УДК 65.011.8.69.014 **DOI: https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-65-71**

І.В. Шумаков[1], С.В. Табачніков[1], Т.А. Наливайко[1], Є.В. Дорожко[2], Т.Т. Наливайко[3]

[1]*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна*
[2]*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна*
[3]*Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Україна*

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ПЛАНУВАННЯ І РЕКОНСТРУКЦІЇ БУДІВЕЛЬ ІСТОРИЧНОЇ СПАДЩИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ 3D СКАНЕРА

Розглянуто інноваційні методи планування та реконструкції зруйнованих війною будівель історичної спадщини міст України. Визначено доцільність переймання досвіду використання інноваційних технологій 3-D сканеру та комп'ютерних програмних засобів у плануванні відбудови міст післявоєнні часи.

Ключові слова: *планування, реконструкція зруйнованих будівель, об'єкти історичної культурної спадщини, 3-D сканер , інноваційні методи, відновлення післявоєнної України.*

Постановка проблеми

Планування і реконструкція зруйнованих будівель і споруд міст України у період варварських військових дій з боку РФ потребує швидкої і якісної оцінки ступеню руйнації. Існує багато відомих методів оцінки руйнації та пошкодження будівель, якими користувалися архітектори містобудівники. Зараз потрібні новітні методи для оцінки ступеню руйнації та відновлення пошкоджених будівель, особливо це відноситься до історичної спадщини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання обстеження і реконструкції міських будівель дуже гарно висвітлено в роботах авторів [1], які вказують яким чином проводиться обстеження пошкоджених будинків або їх конструкцій, наводять приклади та систему розрахунків. Автори [2] наводять новітні методи та технології лазерного сканування для застосування реконструкції інженерних споруд. Автори [3-4] наводять зонування небезпечних територій при здійсненні будівництва та реконструкції будівель і споруд. Використання принципів *SWOT*-аналізу під час проектування інженерних лінійних мереж та конструкцій розглядається в роботах [3-4]. У роботах авторів [7-9] розглянуто визначення потужності та зміцнення інженерних споруд під час проведення реконструкцій. Але наукові праці вищеперахованих авторів не розглядають реконструкції будівель і споруд , що віднесені до історико-культурної спадщини та мають велику вікову історію, які під час військового вторгнення в Україну з боку РФ зазнали руйнувань або взагалі знищені. Такі історичні будівлі як і звичайні житлові будинки потрібно відновлювати, реконструювати із застосування новітніх технологій, що є в наш час доцільними, оскільки економить час і витрати.

Формулювання мети статті

Метою даної роботи було знайти рішення загальної проблеми – планування відновлення та реконструкції із застосуванням новітніх технологій, а саме лазерного сканування зруйнованих або пошкоджених за період військових дій з боку РФ будівель і споруд. Значна увага приділена будівлям , що належать до історико-культурної спадщини і які зруйновані або пошкоджені війною, які потрібно обов'язково відновити у тому вигляді, що були до руйнування. Авторами запропоновано застосування новітніх ГІС-технології для вирішення проблеми.

Виклад основного матеріалу

За період нападу РФ на територію України величезна кількість житлових будинків, будівель і споруд або повністю зруйновані і не підлягають реконструкції, або зруйновані з різним ступенем руйнування і можуть бути реконструйованими. Для таких будівель існують методи оцінки руйнування і види технічного обстеження для визначення і оцінки їх стану. Відомі наступні види технічного обстеження стану будівель:

- загальний огляд і суцільне обстеження зруйнованих будівель;
- діагностування конструкції будівель для отримання висновку фахівців щодо розробки проекту ремонту або реконструкції будівлі;
- здійснення інженерно-технічної експертизи з визначення стану в цілому будинку або окремих несучих конструкцій і виявлення ступеню пошкодження або деформацій.

Нажаль РФ своїми варварськими діями зруйнувала багато будівель, що відносяться до

© Шумаков І.В., Табачніков С.В., Наливайко Т.А., Дорожко Є.В., Наливайко Т.Т.

історико-культурної спадщини, відновити які майже неможливо. Ці історичні будівлі побудовані ще в період ренесансу і відрізняються своєю красою і величністю завдяки своєю неповторністю. Оздоблення таких історичних будівель відбувалося із застосуванням скульптур, які на ті часи прикрашали тільки таку будівлю і вона вже не повторювалась. На будівництво таких будівель йшло багато часу і оздоблювальних матеріалів. Будували їх відомі архітектори і їх залишилось в Світі одиниці. Так у містах Західної і Східної Європи є схожість стилів забудови таких будівель. Вони відрізняються неабиякою красою і прикрашають міста і країни, де вони побудовані.

