

## ІМЕРСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ І ЗАСОБИ НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ШКІЛЬНОГО НАВЧАЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ В УМОВАХ ЗМІШАНОГО НАВЧАННЯ

### IMMERSIVE TECHNOLOGIES AND LEARNING TOOLS FOR CONDUCTING A SCHOOL EDUCATIONAL EXPERIMENT IN THE CONDITIONS OF BLENDED LEARNING

У статті розглянуто можливості використання цифрових освітніх ресурсів і засобів навчання у процесі підготовки та виконання лабораторних робіт з фізики в умовах змішаної форми здобуття освіти у закладах загальної середньої освіти. Наразі, внаслідок військової агресії РФ проти нашої країни, загострилася проблема забезпечення доступу до освіти її здобувачам, порушення безперервності освітнього процесу. Освітній процес відбувається з використанням усіх доступних форм: онлайн, офлайн, у змішаному форматі. Змішаний формат можна реалізувати як через поєднання очної форми з дистанційною так і через поєднання різних форматів навчання в межах одного класу. Можна поєднати самостійне навчання та роботу в класі або змішуючи основний навчальний контент (підручники, навчальні матеріали, засоби навчання для натурального експерименту) з електронними ресурсами, віртуальними лабораторіями, інтерактивними моделями. Існує необхідність підготовки викладачів й учнів до діяльності в цих умовах. Для дисциплін природничо-математичного циклу залишається вимога проведення демонстраційного навчального експерименту, лабораторних й практичних робіт, виконання навчальних проєктів. У викладачів та учнів з'являється можливість використовувати віртуальні лабораторії та симулятори для вивчення навколишнього світу, формування вмінь та відпрацювання навичок, а також, автоматизованого оцінювання. Застосування їх в освітньому процесі відкриває можливості вирішення таких дидактичних завдань, як диференціація навчання, організація самостійної діяльності, організація спільної діяльності учнів у групах. Об'єкти доповненої й віртуальної реальності можуть бути використані як засіб формування в учнів уявлень про експериментальний метод пізнання явищ природи і відпрацювання ними окремих експериментальних умінь у процесі підготовки та виконання лабораторних робіт з фізики в умовах змішаної форми здобуття освіти у закладах загальної середньої освіти.

**Ключові слова:** імерсивні технології, засоби навчання, віртуальні лабораторії, симулятори, змішане навчання, доповнена реальність, віртуальна реальність, фізичний експеримент.

The article examines the possibilities of using digital educational resources and learning tools in the process of preparing and performing laboratory work in physics in the conditions of a mixed form of education in institutions of general secondary education.

Currently, as a result of the military aggression of the Russian Federation against our country, the problem of ensuring access to education for its students, violation of the continuity of the educational process, has worsened. The educational process takes place using all available forms: online (in territories close to the sites of hostilities), offline (in territories remote from the sites of hostilities), in a blended format. The blended format can be implemented both through a combination of full-time and distance learning, and through a combination of different learning formats within one class. It is possible to combine independent learning and work in the classroom or by mixing the main educational content (textbooks, teaching materials, teaching aids for a natural experiment) with electronic resources, virtual laboratories and interactive models. There is a need to prepare teachers and students for activities in these conditions. For the disciplines of the natural-mathematical cycle, there is still a requirement to conduct a demonstration educational experiment, laboratory and practical work, and the implementation of educational projects. Teachers and students have the opportunity to use virtual laboratories and simulators to study the surrounding world, develop skills and practice skills, as well as automated assessment. Their application in the educational process opens up the possibility of solving such didactic tasks as differentiation of learning, organization of independent activities, organization of joint activities of students in groups. Objects of augmented and virtual reality can be used as a means of forming students' ideas about the experimental method of learning about natural phenomena and practicing their individual experimental skills in the process of preparing and performing laboratory work in physics in the conditions of a mixed form of education in general secondary education institutions.

**Key words:** immersive technologies, learning tools, virtual laboratories, simulators, blended learning, augmented reality, virtual reality, physical experiment.

УДК 371.3:53:004.9

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-6085/2024/77.56>

Соколюк О.М.,

канд. пед. наук, с.н.с.,

вчений секретар

Інституту цифровізації освіти

Національної академії педагогічних

наук України

**Постановка проблеми.** Наприкінці 2023 року Європейська рада прийняла низку рекомендацій щодо сприяння подальшій цифровізації освіти та навчання, а також формування й розвитку цифрових навичок і компетенцій у сфері освіти [1], оскільки пандемія COVID-19 виявила певні недоліки та показала необхідність покращити цифрову готовність систем освіти з точки зору

трансформації, стійкості, доступності, якісного забезпечення та інклюзивності. Рекомендації містять вказівки як підготувати викладачів й учнів до творчого, безпечного та відповідального використання цифрових технологій. Серед іншого рекомендовано інтегрувати цифрові технології в навчання та надати вчителям можливість їх використовувати; підтримувати розвиток цифрових

освітніх інструментів, включаючи дослідження впливу штучного інтелекту; вживати заходів кібербезпеки в освіті та навчанні.

Також експерти визначають освіту сферою, у якій значно збільшиться використання імерсивних технологій [2].

Вітчизняна освіта зіштовхнулася з надзвичайними викликами через військову агресію РФ. Це призвело до порушення неперервності навчального процесу та виникнення проблем з доступністю освіти. Навчання було тимчасово призупинено для забезпечення учнів. Далі освітній процес продовжувався в онлайн форматі на територіях, близьких до військових дій, та офлайн форматі – у віддалених від них місцях, а також у змішаному форматі. Для природничо-математичних дисциплін і надалі діють вимоги щодо демонстраційних експериментів, лабораторних та практичних робіт, навчальних проєктів. Важливо, щоб учні мали можливість здійснювати навчальні експерименти, оскільки їх не можна повністю перенести до віртуального середовища. Дослідницька діяльність з вивчення природних явищ та процесів має трансформуватися і бути гібридною.

#### Аналіз наукових досліджень та публікацій.

Проблемам використання і впровадження імерсивних технологій в освіті присвячені роботи науковців зарубіжних країн (С.Е. Hughes, С.В. Stapleton, L. Morgado, Kim JL Nevelsteen, Jorge Vacca, Silvia Baldiris, Ramon Fabregat, Sabine Graf, та інші), а також вітчизняних дослідників (Боса В.П., Буров О.Ю., Ковальчук О.І., Крюкова Є.С., Литвинова С.Г., Пінчук О.П., та інші).

Аналіз наукових розвідок різних років [3; 4; 5] показав, що побудова моделі навчання, яка ґрунтується на ІКТ є найбільш вдалою в системі як середньої так і вищої освіти, а «модель змішаного або комбінованого навчання, насиченого засобами ІКТ є однією із фундаментальних моделей організації процесу навчання як в цілому так і зокрема предметному» [6, С. 167].

Одним із багатообіцяючих підходів, досліджених останнім часом, є потенціал інтеграції доповненої реальності (AR) та/або змішаної реальності (MR)

у середню освіту, як засобу, що робить предмети більш доступними та привабливими для учнів [7].

Серед досліджень вітчизняних фахівців варто відзначити роботу [8], у якій авторами здійснено аналіз практичного досвіду вітчизняних і зарубіжних вчених щодо використання VR і AR в освітньому процесі, викладено напрями практичного застосування технологій віртуальної і доповненої реальності. Аналізуючи відмінності VR/AR/MR, автори роблять висновок, що «саме технологію доповненої реальності можна вважати найбільш придатною для широкого застосування у шкільній освітянській практиці, з огляду на критерій доступності (користувачеві досить мати лише смартфон) та помірний вплив на сприйняття і психічні реакції дитини» [8, С. 46].

У дослідженні [9, С. 143] автори наголошують, що з погляду використання в навчальному процесі доповнена реальність виявляється кращим варіантом. Для цього досить мати мобільний пристрій з встановленим на ньому AR-додатком. Учень не відривається від фізичної реальності, не переходить повністю в цифровий простір, продовжує взаємодіяти з вчителем та іншими учнями. Для предметів природничо-математичного циклу важливим є створення зв'язку між теоретичним матеріалом і експериментом, що і забезпечують імерсивні технології.

**Мета статті.** Розглянути можливості використання цифрових освітніх ресурсів і засобів навчання у процесі підготовки та виконання лабораторних робіт з фізики в умовах змішаної форми здобуття освіти у ЗЗСО.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** За даними Державної служби якості освіти України суттєвих змін зазнали форми здобуття освіти. Якщо у 2021–2022 н.р. переважна більшість учнів в Україні (97,55%) здобувала середню освіту за очною формою, то внаслідок військової агресії та вимушеного переміщення українців як в межах країни, так і за кордон, частка учнів, які здобувають середню освіту очно, зменшилася до 77,36%. Водночас в умовах війни у 43 рази збільшилася кількість учнів/учениць, які здобувають освіту за дистанційною



Рис. 1. Розподіл форм організації освітнього процесу за регіонами й типом населеного пункту у 2022/2023 навчальному році [11, с. 13–14]

формою: з 17 669 (0,41%) до 772 909 (18,88%) учнів. З огляду на постійну загрозу безпеці учасників освітнього процесу, лише 15% закладів освіти у першому півріччі 2022/2023 н.р. працювали очно, 33% – дистанційно, 51% – змішано, поєднуючи очне та дистанційне навчання. Водночас організація освітнього процесу в різних регіонах України відрізняється. В східних регіонах переважна більшість закладів освіти працюють дистанційно, що зумовлено насамперед безпековою ситуацією. В південних також переважає дистанційне навчання, однак близько третини закладів у містах навчаються змішано (частково дистанційно, частково очно). В центральних та північних областях України переважає змішане навчання. На заході – переважно очне навчання [10].

Показники 2023/2024 н.р. мають відмінність від минулорічних.

Таблиця 1

### Форми здобуття освіти (порівняння за навчальними роками)

Форма здобуття освіти	2022–2023 н.р.	2023–2024 н.р.
Очна	15%	53%
Змішане навчання	51%	28%
Дистанційна	33%	19%

Формат дистанційної освіти був застосований ще під час пандемії COVID-19, та дистанційне навчання в умовах війни має свої особливості.

Недоліками дистанційного навчання, що впливають на його результати, педагоги назвали: брак живого спілкування; невміння дітей самостійно вчитися; брак повноцінних дистанційних курсів на платформах закладів освіти, самостійна робота учнів без належного педагогічного супроводу. За результатами дослідження якості організації освітнього процесу проведеного Державною службою якості освіти [11] найбільші освітні

втрати під час дистанційного навчання виявлено саме з природничих предметів, де вкрай важливим є проведення лабораторних та практичних робіт для формування дослідницької компетентності, навчання через дослідження. Лише 21% вчителів у містах та 19% у селах проводять практичні та лабораторні роботи. Можливостями симуляцій для моделювання дослідів користуються 16% вчителів у містах та 12% у селах. Наразі МОН України запроваджує нові вимоги до дистанційного навчання: у повністю дистанційних школах, у школах, які працюють очно / змішано, з потрібним обладнанням для якісної роботи онлайн. Зокрема, навчання має відбуватися синхронно з використанням цифрових інструментів.

Віддзеркалив стан вивчення природничих дисциплін, фізики зокрема, і національний мультипредметний тест (НМТ). У 2023 році тест із фізики було включено до додаткового блоку НМТ. Кількість зареєстрованих учасників – 5830, не з'явилося – 573 особи, анульовано 3 результати, не подолали поріг 218 учасників (<https://zno.testportal.com.ua/opendata>).

Аналіз статистичних результатів виконання сертифікаційної роботи показав, що більшість учасників / учасниць тестування демонструє «лише фрагментарні, неглибокі знання основних понять, законів, теорій, явищ і процесів, не має сформованих базових умінь і навичок із практичного застосування теорії» [13, С. 178–193].

З метою подолання зазначених недоліків заклади освіти, за можливості, перейшли на змішане навчання, оскільки воно «виявилось однією з найпопулярніших технологій сьогодення, тому що дозволяє скористатися гнучкістю і зручністю дистанційного курсу та перевагами традиційного класу» (рис. 3) [14, С. 54].

У загальному розумінні змішане навчання – це таке навчання, за якого частина пізнавальної діяльності учнів відбувається на уроці під безпосереднім керівництвом учителя, а інша – у самостійній роботі з електронними ресурсами.

Є кілька варіантів «змішування»: поєднання очної форми з дистанційною; поєднання різних форматів навчання в межах одного класу (основне очне навчання з використанням технологій дистанційного навчання та різних форм роботи з електронними ресурсами, онлайн-курсами тощо); поєднання самостійного навчання та роботи в класі; змішування основного навчального контенту (підручників та навчальних матеріалів) із зовнішніми матеріалами (електронними ресурсами) [10].

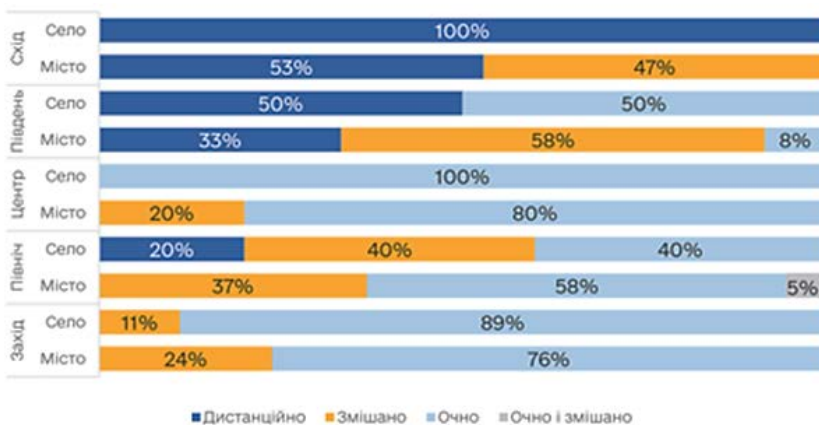


Рис. 2. Розподіл форм організації освітнього процесу за регіонами й типом населеного пункту у 2023/2024 навчальному році [12, с. 14]

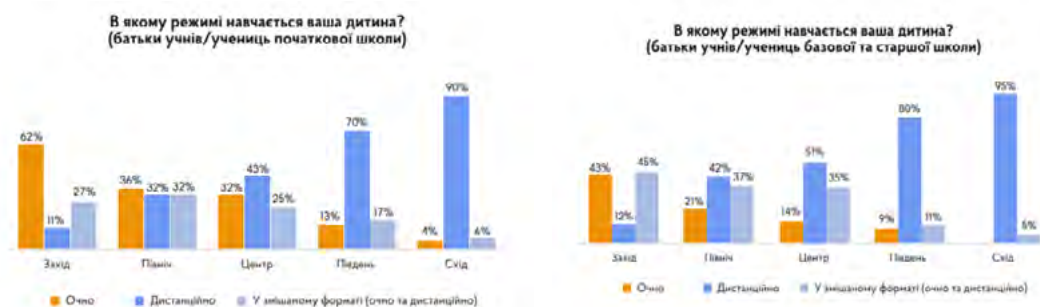


Рис. 4. Частка учнів початкової, базової та старшої школи, які навчаються у змішаному форматі (за регіонами)

Ознакою змішаного навчання є використання цифрових освітніх ресурсів, зокрема і для проведення шкільного навчального експерименту.

Для організації/супроводу/підтримки навчального експерименту вчителі-практики наразі активно застосовують засоби й інструменти з дидактичним потенціалом, для яких має бути сформований відповідний цифровий контент [15]: відеозаписи натурних експериментів (наукових, навчальних), природних явищ та результатів спостережень за природними процесами; дослідів (експериментів, спостережень), які неможливо виконати в умовах шкільної практики; інтерактивне відео натурного навчального експерименту з широким спектром прийомів організації його перегляду та контролю засвоєння змісту відеоматеріалу; віддалені лабораторії натурного експерименту із застосуванням сервісів Інтернету; віртуальні моделі фундаментальних наукових експериментів, які є недоступними для показу в умовах шкільного середовища; моделювання та візуалізація у віртуальному середовищі мікрооб'єктів та мікропроцесів, що досліджуються в експерименті; інтерактивні моделі навчального демонстраційного експерименту, реалізовані засобами сучасної комп'ютерної графіки.

Як видно з рис. 2–4, очна та змішана форми навчання переважають в центрі, на півночі й заході країни, а дистанційна форма домінує на сході та півдні.

Тож, в умовах здійснення освітнього процесу за різними формами здобуття освіти, для забезпечення виконання практичної частини навчальної програми з природничих дисциплін, фізики зокрема, варто використовувати й різні види навчального експерименту – натурний, віртуальний, імітаційний, добираючи при цьому відповідні засоби.

Розглянемо можливі варіанти проведення практичних робіт на прикладі лабораторної роботи з фізики у 8-му класі ЗЗСО.

В умовах здійснення освітнього процесу заочною та змішаною формами здобуття освіти, за умов наявності обладнання, можливе виконання лабораторної роботи «Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням провідників» у її «традиційному» вигляді: згідно інструкції діючого підручника (рис. 5), учні складають електричне коло, використовуючи обладнання, що входить до набору «Електрика» (рис. 6, а–б).

Виконання цієї ж роботи можливе з електронним додатком для вивчення природничих наук із використанням доповненої та віртуальної реальності BookVAR, розроблений в рамках проекту на замовлення МОН України КНП «Освітня Агенція м. Києва» спільно з FlexReality. Додаток являє собою унікальну можливість візуалізувати досліди з фізики під час навчання за програмою 8–11 класів.

Розглянемо додаток із використанням віртуальної реальності. На сьогодні основним пристроєм для роботи з додатком є шолом Oculus Quest та Oculus Quest 2. Працюючи з додатком, учні перебувають у віртуальній лабораторії, оскільки відеоряд відтворює весь простір приміщення і устаткувань; керування процесами відбувається за допомогою маніпуляторів, предмети з віртуальної реальності можна «брати в руки»; повторювати будь-який

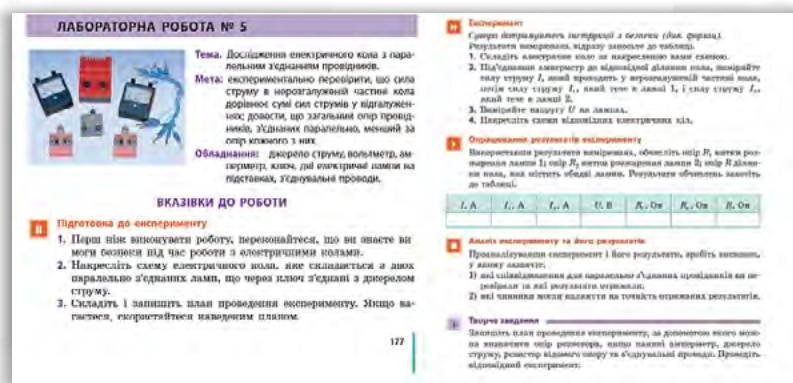


Рис. 5. Сторінки підручника «Фізика для 8 кл. закл. загал. сер. освіти /за ред. Бар'яхтара В. Г., Довгого С. О. 2-ге вид перероб. Х. : Вид-во «Ранок», 2021

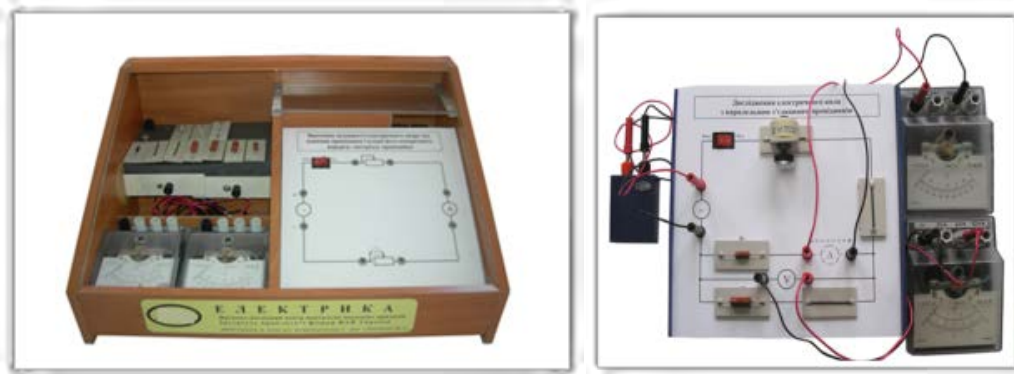


Рис. 6. а) набір «Електрика», б) проведення вимірювань

експеримент можна скільки завгодно разів; кожен експеримент має голосову українську озвучку й текстовий опис; під час експерименту учні отримують пояснення, що саме відбувається, для чого це потрібно, що це за явище тощо.

В умовах здійснення освітнього процесу заочною, змішаною й дистанційною формами здобуття освіти можна скористатися додатком для вивчення природничих наук із використанням доповненої BookVAR (рис. 8, а) розробленим для



Рис. 7. а) навчальна лабораторія для вивчення природничих предметів, «Фізика», із використанням віртуальної реальності, б) тривимірна інтерактивна модель, що може бути використана під час вивчення розділу «Електрика»

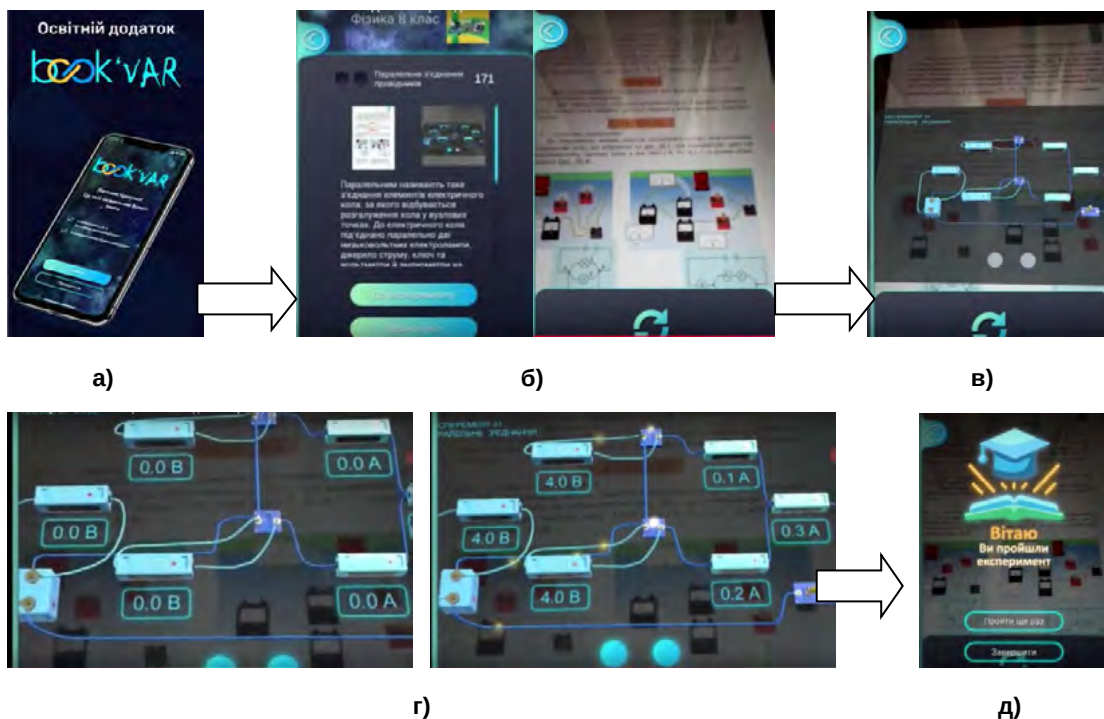


Рис. 8. Етапи роботи із застосунком BookVAR

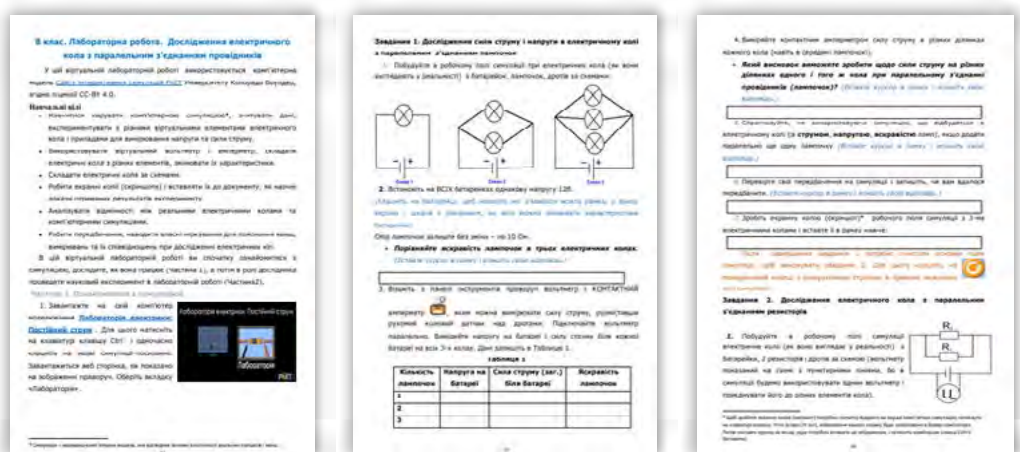


Рис. 9. Робочий лист лабораторної роботи «Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням провідників» [16]



Рис. 10. Ознайомлення з симуляцією. Підказки щодо управління симуляцією

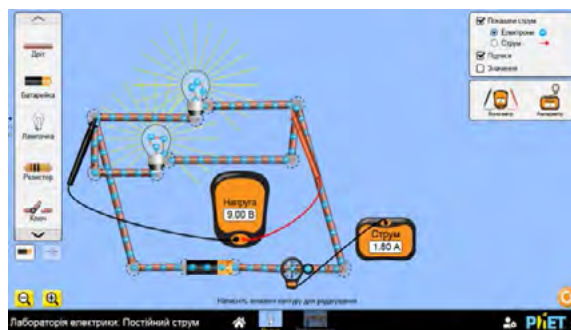


Рис. 11. Виконання лабораторної роботи

учнів середньої школи, який дозволяє відтворити тривимірні процеси, явища і експерименти з прив'язкою до сторінок підручника фізики.

Для перегляду експерименту потрібно: обрати в додатку предмет, клас та назву експерименту (або сторінку, яка його описує) (рис. 8, б); навести камеру на сторінку підручника й на екрані гаджета з'явиться повноцінне 3D-відтворення експерименту (рис. 8, в); виконання експерименту (можна обрати зі звуковим поясненням) (рис. 8, г); після виконання експерименту можна пройти з'явиться тест з перевірки засвоєння знань (рис. 8, д).

Віртуальні лабораторні роботи (ВЛР) з використанням інтерактивних комп'ютерних моделювань пропонуються до використання як під час дистанційної і змішаної форм навчання так і під час очної форми навчання учнів ЗЗСО [16]. За потреби, відповідно до освітніх цілей, учителі можуть використовувати їх повністю або частково. ВЛР не замінюють реальний фізичний експеримент, а є підтримкою/супроводом такого експерименту у випадках, коли реальні прилади і матеріали недоступні або шкідливі. Для учнів, що виявляють допитливість, зацікавленість фізикою, в більшості робіт передбачені додаткові завдання. Для підвищення мотивації та зацікавлення учнів

в онлайн-відео інтерактивних симуляціях передбачені елементи навчальної гри (рис. 9).

У кожній роботі зазначені «Навчальні цілі», містяться частини «Ознайомлення з симуляцією», «Підказки щодо управління симуляцією», частини «Виконання лабораторної роботи» з відповідними завданнями і «Додаткові завдання»

Після завершення своїх експериментів з опанування симуляцією потрібно очистити основне поле симуляції, щоб виконати лабораторну роботу (рис. 11).

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Цифрові технології швидко поширюються та оновлюються, відкриваючи необмежені можливості для доступу до цифрових інструментів, матеріалів та сервісів. Учні та педагоги можуть здійснювати освітню діяльність в інформаційному просторі з можливістю його спільного використання, само- і взаємоконтролем.

Технології віртуальної та доповненої реальності доповнюються технологіями штучного інтелекту, проте методичних розробок для їх використання в освіті все ще недостатньо.

Має бути вироблено новий клас методичних рішень, які будуть використовувати нові педагогічні можливості. Ці рішення спиратимуться

на самостійну роботу учнів та спільну роботу у малих групах. І те й інше вимагає і зміни ролі вчителя, і формування відповідних компетентностей учнів, і оновленої організації навчальної діяльності. Перехід до орієнтованої на результат персоналізованої організації освітнього процесу – одна з умов успішного використання педагогічного потенціалу імерсивних технологій та заснованих на їх використанні методичних рішень.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Council Recommendation on improving the provision of digital skills and competences in education and training (2023) URL: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-15740-2023-INIT/en/pdf> (Accessed: 20.10.2024)
2. 2022 XR Report (2022) URL: <https://perkinscoie.com/sites/default/files/202410/2022-XR-Report.pdf> (Accessed: 20.10.2024)
3. Бугайчук К. Л. Змішане навчання: теоретичний аналіз та стратегія впровадження в освітній процес вищих навчальних закладів. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2016. 4 (54), С. 1–18. doi: 10.33407/itft.v54i4.1434.
4. Кухаренко В. Системний підхід до змішаного навчання. *Журнал інформаційних технологій в освіті (ITE)*. 2015. 24, 053–067. <https://doi.org/10.14308/ite000553>
5. Рашевська Н. В. Мобільні інформаційно-комунікаційні технології навчання вищої математики студентів вищих технічних навчальних закладів : дис.... канд. пед. наук. : 13.00.10. Київ, 2011. 305 с.
6. Рашевська Н. В. Аналіз деяких систем та застосунків в моделі змішаного навчання в закладах середньої освіти. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2024. 1 (54). с. 167-172.) DOI: <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2024.54.167-172>
7. Jorge Vacca, Silvia Baldiris, Ramon Fabregat, Sabine Graf, & Kinshuk Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications. *Journal of Educational Technology & Society*. 2014. 17(4), 133–149. URL: <http://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.17.4.133> (Accessed: 20.10.2024)
8. Пінчук О.П., Лупаренко Л. А. Дидактичний потенціал використання цифрового контенту з доповненою реальністю. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2022. (63). С. 39–57. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/730418/> (Accessed: 22.10.2024)
9. Проєктування освітнього середовища з використанням засобів доповненої та віртуальної реальності в закладах загальної середньої освіти : колективна монографія / Литвинова С.Г. та ін.; за наук. ред. Литвинової С.Г. Київ: ІЦО НАПН України, 2023. 219 с.
10. Соколюк, О.М. Змішане навчання як можливість збереження безперервності освітнього процесу в умовах воєнного стану. *Цифрова трансформація науково-освітніх середовищ в умовах воєнного стану: збірник матеріалів*, 23 лютого 2024 р., м. Київ. 2024. ІЦО НАПН України, м. Київ, Україна. С. 144–146. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/741365/> (Accessed: 22.10.2024)
11. Результати дослідження якості організації освітнього процесу в умовах війни у 2022/2023 навчальному році. URL: <https://sqe.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/yakist-osvity-v-umovah-viyny-web-3.pdf>, 14-15 (Accessed: 22.10.2024)
12. Дослідження якості організації освітнього процесу в умовах війни у 2023/2024 навчальному році. URL: [https://sqe.gov.ua/wp-content/uploads/2024/05/Zvit\\_Osvita\\_pid\\_chas\\_viyini\\_2023\\_SQE-22.05.2024.pdf](https://sqe.gov.ua/wp-content/uploads/2024/05/Zvit_Osvita_pid_chas_viyini_2023_SQE-22.05.2024.pdf) (Accessed: 22.10.2024)
13. Офіційний звіт про результати НМТ у 2023 році. Том II. 308 с., С. 178–193. URL: [https://testportal.gov.ua/wp-content/uploads/2023/08/ZVIT-NMT\\_2023-Tom\\_2.pdf](https://testportal.gov.ua/wp-content/uploads/2023/08/ZVIT-NMT_2023-Tom_2.pdf) (Accessed: 20.10.2024)
14. Кухаренко В.М. та ін. Теорія та практика змішаного навчання : монографія / за ред. В.М. Кухаренка. Харків : «Міськдрук», НТУ «ХПІ», 2016. 284 с.
15. Соколюк, О.М. Включення до системи шкільного фізичного експерименту елементів віртуальної та доповненої реальності. *Цифрова трансформація освіти України в умовах воєнного стану* : збірник матеріалів, 24 лютого 2023 р., м. Київ. 2023. ІЦО НАПН України, м. Київ, Україна, С. 144–148. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/736472/> (Accessed: 20.10.2024)
16. Дементієвська Н.П., Соколюк О.М. Віртуальні лабораторні роботи фізики з використанням інтерактивних комп'ютерних моделювань : збірник навчальних матеріалів. Київ : ІЦО НАПН України, 2022. 157 с. С. 41–46. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/733495/> (Accessed: 20.10.2024)