} = t_{0,999} \cdot SE = 2,3$
- довірчий інтервал для імовірностей 0,95, 0,98, 0,99, 0,999:
 $\bar{x} \pm \delta_{0,95} = 6,6 \pm 0,8$, $\bar{x} \pm \delta_{0,98} = 6,6 \pm 1,0$, $\bar{x} \pm \delta_{0,99} = 6,6 \pm 1,2$,
 $\bar{x} \pm \delta_{0,999} = 6,6 \pm 2,3$.

І нарешті ми можемо визначити межі інтервалів довіри для різних імовірностей (табл. 2).

Таблиця 2 – Межі інтервалів довіри для різних значень імовірностей

Імовірність	Мінімальне значення	Мінімальне значення
0,95	5,9	7,4
0,98	5,6	7,6
0,99	5,4	7,8
0,999	4,3	8,9

Порівнюючи розкид даних експерименту (6,5, 7,0, 7,5, 6,0, 6,2) з граничними значеннями довірчих інтервалів для різних імовірностей, можна констатувати, що довірчі інтервали з імовірністю вище 0,95 повністю охоплюють експериментальні дані. Таким чином, мінімальне і максимальне значення для генератора випадкових чисел доцільно вибрати з довірчих інтервалів імовірності яких вища 0,95.

Висновки

1. В дослідженні зазначено важливість сучасної комп'ютерної симуляційної освіти для практичної підготовки медичних фахівців не тільки на старших, але й на молодших курсах.
2. Особливу актуальність програми-симулятори набувають під час вимушеної дистанційної освіти, спровокованою пандемією і широкомасштабною війною.
3. В статті наведений приклад роботи програми-симулятора з дисципліни «Медична і біологічна фізика». Проведено аналіз варіантів формування результатів експерименту програмою-симулятором проти вимірювання значень цих результатів безпосередньо на екрані комп'ютера. Встановлена суттєва перевага першого варіанту.
4. Запропоновано методику для визначення діапазону генератора випадкових чисел з метою формування індивідуальних результатів експерименту програмою-симулятором на основі обчислення довірчого інтервалу. Доведено, що мінімальне і максимальне значення для генератора випадкових чисел доцільно вибирати з довірчих інтервалів, імовірність яких вища 0,95.

Список літератури

- [1] Sellberg C., Lindmark O., Rystedt H. "Learning to navigate: the centrality of instructions and assessments for developing students' professional competencies in simulator-based training", *WMU J Marit Affairs*, no 17, pp. 249-265, 2018.
- [2] Ольга Ковальова "Впровадження симуляційних технологій навчання в медичну освіту", *Неперервна професійна освіта: теорія і практика (серія: педагогічні науки)*, випуск 1(58), с. 36-41, 2019. doi:10.28925/1609-8595.2019.1.3641.
- [3] So H.Y., Chen P.P., Wong G.K., Chan T.T. "Simulation in medical education", *JR Coll Physicians Edinb.*, no 49, pp. 52-57, 2019.
- [4] Elshama S.S. "How to apply Simulation-Based Learning in Medical Education?" *Iberoamerican Journal of Medicine*, no 2, pp. 79-86, 2020.
- [5] Іванькова Н. А. "Модель педагогічної системи електронного дистанційного навчання на базі хмарних сервісів", *Медична освіта*, N 3, с. 34-42, 2020. doi: 10.11603/me.2414-5998.2020.3.11439.
- [6] Кириленко В. І., Чалюк Ю. О. "Оцінка готовності країн до дистанційного навчання", *Приазовський економічний вісник*, випуск 1(30), с. 24-33, 2022. doi:10.32840/2522-4263/2022-1-4.
- [7] Interactive Simulations for Science and Math. [Online]. Available: <https://phet.colorado.edu/>. Accessed on: February 17, 2024.
- [8] Dive into a world of interactive learning. [Online]. Available: <https://www.labxchange.org/>. Accessed on: February 17, 2024.
- [9] Interactive STEM activities, free for your classroom. [Online]. Available: <https://learn.concord.org/>. Accessed on: February 17, 2024.
- [10] SmartSearch. [Online]. Available: <https://www.merlot.org/merlot/index.htm>. Accessed on: February 17, 2024.
- [11] Inspire Students with Immersive STEM Learning. [Online]. Available: <https://www.labster.com/>. Accessed on: February 17, 2024.
- [12] Lisbeth Elvira de Vries, Michael May "Virtual laboratory simulation in the education of laboratory technicians—motivation and study intensity", *Biochemistry and Molecular Biology Education*, Volume 47, Issue 3, pp. 213-362, 2019. doi:10.1002/bmb.21221.
- [13] А.У. Кулик, N.S. Nazarenko, P.P. Kovalchuk, V.I. Revenok, K.V. Dobrovolskaya Laboratory workshop on medical and biological physics, Vinnytsya: VNMU the name of M. I. Pyrogo, 2019, 146 p.
- [14] Кулик А.Я., Ревенко В.І., Кулик Я.А., Нікольський О.І., Добровольська К.В. Комп'ютерна програма «Вивчення радіоактивного випромінювання за допомогою радіометра», свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір 108095 Україна, 21.09.21.
- [15] Кулик А.Я., Ревенко В.І., Кулик Я.А., Нікольський О.І., Побережняк О.Р., Добровольська К.В. Комп'ютерна програма «Вивчення в'язкості рідини», свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір 113407 Україна, 22.06.22.
- [16] Кулик А.Я., Ревенко В.І., Кулик Я.А., Нікольський О.І., Якимчук М.М., Добровольська К.В. Комп'ютерна програма «Вивчення закономірностей гемодинаміки на фізичній моделі», свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір 114579 Україна, 01.09.22.
- [17] Кулик А.Я., Ревенко В.І., Кулик Я.А., Нікольський О.І., Подолянин В.І., Добровольська К.В. Комп'ютерна програма «Дослідження спектрів випромінювання з допомогою спектроскопа», свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір 114580 Україна, 01.09.22.

