

ВИКОРИСТАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЙ В ОСВІТІ

(аналітичний огляд)



Автор-упорядник:

Вараксіна Н. В., науковий співробітник сектору інформаційно-комунікаційних технологій і наукометрії відділу наукового інформаційно-аналітичного супроводу освіти ДНПБ України ім. В. О. Сухомлинського

Схарактеризовано один із перспективних напрямів застосування інформаційних технологій в освіті, зокрема розроблення віртуальних лабораторій, якими можна послуговуватися для забезпечення більш якісного рівня навчального матеріалу та з використанням яких можна зробити його більш насиченим, наочним, яскравим і доступним. Віртуальне навчальне середовище дає змогу моделювати поведінку об'єктів реального світу в комп'ютерному середовищі та сприяє оволодінню новими знаннями й вміннями на більш свідомому і глибокому рівні.

Проаналізовано підходи до тлумачення терміна «віртуальна лабораторія» та зроблено висновок про можливість її ефективного використання у закладах освіти й навчальних центрах різних організацій як засобу формування практичних навичок учнів і студентів під час викладання природничо-математичних дисциплін та для моделювання процесів в інформаційній та кібернетичній безпеці.

Констатовано, що питання віртуальних лабораторій досить широко висвітлюється й у зарубіжній пресі. Насамперед йдеться про проблеми впровадження віртуальної лабораторії для студентів медичних професій, таких як медсестри і спеціалісти з фізичних вправ, та роботи віртуальної освітньо-дослідницької лабораторії у ядерній сфері, зокрема розробки 3D-моделі реакторної установки TRIGA за допомогою моделей віртуальної реальності тощо.

Ключові слова: віртуальна лабораторія, віртуальне програмне середовище, інформаційно-комунікаційні, інтерактивні, мультимедійні технології, моделювання освітніх процесів, моделі віртуальної реальності.

Інформатизація освіти вплинула на традиційні підходи у навчанні, тому значну увагу дослідники почали приділяти інноваційним питанням впровадження інформаційно-комунікаційних та інтерактивних, мультимедійних технологій.

Особливо актуальним стає використання у закладах освіти (зокрема й загальних), спеціалізованих програмних засобів для проведення лабораторних і практичних робіт в умовах поширення пандемії COVID-19, впровадження дистанційного навчання.

Одним із таких перспективних напрямів застосування інформаційних технологій в освіті є розроблення віртуальних лабораторій. Віртуальна лабораторія як віртуальне навчальне середовище уможливорює моделювання поведінки об'єктів реального світу в комп'ютерному середовищі і сприяє оволодінню новими знаннями та вміннями. Така лабораторія може бути апаратом досліджень різних природних явищ з можливістю побудови їх математичних моделей.

Використання віртуальних лабораторій передбачає безпосередню участь в певному експерименті, що сприяє засвоєнню знань на більш свідомому та глибокому рівні. Завдяки програмному середовищу можна моделювати процеси, протікання яких принципово неможливо в лабораторних умовах, та створювати безпечні умови роботи з небезпечними речовинами чи приладами; економити час і ресурси та використовувати віртуальні лабораторії у дистанційному навчанні [12].

Є. Козловський і Г. Кравцов запропонували таке визначення поняття «віртуальна лабораторія»: «...це віртуальне програмне середовище, в якому організовано можливість дослідження поведінки моделей об'єктів, їх сукупностей і похідних, заданих з певною деталізацією щодо реальних об'єктів, у межах певної галузі знань» [6].

Найчастіше платформою для віртуальних лабораторій слугують інтернет-сайти, на сторінках яких подано тексти лабораторних робіт та їх медіа-супровід: http://www.virtulab.net/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=7&Itemid=102; http://www.youtube.com/watch?v=V06Mg0ER8_Q; <http://bookvit.ru/book/ychebniki/20773-laboratornyy-praktikum-biologiya-6-11-klass.html>.

Крім того, випускають спеціальні диски з педагогічними програмними засобами: «Віртуальна лабораторія «Біологія людини, 8–9 кл.» (ЗАТ «Транспортні системи»), «Віртуальна біологічна лабораторія, 10–11 кл.» (Компанія «СМІТ», м. Харків) тощо. У віртуальній лабораторії учні і студенти «занурюються» у віртуальне середовище та виконують операції, які максимально відповідають реальному, проте насправді вони працюють лише з їхнім електронним аналогом.

А. Юрченко та Ю. Хворостіна проаналізували підходи до тлумачення терміна «віртуальна лабораторія» і зробили висновок про необхідність використання віртуальної лабораторії вчителями природничо-математичних дисциплін. Авторами зазначено, що віртуальні лабораторні роботи можуть використовуватися як у навчальних закладах, так і в навчальних центрах різних організацій. Такі лабораторні роботи значно підвищують ефективність навчального процесу і можуть широко використовуватися у формуванні й вдосконаленні професійних навичок та інтуїції, а також розвивають творчі здібності учнів. У статті наведено приклад системи LabVIEW (Laboratory Virtual

Instrumentation Engineering Workbench) компанії National Instruments, на основі якої можна створювати вимірювальні комплекси й системи автоматизації керування з використанням віртуальних приладів [13].

Н. Грицай стверджує, що в навчанні студентів потрібно застосовувати мультимедійні технології, які допоможуть зробити навчальний матеріал більш насиченим, наочним, яскравим і доступним. Великі можливості для цього має навчальна дисципліна «Методика навчання біології» та інші дисципліни і спецкурси методичного спрямування. Автором з'ясовано сутність поняття «мультимедійні технології» та розкрито їх значення в навчально-виховному процесі. Проаналізовано можливості мультимедійних технологій у викладанні методики навчання біології та інших методичних дисциплін у вищому навчальному закладі, а також наведено приклади використання цих засобів у методичній підготовці майбутніх учителів біології, зокрема віртуальних лабораторій.

Важливим перспективним напрямом впровадження мультимедійних технологій в освіті є розроблення віртуальних світів та їх попередників. В умовах недостатнього матеріального забезпечення загальноосвітніх навчальних закладів для проведення лабораторних і практичних робіт рекомендують застосовувати віртуальні лабораторії [4].

О. Паніхідіна зазначила, що питання використання віртуальних лабораторій найбільш гостро стоїть у вищій освіті, де необхідно ширше застосовувати заняття з використанням електронних навчальних матеріалів, адже проведення практичних занять на основі віртуальної лабораторії сприяє активізації розумової та самостійної діяльності студентів. Виконання практичних завдань, у процесі яких студент набуває практичних навичок (готує пацієнта до обстеження, допомагає лікарю під час проведення медичних маніпуляцій тощо) і після яких здійснюється комп'ютерна перевірка відповіді, є типовим прикладом перспективного використання віртуальних інформаційно-освітніх лабораторій у комплексі з іншими засобами навчання.

Віртуальні лабораторії являють собою «порожній стіл», на якому студент за допомогою спеціальних інструментів може створювати умови проведення лабораторних та інструментальних досліджень, забезпечувати їх розташування, встановлювати зв'язки між об'єктами. Фактично віртуальні лабораторії уможливають створення на основі одного й того самого модуля різних інтерактивних моделей [11].

Дослідники акцентували увагу на тому, що питання кіберзахисту особливо гостро постало в Україні. Разом з тим наголошено на тому, що для розв'язання цієї проблеми потрібно розробити алгоритм формування фахових компетенцій майбутніх фахівців в інформаційній та кібернетичній безпеці. Авторами визначено поняття «віртуальна лабораторія» та її значення в навчальному процесі закладу вищої освіти. Обґрунтовано актуальність впровадження лабораторії для моделювання процесів в інформаційній галузі та кібербезпеці. Представлено віртуальну лабораторію «навчальний кіберполігон» Київського університету імені Бориса Грінченка та можливості її використання студентами в процесі

вивчення технологій в інформаційній та кібернетичній безпеці. У статті викладено результати дослідження, окреслено проблему впровадження віртуальних лабораторій у навчальний процес ЗВО [11].

Розвиваючи цю тему, О. Лемешко, О. Єременко, М. Євдокименко і Є. Кузьмініх зазначають, що в умовах дистанційного навчання студентів особливого значення набуває проблема організації практичних і лабораторних робіт, зокрема у сфері кібербезпеки. Головним чином це стосується технічних університетів, де навчання у звичайних умовах проводиться на реальному обладнанні та з використанням спеціалізованого програмного забезпечення. На думку авторів, в умовах глобальної пандемії та карантину дистанційне навчання для майбутніх працівників сфери кібербезпеки не повинно мати лише ознайомлювальний характер, тому в статті надано характеристику деяких існуючих віртуальних лабораторій кібербезпеки та представлено віртуальну лабораторію кібербезпеки (Cybersecurity Virtual Laboratory, CVLab) для дистанційного навчання, яка допоможе забезпечити постійне якісне навчання майбутніх фахівців у цій галузі [8].

Дослідники Є. Кухарчук та В. Копанєва констатували, що для бібліотек прискорення переходу досліджень у цифрове середовище є новим викликом. Вони сформуvalи концептуальну модель бібліотеки в середовищі цифрової науки та дослідили організаційно-методологічну складову проблематики формування колекцій первинних дослідницьких даних та створення віртуальної лабораторії, яка слугуватиме предметно-орієнтованим «робочим місцем вченого».

Зроблено висновок, що запропоновані організаційно-методичні принципи сприятимуть функціональній трансформації бібліотеки з інфраструктурного елемента науки в учасника дослідження.

Констатуючи поширеність віртуальних лабораторій у навчальних середовищах, слід водночас зазначити, що проблематика створення віртуальних лабораторій цифрової науки в Україні нині належно не опрацьована. Як виняток можна назвати розроблену в Українському мовно-інформаційному фонді НАН України віртуальну лексикографічну лабораторію «Словник української мови», орієнтовану на забезпечення процесу укладання словника української мови групою територіально розподілених лексикографів, у якій закладено можливість перепроєктування для будь-якої мови. На основі цієї віртуальної лексикографічної лабораторії реалізовано «Віртуальну термінографічну лабораторію з фізики», «Віртуальну термінографічну лабораторію з біології» та «Віртуальну лексикографічну лабораторію «Українсько-кримськотатарський словник» [7].

І. Войтович, О. Войтович та Г. Мартинюк розглянули переваги і недоліки використання віртуальної лабораторії з хімії в освітньому процесі підготовки майбутніх фахівців. Авторами проаналізовано поняття «віртуальна лабораторія» та подано її визначення як програмного середовища, що дає можливість з комп'ютерними моделями або безконтактно (дистанційно) з реальним обладнанням і реактивами формувати практичні уміння й навички шляхом проведення лабораторних дослідів, імітуючи послідовність дій дослідника в

реальній лабораторії або керуючи хімічними установками роботизованими засобами. Розглянуто наявні в інтернеті віртуальні лабораторії з хімії, які надають безкоштовний доступ до освітніх ресурсів, та досліджено їх дидактичні й методичні можливості у підвищенні рівня сформованості практичних умінь і навичок під час проведення хімічних дослідів. Наприклад, ChemCollective – віртуальна лабораторія, яка дає змогу самостійно організувати роботу здобувача освіти шляхом моделювання та проведення досліду; Phet Interactive Simulations – програма для моделювання певних дослідів, яка розроблена University of Colorado; комплексна лабораторія Гарвардського університету, яка надає адаптивну систему вебвправ і генерує задачі для здобувачів освіти, спираючись на їхні навички й показники; Wolfram.com – використовується для перегляду низки моделей.

Сьогодні інтернет-ресурси надають усі можливості для самостійного навчання. Так, на безкоштовному хостингу сайтів від Google (Google Sites) створено проєкт «Хімія. Електронний підручник», розроблений І. Гурняк. Автори рекомендували використовувати ресурси «Середня освіта (Географія)», «Середня освіта (Біологія та здоров'я людини)», «Середня освіта (Природничі науки)» та «Екологія» для актуалізації знань з хімії, здобутих у закладі загальної середньої освіти. Майбутніми фахівцями спеціальності «Середня освіта (Природничі науки)» цей ресурс може бути використаний як допоміжний засіб у підготовці до проведення уроків з хімії під час проходження практики і власне подальшої професійної діяльності та слугувати прикладом для розроблення власних освітніх ресурсів [3].

С. Величко, Е. Сірик і С. Шульга висвітлювали проблему організації навчально-пізнавальної діяльності студентів у процесі підготовки та виконання фізичного практикуму з курсу квантової фізики на основі реалізації інформаційно-комунікаційних технологій. Авторами показано, що комп'ютерно-орієнтовані засоби є досить ефективними для навчально-виховного процесу, адже за таких умов організації пошукової діяльності студентів вони виконують роль засобів навчальної діяльності і сприяють пошуку навчальної інформації, що допомагає розв'язати навчальне завдання або реалізувати проєкт. Зазначено, що комп'ютерно-орієнтовані засоби навчання в процесі виконання фізичного практикуму є ефективними засобами організації діяльності студентів у навчально-виховному процесі з курсу квантової фізики, а програмно-педагогічне забезпечення є педагогічно виваженим і виправданим у формуванні предметних компетентностей студентів. Разом з тим пропонуване програмно-педагогічне забезпечення «Quantum Physics» дає можливість виконати 11 робіт фізичного практикуму у варіанті віртуального й реального дослідження і в поєднанні з раніше здобутими результатами є підставою для твердження про доцільність створення віртуальної лабораторії з вивчення основ квантової фізики, що охоплює новий матеріал змісту та методику виконання фізичного практикуму з урахуванням побажань і планів суб'єкта навчання [2].

О. Гулінський та Т. Совкова пропонували для організації навчання шкільного курсу фізики використовувати сайт «Інтерактивні симуляції» PhET (Physics

Education Technology). Моделі, які представлені на цьому сайті, містять унікальні складові: інтерактивні елементи, анімацію, динамічний зворотний зв'язок, можливість досліджувати явища і процеси, які недоступні для безпосереднього експериментування [5].

С. Павлова і Г. Сарибога, проаналізувавши чинники негативного впливу на навколишнє середовище, зокрема на стан повітря, розробили модель інтелектуальної системи моніторингу стану навколишнього середовища з використанням хмарних технологій, вимірювальних роботизованих систем для збору/контролю/аналізу кліматичних параметрів, таких як температура, відносна вологість повітря, тиск, рівень вуглекислого газу в повітрі.

Авторами викладено концепцію створення віртуальної лабораторії екологічного моніторингу (ВЛЕМ) та відповідно до розробленої структурної моделі такої лабораторії створено робочий прототип нової системи екомоніторингу. Розроблено програмне забезпечення та забезпечено модульність і адаптивність системи [10].

І. Мельник, Г. Нефьодова та Н. Задирей провели дослідження щодо основних особливостей і відмінностей віртуальної реальності (virtual reality, VR), доповненої реальності (augmented reality, AR) та об'єднаної реальності (merged reality, MR). Авторами наголошено на важливості формування STEM-компетентності студентів, створення інноваційної моделі STEM-освіти, зазначено на необхідності спеціального технічного обладнання, спеціалізованої віртуальної лабораторії для реалізації систем віртуальної та доповненої реальності. Досліджено аспекти можливого використання технологій реальності в сучасних умовах та розглянуто додатки доповненої і віртуальної реальності, що використовуються в сучасному освітньому процесі: Mel chemistry – додаток, пов'язаний з хімічними дослідженнями з широкими можливостями для розгляду різнопланових процесів; Anatomyou – є корисним для школярів, студентів і викладачів, займає провідне місце VR в галузі, багато інших розробників взяли його за основу; Creator AVR дає можливість створювати навчальні завдання, обмінюватись враженнями за допомогою мобільних пристроїв без необхідності програмування; Google Expeditions – це подорож у будь-яку точку Землі і всесвіту, не виходячи з аудиторії, – незвичне поєднання реальної екскурсії з віртуальним світом у форматі навчання у віртуальній реальності [9].

Питання віртуальних лабораторій досить широко висвітлюється й у зарубіжній пресі. Так, дослідник Rizwan Uddin (Різван Уддін) пропонував збільшити використання віртуальної реальності та доповненої реальності у навчанні й промисловості. Автор розповідає про роботу віртуальної освітньо-дослідницької лабораторії у ядерній сфері та згадує про розроблення 3D-моделі реакторної установки TRIGA за допомогою моделей віртуальної реальності [16].

AL Mahaffey розглядає впровадження віртуальної лабораторії для студентів медичних професій, таких як медсестри та спеціалісти з фізичних вправ. Автор зазначає, що упродовж останніх років віртуальні лабораторії для спеціальностей, що не належать до фізичних наук, були описані як більш безпечні та ефективні у навчанні студентів лабораторної техніки та експериментальних заходів. Нарешті

успішний підхід до навчання, що використовується в музеях, виявився ефективним і для молодших школярів – «навчання на дотик» (тактильне навчання). Важливо також зауважити, що студентські дискусії та динаміка викладання віч-на-віч відіграють вирішальну роль у процесі навчання бакалаврів.

Таким чином, методологія викладання, що обговорюється в цій статті, поєднує електронне навчання, віртуальні лабораторії, тактильне навчання та дидактичні інструктажі з фізіології людини під час розроблення курсу для залучення студентів вищих медичних закладів, збільшення вмісту матеріалів курсу фізіології людини та одночасно готує студентів до тестів САТ, які є ліцензійними іспитами [14].

R. Wolski і P. Jagodzinski зазначають, що швидкий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій сприяв розробці інтерфейсів, які уможливають розпізнавання жестів і рухів користувача, та завдяки невисокій ціні є доступними для широкого кола користувачів. Такі інтерфейси називаються природними інтерфейсами користувача і зазвичай використовуються в ігрових консолях та електронних пристроях, таких як смартфони і планшети. У дослідженні автори застосовували датчик Kinect від Microsoft для визначення рухів і жестів користувача, що був використаний при викладанні хімії в середній школі шляхом розроблення віртуальної хімічної лабораторії, яка базується на системі рухів рук. Проаналізовано жести і рухи користувача віртуальної хімічної лабораторії, щоб визначити, як вони підвищують ефективність освіти з хімії. Результати показали, що студенти краще працюють з віртуальною лабораторією під час вивчення хімії. Це стосувалося запам'ятовування інформації, розуміння інформації, застосування свого досвіду в ситуаціях, знайомих ще зі школи, та розв'язання проблем [17].

Дослідження науковців S. Maulidah та E. Prima спрямовано на аналіз використання технологій освіти з фізики як віртуальної лабораторії для вивчення хвиль і звуків. У дослідженні автори використовували описовий метод з методологічної тріангуляції як дизайн дослідження. Зазначено, що використання цієї технології як віртуальної лабораторії виявляє позитивний результат як у когнітивному аспекті, так і в середовищі наукових лабораторій [15].

Отже, викладене вище доводить, що застосування інформаційно-комп'ютерних технологій є ефективним засобом у створенні віртуальних лабораторій як у процесі навчання в середніх загальноосвітніх закладах освіти, так і у вищих закладах освіти.

Список використаних джерел

1. **Бурячок В. Л., Шевченко С. М., Складаний П. М.** Віртуальна лабораторія для моделювання процесів в інформаційній та кібербезпеці як засіб формування практичних навичок студентів. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2018. № 2. С. 98–104. URL: <https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/26735/1/9.pdf> (дата звернення: 05.08.2021).
2. **Величко С. П., Сірик Е. П., Шульга С. В.** Віртуальна лабораторія з вивчення основ квантової фізики. *Зб. наук. пр. Кам'янець-Поділ. нац. ун-ту ім. Івана Огієнка. Серія: Педагогічна* / Кам'янець-Поділ. держ. ун-т ім. Івана

- Огієнка. Кам'янець-Подільський, 2018. № 24. С. 56–59. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpkp_ped_2018_24_17 (дата звернення: 05.08.2021).
3. **Войтович І., Войтович О., Мартинюк Г.** Використання віртуальних лабораторій в процесі вивчення хімічних дисциплін. *Наук. зап. Тернопіл. нац. пед. ун-ту ім. Володимира Гнатюка. Серія: педагогіка / Тернопіл. нац. пед. ун-т ім. Володимира Гнатюка.* Тернопіль, 2021. Т. 1, № 1. С. 32–41. DOI: <https://doi.org/10.25128/2415-3605.21.1.4> (дата звернення: 13.08.2021).
 4. **Грицай Н. Б.** Використання дистанційних технологій у методичній підготовці майбутніх учителів біології. *Інформ. технології в освіті.* 2016. № 2. С. 54–66. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/itvo_2016_2_7 (дата звернення: 13.08.2021).
 5. **Гулінський О. В., Совкова Т. С.** Віртуальні лабораторії у сучасних технологіях навчання шкільного курсу фізики. *Trends in the development of modern scientific thought.* 2020. Т. 10. С. 451–453. URL: https://books.google.com.ua/books?hl=ru&lr=&id=NwgLEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA451&dq=ВІРТУАЛЬНА+ЛАБОРАТОРІЯ&ots=1VUdANSfFq&sig=mtznSVlsBNFT53itwpwukkTQGc4&redir_esc=y#v=onepage&q=ВІРТУАЛЬНА%20ЛАБОРАТОРІЯ&f=false (дата звернення: 10.08.2021).
 6. **Козловский Е. О., Кравцов Г. М.** Віртуальна лабораторія в структурі системи дистанційного навчання. *Інформ. технології в освіті.* 2011. Вип. 10. С. 102–109. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/itvo_2011_10_15 (дата звернення: 10.08.2021).
 7. **Кухарчук Є., Копанєва В.** Поглиблення взаємодії бібліотеки з цифровою наукою: організаційно-методичні засади. *Наукові праці Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського* : зб. наук. пр. / НАН України, Нац. б-ка України ім. В. І. Вернадського, Асоц. б-к України. Київ, 2021. Вип. 60. С. 140–148. URL: <http://nbuviap.gov.ua/images/naukprazi/60.pdf> (дата звернення: 10.08.2021).
 8. **Лемешко О., Єременко О., Євдокименко М., Кузьмініх Є.** Особливості створення віртуальної лабораторії кібербезпеки для дистанційного навчання. *Новий Колегіум.* 2020. № 3 (101). С. 41–45. URL: <https://doi.org/10.30837/nc.2020.3.41> (дата звернення: 01.08.2021).
 9. **Мельник І. Ю., Нефьодова Г. Д., Задирей Н. М.** Доповнена та віртуальна реальність як ресурс навчальної діяльності студентів. *Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., м. Івано-Франківськ, 14–19 трав. 2018 р. Івано-Франківськ, 2018. С. 61–64. URL: <https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/25746> (дата звернення: 16.08.2021).
 10. **Павлова С. О., Сарибога Г. В.** Віртуальна лабораторія екологічного моніторингу довкілля. З використанням роботизованих систем. *Електронна та акустична інженерія.* 2020. Т. 3, № 4. С. 10–13. DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-0965.2020.3.4.198592> (дата звернення: 01.08.2021).
 11. **Паніхідіна О. В.** Використання віртуальних лабораторій під час викладання практичних занять. *Медсестринство.* 2013. № 4. С. 35–36. DOI: <https://doi.org/10.11603/2411-1597.2013.4.5386> (дата звернення: 01.08.2021).

12. **Семеніхіна О. В., Шамо́ня В. Г.** Віртуальні лабораторії як інструмент навчальної та наукової діяльності. *Пед. науки: теорія, історія, інновац. технології* 2011. № 1 (11). С. 341–346. URL: <http://repository.sspu.sumy.ua/handle/123456789/5198> (дата звернення: 01.08.2021).
13. **Юрченко А. О., Хворостіна Ю. В.** Віртуальна лабораторія як складова сучасного експерименту. *Наук. вісн. Ужгород. нац. ун-ту. Серія: Педагогіка. Соціальна робота* : зб. наук. пр. / Ужгород. нац. ун-т. Ужгород, 2016. Вип. 2 (39). С. 281–283. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuuped_2016_2_75 (дата звернення: 01.08.2021).
14. **Mahaffey AL.** Interfacing virtual and face-to-face teaching methods in an undergraduate human physiology course for health professions students. *Advances in physiology education [Adv Physiol Educ]*. 2018. Sep 01, Vol. 42 (3). P. 477–481. DOI:10.1152/advan.00097.2018 (last access: 02.09.2021).
15. **Maulidah S. S, Prima E. C.** Using Physics Education Technology as Virtual Laboratory in Learning Waves and Sounds. *Journal of Science Learning*. 2018. № 1 (3). P. 116–121. URL: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eric&AN=EJ1226300&lang=ru&site=ehost-live> (last access: 02.09.2021).
16. **Rizwan-uddin** Virtual Reality for Education, Training and Dose Reduction. *Nuclear Plant Journal*. 2018. Sep/Oct, Vol. 36, Iss. 5. P. 30–33. 4 p. URL: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=f5h&AN=132901459&lang=ru&site=ehost-live> (last access: 02.09.2021).
17. **Wolski R., Jagodziński P.** Virtual laboratory – Using a hand movement recognition system to improve the quality of chemical education *British Journal of Educational Technology*. 2019. Vol. 50, Iss. 1. P. 218–231. 14 p. DOI:10.1111/bjet.12563 (last access: 02.09.2021).