

**Пащенко Ю.П.**, к.б.н., доцент, **Колесніков М.О.**, к.с.-г.н., доцент,  
**Іванова І.Є.**, д.т.н., доцент  
Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного

## **ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ СИМУЛЯЦІЙ ПРИ ВИКЛАДАННІ ГЕНЕТИКИ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

***Анотація.** У статті розглянуто роль та види цифрових симуляцій, які призначені для використання в процесі викладання генетики. Проаналізовано дидактичний потенціал та особливості застосування онлайн-симуляцій для візуалізації складних генетичних процесів, зокрема мейозу, кросинговеру, незалежного комбінування ознак і молекулярних механізмів спадковості та мінливості. Наведена характеристика найбільш популярних онлайн-симуляцій, віртуальних лабораторій, та обґрунтовано доцільність використання їх у лекційних, практичних та самостійному видах роботи студентів. Визначено вплив використання цифрових симуляцій на підвищення ефективності освітнього процесу та формування професійних компетентностей майбутніх фахівців.*

***Ключові слова:** генетика, цифрові симуляції, віртуальні лабораторії, методи навчання, ефективність освітнього процесу, формування компетентностей.*

**Постановка проблеми.** Сучасний етап розвитку освіти характеризується активною цифровізацією освітнього процесу та необхідністю впровадження інноваційних педагогічних технологій. Генетика як фундаментальна біологічна дисципліна містить значну кількість абстрактних понять і складних процесів, що відбуваються на клітинному та молекулярному рівнях, які є недоступними для безпосереднього спостереження. Це зумовлює труднощі у засвоєнні навчального матеріалу здобувачами вищої освіти [1].

Традиційні методи навчання не завжди забезпечують достатній рівень наочності та інтерактивності, що негативно впливає на формування глибокого розуміння генетичних процесів та закономірностей. Тому, впровадження цифрових симуляцій, як ефективного засобу візуалізації, та моделювання генетичних процесів є досить актуальним та доречним. Наразі особливо це стало важливим для закладів освіти, які перейшли на

дистанційний формат навчання, оскільки освітній процес на сьогоднішній день знаходиться у стані інформатизації [2].

У галузі біологічної та генетичної освіти особливу увагу слід приділяти використанню комп'ютерного моделювання для демонстрації процесів реплікації ДНК, транскрипції, трансляції, а також закономірностей спадковості. Водночас питання методики інтеграції цифрових симуляцій у підготовку майбутніх фахівців потребує подальшого дослідження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема використання цифрових симуляцій у викладанні генетики привертає значну увагу сучасних науковців у галузі педагогіки та біологічної освіти. Дослідження свідчать про зростання ролі інтерактивних технологій у формуванні глибокого розуміння складних біологічних процесів, зокрема тих, що відбуваються на клітинному та молекулярному рівнях.

Важливі аспекти застосування симуляцій у навчанні генетики розглядаються у дослідженні Gianotto D.E.P., де проаналізовано як переваги, так і труднощі використання цифрових моделей у навчальному процесі. Автори підкреслюють, що симуляції підвищують мотивацію студентів і сприяють активізації пізнавальної діяльності, однак потребують методично обґрунтованого впровадження [3]

У вітчизняних дослідженнях значний внесок у розробку цієї проблематики зроблено С. Скрипником [4], який обґрунтовує доцільність використання цифрових технологій у викладанні біологічних дисциплін, зокрема генетики, та підкреслює їх роль у підвищенні пізнавальної активності здобувачів освіти. Автор акцентує увагу на ефективності застосування віртуальних лабораторій, мультимедійних ресурсів і інтерактивних платформ у формуванні цілісного розуміння складних біологічних процесів.

Практичні аспекти використання цифрових технологій у навчанні біології в закладах загальної середньої освіти розглянуто у працях Г. Білецької, де доведено, що цифрові інструменти дозволяють ефективно моделювати біологічні процеси, які складно або неможливо відтворити в реальних умовах [5].