- [18] Кулик А.Я., Ревенок В.І., Кулик Я.А., Нікольський О.І., Салецький О.В., Добровольська К.В. Комп'ютерна програма «Вивчення поверхневого натягу рідини», свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір 114578 Україна, 01.09.22.
- [19] Кулик А.Я., Назаренко Н.С., Ревенок В.І., Добровольська К.В. Комп'ютерна програма «Collection tasks and questions on medical and biological physics», свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір 117804 Україна, 04.04.23.
- [20] John A. Rice *Mathematical Statistics and Data Analysis*, Third Edition, Duxbury, an imprint of Thomson Brooks/Cole, a part of The Thomson Corporation, 2007, 685 p.
- [21] Сеньо П. С. *Теорія ймовірностей та математична статистика* : підручник, Київ : Знання, 2007, 556 с.
- [22] Robert S. Witte, John S. Witte *Statistics*, 11th Edition, Wiley, 2017, 486 p.

Стаття надійшла: 20.03.2024

References

- [1] Sellberg C., Lindmark O., Rystedt H. "Learning to navigate: the centrality of instructions and assessments for developing students' professional competencies in simulator-based training", *WMU J Marit Affairs*. no 17, pp. 249-265, 2018.
- [2] Olha Kovalova "Vprovadzhennia symuliatyinykh tekhnolohii navchannia v medychnu osvitu", *Neperervna profesiina osvita: teoriia i praktyka (seriia: pedahohichni nauky)*, vypusk 1(58), s.36-41, 2019. doi:10.28925/1609-8595.2019.1.3641 [in Ukrainian].
- [3] So H.Y., Chen P.P., Wong G.K., Chan T.T. "Simulation in medical education", *JR Coll Physicians Edinb.*, no 49, pp. 52-57, 2019.
- [4] Elshama S.S. "How to apply Simulation-Based Learning in Medical Education?" *Iberoamerican Journal of Medicine*, no 2, pp. 79-86, 2020.
- [5] Ivankova N. A. "Model pedahohichnoi systemy elektronnoho dystantsiinoho navchannia na bazi khmarnykh servisiv", *Medychna osvita*, N 3, s. 34-42, 2020. doi: 10.11603/me.2414-5998.2020.3.11439 [in Ukrainian].
- [6] Kyrylenko V. I., Chaliuk Yu. O. "Otsinka hotovnosti krain do dystantsiinoho navchannia", *Pryazovskyi ekonomichniy visnyk*, vypusk 1(30), s. 24-33, 2022. doi:10.32840/2522-4263/2022-1-4 [in Ukrainian].
- [7] Interactive Simulations for Science and Math. [Online]. Available: <https://phet.colorado.edu/>. Accessed on: February 17, 2024.
- [8] Dive into a world of interactive learning. [Online]. Available: <https://www.labxchange.org/>. Accessed on: February 17, 2024.
- [9] Interactive STEM activities, free for your classroom. [Online]. Available: <https://learn.concord.org/>. Accessed on: February 17, 2024.
- [10] SmartSearch. [Online]. Available: <https://www.merlot.org/merlot/index.htm>. Accessed on: February 17, 2024.
- [11] Inspire Students with Immersive STEM Learning. [Online]. Available: <https://www.labster.com/>. Accessed on: February 17, 2024.
- [12] Lisbeth Elvira de Vries, Michael May "Virtual laboratory simulation in the education of laboratory technicians—motivation and study intensity", *Biochemistry and Molecular Biology Education*, Volume 47, Issue 3, pp. 213-362, 2019. doi:10.1002/bmb.21221.
- [13] A.Y. Kulik, N.S. Nazarenko, P.P. Kovalchuk, V.I. Revenok, K.V. Dobrovolskaya *Laboratory workshop on medical and biological physics*, Vinnytsya: VNMU the name of M. I. Pyrogorova, 2019, 146 p.
- [14] Kulyk A.Y., Revenok V.I., Kulyk Y.A., Nikolskyi O.I., Dobrovolska K.V. *Kompiuterna prohrama «Vyvchennia radioaktyvnoho vyrominiuvannia za dopomohoiu radiometra»*, cvidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir 108095 Ukraina, 21.09.21[in Ukrainian].
