

О.В. Крайнюк¹, Ю.В. Буц², В.В. Барбашин³, О.В. Северинов²

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

²Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Україна

³Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ

Показана значущість та перспективність сучасних AR/VR-технологій для забезпечення безпеки праці. Проаналізовано сучасні безпеки виробництва. Виконано SWOT-аналіз для оцінки основних проблем та ризиків впровадження VR/AR-технологій для забезпечення безпеки праці.

Ключові слова: VR/AR-технології, промислова безпека, охорона праці.

Постановка проблеми

У сучасному світі в умовах зростаючої конкуренції та швидких змін законодавства держава зацікавлена у збереженні життя та здоров'я працівників, оскільки більш ніж третину свідомого життя людина проводить на робочому місці.

Віртуальна реальність (Virtual Reality, VR) являє собою генероване комп'ютерними засобами тривимірне середовище, яке оточує користувача і реагує на його дії природним чином, зазвичай за допомогою іммерсивних (що забезпечують повний ефект присутності) мобільних пристроїв [1]. Часто VR-технології реалізуються через VR-шоломи, VR-окуляри та доповнюються маніпуляторами на руках [2].

Доповнена реальність (Augmented Reality, AR) – це використання у режимі реального часу інформації у формі тексту, графіки, аудіо та інших віртуальних розширень, інтегрованих з об'єктами реального світу і представлених з використанням пристрою відображення (шолома або окулярів віртуальної/доповненої реальності) або графічних накладень, що проєктуються. Саме наявність елементів «реального світу» відрізняє AR від віртуальної реальності VR. AR прагне покращити взаємодію користувачів із навколишнім середовищем, а не відокремлювати їх від неї.

Ринок VR/AR-технологій нарощує оберт (рис. 1, 2). Обсяг світового ринку гаджетів для віртуальної (VR) та доповненої реальності (AR) у 2021 році досяг 11,2 млн штук, збільшившись на 92,1% порівняно з минулорічним показником [3].

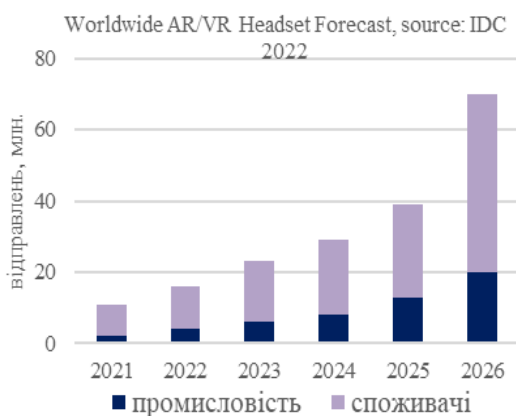


Рис. 1. Світовий прогноз гарнітури VR/AR [3]

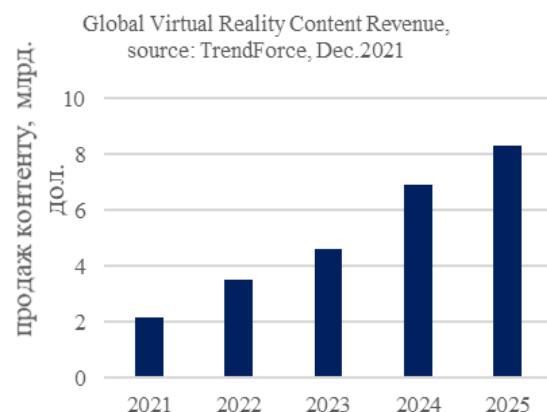


Рис. 2. Прогноз із продажу контенту для віртуальної реальності, дані TrendForce [4]

Ринок технологій віртуального навчання збільшується. Найближчі 5-10 років головним напрямком розробок є «перетворення» смартфонів,

в яких люди проводять тривалий час, їх «перенесення» на голову, очі у вигляді окулярів доповненої реальності або контактних лінз.

Переважаюча кількість потужних виробників, у тому числі Apple і Samsung, працюють над AR-окулярами, які стануть заміною смартфонам і в поєднанні зі штучним інтелектом дадуть користувачам набагато більше можливостей [5].

Цього року прогнозується підвищення показника чисельності технологій доповненої реальності майже на 47% [4]. А у 2026-му році галузь подолає рубіж у 50 млн реалізованих пристроїв. За прогнозами, світовий ринок доповненої реальності досягне 85,47 млрд доларів США до 2026 року (12,56 млрд доларів США у 2020 році), збільшившись у середньому на 37,66% за 2020–2026 роки [6].

За прогнозами компанії TrendForce [6] до 2025 року технологія доповненої реальності буде більш затребувана у переважній кількості областей, ніж віртуальна реальність.