Важливим напрямом сучасних досліджень є застосування цифрових ігрових та симуляційних технологій. Так, Т. Бакка підкреслює, що використання гейміфікації та освітніх симуляцій сприяє підвищенню мотивації студентів, розвитку критичного мислення та формуванню професійних компетентностей [6]. У свою чергу, О. М. Спирін наголошує

на необхідності розвитку цифрової компетентності викладачів як ключової умови ефективного впровадження ІКТ у навчальний процес[7].

Окремий напрям досліджень пов'язаний із використанням віртуальних лабораторій. Так, у роботі L. Yu [8] та співавторів описано створення віртуальної лабораторії для дослідження генів, яка включає модулі експериментальної діяльності та оцінювання результатів, що сприяє підвищенню ефективності навчання. Аналогічно, G. Makransky [9] та ін. доводять, що використання симуляційного навчального середовища у медичній генетиці дозволяє поєднати теоретичні знання з практичними навичками.

У більш широкому контексті цифрових технологій у вищій освіті D. Vlachopoulos та A. Makri [10] встановили, що використання ігор і симуляцій позитивно впливає на когнітивні, поведінкові та мотиваційні результати навчання студентів. Крім того, дослідження A. Aumann, S. Schnebel, H. Weitzel [11] підкреслює важливість інтеграції технологічних, педагогічних і предметних знань (TPACK) для ефективного використання цифрових інструментів у викладанні біології.

Отже, аналіз українських і зарубіжних джерел свідчить про високий дидактичний потенціал цифрових симуляцій у викладанні генетики. Водночас потребує подальшого дослідження питання їх методично обґрунтованого впровадження у навчальний процес закладу вищої освіти.

**Формулювання цілей статті.** Метою дослідження є обґрунтування використання цифрових симуляцій для підвищення ефективності навчання при викладанні генетики та визначення їх ролі у формуванні професійних компетентностей майбутніх фахівців.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Генетика – одна із найцікавіших наук. Водночас донести суть генетичних процесів до здобувачів вищої освіти, особливо в умовах дистанційного навчання, вдається не завжди. Основною метою впровадження інноваційних технологій є передусім підвищення мотивації до вивчення генетики [12]. У більш конкретному вимірі ця мета полягає у підготовці конкурентоспроможного фахівця, для якого знання генетики становить фундаментальну складову професійної діяльності.

Цифрові симуляції є інтерактивними моделями, що дозволяють відтворювати біологічні процеси у динаміці та з високим рівнем наочності. Їх використання у викладанні генетики забезпечує візуалізацію складних процесів реплікації ДНК, транскрипції, трансляції, кросинговеру, а також закономірностей передачі спадкового матеріалу. З практичної точки зору важливим є можливість експериментування зі змінними параметрами –

частота рекомбінацій, типи схрещувань тощо. Така інтерактивна взаємодія студента з навчальним матеріалом викликає формування причинно-наслідкових зв'язків між генетичними явищами. Завдяки цьому студенти отримують змогу не лише спостерігати, а й активно моделювати генетичні процеси, що сприяє глибшому розумінню навчального матеріалу.

На лекціях цифрові симуляції доцільно застосовувати для демонстрації динаміки клітинних процесів, ілюстрації закономірностей спадковості, пояснення механізмів взаємодії генів. Використання симуляцій у поєднанні з поясненням викладача підвищує рівень сприйняття інформації та сприяє формуванню цілісної картини генетичних процесів.

На практичних заняттях симуляції виконують функцію інструменту активного навчання. Студентам можуть пропонуватися завдання, які передбачають як моделювання моногібридних і дигібридних схрещувань, аналіз результатів віртуальних експериментів, а також прогнозування генотипів і фенотипів нащадків. Такий підхід сприяє формуванню навичок розв'язування генетичних задач та розвитку аналітичного мислення.

Також цифрові симуляції є ефективним засобом організації самостійної роботи здобувачів вищої освіти, оскільки забезпечують індивідуалізацію навчання, можливість повторення матеріалу у зручному темпі та самоконтроль рівня засвоєння знань. Студенти можуть виконувати дослідницькі завдання, аналізуючи вплив різних чинників на перебіг генетичних процесів.