У нас в Україні є багато міст зі старовинною забудовою різних стилів. Такі будинки, історичного надбання є в Харкові, Києві, Одесі, Полтаві, Львові, Ужгороді, Тернополі, та майже у всіх містах України (рис.1).

Рис. 1. Історичні будівлі українських міст

Дуже багато їх було в Харкові до війни з РФ. Історичний центр міста Харків прикрашали такі величні будівлі з різним оздобленням скульптур та гравюр (рис.2).

Рис.2 Старовинні будівлі м. Харків

За час військових дій з боку РФ більшість цих прекрасних будівель пошкоджені або повністю зруйновані (рис.3), тому існує проблема їх відновлення, відбудови або реконструкції. Для вирішення цієї проблеми потрібно визначити ступінь пошкодження та розробки проекту реконструкції або відбудови, для цього:

- встановлюють чинники деформації, пошкодження конструкції будинків;
- з'ясовують рівень небезпеки експлуатації будинку або окремих його будівельних конструкцій;
- вираховують можливість збільшення навантажень на конструкції і несучу її здатність;
- виявляють можливість добудови на існуючі конструкції і здатність витримки.

Для обстеження та проведення аналізу щодо міцності пошкоджених конструкцій застосовують різні методи, переважно неруйнівні, серед яких виділяють наступні: візуальний, механічний, метод відбитку, склерометричний, забивання або видалення металевих стержнів, ультразвуковий або імпульсний, радіометричний та електрофізичний методи. Всі вони діють по-різному, визначають ті чи інші параметри. Є переваги одного від іншого, це залежить від поставлених задач. Але це дорогі методи і не завжди ефективні, на їх застосування витрачається чи мало часу і вони можуть бути не точними, тобто не відповідати сучасним вимогам. На практиці часто використовують об'єднані методи.

Використання новітніх ГІС-технологій та продуктів космічного знімання – космічних знімків зшитих в єдине ціле та прив'язаних до координат місцевості з високою роздільною здатністю є найкращими для проведення ретельного аналізу кварталів міської *забудови*, проведення різних інженерних досліджень, розрахунків та здійснення моніторингу. За часи війни на території України з РФ використання ГІС-технологій вирішує багато завдань для проведення аналізу руйнування в цілому кварталу, космічні знімки дають загальну картину пошкоджень будинків і частково масштабу руйнувань.

Більш детальну інформацію про руйнування та пошкодження будинків можна отримати безпосереднім обстеженням території наземними методами.

Аналіз деформацій і пошкоджень конструкцій внаслідок впливу різних факторів проводять після виявлених інженерно-технічних ознак, після чого роблять підсумковий висновок інженерно-технічних обстежень конструкцій пошкоджених будівель. До висновку додають графічні матеріали, інженерні розрахунки, перелік дефектів і пошкоджень та вказують основні причини з наданням рекомендацій щодо відновлення, зміцнення або заміни конструкцій.

Останній час з розвитком ГІС-технологій, нового приладобудування існують новітні методи виявлення стану пошкодження будівель, які є швидкими, точними і не потребують великих затрат на здійснення таких досліджень ні часу ні коштів. Це методи комп'ютерної діагностики пошкодження будівель (рис.3).

Рис.3. Руйнування історичної будівлі внаслідок війни в центрі м. Харків

Для здійснення комп'ютерної діагностики застосовують спеціальні електронні прилади та обладнання у будівництві та інших галузях народного господарства. До них відносять лазерні сканери та спеціальні розроблені програмні засоби, які підтримують ці прилади та здійснюють комп'ютерну обробку результатів. Лазерні сканери – це роботизовані прилади, які працюють на керуванні фахівцем через комп'ютерну програму, яка виведена на дисплей (рис.4).

Таблиця 1

Технічні характеристики сканеру

№	Назва показників	Од вим.	Показники
1	Швидкість сканування	точок в сек	50 000
2	Діапазон вимірів	м	0.1 - 300
3	Робоча температура	град	0^0- +40^0
4	Стандарт захисту		IP54

Рис.4 Лазерний сканер – робот

Лазерне сканування здійснюється роботом сканером у заданому напрямку, лазер відбиває промені у всіх напрямках та сканує всю поверхню (рис.5).