VR/AR-технології повинні бути націлені на те, щоб підвищити безпеку на виробництві за допомогою впровадження цифрових інструкцій та тренувань у віртуальній реальності, що моделює як штатні, так і екстремальні ситуації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Понад 58% компаній-учасниць Всесвітнього економічного форуму визначили VR/AR-технології як такі, що почнуть використовувати ще до кінця 2022 року [7]. Частка компаній з Франції, Німеччини, Великобританії та Швейцарії, які планують впроваджувати VR-пристрої склала відповідно 70%, 68%, 66% і 72%.

Цифрові технології використовуються у системі навчання працівників різним навичкам з техніки безпеки. Все частіше застосовуються відеоінструктажі та нові програмні комплекси за допомогою яких працівник у режимі самопідготовки зможе освоїти та пройти перевірку знань з усіх напрямків охорони праці та промислової безпеки. В даний час активно розробляються технології віртуальної та доповненої реальності (VR/AR-рішень), що містять навчальні ігри та поведінкову симуляцію, що дозволяє відпрацьовувати правила поведінки у конкретних місцях та ситуаціях.

Першими VR/AR тренажери повинні отримати представники професій із найбільшим ризиком виробничого травматизму: гірники, рятувальники ДСНС, електрики. Перевага VR-технологій перед традиційними методами навчання полягає у тому, що стає можливим відпрацювання практичних навичок у безпечних умовах. Моделювання реальних ситуацій у віртуальній реальності дозволяє краще засвоювати інформацію.

Нині у кожній галузі виробництва діють сотні нормативно-правових актів з охорони праці. За

кожною спеціальністю потрібно вивчити десятки об'ємних НПАОП.

Завдяки VR/AR-технологіям недосвідченого співробітника можна не допускати до дороговартісного або травмонебезпечного обладнання, але при цьому навчити його ефективно та безпечно використовувати це обладнання. VR-тренажер дозволяє відпрацьовувати послідовність дій при виконанні конкретного виробничого завдання у віртуальному світі, в якому той, хто навчається, може брати участь у гасінні пожежі, відпрацьовувати техніку виконання висотних робіт, усувати поломки, ліквідувати аварійні ситуації.

Крім того, VR-технології корисні для перевірки знань працівників. З їхньою допомогою можна оцінювати процес виконання технологічних операцій на всіх етапах. Більше того, є можливість програмно розставляти пастки для того, щоб випробувати фахівця та перевірити якість засвоєння матеріалу. Якщо людина ці пастки не долає, то може побачити наслідки цього (як герой у комп'ютерних іграх віртуально втрачає своє життя). Це може супроводжуватися шумовим та світловим ефектом або, наприклад, для працівників електроустановок, імітацією удару електрострумом. Людина повинна усвідомити, що ця помилка може насправді для неї бути травмонебезпечною чи навіть смертельною. Віртуальні навчальні симулятори з безпеки для шахтарів застосовуються на вугільних шахтах Австралії, на шахтах гірничодобувних компаній (Anglo Platinum) [6].

У науковій літературі описуються деякі приклади використання VR/AR-технологій для забезпечення безпеки праці. Наприклад, через складне робоче середовище на будівельному майданчику спостерігається високий рівень аварійності, що призводить до травмування, затримок проекту та витрат коштів. Авторами [8] пропонується основа для використання VR/AR-реальності для практичного навчання техніці безпеки під час будівництва.

У роботі [9] автори наполягають, що до трійки основних областей застосування VR/AR-технологій мають увійти: ідентифікація небезпек, навчання та підготовка з охорони праці, а також перевірка та інструктаж з техніки безпеки. Додатки VR/AR можуть покращити показники безпеки реальних будівельних проектів, досвід VR/AR може дозволити користувачам візуалізувати та розпізнавати складні ситуації на робочому місці, з яких можуть бути отримані знання про процедури та навички. Механізми підвищення безпеки, якщо розглядати їх з погляду ергономіки, психології, освітньої педагогіки, людського сприйняття та пізнання, можуть виявити знання про те, як програми навчання безпеки на основі VR/AR

можуть запропонувати більш відповідне робоче середовище, в якому користувачі можуть ефективно відпрацьовувати небезпечні фактори і, зрештою, розвивати здібності до розпізнавання та запобігання небезпекам.

VR/AR технології передають живі відеоролики з віддалених будівельних майданчиків до аудиторії та дозволяють студентам взаємодіяти з об'єктами у відеосценах [10].