Проте ефективність використання цифрових симуляцій залежить від дотримання різних умов. Потрібно чітко визначити місце симуляції у структурі заняття. Обов'язково поєднувати цифрові симуляції з поясненням, дискусією, розв'язуванням проблемних і дослідницьких задач, забезпечувати технічну можливість їх використання.

Особливий підхід до лабораторних чи практичних робіт з генетики потрібен під час вивчення тих явищ, які потребують самостійної діяльності, але водночас не дозволяють проводити досліди достатньо швидко в лабораторних умовах. Це зумовлено швидкою зміною поколінь при схрещуваннях та збереженні даних по схрещуванню в обраній популяції. В такому випадку доцільно вдаватися до допоміжних інструментів, а саме – віртуальних симуляторів та інтерактивних online-лабораторних робіт [13].

У сучасній дидактиці генетики цифрові симуляції доцільно поділяти на такі групи:

- симуляції класичної (менделівської) генетики;
- симуляції молекулярних процесів (ДНК, мейоз);
- популяційно-генетичні симуляції;

- професійні наукові симуляційні середовища (R, Java, Python);
- ігрові та візуалізаційні середовища (edutainment).

*Classical Genetics Simulator (CGS)*. <https://cgslab.com/>.

Веб-симулятор лабораторії, призначений для моделювання схрещувань, аналізу генотипів і фенотипів. Є можливість створення у контрольованому середовищі власних популяцій (найчастіше на моделі плодової мушки *Drosophila melanogaster* або арабідопсису Таля *Arabidopsis thaliana* L. Heunh.) та проведення статистичного аналізу ( $\chi^2$ ). Це інструмент комп'ютерного моделювання, за допомогою якого можна вивчати швидше багато поколінь генетичного спадкування, ніж у випадку з живими організмами. При цьому організми не потрібно створювати чи знищувати. CGS простий у налаштуванні та використанні. Програма створює вихідні батьківські особини з невідомими генотипами, які студенти мають визначити через аналізуюче схрещування. Симулятор має можливість збирати великі масиви даних (сотні нащадків за секунду) для перевірки гіпотез за допомогою критерію Хі-квадрат. Після завершення роботи є можливість переглянути всі дані, зібрані для обраної популяції, побачити свою історію схрещувань та зведену інформацію. Використання цієї цифрової симуляції на практичних заняттях та під час самостійної роботи формує у здобувачів вищої освіти навички генетичного аналізу, допомагає у розумінні законів Менделя, зчепленого зі статтю успадкування, кросинговеру та генетичного картування.

*Virtual Genetics Lab (VGL)*. <https://vgl.umb.edu/>

Віртуальна генетична лабораторія (VGLII) – це відкрита навчальна симуляція трансмісійної генетики, яка максимально наближена до середовища перевірки гіпотез генетичних досліджень. Вона призначена для дослідження спадковості через експериментальні схрещування. Для того, щоб робота базувалася на логіці генетичного аналізу, а не на здатності студентів шукати готові відповіді в інтернеті, досліджувана істота є гіпотетичною, ознаки призначаються випадковим чином, а спосіб успадкування змінюється з кожним запуском програми. Ознаки можуть бути як аутосомними, так і зчепленими зі статтю (з самицями XX та самцями XY або з самцями ZZ та самицями ZW), а також просто домінантними або ко/неповністю домінантними. Форма ознаки, яка є домінантною, рецесивною або спостерігається у гетерозиготи, також буде визначатися випадковим чином. Викладач має можливість налаштувати програму таким чином, щоб обмежити діапазон можливостей, з якими можуть зіткнутися студенти. В ході практичної чи самостійної роботи студенти самостійно будують генетичні моделі та перевіряють їх, щоб

визначити механізм успадкування певної ознаки. Це сприяє розумінню студентами логіки генетичного аналізу

