

УДК 620.179.1.001.5

## **МОДЕЛЮВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ РЕАКЦІЇ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД НА ДИНАМІЧНІ ВПЛИВИ**

**Олександр Трофимчук, Юрій Калюх, Володимир Дунін, Сергій Кураш**

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України*

Trofymchuk@nas.gov.ua, kalyukh2002@gmail.com,  
vladimirdunin87@gmail.com, zuvs2004@gmail.com

У 2022 р. проблема системної оцінки динамічних впливів на цивільну та промислову забудову в Україні набула особливої гостроти у зв'язку з загарбницькою війною російської федерації. У зв'язку з цим математичне моделювання та розрахунки будівель необхідно проводити в умовах «прогресуючого обваллення»: у графічну модель будівлі необхідно включати один або кілька її фрагментів, які були зруйновані внаслідок влучання ракет, снарядів, мін тощо (рис. 1, 2). При цьому можливі такі три випадки: будівля повністю зруйнована та відновленню не підлягає (1); будівля частково зруйнована та підлягає відновленню (2); будівля зовні виглядає непошкодженою, але знаходилася в зоні бойових дій і зазнавала динамічних впливів (3). В останніх двох випадках необхідно враховувати впливи ґрунтових і повітряних ударних хвиль (динамічні впливи) на погіршення технічного стану будівлі та кількісну оцінку падіння її життєвого ресурсу.

При математичному моделюванні напружено-деформованого стану (НДС) будівлі (рис. 1, 2) ми стикаємося з декількома типами труднощів. По-перше, це побудова першого етапу цифрового двійника – цифрової моделі будівлі з урахуванням зміни в її геометрії (пошкодження або відсутність елементів конструкцій). Це вимагає детальних натурних обстежень частково зруйнованої будівлі та врахування результатів обстеження в побудові цифрової моделі.

По-друге, це коректне визначення початково-крайових умов. До крайових умов, крім геометричних характеристик будівлі, належать також фізико-механічні характеристики (ФМХ) всіх її конструктивних елементів. Наприклад, при обстеженні методами неруйнівного контролю будівлі (рис. 1) були виявлені розбіжності між проектними та реальними марками бетону її конструктивних елементів. До початкових умов належать реальні акселерограми в місці розташування будівлі для проведення її прямого динамічного розрахунку. Таким чином, виникає необхідність розробки таких гібридних систем

моделювання напружено-деформованого стану будівель та споруд, що піддаються дії бойових вибухів, які використовували б інформаційні технології (IoT) при проведенні досліджень. Крім традиційних пакетів прикладних програм LIRA 9.4 або SCAD, потрібні IoT-системи датчиків неруйнівного контролю з дослідження міцнісних і вібраційних характеристик будівлі та ґрунтової основи. Така IoT-система за допомогою хмарних технологій об’єднана в одну інформаційну мережу та дозволяє в онлайн-режимі отримувати необхідну інформацію, що висвітлює особливості конкретної будівлі. І це є другим етапом побудови цифрового двійника досліджуваної будівлі.



Рис. 1 Загальний вигляд будинку по проспекту Лобановського, 6А після влучання ракети

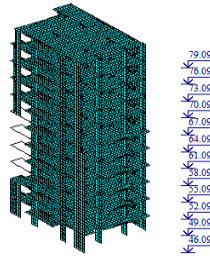


Рис 2. Цифрова модель будівлі по проспекту Лобановського, 6А в м. Києві з елементами ушкоджень в межах 18–21 поверхів

У подальшому потрібно також вирішити ще низку питань: (1) ідентифікація розрахункової моделі, (2) вибір коректної програми для розрахунку, яка спроможна враховувати нелінійну зміну ФМХ та НДС конструкції будівлі при вибухових димічних впливах, та ін. (3), (4), (5), ... , (N).

В доповіді буде наведено три приклади застосування запропонованої методології: для будівлі на рис. 1 (м. Київ); житлового комплексу «Під дубом», побудованого поблизу Львівської залізничної дороги на сейсмоопорах (м. Львів); будівлі «Дім молодіжної творчості», що регулярно зазнає впливу промислових вибухів на кар’єрі ПГЗК (м. Кривий Ріг).

#### THE SIMULATION OF A RESPONSE OF BUILDINGS AND STRUCTURES TO DYNAMIC INFLUENCES USING THE DIGITAL TWINS

*In 2022, the problem of systematic assessment of dynamic impacts on civil and industrial development in Ukraine became particularly acute because of the aggressive war of the russian federation. The report will give three examples of application of the methodology of digital twins: for the building hit by a rocket in Kyiv (Fig. 1); the residential complex built on seismic supports near the railway in Lviv; the building regularly exposed to the effects of industrial explosions near the quarry of the Southern Mining and Processing Plant in Kryvyi Rih.*