За допомогою VR/AR технологій пропонується проводити перевірку знань та інструктаж з техніки безпеки. Традиційні методи зв'язку змушують інспекторів або робітників носити будівельні креслення на об'єкт і вимагають багато зусиль, щоб знайти правильні креслення, щоб отримати необхідну інформацію [11]. Їм також потрібно перенести дані з 2D представлення в уявне 3D представлення, а також ідентифікувати численні попередньо визначені символи на кресленнях. Для того, щоб підвищити можливості точного та оперативного розпізнавання ризиків для безпеки, AR технології застосовуються при проведенні інспекції, нагляду за охороною праці [11]. Оцінка будівель за допомогою AR є одним із видів перевірки безпеки будівництва. Раніше зібрану інформацію про будівлю можна додавати на реальну структуру в AR. За допомогою доповненої реальності можна відмічати прокладені під землею комунікації для того, щоб уникнути пошкодження при роботі екскаватора [12].

Розроблені технології Yeh et al [13] дозволяють інспекторам вводити своє поточне місцезнаходження на місці та автоматично отримувати пов'язану інформацію про безпеку на дисплеї AR, яку можна візуалізувати не лише за допомогою зображень або 3D-моделей, а й мати інформацію про мікроклімат робочого середовища та відхилення умов праці від встановлених нормативних рівнів.

Симуляція екстреної евакуації на основі VR, а також метод визначення шляху також є перевіреним підходом для інструкцій з безпеки будівництва для скорочення продуктивності евакуації [9].

AR можуть допомогти працівникам у майбутньому виконувати небезпечні фізичні роботи у віддаленому місці, наприклад, складні електромонтажні роботи, які можуть становити потенційну загрозу безпеці людини [14]. Програма навчання техніки безпеки на основі віртуальної реальності може запропонувати близьке до реальності моделювання небезпечного робочого середовища [15]. Користувачі можуть ефективно вирішувати завдання, планувати, оцінювати та перевіряти операції із забезпечення безпеки будівництва або занурюватись у різні види небезпек, щоб зрештою навчитися ідентифікувати небезпеку

та запобігати аваріям [16]. Тейзер та ін. [10] впровадили технологію віддаленого збору та візуалізації даних для навчання працівників завданням виявлення небезпек.

За допомогою AR розробляються віртуальні бар'єри для безпеки: 1) віртуальний бар'єр людини, щоб захистити її від зіткнення з роботом, і 2) віртуальні бар'єри перешкод, які користувачі можуть створювати для захисту об'єктів або областей, в які робот не повинен увійти. Керування легке за допомогою голосових команд та жестів, а також можливості автоматичного перепланування шляху при виявленні потенційних зіткнень у результаті перешкоди, що перетинає шлях робота [17].

AR-технології можуть бути використані як педагогічний інструмент для вивчення радіаційного захисту, а також допомога в навчанні фахівців та студентів у сфері ядерної безпеки [18].

VR/AR-технології стають актуальними як засоби індивідуального захисту. Так, наприклад, для захисту очей від яскравих джерел світла, таких як світлодіоди, зварювальна дуга та лазери, рекомендується використовувати шоломи віртуальної реальності. Обробка зображень у режимі реального часу дозволяє операторам безпечно працювати зі світлодіодами, зварювальними дугами та лазерами [19].

VR/AR-технології для АЕС використовуються у таких сферах: моделювання різних ядерно-енергетичних процесів; експлуатація, ремонт та технічне обслуговування обладнання; презентація діяльності; будівництво станції; навчання персоналу [20].

Допомогти працівникам під час робочого процесу дозволять окуляри доповненої реальності, вони діятимуть як система довідників для оператора, який носить окуляри, забезпечує дистанційну підтримку (віддалений оператор) і, з точки зору безпеки, надсилатимуть сповіщення в режимі реального часу в небезпечних ситуаціях [17].

Формулювання мети статті

Представлена стаття має на меті показати значущість та перспективність сучасних AR/VR технологій для забезпечення безпеки праці.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні завдання:

- Аналіз сучасних зарубіжних та вітчизняних досліджень та розробок VR/AR-інтерфейсу в галузі побудови системи управління охороною праці.

- Формалізація концепції застосування AR-інструментів для забезпечення безпеки виробництва.

- Виконання SWOT аналізу для оцінки основних проблем та ризиків впровадження VR/AR-технологій для забезпечення безпеки праці.

Виклад основного матеріалу

Моделювання, доповнена реальність та віртуальна реальність вже скоро будуть звичним явищем у будівництві. За допомогою віртуальної реальності можна уявити проект на етапі будівництва з використанням кранового обладнання, машин та механізмів, що попередить ризики отримання травм працівників у ході будівництва. При використанні цього виду впровадження нових технологій можливий грамотний вибір місць тих чи інших машин і механізмів зниження ризиків [21].

Зручно реалізувати можливості VR-технологій при інструктуванні фахівців щодо шляхів евакуації на виробництві при виявленні критичної несправності, що становить загрозу для людей. За допомогою VR/AR-технологій можна здійснювати інструктаж, показуючи фахівцю знаки евакуації (наприклад за допомогою окулярів), що зображують коректний та безпечний маршрут. У ситуації навчання можна реалізувати показ зелених показників (знаків, символів, надписів) лише за певний проміжок часу, коли співробітник зупинився при переміщенні територією підприємства або затримався, тощо.

Компанія Simtars в Австралії випустила вступний навчальний курс для забезпечення безпеки праці персоналу в шахтах. За рахунок віртуальної симуляції небезпечних обставин стажери встановлюють рівень загрози та навчаються використовувати методи її контролю та ліквідації, не виходячи за територію навчального класу [22].

Автори [23] пропонують використовувати VR-технології для забезпечення безпеки роботи інженера-дефектоскопіста, який залучається в роботах на небезпечних виробничих об'єктах, там, де дефекти можуть призвести до значних витрат, загрожують життю та здоров'ю персоналу та населення. Нові VR-технології можуть допомогти, зануливши спеціаліста інженера-дефектоскопіста в умови польового середовища, де він зможе тривимірно вивчати (на відміну від звичайної ілюстрації на папері) об'єкт з наявністю дефектів, взаємодіяти з ним, а також при розробленій програмі коригувати дефекти. Подібні рішення активно сприймаються фахівцями у порівнянні з нудними паперовими приписами в інструкції [22].

Основна складність, що пов'язана з VR-технологіями полягає у нестачі кваліфікованих фахівців із цифрових технологій у промисловості, які одночасно добре знали б як на галузевих технологічних процесах, нормативних документах з охорони праці, так і на новітніх цифрових інструментах. Для дійсного навчання працівників потрібні конкретні приклади з практики та можливі

сценарії розвитку ситуації [23]. Будь-яка ситуація, яку змодельє віртуальна реальність, обмежена певними умовами. А слід передбачити нестандартні ситуації: обладнання під напругою, відсутність засобів захисту від ураження електричним струмом, використання не повіреного інструменту, умови обмеженої видимості (погодні умови, задимленість). Раніше ми вже обговорювали перспективи та складності впровадження цифрових технологій для рішення питань безпеки на виробництві [24, 25]. У даному дослідженні виділено основні проблеми та ризики VR/AR-проектів в охороні праці.

У ході аналізу кейсів застосування технологій отримано дані, які дозволяють виявити слабкі та сильні сторони технологій, можливості їх застосування та загрози, з якими можуть зіткнутися компанії. Оскільки за своїм характером усі VR/AR-проекти є IT-проектами, їм властиві всі класичні проблеми та ризики IT-проектів. Можна виділити основні перешкоди для впровадження VR/AR-технологій:

1. Висока вартість проектів.

2. Технічні обмеження та висока складність впровадження. У ході пілотних проектів замовники нерідко виявляють, що обладнання та програмне забезпечення VR/AR-рішень не завжди відповідають вимогам, що висувуються умовами реального виробництва. Наприклад, окуляри віртуальної реальності можуть виявитися крихкими, заряд батареї обмеженим та ін.

3. Небажання фахівців впроваджувати та застосовувати нові, «необкатані» технології та методики. Опір консерваторів серед керівництва і серед персоналу.

4. Відсутність переконливого техніко-економічного обґрунтування для реалізації проекту.

5. Дефіцит кваліфікованих спеціалістів. Основний дефіцит складають розробники контенту/сценаріїв та спеціального програмного забезпечення.

Для систематизації інформації з джерел побудовано SWOT-матрицю (табл. 1). Наведемо SWOT-аналіз AR/VR-технологій для забезпечення безпеки праці.

Однією із сильних сторін можна вважати «різноманітність сфер застосування», що підтверджує перспективність використання AR/VR-інструментів. AR/VR-технології мають свої сильні та слабкі сторони, які слід враховувати при інтеграції цих технологій у середовище навчання. Обидві технології надають нову захоплюючу освітню реальність. У табл. 2 наведено основні переваги та недоліки двох технологій, головні відмінні ознаки.

Таблиця 1

SWOT аналіз впровадження AR/VR-технологій для забезпечення безпеки праці

S – Сильні сторони	W – Слабкі сторони
<p>Перспективний майданчик для розвитку різних сфер діяльності; Широкий спектр локацій для проведення навчання; Багатофункціональність; Технічні навички у різних сегментах; Велика зацікавленість серед користувачів; Простота інтеграції та просте управління; Унікальність та інноваційність продукту потужний 3D-інструмент; Взаємодія у режимі реального часу; Можливість відстежувати індивідуальний прогрес кожного співробітника під час навчання; Методика та темп навчання визначаються потребами кожного користувача, його інтересами, здібностями та уподобаннями;</p>	<p>Технологічні обмеження та недосконалість програмного забезпечення; Нестача якісного контенту; Висока вартість; Відсутність кваліфікованих кадрів; Нестача вітчизняних виробників апаратного забезпечення; Необхідність роботи в команді, високий рівень співпраці між розробниками та спеціалістами охорони праці; Необхідність тривалої підтримки;</p>
O – Можливості	T - Загрози
<p>Високий потенціал ринку, наявність вільних ніш. Розвиток суміжних ринків; Зростання інтересу інвесторів; Запобігання загрозі здоров'ю та життю співробітників; Нові потреби клієнтів; Розвиток технологій; Зниження ймовірності пошкодження дороговартісного обладнання недосвідченими співробітниками; Інтеграція у процеси існуючих організацій Налагодження постійного потоку замовлень від великих організацій; Матеріальне заохочення від держави за діяльність у сфері екології та культури; Навчання безпечним способом роботи осіб з обмеженими можливостями; Вивчення, розгляд об'ємного зображення з усіх боків; Використання різноманітних звукових ефектів (сигнал машини, аварійна сигналізація); Чинник підвищення конкурентоспроможності підприємства; Зміцнення бренду та репутації компаній; Зниження рівня аварійності та травматизму;</p>	<p>Конкурентні технології (інтернет речей, штучний інтелект, робототехніка); Недолік відомостей про дослідні результати використання; Непередбачуваність зовнішнього середовища; «Молодий» ринок; Дуже повільне ознайомлення з технологіями віртуальної реальності; Споживачі поки що не усвідомлюють цінність та віддачу від використання AR-технологій; Проблеми із сертифікацією діяльності; Некоректна робота програмного забезпечення на деяких пристроях; Нестача досвідчених фахівців у цій галузі; Технічна невідповідність обладнання для успішного впровадження цих технологій; Складність у техніко-економічному обґрунтуванні та досягнення окупності даних заходів; Відсутність ефективного акумулятора; Дорожня AR/VR-пристроїв; Особлива техніка безпеки під час використання VR/AR-гаджетів;</p>

Отже, технології віртуальної та доповненої реальності мають цілу низку переваг. Їхні можливості практично безмежні. За умови грамотного використання потенціалу технологій компаніям вдасться досягти бажаної вигоди за рахунок збільшення продуктивності праці співробітників, удосконалення робочих процесів, ефективної побудови системи управління праці, поглиблення професійних компетенцій своїх співробітників, зниження ймовірності виникнення

аварій чи нещасних випадків на підприємстві.

Системи VR/AR довели свою ефективність, зручність використання, застосовність та точність підходів до виявлення небезпек, при навчанні безпеці, здійсненню контролю та можливість впровадження у будь-яку сферу діяльності.

Висновки

Таким чином, наявність фахівців із цифрових технологій на виробництві – найважливіший фактор

успіху цифрової стратегії. Для цього потрібно спільно з технологічними компаніями, ЗВО та організаціями професійної освіти розробляти освітні програми, у тому числі які передбачають отримання подвійних спеціальностей та стажування на підприємствах.

VR/AR-технології – це прогресивний інструмент для ефективного реалізації завдань забезпечення безпеки, досягнення високого рівня системи управління охороною праці, а також зниження рівня травматизму. Дані технології активно застосовуватимуться і розвиватимуться в майбутньому, торкаючись інших сфер життєдіяльності суспільства.

Аналіз даного дослідження VR/AR-технологій може допомогти вченим та спеціалістам у пошуку подальших можливостей для спільних досліджень та забезпечення промислової безпеки.

Література

1. *Hype Cycle for Emerging Technologies*, 2017. Gartner Group, 2017.– URL: <http://surl.li/dctgo>.
2. Rae, Juno. *Virtual reality at the British Museum: What is the value of virtual reality environments for learning by children and young people, schools, and families/* Rae, Juno; Edwards, Lizzie // *MW2016: Museums and the Web*, 2016, 1.
3. *Компанія International Data Corporation (IDC)*.– URL: <https://www.idc.com/>
4. *Report The «Augmented Reality Market Global Forecast by Segments, Region, End-User, Headset Volume, Company Analysis»*.– URL: <http://surl.li/dbsly>.
5. *PwC: рынок VR будет расти на 70% в год, 2017*. – URL: <http://surl.li/dcthg>.
6. *AR/VR Devices Shipment Projected to Reach 43.2 Million Units in 2025, Driven by Glasses-Like AR/VR Devices, Says TrendForce // Gartner*. – URL: <http://surl.li/dcthn>.
7. *The Future of Jobs 2018*. World Economic Forum.– URL: <http://surl.li/dctho>.
8. *LE, Q.T. A framework for using mobile based virtual reality and augmented reality for experiential construction safety education /* Le, Q. T., Pedro, A. K. E. E. M., Lim, C. R., Park, H. T., Park, C. S., & Kim, H. K. // *International Journal of Engineering Education*.–2015.- Vol. 31.3.- Pp. 713-725.
9. *Li, Xiao A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety /* Li, Xiao; Yi, Wen; Chi, Hung-Lin; Wang, Xiangyu; Chan, Albert P.C. // *Automation in Construction*.– 2018.- Vol. 86.- Pp. 150–162. DOI: [doi:10.1016/j.autcon.2017.11.003](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003).
10. *Teizer, J. Location tracking and data visualization technology to advance construction ironworkers' education and training in safety and productivity /* Teizer, Jochen; Cheng, Tao; Fang, Yihai // *Automation in Construction*.– 2013.- Vol. 35.- Pp. 53-68.
11. *Dunston, P. S. Identification of application areas for Augmented Reality in industrial construction based on technology suitability /* Dunston, Phillip S.// *Autom. Constr.*– 2008.- Vol. 17 (7).– Pp. 882-894, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2008.02.012>.
12. *Behzadan, A.H. Augmented reality visualization: A review of civil infrastructure system applications /* Behzadan, Amir H.; Dong, Suyang; Kamat, Vineet R. // *Advanced*

13. *Engineering Informatics*.– 2015.- Vol. 29 (2).– Pp. 252-267.- DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.angi.2015.03.005>.
14. *Yeh K.C. On-site building information retrieval by using projection-based augmented reality /* K.C. Yeh, M.H. Tsai, S.C. Kang // *J. Comput. Civ. Eng.*– 2012.- Vol. 26 (3).– Pp. 342-355.- DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000156](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000156).
15. *Chi H.-L. Development of user interface for teleoperated cranes /* H.-L. Chi, Y.-C. Chen, S.-C. Kang, S.-H. Hsieh // *Adv. Eng. Inform.*– 2012.- Vol. 26 (3).– Pp. 641-652.- DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.angi.2012.05.001>.
16. *Goulding J. Construction industry offsite production: A virtual reality interactive training environment prototype /* Goulding, W. Nadim, P. Petridis, M. Alshawi // *Adv. Eng. Inform.*– 2012.- Vol. 26 (1).– Pp. 103-116.- DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.angi.2011.09.004>.
17. *Sacks R. Construction safety training using immersive virtual reality /* Sacks, A. Perlman, R. Barak // *Constr. Manag. Econ.*– 2013.- Vol. 31 (9).– Pp. 1005-1017.- DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01446193.2013.828844>.
18. *Hoang, K.C. Virtual barriers in augmented reality for safe and effective human-robot cooperation in manufacturing /* Hoang, K. C., Chan, W. P., Lay, S., Cosgun, A., & Croft, E.- 2021.- arXiv preprint arXiv: 2104.05211, 2021.
19. *Gonçalves, G. L. The use of Augmented Reality for the teaching of dosimetry and metrology of ionizing radiation at IRD /* Gonçalves, G. L., Delgado, J. U., & Razuck, F. B. // *Journal of Physics: Conference Series*.– 2021.- Vol. 1826(1).– Pp. 012041. IOP Publishing.
20. *Deniel, J. M. Occupational eye protection using Augmented Reality: a proof of concept /* Deniel, J. M.; Thommet, S.- 2022. DOI: [10.1051/radiopro/2022005](https://doi.org/10.1051/radiopro/2022005).
21. *Popov, O. Application of virtual and augmented reality at nuclear power plants /* Popov, O., Iatsyshyn, A., Sokolov, D., Dement, M., Neklonskyi, I., Yelizarov, A. // *Systems, Decision and Control in Energy II*. Springer, Cham.- 2021.- Pp. 243-260.
22. *Tang, S. A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends /* Tang, S., Shelden, D. R., Eastman, C. M., Pishdad-Bozorgi, P., & Gao, X.// *Automation in Construction*.– 2019.- Vol. 101.- Pp. 127-139.
23. *Зюкіна, А. В. Информационные технологии в сфере охраны труда и промышленной безопасности /* Зюкіна, А. В. // *Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем (ПТИИВС-2020)*.– 2020. С. 208-212.
24. *Chalmers A.G. Real Virtuality: A Step Change from Virtual Reality /* Chalmers A.G., Howard D., Moir C. // *Proc. Spring Conference on Computer Graphics SCCG'09. ACM SIGGRAPH Press*.– 2009.- Pp. 15-22.
25. *Крайнюк О.В. SWOT - Аналіз впровадження цифрових технологій для забезпечення безпеки праці /* Крайнюк О.В., Буц Ю.В., Барбашин В.В. // *Комунальне господарство міст*.– 2021.- Т. 3(163).– С. 234-238.- DOI [10.33042/2522-1809-2021-3-163-234-238](https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-3-163-234-238).
26. *Крайнюк О.В. Перспективи диджиталізації у сфері охорони праці /* Крайнюк О.В., Буц Ю.В., Барбашин В., Діденко Н.В. // *Комунальне господарство міст*.– 2020.- Т. 6(159).– С. 130-138. DOI [10.33042/2522-1809-2020-6-159-130-138](https://doi.org/10.33042/2522-1809-2020-6-159-130-138).

References

1. *Hype Cycle for Emerging Technologies*, 2017. (2017) Gartner Group, 2017.– URL: <http://surl.li/dctgo>.
2. *Rae, Juno; Edwards, Lizzie (2016). Virtual reality at the British Museum: What is the value of virtual reality*

- environments for learning by children and young people, schools, and families. *MW2016: Museums and the Web*, 1.
3. Компания International Data Corporation (IDC).- URL: <https://www.idc.com/>
 4. Report The «Augmented Reality Market Global Forecast by Segments, Region, End-User, Headset Volume, Company Analysis».- URL: <http://surl.li/dbsly>.
 5. PwC: рынок VR будет расти на 70% в год, 2017. - URL: <http://surl.li/dcthg>.
 6. AR/VR Devices Shipment Projected to Reach 43.2 Million Units in 2025, Driven by Glasses-Like AR/VR Devices, Says TrendForce // *Gartner*. – URL: <http://surl.li/dcthn>.
 7. The Future of Jobs 2018. World Economic Forum.- URL: <http://surl.li/dctho>.
 8. Le, Q. T., Pedro, A. K. E. E. M., Lim, C. R., Park, H. T., Park, C. S., & Kim, H. K. (2015) A framework for using mobile based virtual reality and augmented reality for experiential construction safety education. *International Journal of Engineering Education*, 31.3, 713-725.
 9. Li, Xiao; Yi, Wen; Chi, Hung-Lin; Wang, Xiangyu; Chan, Albert P.C. (2018) A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. *Automation in Construction*, 86, 150–162. DOI: [doi:10.1016/j.autcon.2017.11.003](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003).
 10. Teizer, Jochen; Cheng, Tao; Fang, Yihai (2013) Location tracking and data visualization technology to advance construction ironworkers' education and training in safety and productivity. *Automation in Construction*, 35, 53-68.
 11. Dunston, Phillip S (2008) Identification of application areas for Augmented Reality in industrial construction based on technology suitability. *Automation in Construction*, 17 (7), 882-894, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2008.02.012>.
 12. Behzadan, Amir H.; Dong, Suyang; Kamat, Vineet R. (2015) Augmented reality visualization: A review of civil infrastructure system applications. *Advanced Engineering Informatics*, 29 (2), 252-267, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2015.03.005>.
 13. K.C. Yeh, M.H. Tsai, S.C. Kang K.C. (2012) On-site building information retrieval by using projection-based augmented reality. *J. Comput. Civ. Eng.*, 26 (3), 342-355.- DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000156](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000156).
 14. Chi H.-L., Chen Y.-C., Kang S.-C., Hsieh S.-H. (2012) Development of user interface for teleoperated cranes. *Advanced Engineering Informatics*, 26 (3), 641-652.- DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2012.05.001>.
 15. Goulding, W. Nadim, P. Petridis, M. Alshawi (2012) Construction industry offsite production: A virtual reality interactive training environment prototype. *Advanced Engineering Informatics*, 26 (1), 103-116.- DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2011.09.004>.
 16. Sacks, A. Perlman, R. Barak (2013) Construction safety training using immersive virtual reality. *Constr. Manag. Econ.*, 31 (9), 1005-1017.- DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01446193.2013.828844>.
 17. Hoang, K. C., Chan, W. P., Lay, S., Cosgun, A., & Croft, E. (2021) Virtual barriers in augmented reality for safe and effective human-robot cooperation in manufacturing, *arXiv preprint arXiv: 2104.05211*, 2021.
 18. Gonçalves, G. L., Delgado, J. U., & Razuck, F. B. (2021) The use of Augmented Reality for the teaching of dosimetry and metrology of ionizing radiation at IRD. *Journal of Physics: Conference Series*, 1826(1), . 012041. IOP Publishing.
 19. Deniel, J. M.; Thommet, S. (2022) Occupational eye protection using Augmented Reality: a proof of concept., DOI: [10.1051/radiopro/2022005](https://doi.org/10.1051/radiopro/2022005).
 20. Popov, O., Iatsyshyn, A., Sokolov, D., Dement, M., Neklonskyi, I., Yelizarov, A. (2021) Application of virtual and augmented reality at nuclear power plants. *Systems, Decision and Control in Energy II. Springer, Cham*, 243-260.
 21. Tang, S., Shelden, D. R., Eastman, C. M., Pishdad-Bozorgi, P., & Gao, X. (2019) A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends *Automation in Construction*, 2019, 101, 127-139.
 22. Ziukeyna, A. V. (2020) Information technologies in the field of labor protection and industrial safety. *Software engineering: methods and technologies for the development of information and computing systems*, 208-212.
 23. Chalmers A.G., Howard D., Moir C. (2009) Real Virtuality: A Step Change from Virtual Reality *Proc. Spring Conference on Computer Graphics SCCG'09*. ACM SIGGRAPH Press, 15-22.
 24. Krainiuk O.V., Buts Yu.V., Barbashyn V.V. (2021) SWOT - Analysis of the implementation of digital technologies for the security of the workplace. *Municipal economy of cities*, 3(163), 234-238. DOI [10.33042/2522-1809-2021-3-163-234-238](https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-3-163-234-238).
 25. Krainiuk O.V., Buts Yu.V., Barbashyn V., Didenko N.V. (2020) Prospects of digitalization in the sphere of protection of practice. *Municipal economy of cities*, 6(159), 130-138. DOI [10.33042/2522-1809-2020-6-159-130-138](https://doi.org/10.33042/2522-1809-2020-6-159-130-138).

Рецензент: доктор технічних наук, професор, начальник факультету оперативно-рятувальних сил Р.В. Пономаренко, Національний університет цивільного захисту України, Україна

Автор: КРАЙНЮК Олена Володимирівна
кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – alenuvarova@ukr.net
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9524-040X>

Автор: БУЦЮРІЙ Васильович
доктор технічних наук, професор
Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця
E-mail – yurii.but@hneu.net
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0450-2617>

Автор: БАРБАШИН Віталій Валерійович
кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – barbachyn@ukr.net
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3262-8305>

Автор: СЕВЕРИНОВ Олександр Володимирович
кандидат економічних наук, доцент
Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця
E-mail – severinov.av@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5366-4044>

USE OF VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY TECHNOLOGIES TO ENSURE LABOR SAFETY

O. Krainiuk¹, Yu. Buts², V. Barbachyn³, O. Severinov²

¹Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

²Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine

³O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

Recently, new learning technologies with elements of virtual and augmented reality have been created to eliminate the discrepancy between the necessary and existing competencies of employees. They can be used in the field of occupational safety or training young professionals in safe work practices.

VR/AR technologies should be aimed at improving safety at work through the introduction of digital instructions and training in virtual reality, simulating both regular and extreme situations. VR/AR technologies help to reduce time costs and possible errors, increase productivity and efficiency, and also reduce the risk of industrial injuries.

The importance and prospects of modern AR/VR technologies for ensuring labor safety are shown.

The analysis of modern foreign and domestic research and development of the VR/AR interface in the field of building a labor protection management system has been carried out. Emphasis is placed on the formalization of the concept of using AR tools to ensure production safety. A SWOT analysis was carried out to assess the main problems and risks of introducing VR / AR technologies to ensure labor safety.

During the analysis of technology application cases, data was obtained that allowed to identify the weak and strong sides of the technologies, the possibilities of their application and the threats faced by the companies. To systematize information from sources, a SWOT matrix was constructed. We will present a SWOT analysis of AR/VR technologies to ensure labor safety.

One of the strengths can be considered "a variety of applications", which confirms the promise of using AR / VR tools.

With proper use of the potential of technology, companies will be able to achieve the desired benefits by increasing employee productivity, improving work processes, effectively building a labor management system, deepening the professional competencies of their employees, and reducing the likelihood of accidents or accidents at the enterprise..

Keywords: VR/AR technologies, industrial safety, labor protection.