*ExploreLearning Gizmos (Genetics simulations).*

<https://gizmos.explorelearning.com/genetics-simulations>

Це інтерактивна онлайн-лабораторія, призначена для моделювання спадковості та побудови молекули ДНК, Цифрова симуляція дозволяє віртуально вирощувати рослини у змодельованому лабораторному середовищі, досліджувати їх життєві цикли та вплив абіотичних факторів. Запилюючи рослини можна спостерігати за ознаками рослин-нащадків. А для моделювання успадкування генів кольору стебла та листя для цих рослин використовується решітка Пеннета. Інтерактивне онлайн-розслідування є безкоштовним та без обмеження часу. Рекомендується для демонстрації на лекційних та практичних заняттях. Допомогає здобувачам освіти розвивати навички критичного мислення та опанувати практики сенсотворення за допомогою підготовлених розслідувань, що базуються на дослідженнях. Викладачам подобається за готовий дизайн та захопливі завдання, які роблять науку змістовною, вимірюваною та цікавою.

*Meiosis Virtual Lab (інтерактивні лабораторії).*

<https://xreadylab.com/simulations/meiosis/>

Віртуальна лабораторія з мейозу – це інтерактивний навчальний інструмент, що моделює процес поділу клітин для утворення гамет. Вона дозволяє візуалізувати фази мейозу I та II, вивчати кросинговер, розходження хромосом та різницю між мітозом і мейозом через 3D-анімацію. Це забезпечує студентам повне занурення у процес клітинного поділу. 3D/VL симуляція дозволяє поетапно дослідити процес мейозу та спостерігати у динаміці як клітини зменшують кількість хромосом вдвічі, щоб утворити гамети. Висока наочність інтерактивного VL-навчання сприяє розумінню генетичного значення цього типу поділу клітин. Рекомендується для демонстрації на лекційних заняттях.

*Genie (genetic drift simulation).* <https://cartwrig.ht/apps/genie/>

Браузерна симуляція розроблена для демонстрації генетичного дрейфу та потоку генів у скінченній популяції. Цифрова симуляція дає можливість спостерігати, як частоти алелів у популяції змінюються, оскільки кольори окремих клітин змінюються з часом. Є можливість штучно викликати мутацію, а також редагувати частоту мутацій, яка використовувалася під час симуляції. Основною перевагою є масштабованість процесів. Цей інструмент демонструє процеси еволюції популяцій у реальному часі. З однаковою ефективністю можна використовувати як на лекціях так і на практичних заняттях.

*PedigreeSim*. <https://github.com/PBR/pedigreeSim>

Це наукове програмне забезпечення, яке генерує імітовані дані генетичних маркерів особин у породистих популяціях. Основна мета – моделювання генотипів у родовах диплоїдних та тетраплоїдних видів. *PedigreeSim* може імітувати мейози з інтерференцією хіазми або без неї, а в тетраплоїдах – з двома бівалентами або одним квад্রивалентом на набір гомологічних хромосом. Також можна симулювати різні ймовірності переважного та випадкового спарювання хромосом, що дозволяє симулювати як амфідиплоїди, так і автотетраплоїди та проміжні форми. Особливо корисна ця програма при вивченні теми «Поліплоїдія». Крім проведення академічних занять можливо використовувати для наукових магістерських досліджень, адже вона дозволяє моделювати складні типи спадковості.

*GenomicSimulation (R-пакет)*.

<https://github.com/vllrs/genomicSimulation/>

Це швидкий R-пакет для стохастичного моделювання програм селекції, що ґрунтується на генетиці. Він призначений для моделювання спадкування геномів, кросинговеру та створення популяцій, оптимізуючи обчислення за рахунок використання C++. Пакет дозволяє ефективно моделювати складні схеми розведення та геномну селекцію. Ключовою особливістю його є висока продуктивність: C++ використовує для прискорення процесів моделювання, що важливо для великих геномів і популяцій. Дозволяє імітувати випадкові процеси у розведенні, такі як рекомбінація та сегрегація генів. Підтримує відстеження генетичного матеріалу через покоління – моделювання родовету. Доцільно використовувати для наукових магістерських досліджень, а саме для моделювання селекції культур.

