

*Попов О. О.,
д-р. техн. наук, старш. наук. співроб., заступник директора,
Яцишин А. В.,
канд. пед. наук, старш. наук. співроб., провідний наук. співроб.,
Яцишин А. В.,
д-р. техн. наук, старш. наук. співроб., провідний наук. співроб.,
Ковач В. О.,
канд. техн. наук, старш. наук. співроб., провідний наук. співроб.
ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»*

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ

Ядерна енергетика є важливим напрямом функціонування розвинених світових держав. На жаль, великі ядерні аварії, що сталися в історії атомних електростанцій (АЕС) (Трі-Майл-Айленд, Чорнобильська, Фукусіма-1), спричинивши глобальний вплив призвели до значного радіоактивного забруднення, завдавали чималої шкоди здоров'ю населення, природним та агроекологічним системам тощо [5, 3]. Оскільки АЕС є об'єктами підвищеної небезпеки, то перспективи їх розвитку тісно пов'язані з питаннями їх безпечного функціонування та захисту територій, цивільного захисту населення та навколишнього природного середовища на території розміщення станцій. За різних негативних обставин (порушення технологічних процесів, техніки безпеки і режиму роботи, техногенні аварії та інциденти, природні явища, диверсії тощо) на АЕС можуть виникати надзвичайні ситуації, які створюють значний ризик для природного середовища, здоров'я персоналу та населення прилеглих територій [3].

В новій технологічній ері за умови наявності цифрової альтернативи існування розвиток більшої частини аналогових систем стає недоцільним. Основною метою цифровізації є досягнення цифрової трансформації існуючих та створення нових галузей економіки, а також трансформація сфер життєдіяльності у нову більш ефективну та сучасну. Високотехнологічне виробництво та модернізація промисловості за допомогою цифрових технологій, масштаби і темпи цифрових трансформацій повинні стати пріоритетом економічного розвитку. Сектори економіки, що використовують цифрові технології, зростають швидше, дешевше та якісніше [3]. Відповідно і у галузі енергетики потрібно ширше впроваджувати цифрові технології і успішні проекти зарубіжних розробників. У [5] описано, що після ядерної аварії на Фукусіма-1 було створено симуляційну платформу NURESAFE7 на базі NURSIM – платформи для аналізу безпеки, експлуатації та інженерії проєктування ядерних реакторів. Віртуальна ядерна електростанція (Virtual4DS) – це інтегрована імітаційна платформа, що охоплює середовище АЕС, основою якого є цифровий реактор, що складається з цифрового трафіку, цифрової метеорології та даних про процеси у земній корі. На основі великих даних, мобільного інтернету, штучного інтелекту, хмарних обчислень та інших передових цифрових технологій за допомогою віртуальної АЕС можливо виконати моделювання багатоактивних операцій, розглянути еволюцію ядерних аварій, використати для підтримки прийняття управлінських рішень, передбачати надзвичайні ситуації та ін. [5]. Тому завдяки цифровим технологіям питання «безпеки ядерної енергетики» отримали нове значення і для персоналу АЕС, і для підготовки майбутніх фахівців для галузі енергетики [2].

Імерсивні технології наразі є функціональними і доступними, за допомогою яких можливо моделювати складні завдання, що вимагають адаптивного мислення і реальних навичок. А тому ці технології є ідеальним інструментом для навчання персоналу в цифрову еру. Імерсивні технології стануть основою навчання в промисловому середовищі, адже навчання стане більш ефективним, цікавим і безпечним [4].

Китайськими вченими було розроблено симулятор Virtual4DS з підтримкою VR для моделювання подій життєвого циклу АЕС і екстремальних сценаріїв, таких як руйнування реактора. Застосовуючи дану платформу можна проаналізувати безпеку нових реакторів, а також дати прогнози зміни рівня радіації і довгостроковим впливам на навколишнє середовище. Virtual4DS також можна підключити до нової системи управління АЕС для проведення тренувань, навчання персоналу, моделювання аварій для перевірки ефективності планів дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій. Використання розробленого програмного забезпечення буде здійснюватися для проєктування і оцінки безпеки об'єкта через аналіз великих даних з цифрового реактора поряд з інформацією про клімат, тектонічний рух на певних ділянках [2]. У [5] зазначено, що «цифровий реактор» (VisualBUS) був розроблений для забезпечення високої точності інтегрованого моделювання мультифізичних процесів для ядерної енергетики. Завдяки інтеграції цифрових технологій, таких як великі дані, хмарні платформи, візуалізація, VR та висока продуктивність обчислень, робота цифрового реактора спрямована на досягнення повного діапазону та інтегрованого моделювання поведінки реактора у повноцикловому режимі. Virtual4DS є інтегрованою симуляційною платформою для моделювання аварій та вирішення надзвичайних ситуацій на АЕС і виконує такі задачі: моделювання проєктування та експлуатація реактора, моделювання аварії та попередження про них, повномасштабна міграція радіонуклідів та оцінка наслідків для навколишнього середовища, оцінка ризиків для здоров'я населення. Virtual4DS можливо підключити до інформаційної системи АЕС та отримати доступ про її стан у реальному часі. Також Virtual4DS має ширше застосування, а саме: при бурінні свердловин, при випробовуванні ядерної зброї, на АЕС тощо [5].

Висновки. Визначено, що потужні енергетичні компанії активно застосовують дані технології для різних потреб галузі, а саме: для тренування персоналу, представлення нового обладнання (виставкові комплекси) та ін. Наразі імерсивні технології на АЕС застосовують у таких напрямках: 1) *моделювання різних процесів ядерної енергетики* (цифровий реактор та віртуальна АЕС); 2) *експлуатація, ремонт і обслуговування обладнання АЕС*; 3) *презентація діяльності, будівництво АЕС*; 4) *тренування та навчання персоналу*. Також, застосування

імерсивних технології підтверджує свою економічну ефективність через скорочення вартісних і тимчасових витрат на відрядження персоналу до об'єктів; усунення помилок проектування до початку етапу будівельно-монтажних робіт; підвищення рівня промислової безпеки; підвищення ефективності управління АЕС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. On approval of the Concept of the development of the digital economy and society of Ukraine for 2018-2020. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67-2018-%D1%80> (2018).
 2. 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. Studies in Systems, Decision and Control*, vol. 346. pp. 243-260. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69189-9_14.
 3. Popov, O., Iatsyshyn A., Kovach, V., Artemchuk, V., Taraduda : Analysis of Possible Causes of NPP Emergencies to Minimize Risk of Their Occurrence. *Nucl. Radia. Saf.* 1(81), 75-80 (2019). [https://doi.org/10.32918/nrs.2019.1\(81\).13](https://doi.org/10.32918/nrs.2019.1(81).13).
 4. Virtual reality in industrial automation. <http://ua.automation.com/content/virtualnaja-realnost-v-promyshlennoj-avtomatizacii>.
- Wu, Y.: Development and application of virtual nuclear power plant in digital society environment. *Int J Energy Res.* 1–13 (2019). <https://doi.org/10.1002/er.4378>.