Рис.5 Сканування поверхні будинку

Через дисплей фахівець керує процесами сканування і на екрані з'являється скановане зображення будівлі для проекту реставрації. Фахівець задає тип лазерного сканування і отримує інформацію у повному обсязі та різних форматах - 3D, тобто в об'ємному вигляді. Також лазерне сканування складних контурів будівель дає можливість досить швидко отримати всю необхідну інформацію і шляхом обробки в комп'ютерних програмах мати технічну документацію для реконструкції пошкоджених або зруйнованих будівель. Якісне зображення конструкцій як у 3-D форматі так і у звичайному паперовому вигляді дозволяє розробити проект і приймати управлінські рішення щодо подальших дій з відновлення, відбудови або реконструкції пошкоджених будівель (рис.6).

Рис.6 Розробка проектних рішень

Лазерне сканування деталізує кожний елемент поверхні. Сканують у два етапи- на першому етапі проводиться зовнішнє сканування пошкоджених будівель або елементів конструкції у низькій якості зображення. Це дає загальну картину сканованої поверхні. На другому етапі фахівці виділяють місця на екрані, які потрібно більш детально розглянути і разом з цим фотографують зі штативу з виставленим світлом для більш чіткого бачення елементів і мінімального негативного впливу зовнішніх факторів (рис.7). Метод лазерного сканування використовується для оцінки та фіксації пошкоджень будівель, міської інфраструктури тощо.

Рис. 7 Лазерне сканування поверхні пошкодженої історичної будівлі внаслідок бомбардування центральної частини м. Харків

Комп'ютерне програмне забезпечення наприклад Leica Cyclone. дає змогу розрахувати всі елементи реконструкції або відбудови зруйнованих будівель. Тобто лазерне сканування дає вихідні дані – безліч точок – 50 000 за секунду і цифрує їх та накопичує у пам'яті. Прилад обертається навколо і сканує своїми лазерними променями всю поверхню і зовні і внутрішню поверхню та будівельні конструкції, що дає змогу зробити

оцінку їх пошкоджень та подальшого використання (рис.8).

Рис.8 Деталізація сканованого зображення пошкоджень будівлі в програмному забезпеченні

Лазерне сканування дає змогу будувати різні моделі у різних форматах а також об'ємного вигляду у 3-D форматі (рис.9).

Для сканування будівель лазерний промінь відбивається від оптичної системи 3D-сканера, який пошарово проходить по об'єкту і повертається в іншу оптичну систему, що дозволяє створювати 3D-модель з урахуванням пошкоджень з високою точністю - до 1мм, Так сканування та подальша комп'ютерна обробка результатів дає змогу розробити точну модель будівлі та прив'язати до конкретних координат місцевості, для чого маркують місця QR-код. Лазерний сканер вимірює відстань між точками, що марковані QR-кодом і видає відповідні координати. Таким чином будують 3-D модель будівлі у різних форматах, з різних ракурсів.

Рис. 9 розробка 3-D моделі відновлення пошкодженої будівлі методом лазерного сканування

З розвитком новітніх технологій у життя увійшло таке поняття як «цифрування архітектурних об'єктів», «цифрова спадщина», яка з'явилась у 2003році під час Генеральної конвенції ЮНЕСКО в "Хартії про збереження цифрової спадщини". Основним завданням було створення цифрового архіву історичних місць та об'єктів для доступності до об'єктів культурної спадщини та збереження у 3D форматі моделі для наступних поколінь історії – витворів мистецтва, будівель, історичних місць, картин, пам'ятників, тощо.

Для прикладу можна навести зруйновану історичну будівлю у 2015 році завдяки пожежі у Франції собор Нотр-Дам. Його відновлювали тільки завдяки технології сканування. Французи відсканували цей собор заздалегідь та зберігали в архіві. Так під час проведення робіт з відбудови архітектори мали можливість відновити складні деталі, які зруйновані пожежею.

Технологія лазерного 3D сканування дозволяє проводити роботу у важкодоступних місцях, пошкоджених або зруйнованих багатоповерхівок та отримати достовірні і точні дані про руйнування або пошкодження складних будівельних конструкцій.

Висновки

1. Інноваційні методи отримання інформації ступеню пошкодження будівель для розробки проектів з відбудови та реконструкції дозволяють проводити ці роботи з високою точністю і найменшими витратами праці і коштів.