*Geniverse (Genetics with Dragons)* <https://indiabioscience.org/education/geniverse-learn-and-teach-genetics-by-breeding-dragons>

Ігрова симуляція — це безкоштовна інтерактивна веб-гра, яка допомагає студентам опанувати генетику, спадковість та молекулярну біологію шляхом розведення віртуальних драконів. Вона використовує точне генетичне моделювання на основі реальних організмів, таких як миші та плодові мушки, що включає п'ять рівнів, які охоплюють менделівську генетику, передачу спадкового матеріалу та полігенне успадкування, а також синтез білка. *Geniverse* дозволяє вивчати генетику за допомогою віртуального розведення драконів. Й, хоча суб'єктами дослідження є дракони, моделі успадкування базуються на генетиці реального світу. Можна дослідити менделівські ознаки, створити гамети за допомогою

мейозу та використовувати аналізуюче схрещування для визначення невідомих генотипів. Гра поєднує генотип з фенотипом та синтез білка, ілюструючи, як зміни генів призводять до варіацій ознак. Вона розроблена як альтернативна навчальна програма тривалістю від 3 до 6 тижнів. Програма сприяє покращенню розуміння складних генетичних механізмів через середовище, орієнтоване на розповідь, де студенти працюють як науковці, щоб зрозуміти генетичні захворювання, сприяє підвищенню мотивації здобувачів вищої освіти. Проведення віртуальних експериментів з «драконами» рекомендується для самостійної роботи студентів та змішаного навчання.

Використання цифрових симуляцій сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти професійних (розуміння генетичних процесів, здатність застосовувати знання у селекції та біотехнології), інформаційно-цифрових (робота з цифровими ресурсами, аналіз даних), дослідницьких (планування та інтерпретація експериментів) компетентностей та критичного мислення (оцінка результатів моделювання).

**Висновки.** Отже, використання цифрових симуляцій у викладанні генетичних процесів є ефективним інструментом підвищення якості навчання у закладах вищої освіти. Вони забезпечують наочність, інтерактивність та можливість моделювання складних біологічних явищ, що сприяє глибшому засвоєнню навчального матеріалу.

Інтеграція цифрових симуляцій у навчальний процес дозволяє оптимізувати викладання генетики, підвищити рівень сформованості професійних компетентностей студентів та адаптувати освітній процес до сучасних вимог цифрового суспільства.

Проаналізувавши цифрові симуляції, що використовуються в процесі навчання генетики, нами зроблено рекомендації:

- для лекційних занять найбільш ефективними є: *Meiosis Virtual Lab* (мейоз, ДНК) та *Genie* (динамічні процеси);
- для практичних занять доцільно використовувати: *CGS*, *Gizmos* та *Virtual Genetics Lab*;
- для самостійної роботи студентів оптимальні: *Geniverse*, *CGS* та *VGL*;
- для підготовки магістрів і науковців краще використовувати: *PedigreeSim* та *genomicSimulation*.

## Література

1. Гедзур Т.І., Вакерич М.М., Колесник А.В. Методологічні підходи до викладання генетики в закладах вищої освіти України. *Наукові інновації*

та передові технології. 2024. №2(30). С. 1054–1065. doi.org/10.52058/2786-5274-2024-2(30)-1054-1065.

2. Бесеганич І.В., Колесник А.В., Куш Ю.І. Аналіз дієвості інноваційних освітніх платформ у процесі фахової підготовки біологів у закладах вищої освіти України. *Академічні візії*. 2023. №19. С. 19–28. doi.org/10.5281/zenodo.7875352.

3. Gianotto D.E.P., Diniz R.E.S. Pre service education of biology teachers: the computer-mediated collaborative methodology and learning for teaching. *Ciência & Educação*. 2010. V. 16. №3. P. 631–648.

4. Скрипник С. Особливості використання цифрових технологій у вивченні біологічних дисциплін (загальна біологія, цитологія, генетика, біологія індивідуального розвитку). *Психолого-педагогічні проблеми сучасної школи*. 2025. №1(13). С. 76–85. doi:10.31499/2706-6258.1(13).2025.330212

5. Використання цифрових технологій на уроках біології та основ здоров'я / Білецька Г., Єфремова О., Матейюк О., Дячук А. *Збірник наукових праць НАДПСУ*. Серія: педагогічні науки. 2021. №4(27). С. 16–35.

6. Бакка Т. Цифрові ігрові технології в педагогічній освіті: міжнародні підходи та тенденції. *Наукові записки*. Серія: педагогічні науки. 2025. Вип. 221. С. 505–509. doi:10.36550/2415-7988-2025-1-221-505-509.

7. Спирін О.М. Цифровізація освіти, освітнього процесу. *Енциклопедія освіти / Нац. акад. пед. наук України*. 2-ге вид., доп. та перероб. Київ : Юрінком Інтер, 2021. С. 1099–1100.

8. A review on virtual reality skill training applications / В. Xie, Н. Liu, R. Alghofaili et al. *Frontiers in Virtual Reality*. 2021. №2. P. 645153.

9. Makransky G., Petersen G.B. The cognitive affective model of immersive learning (CAMIL): A theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. *Educational psychology review*. 2021. №33(3). P. 937–958.

10. Vlachopoulos D., Makri A. Quality teaching in online higher education: The perspectives of 250 online tutors on technology and pedagogy. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*. 2021. V. 16(6). P. 40–56.

11. Aumann A., Schnebel S., Weitzel H. Teaching biology lessons using digital technology: A contextualized mixed-methods study on pre-service biology teachers' enacted TPACK. *Education Sciences*. 2024. V. 14(5). P. 538.

12. Кручак І.П. Традиційні та нетрадиційні методи формування мотивації навчальної діяльності з біології. URL : <https://vseosvita.ua/library/tradytsiini-tanetrydytsiini-metody-formuvannia-motyvatsii-navchalnoi-diialnosti-z-biolohii862485.html>

13. Пашченко Ю.П., Колесніков М.О. Використання інформаційно-комунікаційних технологій при викладанні хімії під час дистанційного навчання. *Удосконалення освітньо-виховного процесу в закладі вищої освіти: збірник науково-методичних праць / Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного. Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. Вип. 26. С. 294–307.*

**Pashchenko Yu., Kolesnikov M., Ivanova I. Use of digital simulations in teaching genetics in higher educational institutions**

*Summary.* The article considers the role and types of digital simulations intended for use in the process of teaching genetics. The didactic potential and features of the online simulations use for the visualization of complex genetic processes, in particular meiosis, crossover, independent combination of traits, and molecular mechanisms of heredity and variability are analyzed. The most popular online simulations, virtual laboratories, are characterized, and the feasibility of using them in lecture, practical, and independent types of work for students is substantiated. The impact of the use of digital simulations on increasing the efficiency of the educational process and the formation of professional competencies of future specialists is determined.

**Keywords:** genetics, digital simulations, virtual laboratories, teaching methods, effectiveness of the educational process, formation of competencies.

**УДК 378.147.88:631:001.891-057.85**

**Покопцева Л.А.,** к.с.-г.н., доцент, **Алексєєва О.М.,** к.с.-г.н., доцент,  
**Іванова І.Є.,** д.т.н., доцент, **Герасько Т.В.,** к.с.-г.н., доцент  
Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного

**НАУКОВО-ДОСЛІДНА ПРАКТИКА ЯК ВАЖЛИВИЙ ОСВІТНІЙ  
КОМПОНЕНТ У ПІДГОТОВЦІ МАГІСТРІВ  
СПЕЦІАЛЬНОСТІ Н1 «АГРОНОМІЯ»**

*Анотація.* У статті проаналізовано роль та зміст науково-дослідної (виробничої) практики як ключового елемента підготовки магістрів агрономії. Визначено основні компетентності та етапи формування практичних навичок у здобувачів. Особливу увагу приділено сучасним