- [15] Kulyk A.Y., Revenok V.I., Kulyk Y.A., Nikolskyi O.I., Poberezhniak O.R., Dobrovolska K.V. *Kompiuterna prohrama «Vyvchennia viazkosti ridyny»*, svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir 113407 Ukraina, 22.06.22 [in Ukrainian].
- [16] Kulyk A.Y., Revenok V.I., Kulyk Y.A., Nikolskyi O.I., Yakymchuk M.M., Dobrovolska K.V. *Kompiuterna prohrama «Vyvchennia zakonomirnostei hemodynamiky na fizychnii modeli»*, cvidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir 114579 Ukraina, 01.09.22 [in Ukrainian].
- [17] Kulyk A.Y., Revenok V.I., Kulyk Y.A., Nikolskyi O.I., Podolianyn V.I., Dobrovolska K.V. *Kompiuterna prohrama «Doslidzhennia spektriv vyrominiuvannia z dopomohoiu spektroskopu»*, cvidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir 114580 Ukraina, 01.09.22 [in Ukrainian].
- [18] Kulyk A.Y., Revenok V.I., Kulyk Y.A., Nikolskyi O.I., Saletskyi O.V., Dobrovolska K.V. *Kompiuterna prohrama «Vyvchennia poverkhnevoho natiahu ridyny»*, cvidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir 114578 Ukraina, 01.09.22 [in Ukrainian].

- [19] Kulyk A.Y., Nazarenko N.S., Revenok V.I., Dobrovolska K.V. Kompiuterna prohrama «Collection tasks and questions on medical and biological physics», cvidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir 117804 Ukraina, 04.04.23 [in Ukrainian].
- [20] John A. Rice Mathematical Statistics and Data Analysis, Third Edition, Duxbury, an imprint of Thomson Brooks/Cole, a part of The Thomson Corporation, 2007, 685 p.
- [21] Seno P. S. Teoriia ymovirnostei ta matematychna statystyka : pidruchnyk, Kyiv : Znan-nia, 2007, 556 c [in Ukrainian].
- [22] Robert S. Witte, John S. Witte Statistics, 11th Edition, Wiley, 2017, 486 p.

Відомості про авторів

Кулик Анатолій Ярославович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біологічної фізики, медичної апаратури та інформатики ВНМУ ім. М.І. Пирогова

Ревенок Віктор Іванович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біологічної фізики, медичної апаратури та інформатики ВНМУ ім. М.І. Пирогова

Кулик Ярослав Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій ВНТУ

Нікольський Олександр Іванович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біологічної фізики, медичної апаратури та інформатики ВНМУ ім. М.І. Пирогова

Kulyk Anatoly – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automation and Intelligent Information Technology, Vinnytsia National Technical University, head of the Department of Biophysics, Informatics and medical equipment, National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya

Revenok Viktor – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biophysics, Informatics and medical equipment, National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya

Kulyk Yaroslav – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of of Automation and Intelligent Information Technologies, Vinnytsia National Technical University

Nikolskyy Oleksandr – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biophysics, Informatics and medical equipment, National Pirogov Memorial Medical University

A.Y. Kulyk¹, V.I. Revenok¹, Y.A. Kulyk², O.I. Nikolskyy¹

DEVELOPMENT, IMPLEMENTATION AND USE OF SIMULATOR PROGRAMS FOR LABORATORY WORK IN MEDICAL AND BIOLOGICAL PHYSICS

¹National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya

²Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya