

УДК 004.057.5:[378:004.9]

DOI: 10.31652/2786-5754-2021-1-74-93

Мідак Л.Я.

кандидат хімічних наук, доцент,
доцент кафедри хімії середовища та хімічної освіти,
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
ORCID ID 0000-0002-3213-5968
E-mail: lilia.midak@gmail.com

Кузишин О.В.

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри хімії середовища та хімічної освіти,
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
ORCID ID 0000-0002-6737-6577
E-mail: olgaifua3108@gmail.com

Базюк Л.В.

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри хімії середовища та хімічної освіти,
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
ORCID ID 0000-0001-5690-8606
E-mail: liliya30@ukr.net

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ПІД ЧАС НАВЧАННЯ ШКІЛЬНОГО КУРСУ ХІМІЇ 11 КЛАСУ

Стрімкий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій в умовах сьогодення дає можливість модернізувати навчальний процес в закладах освіти, використовуючи різноманітні тренди сучасної освіти. Нові методики викладання природничо-математичних дисциплін мають враховувати сучасні вимоги до застосування інформаційних технологій. Використання інформаційно-комунікативних технологій у викладанні хімії дозволяє інтенсифікувати освітній процес, прискорити передачу знань і досвіду, а також підвищити якість навчання й освіти.

Хімія вважається складною наукою, яка оперує поняттями, що не можуть стати об'єктами безпосереднього розуміння та вимагають створення певних образів та асоціацій в уяві учнів. Крім того, ефективно засвоєння знань учнями з цього предмету залежить не тільки від способу подачі теоретичного матеріалу, але й від реалізації експериментальної частини у вигляді практичних робіт та лабораторних дослідів, яка потребує ретельної теоретичної підготовки для як для вчителя, так і для учнів. Тому для коректного відображення навчального матеріалу та його якісної

візуалізації доцільним буде використання саме технології доповненої реальності.

Метою роботи є дослідження доцільності та ефективності використання мобільного додатку LiCo та розроблених навчальних матеріалів з доповненою реальністю на уроках хімії в 11 класі.

Оскільки технологія AR є багатофункціональною, відтворює відеофайли, аудіофайли, зображення, 3D-моделі, то її застосування у шкільному курсі хімії є досить широким. У статті наведено рекомендації з використання технології AR для вивчення хімії у 11 класі. Як показали результати дослідження, для ефективного використання технологій доповненої реальності у навчальному процесі слід покращити матеріальну базу закладів освіти та звернути особливу увагу на підвищення інформаційно-цифрової компетентності вчителів для повноцінного використання AR-технологій. Застосування даних технологій можна використати для навчання інших предметів природничого напрямку, що вивчаються в закладах середньої освіти (фізика, біологія, географія), вивчення яких передбачає реалізацію шкільного експерименту в межах чинних програм з даних предметів та вимагає якісної візуалізації навчального матеріалу.

Ключові слова: *інформаційно-комунікативні технології, технологія доповненої реальності, шкільний курс хімії, 3D-візуалізація, мобільний додаток.*

Midak L.Ya.

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Environmental Chemistry
and Chemical Education,
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
ORCID ID 0000-0002-3213-5968
E-mail: lilia.midak@gmail.com

Kuzyshyn O.V.

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Environmental Chemistry
and Chemical Education,
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
ORCID ID 0000-0002-6737-6577
E-mail: olgaifua3108@gmail.com

Baziuk L.V.

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Environmental Chemistry
and Chemical Education,
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
ORCID ID 0000-0001-5690-8606
E-mail: liliya30@ukr.net

AUGMENTED REALITY WITHIN THE SCHOOL CHEMISTRY COURSE IN THE 11TH FORM

Nowadays, the drastic development of information and communication technologies gives the opportunity to update the study process in the education establishments, using various trends of the up-to-date education. The new methods of teaching the natural sciences must meet the new requirements of providing information technologies. Including the information and communication technologies within teaching chemistry allows mobilize the education process, escalate transferring of experience and knowledge, boost education and study.

Chemistry is considered to be a complicated discipline, which manipulates the definitions that cannot be understood directly, without creating specific pictures and associations in the students' imagination. Besides, the students' effective memorization in this subject depends not only from the theory supply methods, but also from realizing the experimental part in the form of practical and laboratory experiments, which require descent theoretic training both for the students and for the teacher. That is why augmented reality is the remedy for an appropriate presentation of the study material and for its good quality visualization.

The objective of the paper is investigating the value of providing mobile app LiCo and the developed augmented reality materials during the chemistry lessons in the 11th forms.

As far as the AR technology is multifunctional, it displays the video-files, audio-files, images, 3D-models, providing it within the school chemistry course is pretty wide. The paper gives recommendations on using the AR technology for studying chemistry in the 11th form. The investigation results have shown that the databases of education establishments and specific attention should be paid on upgrading the information and digital skills of the teachers for an effective implementation of the augmented reality technology within the study process. Providing the technologies above can be used for studying different natural science disciplines, which are studied in the general education establishments (physics, biology, geography), studying which require realization of the school experiments within the nowadays programs, and requires good quality visualization.

Key words: *information and communication technologies, augmented reality, school chemistry course, 3D-visualization, mobile application.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Основний метод забезпечення ефективності освітньої реформи передбачає наскрізне використання інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) у навчальному процесі. Системне застосування ІКТ в освіті має істотно розширити можливості вчителів, організувати взаємодію між учителем та учнями, сформувати у учнів технологічні компетентності, важливі для нашого століття [1, с.15].

Реформування шкільної освіти передбачає посилення проектної,

командної та групової активності учнів у навчальному процесі. Враховуючи цей факт, варіанти організації освітнього середовища можуть бути різноманітними: особливу увагу приділяють створенню мобільних робочих місць, які легко трансформуються для групової діяльності. Планування та дизайн освітнього простору спрямовують на розвиток дитини та її мотивацію до навчання за допомогою ІКТ, мультимедійних пристроїв, оновлення лабораторії для вивчення природничо-математичних предметів [1, с.15; 2, с.1]. При цьому слід враховувати те, що сучасні учні мають можливість отримання даних будь-коли та де завгодно, у будь-якому місці їх перебування. Вони також звикають до віртуальної реальності. Тому так звана SMART – освіта, яка передбачає використання смартфонів, планшетів, інтерактивних дощок та інших пристроїв з доступом до Інтернету, стає все більш популярною [1, с.15; 3, с.72; 4, с.96].

У цифрову епоху, а особливо зараз, у період загальнонаціонального карантину, усе навчання повністю або частково, час від часу, переводиться у дистанційну площину. Тоді використання інформаційно-комунікаційних технологій стає вкрай необхідним, а основним засобом навчального процесу у сучасного учня стає не персональний комп'ютер чи ноутбук, а мобільний телефон (на платформі Android або iOS). Це пов'язано з доступністю мобільних телефонів, зручністю використання, та наявністю великої кількості мобільних додатків, які за функціоналом простіші у використанні, ніж комп'ютерні програми, але навіть потужніші за призначенням. У мобільних додатках використовується ще один сучасний тренд освіти – технологія доповненої реальності (Augmented Reality, AR), яка допомагає максимально візуалізувати навчальні об'єкти у 3D.

Шкільний курс хімії є інтегрованим, про що свідчить перелік основних компетентностей відповідно до навчальної програми [5, с.1]. Наявність інформаційно-цифрової компетентності у [5, с.1] не залишає сумніву у тому, що якісне вивчення хімії відбувається за умови використання сучасних інформаційних технологій. На ринку цифрових технологій, на сучасну пору, існує дуже багато професійних пакетів програмного забезпечення з хімії (симулятори хімічних реакцій, віртуальні хімічні лабораторії тощо). Інтеграція навчального процесу з використанням мобільних пристроїв та комп'ютерів, реальних об'єктів з віртуальними, отримання необхідних даних про об'єкти, що вивчаються, з їх тривимірною візуалізацією стає можливою завдяки доповненій реальності [6, с.33]. Використання технологій доповненої реальності на уроках хімії дає можливість вчителям швидко, якісно та доступно пояснити великий обсяг теоретичного матеріалу, а учням ефективно його засвоїти та ще краще розвинути свою уяву [7, с.192].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з визначенням Рональда Т. Азума, доповнена реальність (Augmented Reality, AR) – це тип віртуального середовища (або віртуальної реальності), який доповнює

об'єктивну реальність, але не змінює її повністю. Доповнена («розширена реальність», «поліпшена реальність», «збагачена реальність», «аугментована реальність») дозволяє користувачеві бачити реальний світ, коли віртуальні об'єкти або накладаються, або об'єднуються з реальним світом [8, с.355]. Доповнену реальність можна потенційно застосувати до всіх органів чуття людини, тобто до прослуховування, нюху, соматосенсації, однак найчастішим доповненням є зір. Основними рисами доповненої реальності є поєднання як реальних, так і віртуальних об'єктів у реальному середовищі, практика в реальному часі, інтерактивність, вирівнювання особливостей реальних та віртуальних об'єктів [9, с.34].

Доповнена реальність – це середовище з прямим або непрямим доповненням фізичного світу цифровими даними [1, с.15]. Процес додавання об'єктів доповненої реальності відбувається в режимі реального часу, а провідником служать цифрові пристрої – планшети, смартфони, «розумні» окуляри або аксесуари зі спеціальним програмним забезпеченням. Пристрій через камеру або інший інтерфейс (наприклад, Bluetooth або GPS) розпізнає об'єкти, особливі мітки на них або місце розташування користувача. Маркером може бути як спеціальний радіомаячок з вбудованим чіпом, реальний об'єкт, так і звичайний малюнок чи QR-код. Для того, щоб відбулося доповнення, користувачеві потрібно потрапити в зону дії цього маячка або зчитати зображення. Додатки на основі доповненої реальності можуть допомогти людині фокусувати увагу на певних елементах зображення, що отримується з камери; покращувати розуміння об'єктів оточуючого світу шляхом надавання необхідної інформації, що накладається на зображення у вигляді текстового повідомлення або візуального образу.

Хімія вважається складною наукою завдяки використанню понять, які не можуть стати об'єктами безпосереднього розуміння, і в результаті учням доводиться в уяві створювати образи та віртуальні об'єкти. На жаль, сучасне покоління учнів, не завжди здатне вірно уявляти такі об'єкти, тому інструменти, призначені для візуалізації та демонстрації, завжди викликають особливу увагу в процесі навчання хімії [10, с.10; 11, с.319; 12, с.10]. Використання доповненої реальності для навчання хімії досліджено у роботах [13, с.31; 14, с.147; 15, с.805; 16, с.233; 17, с.271; 18, с.3]

У процесі навчання хімії автори [13, с.31; 14, с.147] дійшли до висновку, що AR-технології є найбільш важливими для вивчення невлесних понять (атом, молекула, кристалічна ґратка, хімічні зв'язки тощо). Було відзначено, що якість 3D-моделей та графічного інтерфейсу інструментів викладання хімії, що використовують доповнену реальність, позитивно впливає на рівень зацікавленості учнів та процес засвоєння нових знань [15, с.805]. У роботі [16, с.233] також виявлено сприятливий вплив технологій доповненої реальності на ефективність засвоєння знань про хімічні зв'язки, періодичний закон, Періодичну систему хімічних елементів, завдяки можливості взаємодії учня з

атомом, молекулою у процесі навчання та одночасним поясненням теоретичного матеріалу.

У роботі іспанських дослідників [17, с.271] відзначено, що використання технологій AR підвищує інтерес до вивчення хімії, розвиває розуміння кристалічної структури речовин та вдосконалює навички учнів інтерпретувати 2D- та 3D-схеми. Учасники дослідження відзначили переваги AR-технології: можливість обробляти тривимірні моделі та сприймати їх з різних сторін [17, с.271]. Подібні результати можна знайти у дослідженні [18, с.3], проведеному серед студентів у процесі вивчення органічної хімії.

Особливе значення має використання 3D-моделей молекул для посилення ефективності викладання органічної хімії [7, с.192; 16, с. 233; 19, с.251; 20, с.3] та біохімії [21, с.3], оскільки це дає можливість учням та студентам ретельно вивчити структуру молекул у 3D, а також сприяє поліпшенню розуміння зв'язків між структурами молекул та властивостями речовин. Зростаючий інтерес до вивчення хімії завдяки моделюванню хімічних реакцій за допомогою технологій доповненої реальності, тобто за допомогою засобів візуалізації хімічних експериментів відзначено у [22, с.187; 23, с.570].

Неоднозначність 2D-моделей разом із труднощами 3D-аналізу та сприйняття означають, що:

- дуже часто важливі поняття не засвоюються.
- проблеми, які легко вирішити обертанням структури та аналізом її властивостей симетрії, майже нерозв'язні у 2D навіть для компетентних учнів.
- багато сучасних учнів є візуалами. Це означає, що побачений об'єкт вони краще запам'ятають, ніж уявлений за двовимірним рисунком, розповіддю вчителю чи прочитаним параграфом з підручника.

Тому ефективність використання AR-технологій як інструментів інтенсифікації процесу викладання хімії незаперечна за умови їх методологічно доцільного використання.

У роботі [1, с.5] узагальнено існуючий досвід використання технологій доповненої реальності в процесі викладання хімії та визначено деякі ключові напрямки їх використання:

1. візуалізація та деталізація структури об'єктів та моделювання їх взаємодії, недоступні для безпосереднього спостереження наживо;
2. додаткова інформація про об'єкти в письмовій, візуальній або аудіо-візуальній формах;
3. моделювання роботи з різним обладнанням з метою формування навичок роботи з ними.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Разом з тим у дослідженнях [13, с.31] вказано, що візуалізація окремих питань теми негативно вплинула на розуміння учнями текстової інформації в цілому та відвернула їх увагу від інструкцій та пояснень, поданих у письмовій формі. Це наводить на думку, що використання технологій AR зумовлює створення

нового виду навчального контенту, який буде містити і візуальну, і текстову інформацію, у формі, сприйнятливій для засвоєння сучасним поколінням учнів. Актуальним в умовах сьогодення стає створення навчальних матеріалів, посібників, підручників з доповненою реальністю. Угорські автори [24, с.2] описали свій досвід створення AR-підручника з хімії для загальноосвітніх шкіл (окремі розділи навчальної програми для дев'ятого класу). Автори провели експеримент, результати якого дозволили зробити висновок про більш високий рівень ефективності використання AR – підручників у порівнянні зі звичайними.

Група авторів з Туреччини запропонувала набір зображень [25, с.1], які будуть використані для вивчення структур атомних елементів, молекулярної структури води, солі, карбон(II) оксиду. Запропонований набір карток був представлений як наукове видання з хімії. Разом з тим, на сучасну пору україномовних посібників з хімії з використанням технології AR є дуже мало.

Метою статті є дослідження доцільності та ефективності використання мобільного додатку LiCo та розроблених навчальних матеріалів з доповненою реальністю на уроках хімії в 11 класі.

Виклад основного матеріалу. Авторським колективом [26] розроблено україномовний мобільний додаток LiCo та картки-«маркери» доповненої реальності для практичних робіт та лабораторних дослідів з хімії, а також візуалізації об'єктів у 3D. Для використання технології AR мітки доповненої реальності створено [27, с.659] на основі платформи «Vuforia»; 3D-об'єкти змодельовані [27, с.659] в програмі 3DMax, об'єкти доповненої реальності реалізовано за допомогою багатоплатформового інструменту для розробки дво- та тривимірних мобільних додатків «Unity 3D».

Розроблене програмне забезпечення з доповненою реальністю, що використовується як допоміжний інструмент викладання хімії, працює відповідно до класичної моделі (рис. 1).



Рис. 1. Схема алгоритму роботи системи доповненої реальності.

У навчальній програмі курсу хімії для 11 класу передбачено візуалізацію молекул у 3D, тобто рекомендованим буде використання саме технології доповненої реальності. Оскільки технологія AR є багатофункціональною, відтворює відеофайли, аудіофайли, зображення, 3D-моделі, то її застосування у шкільному курсі хімії є досить широким. У табл. 1 наведено рекомендації з використання технології AR для вивчення хімії у 11 класі.

Таблиця 1

Рекомендації з використання технології AR для вивчення хімії у 11 класі

Демонстрації	Лабораторні дослідження	Практичні роботи	Проектна діяльність
Тема 1. Періодичний закон і періодична система хімічних елементів			
1. Різні варіанти періодичної системи хімічних елементів (довга і коротка форми, віртуальні 3D) 2. Форми електронних орбіталей (у тому числі 3D-проектування). 3. Моделі атомів s-, p-, d-елементів (у тому числі 3D-проектування).			1. Створення 3D-моделей атомів елементів (з AR-маркерами). 2. Застосування радіонуклідів у медицині (з AR-маркерами) 3. Використання радіоактивних ізотопів як індикаторів у тваринництві, археології (з AR-маркерами)
Тема 2. Хімічний зв'язок і будова речовини			
4. Моделі різних типів кристалічних ґраток (у тому числі 3D-проектування).			4. Застосування рідких кристалів (з AR-маркерами).
Тема 3. Хімічні реакції			
	1. Визначення рН середовища водних розчинів солей за допомогою індикаторів (відео з AR-		7. Гальванічний елемент з картоплі, лимону (з AR-маркерами). 8. Види і принципи роботи малих джерел електричного струму, утилізація їх (з AR-маркерами).

	маркерами)		
Тема 4. Неорганічні речовини і їхні властивості			
9. Моделі кристалічних ґраток алотропних модифікацій Карбону і Сульфуру (у тому числі 3D-проекування).	2. Дослідження адсорбційної здатності активованого вугілля та аналогічних лікарських препаратів (відео з AR-маркерами). 3-6. Виявлення у розчині катіонів Феруму(2+), Феруму(3+), Барію, амонію (відео з AR-маркерами). 7, 8. Виявлення у розчинах силікат- і ортофосфат-іонів (відео з AR-маркерами).	1. Дослідження якісного складу солей (відео з AR-маркерами). 2. Генетичні зв'язки між неорганічними речовинами (відео з AR-маркерами)	7. Штучні алмази у техніці (з AR-маркерами). 12. Дослідження pH ґрунтів своєї місцевості. Складання карти родючості (з AR-маркерами). 14. Усунення тимчасової і постійної жорсткості води (відео з AR-маркерами).

Проведення практичних робіт та лабораторних дослідів з хімії з використанням технології AR

Для проведення лабораторних дослідів та практичних робіт технологію доповненої реальності можна використати у двох напрямках:

1) за умови традиційного очного навчання: як елемент перевернутого навчання, коли процес домашньої підготовки до лабораторного дослідів чи практичної роботи полягає у перегляді відео за допомогою мобільного додатку LiCo [26]. У цьому випадку учень виконує хімічний експеримент у класі в кабінеті хімії, але попередній перегляд відео удома дає можливість сформувати попереднє уявлення в учнів про:

- мету роботи,

- прилади та реактиви, які використовуються під час роботи;
- техніку безпеки під час виконання хімічних дослідів;
- хід роботи (проведення хімічних реакцій);
- результат роботи (утворення хімічних речовин, випадання осаду, виділення газу тощо).

Крім того, попереднє ознайомлення з відеоматеріалами дає можливість учню максимально відтворити переглянутий хід роботи власними руками.

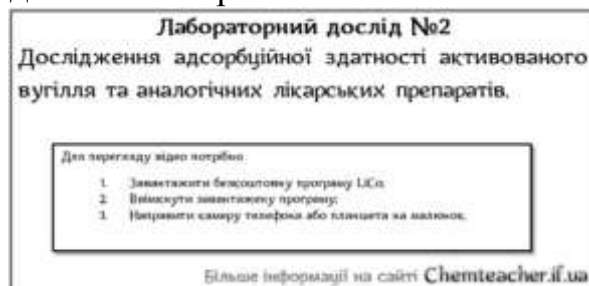
2) за умови дистанційного навчання: як інструмент для «виконання» експериментальної частини шкільного курсу хімії шляхом перегляду відеодослідів в домашніх умовах.

Мобільний додаток LiCo створений для відтворення відеоматеріалів експериментальної частини шкільного курсу хімії.

Приклади маркерів для 11 класу представлені на рис 2-3.



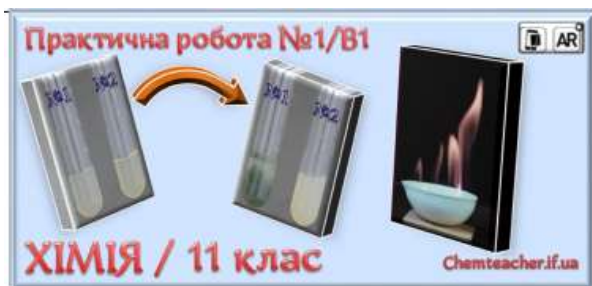
а)



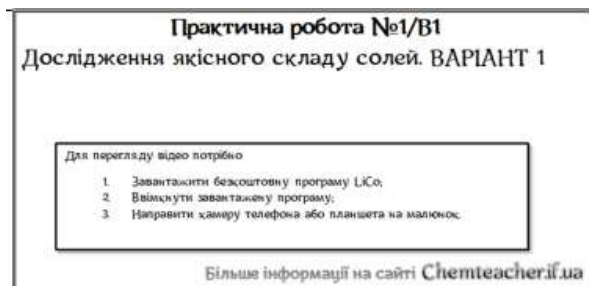
б)

Рис. 2. Титульна та зворотня частина маркера для відтворення зі технологією доповненої реальності лабораторного дослідів №2 у 11 класі.

При наведенні камери мобільного телефону чи планшета на відповідний маркер відтворюється певний лабораторний дослід чи практична робота. Під час відтворення відеоекран гаджета можна умовно поділити на дві частини, одна з яких містить текстовий опис роботи поетапно, а друга – паралельно відтворює відео (рис. 4-5). Слід відзначити, що мобільний додаток працює без аудіосупроводу, що дає можливість вчителю скористатися даним засобом на уроці та пояснити, з власного досвіду, суть експерименту, звернути увагу на спостереження, повторити теоретичний матеріал тощо.



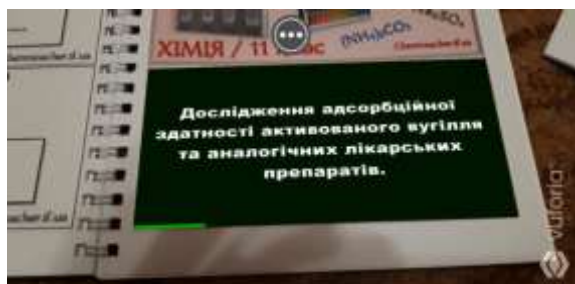
а)



б)

Рис. 3. Титульна та зворотня частина маркера для відтворення зі технологією доповненої реальності практичної роботи №1 у 11 класі.

Проведення лабораторних дослідів та практичних робіт з використанням технології доповненої реальності дає можливість учням підвищити мотивацію, акцентувати увагу на ключових моментах експерименту, свідомо виконати хімічний експеримент та зробити обґрунтовані висновки.

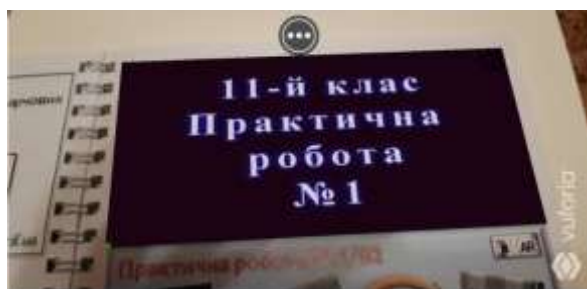


а)



б)

Рис. 4. Відтворення лабораторного дослідів №2 з хімії для 11 класу з використанням мобільного додатку LiCo.



а)



б)

Рис. 5. Відтворення практичної роботи №1 з хімії для 11 класу з використанням мобільного додатку LiCo.

Вивчення хімічних понять з використанням 3D-візуалізації

Під час вивчення теми 2 «Хімічний зв'язок і будова речовини» у 11 класі учні вивчають типи хімічного зв'язку, типи кристалічних ґраток, особливості кристалічного та аморфного стану речовини. Вивчення даної теми є важливим для формування уявлень про будову хімічних речовин, прогнозування властивостей в залежності від будови. Вивчення типів кристалічних ґраток завжди є ускладненим навіть для учнів 11 класу в зв'язку з відсутністю якісних зображень навчального матеріалу у сучасних підручниках з хімії та складністю уявної візуалізації у учнів. З використанням технології доповненої реальності у учнів спостерігається явище «пост-ефекту»: усвідомлення будови кристалічних ґраток після перегляду у 3D та їх уявна 3D-візуалізація уже на двовимірних малюнках.

Приклади 3D-візуалізації кристалічних ґраток натрій хлориду та графіту представлені відповідно на рис. 6-7.

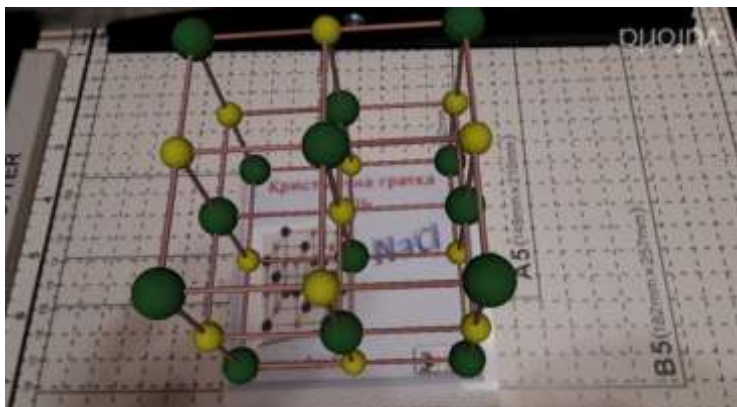


Рис. 6. 3D-модель кристалічної ґратки натрій хлориду, відтворена за технологією доповненої реальності.

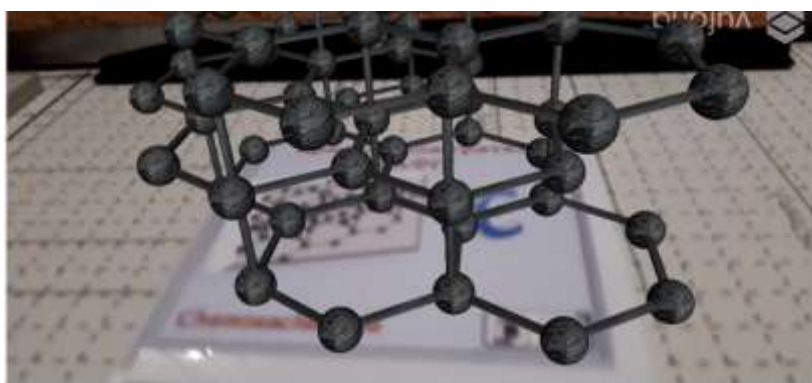


Рис. 7. 3D-модель кристалічної ґратки графіту, відтворена за технологією доповненої реальності.

Дослідження доцільності використання AR-додатків у навчальному процесі

Для виявлення зацікавленості учнів 11 класу у використанні технології доповненої реальності та доцільності її використання на уроках хімії було проведено анкетування учнів Ліцею №24, Черніївського ліцею та Ліцею ім. Івана Пулюя Івано-Франківської міської ради. Вибірка становила 75 осіб.

Результати опитування показали, що у всіх опитаних учнів є персональний мобільний пристрій, який можна використовувати для навчання. Усі учні використовували мобільні додатки з доповненою реальністю у навчальному процесі, і 100% опитаних відзначили доцільність використання таких технологій на уроках хімії. При цьому 75% опитаних бачать доцільність у використанні таких технологій на інших уроках.

Графічні результати опитування приведені на рис. 8 – 12.

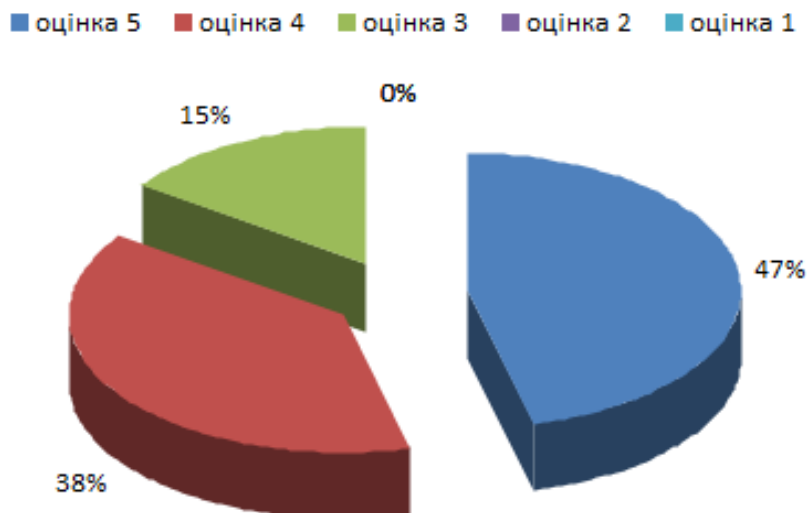


Рис. 8. Оцінка ефективності використання мобільного додатка LiCo на практичній роботі для засвоєння навчального матеріалу у 5-бальній шкалі (де 5 – дуже допомагає у засвоєнні навчального матеріалу, 1 – зовсім не потрібен).

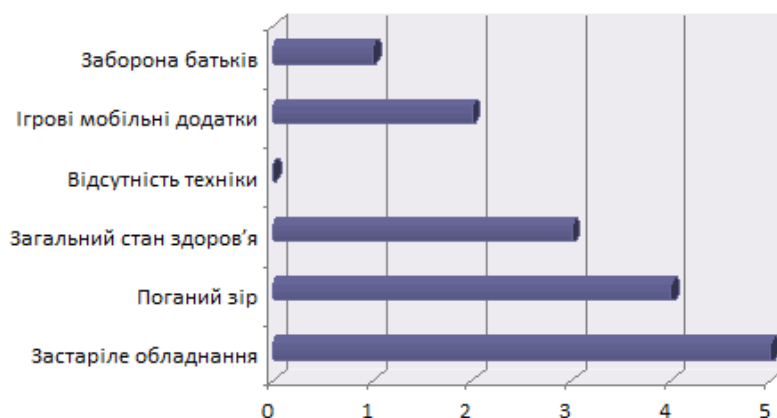


Рис. 9. Оцінка перешкод для використання учнями мобільного телефону чи планшету на уроках.



Рис. 10. Фактори, які необхідно змінити для більш ефективного використання технологій доповненої реальності у школі.



Рис. 11. Фактори, які можуть сприяти залученню учнів до занять з мобільним телефоном.



Рис. 12. Зміни в освітньому процесі з використанням технології доповненої реальності на уроках у школі.

Як показали результати дослідження, для ефективного використання технологій доповненої реальності у навчальному процесі слід покращити матеріальну базу закладів освіти та звернути особливу увагу на підвищення інформаційно-цифрової компетентності вчителів для повноцінного використання AR-технологій. Також слід відзначити відсутність складнощів у учнів під час завантаження та використання мобільних AR-додатків. Разом з тим, результати досліджень показали, що використання AR-технологій зумовлюють підвищення мотивації учнів до навчання, розвивають їх критичне мислення, забезпечують формування вміння «вчитися протягом життя».

Висновки і перспективи подальших досліджень. Особливості сучасного покоління учнів стимулюють пошук нових підходів до організації навчального процесу і створення навчальних матеріалів з хімії з використанням мобільних пристроїв та технологій доповненої реальності. Використання об'єктів доповненої реальності дає можливість сучасному вчителю швидко та доступно пояснити великий об'єм теоретичного матеріалу, підвищити якість

візуалізації навчального матеріалу, а учням допомагає ефективно його засвоїти, розвиває у них творче мислення, підвищує мотивацію до навчання та дає можливість сформулювати певні вміння та навички під час виконання хімічного експерименту.

Застосування даних технологій можна використати для навчання інших предметів природничого напрямку, що вивчаються в закладах середньої освіти (фізика, біологія, географія), вивчення яких передбачає реалізацію шкільного експерименту в межах чинних програм з даних предметів та вимагає якісної візуалізації навчального матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Nechypurenko P.P. Use of Augmented Reality in Chemistry Education [Electronic resource] / Pavlo P. Nechypurenko, Tetiana V. Starova, Tetiana V. Selivanova, Anna O. Tomilina, Aleksandr D. Uchitel // Augmented Reality in Education : Proceedings of the 1st International Workshop (AREdu 2018). Kryvyi Rih, Ukraine, October 2, 2018 / Edited by : Arnold E. Kiv, Vladimir N. Soloviev. P. 15-23. – (CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org), Vol. 2257). URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2257/paper02.pdf>
2. Грищенко М. Нова українська школа : концептуальні засади реформування середньої школи / упоряд. Л. Гриневич, О. Елькін, С. Калашнікова, І. Коберник, В. Ковтунець, О. Макаренко, О. Малахова, Т. Нанаєва, Г. Усатенко, П. Хобзей, Р. Шиян; за заг. ред. М. Грищенка. 2016. 40 с. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/novaukrainska-shkola-compressed.pdf>
3. Семеріков С.О. Мобільне навчання: історія, теорія, методика / С. Семеріков, І. Теплицький, С. Шокалюк. *Інформатика та інформаційні технології в навчальних закладах*. 2008. №6. С. 72–82.
4. Семеріков С.О. Мобільне навчання: історія, теорія, методика / С. Семеріков, І. Теплицький, С. Шокалюк. *Інформатика та інформаційні технології в навчальних закладах*. 2009. №1. С. 96–104.
5. Хімія (рівень стандарту). Програма для 10-11-х класів ЗНЗ [Електронний ресурс]. URL: <https://osvita.ua/school/program/program-10-11/58907/>
6. Модло Є.О. Використання технології доповненої реальності у мобільно орієнтованому середовищі навчання ВНЗ / Є.О. Модло, Ю.В. Єчкало, С. О. Семеріков, В.В. Ткачук. *Наукові записки*. Випуск 11. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. Частина 1. Кропивницький : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2017. С. 93-100.
7. Midak L., Kuzyshyn O., Baziuk L. Specifics of visualization of study material with augmented reality while studying natural sciences. *Open educational e-environment of modern University, special edition*. 2019. P. 192-201.
8. Azuma R.T. A Survey of Augmented Reality. *Presence:Teleoperators and*

Virtual Environments. 1997. 6 (4). P. 355–385.

9. Azuma R. Recent Advances in Augmented Reality/ R. Azuma, Y. Baillot, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier, B. MacIntyre. *IEEE Computer Graphics and Applications*. 2001. 21 (6). P. 34–47.

10. Nechypurenko P.P. Information and communication tools for pupils' research competence formation at chemistry profile learning/ P.P. Nechypurenko, S.O. Semerikov, T.V. Selivanova, T.O. Shenayeva. *Information Technologies and Learning Tools*. 2016. 56 (6). P.10–29.

11. Nechypurenko P.P., Semerikov S. O.: VlabEmbed - the New Plugin Moodle for the Chemistry Education. In: V. Ermolayev, N. Bassiliades, H.-G. Fill, V. Yakovyna, H.C. Mayr, V. Kharchenko, V. Peschanenko, M. Shyshkina, M. Nikitchenko, A. Spivakovsky (eds.) // *ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer 2017, 13th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer (ICTERI, 2017), Kyiv, Ukraine, 15–18 May, 2017. - CEUR Workshop Proceedings (CEUR–WS.org). 2017. Vol. 1844. P. 319–326.*

12. Нечипуренко П.П. Теоретико-методичні засади використання інформаційно-комунікаційних технологій як засобу формування дослідницьких компетентностей старшокласників у профільному навчанні хімії : монографія / П.П. Нечипуренко, С.О. Семеріков, Л.І. Томіліна // *Теорія та методика електронного навчання. Кривий Ріг : Видавничий відділ ДВНЗ «Криворізький національний університет», 2018. Том IX. Випуск 1 (9) : спецвипуск «Монографія в журналі». 350 с.*

13. Cai S., Wang X., Chiang F.-K. A case study of Augmented Reality simulation system application in a chemistry course. *Computers in Human Behavior*. 2014. 37. P.31–40.

14. Taçgin Z., Uluçay N., Özüağ E. Designing and Developing an Augmented Reality Application: A Sample of Chemistry Education. *Journal of the Turkish Chemical Society, Section C: Chemical Education*. 2016. 1 (1). P. 147–164.

15. Fjeld M. Tangible user interface for chemistry education: comparative evaluation and re-design/ M. Fjeld, J. Fredriksson, M. Ejdestig, F. Duca, K. Botschi, B. Voegtli, P. Juchli. *CHI'07: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, San Jose, April 28 May 3. 2007. P. 805–808.

16. Iordache D.D., Pribeanu C., Balog A.: Influence of specific AR capabilities on the learning effectiveness and efficiency. *Studies in Informatics and Control*. 2012. 21 (3). P.233–240.

17. Núñez M. Collaborative Augmented Reality for Inorganic Chemistry Education./ M. Núñez, R. Quirós, I. Núñez, J. B. Carda, E. Camahort. *EE'08 Proceedings of the 5th WSEAS/IASME international conference on Engineering education*, Heraklion, 22–24 July 2008. P. 271–277.

18. Singhal S. Augmented Chemistry: Interactive Education System/

S. Singhal, S. Bagga, P. Goyal, V. Saxena. *International Journal of Computer Applications*. 2012. 49 (15). P. 1–5.

19. Augmented Reality Technology within Studying Natural Subjects in Primary School/ L. Midak, I. Kravets, O. Kuzyshyn, Ju. Pahomov, V. Lutsyshyn. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Augmented Reality in Education*, Kryvyi Rih, Ukraine, March 22, 2019. P. 251-261.

20. Midak L.Ya. Specifics of using image visualization within education of the upcoming chemistry teachers with augmented reality technology / L.Ya. Midak, I.V. Kravets, O.V. Kuzyshyn, L.V. Baziuk, Kh.V. Buzhdyhan. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. 1840. P. 1-8.

21. Midak L.Ya. Augmented reality as a part of STEM lessons/ L.Ya. Midak, I.V. Kravets, O.V. Kuzyshyn, L.V. Baziuk, Kh.V. Buzhdyhan, Ju.D. Pahomov. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. 1946. P. 1-12.

22. Tuli N., Mantri A. Augmented Reality as Teaching Aid: Making Chemistry Interactive. *Journal of Engineering Education Transformations*. Special Issue, Jan. 2015. P. 187–191.

23. Wojciechowski R., Cellary W. Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments. *Computers & Education*. 2013. 68. P. 570–585.

24. Pasaréti O. Augmented Reality in education/ O. Pasaréti, H. Hajdú, T. Matuszka, A. Jámbori, I. Molnár, M. Turcsányi-Szabó. *INFODIDACT Informatika Szakm'odszertani Konferencia*. http://people.inf.elte.hu/tomintt/infodidact_2011.pdf

25. Artırılmış Gerçeklik Element Kartları: AR Bilim Kartları (Augmented Reality Element Cards: AR Science Cards). Ders Zamanı Yayınları. – 2017.

26. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.lucs.LiCo&hl=en_US&gl=US

27. Caudell T.P. Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes / T.P. Caudell, D.W. Mizell // *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences*. January 7-10, 1992. Kauai, Hawaii. Volume 2: Software Technology Track / Edited by Jay F. Nunamaker, Jr. and Ralph H. Sprague, Jr. – Los Alamitos : IEEE Computer Society Press, 1992. – P. 659-669.

REFERENCES:

1. Nechypurenko, P.P., Starova, T.V., Selivanova, T.V., Tomilina, A.O., Uchitel, A.D. (2018) Use of Augmented Reality in Chemistry Education [Electronic resource]. *Proceedings of the 1st International Workshop (AREdu 2018)*. *CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org)*, 2257, 15-23. Retrieved from <http://ceur-ws.org/Vol-2257/paper02.pdf>

2. Hryshchenko, M. (Ed.) *Nova ukrainska shkola : kontseptualni zasady reformuvannia serednoi shkoly*. Retrieved from <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/novaukrainska-shkola->

compressed.pdf (in Ukrainian)

3. Semerikov, S.O., Teplytskyi, I.O., Shokaliuk, S.V. (2008) Mobilne navchannia: istoriia, teoriia, metodyka. *Informatyka ta informatsiini tekhnolohii v navchalnykh zakladakh*, 6, 72–82. (in Ukrainian)

4. Semerikov, S.O., Teplytskyi, I.O., Shokaliuk, S.V. (2009) Mobilne navchannia: istoriia, teoriia, metodyka. *Informatyka ta informatsiini tekhnolohii v navchalnykh zakladakh*, 1, 96–104. (in Ukrainian)

5. Khimiia (riven standartu). Prohrama dlia 10-11-kh klasiv ZNZ. Retrieved from <https://osvita.ua/school/program/program-10-11/58907/> (in Ukrainian)

6. Modlo, Ye.O., Yechkalo, Yu.V., Semerikov, S.O., Tkachuk, V. V. (2017) Vykorystannia tekhnolohii dopovnenoï realnosti u mobilno oriietovanomu seredovyschi navchannia VNZ. *Naukovi zapysky. Serii: Problemy metodyky fizyko-matematychnoi i tekhnolohichnoi osvity*. 1, 11, 93-100. (in Ukrainian)

7. Midak, L., Kuzyshyn, O., Baziuk, L. (2019) Specifics of visualization of study material with augmented reality while studying natural sciences. *Open educational e-environment of modern University, special edition*, 192-201.

8. Azuma, R.T. (1997) A Survey of Augmented Reality. *Presence:Teleoperators and Virtual Environments*, 6 (4), 355–385.

9. Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., MacIntyre B. (2001) Recent Advances in Augmented Reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21 (6), 34–47.

10. Nechypurenko, P.P., Semerikov, S.O., Selivanova, T.V., Shenayeva, T.O. (2016) Information and communication tools for pupils' research competence formation at chemistry profile learning. *Information Technologies and Learning Tools*, 56 (6), 10–29.

11. Nechypurenko, P.P., Semerikov, S.O. (2017) VlabEmbed - the New Plugin Moodle for the Chemistry Education. ICT in Education, Research and Industrial Applications. *Integration, Harmonization and Knowledge Transfer 2017, 13th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer (ICTERI, 2017). CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org)*, 1844, 319–326.

12. Nechypurenko, P.P., Semerikov, S.O., Tomilina, A.O. (2018) Teoretyko-metodychni zasady vykorystannia informatsiino-komunikatsiinykh tekhnolohii yak zasobu formuvannia doslidnytskykh kompetentnostei starshoklasnykiv u profilnomu navchanni khimii. *Teoriia ta metodyka elektronnoho navchannia*, IX, 1 (9) , 1-350. (in Ukrainian)

13. Cai, S., Wang, X., Chiang, F.-K. (2014) A case study of Augmented Reality simulation system application in a chemistry course. *Computers in Human Behavior*, 37, 31–40.

14. Taçgin, Z., Uluçay, N., Özüağ, E. (2016) Designing and Developing an Augmented Reality Application: A Sample of Chemistry Education. *Journal of the Turkish Chemical Society, Section C: Chemical Education*, 1 (1), 147–164.

15. Fjeld, M., Fredriksson, J., Ejdestig, M., Duca, F., Botschi, K., Voegtli, B., Juchli P. (2007) Tangible user interface for chemistry education: comparative evaluation and re-design. *CHI'07: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, San Jose, April 28 - May 3*, 805–808.

16. Iordache, D. D., Pribeanu, C., Balog, A. (2012) Influence of specific AR capabilities on the learning effectiveness and efficiency. *Studies in Informatics and Control*, 21 (3), P.233–240.

17. Núñez, M., Quirós, R., Núñez, I., Carda, J.B., Camahort E. (2008) Collaborative Augmented Reality for Inorganic Chemistry Education. *EE'08 Proceedings of the 5th WSEAS/IASME international conference on Engineering education, Heraklion, 22–24 July 2008*, 271–277.

18. Singhal, S., Bagga, S., Goyal, P., Saxena V. (2012) Augmented Chemistry: Interactive Education System. *International Journal of Computer Applications*, 49 (15), 1–5.

19. Midak, L., Kravets, I., Kuzyshyn, O., Pahomov, Ju., Lutsyshyn V. (2019) Augmented Reality Technology within Studying Natural Subjects in Primary School// *Proceedings of the 2nd International Workshop (AREdu 2019). CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org)*, 251-261.

20. Midak, L.Ya., Kravets, I.V., Kuzyshyn, O.V., Baziuk, L.V., Buzhdyhan, Kh.V. (2021) Specifics of using image visualization within education of the upcoming chemistry teachers with augmented reality technology. *Journal of Physics: Conference Series*, 1840, 1-8. DOI:10.1088/1742-6596/1840/1/012013.

21. Midak, L.Ya., Kravets, I.V., Kuzyshyn, O.V., Baziuk, L.V., Buzhdyhan, Kh.V., Pahomov, Ju.D. (2021) Augmented reality as a part of STEM lessons. *Journal of Physics: Conference Series*, 1946, 1-12. DOI:10.1088/1742-6596/1946/1/012009.

22. Tuli, N., Mantri, A. (2015) Augmented Reality as Teaching Aid: Making Chemistry Interactive. *Journal of Engineering Education Transformations. Special Issue*, 187–191.

23. Wojciechowski, R., Cellary, W. (2013) Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments. *Computers & Education*, 68, 570–585.

24. Pasaréti, O., Hajdú, H., Matuszka, T., Jámbori, A., Molnár, I., Turcsányi-Szabó M. (2011) Augmented Reality in education. *INFODIDACT Informatika Szakm'odszertani Konferencia*. Retrieved from. URL: http://people.inf.elte.hu/tomintt/infodidact_2011.pdf.

25. Artırılmış Gerçeklik Element Kartları: AR Bilim Kartları (Augmented Reality Element Cards: AR Science Cards). (2017) Ders Zamanı Yayınları.

26. LiCo app. Retrieved from https://play.google.com/store/apps/details?id=com.lucs.LiCo&hl=en_US&gl=US.

27. Caudell, T.P., Mizell, D.W. (1992) Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. *Proceedings of the*

Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences. January 7-10, 1992. Kauai, Hawaii. Volume 2: Software Technology Track. IEEE Computer Society Press, 659-669.

Статтю надіслано до редколегії 08.04.2021 р.