2. Лазерний метод сканування пошкоджених будівель дає змогу отримувати вихідні дані про конструкції будівель і дає змогу побудувати 3-D моделі відновлення будівель і споруд.

3. Лазерне сканування історичних пам'яток дозволяє створювати банк даних історичної культурної спадщини для прийдешніх поколінь.

4. У післявоєнні часи в Україні застосування даного інноваційного методу дає змогу пришвидшити відбудову наших міст.

Література

1. Морковська Н.Г. Конспект лекцій з курсу «Обстеження, ремонт і реконструкція будинків міського господарства» / Н.Г. Морковська. – Харків, ХНАМГ. – 2012. – 63 с.

2. Сунак П.О. Реконструкція інженерних споруд та мереж, ландшафту на основі технології лазерного сканування / П.О. Сунак, С.В. Синій, Ю.А. Мельник, Л.М. Ксьоншкевич, О.М. Крантовська, Матіа Орешкович // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. - Випуск 18. – 2022. - с.147-161. https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-16

3. Шумаков І.В. К определению границ опасной зоны при частичном разрушении такелажа. / І.В. Шумаков, Н.І. Деревянко, Е.А. Яковлев, Б.Ф. Гранько // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2010. - Вип. 56. - С. 55-58.

4. Tang P., Huber D., Akinci B., Lipman R., Lytle A. (2010) Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. *Automation in Construction, 19, 7,* 829-843. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.06.007

5. Синій С. В. Проектування каналізаційних мереж з використанням принципів SWOT-аналізу. / С.В. Синій, Ю.А. Мельник, П.О. Сунак, Л.М. Ксьоншкевич, О.М. Крантовська // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. - 2021. - Вип. 16. - С.171-179. https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-22
6. Синій С. В. Обґрунтування споруд огородження території Луцького зоопарку з урахуванням аналізу історії урбанізації ландшафту. / С.В. Синій, О.М. Крантовська, Л.М. Ксьоншкевич, Матіа Орешкович, П.О. Сунак // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. - 2022. - Вип. 17. - С. 138-145. https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7(17)-18
7. Шумаков І.В. К определению усилий в тросах после частичного разрушения такелажа. / І.В. Шумаков, Н.І. Деревянко, Е.А. Яковлев, Б.Ф. Гранько // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2010. - Вип. 57. - С. 465-469.
8. Tabahnikov S., Samorodov O., Ubiyvovk A., Dytiuk O., Shchuchyk E. (2022) Experience of Instrumental Monitoring of the Stress State for the Soil Base - Piled Raft. *Proceedings of the 11 th International Symposium on Field Monitoring in Geomechanics* – Dr. Andrew M. Ridley (Eds). London, United Kingdom, 4-7 September 2022: Online library ISSMGE, 4-7.
9. Han K.; DeGol J.; Golparvar-Fard M. (2018) Geometry- and Appearance-Based Reasoning of Construction Progress Monitoring. *J. Constr. Eng. Manag., 144, 2,* 04017110. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001428

References

1. Morkovska N. (2012) Synopsis of lectures on the course "Inspection, repair and reconstruction of municipal buildings". *Kharkiv, KhNAMG*, 63.
2. Sunak P., Sinii S., Melnyk Yu., Ksionshkevich L., Krantovska O., Oreshkovich Matia (2022) Reconstruction of engineering structures and networks, landscape based on laser scanning technology. *Modern technologies and calculation methods in construction, 18,* 147-161. https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-16
3. Shumakov I., Derevyanko N., Yakovlev E., Granko B. (2010) To determine the boundaries of the dangerous zone in case of partial destruction of the rigging. *Scientific Bulletin of Construction, 56*, 55-58.
4. Tang P., Huber D., Akinci B., Lipman R., Lytle A. (2010) Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. *Automation in Construction, 19, 7,* 829-843. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.06.007
5. Sinii S., Melnyk Yu., Sunak P., Ksionshkevich L., Krantovska O. (2021) Designing sewage networks using the principles of SWOT analysis. *Modern technologies and calculation methods in construction, 16,* 171-179. https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-22
6. Sinii S., Krantovska O., Ksionshkevich L., Oreshkovich Matia, Sunak P. (2022) Justification of the structures of the enclosure of the territory of the Lutsk Zoo taking into account the analysis of the history of urbanization of the landscape. *Modern technologies and calculation methods in construction, 17,* 138-145. https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7(17)-18
7. Shumakov I., Derevyanko N., Yakovlev E., Granko B. (2010) To determine the forces in the cables after the partial destruction of the rigging. *Scientific Bulletin of Construction, 57,* 465-469.
8. Tabahnikov S., Samorodov O., Ubiyvovk A., Dytiuk O., Shchuchyk E. (2022) Experience of Instrumental Monitoring of the Stress State for the Soil Base - Piled Raft. *Proceedings of the 11 th International Symposium on Field Monitoring in Geomechanics* – Dr. Andrew M. Ridley (Eds). London, United Kingdom, 4-7 September 2022: Online library ISSMGE, 4-7.
9. Han K.; DeGol J.; Golparvar-Fard M. (2018) Geometry- and Appearance-Based Reasoning of Construction Progress Monitoring. *J. Constr. Eng. Manag., 144, 2,* 04017110. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001428

Рецензент: доктор технічних наук, професор, проректор А.Г. Батракова, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна.

Автор: ШУМАКОВ Ігор Валентинович
доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології та організації будівельного виробництва
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E – mail – Igor.Shumakov@kname.edu.ua
ID ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1502-051X

Автор: ТАБАЧНІКОВ Сергій Володимирович
кандидат технічних наук, доцент кафедри геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного будівництва
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E – mail – s.v.tabachnikov@ukr.net
ID ORCID: http://orcid.org/0000-0002-2619-8623

Автор: НАЛИВАЙКО Тарас Антонович
кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E – mail – nalivaykot@gmail.com
ID ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2149-7370

Автор: ДОРОЖКО Євгеній Вікторович
кандидат технічних наук, доцент завідувач кафедри Проектування доріг, геодезії та землеустрою Харківський Національний автомобільно-дорожній університет chttp://orcid.org/0000-0003-2894-2131.
E – mail – evgeniy.dorozhko@gmail.com
ID ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2894-2131

Автор: НАЛИВАЙКО Тетяна Тарасівна
кандидат технічних наук, доцент кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій
Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Україна
E – mail – nalivaykot@gmail.com
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5069-486X

INNOVATIVE METHODS OF PLANNING AND RECONSTRUCTION OF HISTORICAL HERITAGE BUILDINGS USING A 3D SCANNER

I. Shumanov[1], S. Tabachnikov[1], T. Nalyvaiko[1], E. Dorozhko[2], T. Nalyvayko[3]
[1]O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine
[2]Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine
[3]Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine

During the war, many houses were completely or partially destroyed. Damaged residential buildings, historical buildings are of particular importance as monuments of architecture and art and cannot be restored. Thanks to the bombing, a whole historical era was lost. For restoration and rebuilding or reconstruction, qualitative analysis and assessment of the degree of destruction are required. There are many well-known methods of assessing the destruction and damage of buildings, which were used by architects and urban planners. The following types of technical inspection of the condition of buildings are known: general inspection and continuous inspection of destroyed buildings; diagnosis of the construction of buildings to obtain the opinion of experts on the development of a project for the repair or reconstruction of the building; carrying out an engineering and technical examination to determine the condition of the entire building or individual load-bearing structures and to identify the degree of damage or deformations. There is a problem of their restoration, rebuilding or reconstruction. To solve this problem, it is necessary to determine the degree of damage and develop a project of reconstruction or reconstruction, for this: determine the factors of deformation, damage to the structure of buildings; find out the level of danger in the operation of the building and its structures; calculate the possibility of increasing loads on the structure and its bearing capacity; reveal the possibility of additions to existing structures and endurance. Various methods are used for examination: visual, mechanical, impression method, sclerometric, hammering or removal of metal rods, ultrasonic or pulse, radiometric and electrophysical methods. Innovative methods - GIS technologies are fast, accurate and do not require large expenditures of time and money. These are methods of computer diagnostics of building damage, among them the laser scanning method, which has a number of advantages, as it makes 50,000 points per second, scans the surface of the damaged building outside and inside the building, and is remotely controlled by a specialist in a given program. Next, they conduct computer processing of the removal, calculations of damages and their degree. Next, they build a 3-D model of the reconstruction of the building. Laser scanning of historical buildings will help restore destroyed or damaged historical monuments of architecture, which are valuable for future generations and are the historical heritage of the Ukrainian nation.

Keywords: *planning, reconstruction of destroyed buildings, objects of historical cultural heritage, 3-D scanner, innovative methods, reconstruction of post-war Ukraine.*