

УДК 625.7.12:004.9

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.300824.117.1082

МЕТОДИКА БУДІВЕЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МІСЬКИХ ВУЛИЦЬ ТА ДОРІГ

ТРЕГУБ О. В.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,
ЛАНДО Є. О.², канд. техн. наук, доц.,
БАЛАШОВА Ю. Б.³, канд. техн. наук, доц.,
ШУТИНА Г. С.⁴, канд. техн. наук, доц.,
САМКО Б. І.⁵, маг.

^{1*} Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: regub.olexandr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-6436-352X

² Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: lando.evgen@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-2608-931X

³ Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: balashova.yuliia@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-2286-9263

⁴ Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: ishutina.hanna@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-0665-3040

⁵ Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: bohdan.samko@gmail.com

Анотація. Постановка проблеми. Нові виклики у будівництві автомобільних доріг вимагають застосування сучасних та підтверджених кращою світовою практикою підходів до проектування та керування процесами будівництва об'єктів автодорожньої інфраструктури із залученням новітніх технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM). Впровадження BIM-технологій вимагає досліджень для систематизації інформації, прогнозування та оцінення результатів, розроблення методики моделювання. **Мета статті** – висвітлити методику будівельного інформаційного моделювання міських вулиць та доріг. **Результати досліджень.** Запропоновано методику будівельного інформаційного моделювання на прикладі ділянок вулично-дорожньої мережі у місті Дніпро. За геопросторовими даними дистанційного зондування Землі сформовано цифрові моделі рельєфу та місцевості у програмі InfraWorks, розроблено концептуальні моделі міських вулиць та доріг. Моделі концептуальних рішень експортовані до програми Civil 3D, де за даними наземної геодезичної зйомки уточнено модель рельєфу, виконано її аналіз, розроблено плани трас, поздовжні та поперечні профілі вулиць та доріг. Детально розроблені та скоординовані проектні рішення доріг у CIVIL 3D експортовані до програми InfraWorks з метою побудови цілісної автодорожньої інфраструктури. Проведено аналіз просторової плавності трас та перевірено відстані видимості на дорогах, аналіз поверхневого водовідведення за будівельною інформаційною моделлю. Розроблені у програмі Revit моделі шляхопроводу та мосту експортовані до моделі автодорожньої інфраструктури. Змодельовано засоби організації дорожнього руху. Інструментами «Traffic Simulation» програми InfraWorks виконано моделювання автотранспортних потоків на автомобільних дорогах і транспортних розв'язках досліджуваної вулично-дорожньої мережі з урахуванням фактичної інтенсивності руху. Будівельні інформаційні моделі перевірені щодо конструктивних недоліків у програмі Nawisworks. **Висновок.** Запропонована методика проектування міських вулиць та доріг за BIM-технологією передбачає поетапне розроблення цифрової моделі з використанням програм автоматизованого проектування автодорожньої інфраструктури з необхідним рівнем деталізації на відповідному етапі проектування.

Ключові слова: BIM-технології; будівельне інформаційне моделювання; міські вулиці та дороги; автодорожня інфраструктура; цифрова модель рельєфу

METHODOLOGY OF BUILDING INFORMATION MODELING OF URBAN STREETS AND ROADS

TREGUB O.V.^{1*}, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
LANDO Ye.O.², *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
BALASHOVA Yu.B.³, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
ISHUTINA H.S.⁴, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
SAMKO B.I.⁵, *Master's degree*

^{1*} Department of Highways, Geodesy, and Land Management, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: tregub.olexandr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-6436-352X

² Department of Highways, Geodesy, and Land Management, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: lando.evgen@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-2608-931X

³ Department of Highways, Geodesy and Land Management, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: balashova.yuliia@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-2286-9263

⁴ Department of Highways, Geodesy and Land Management, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: ishutina.hanna@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-0665-3040

⁵ Department of Highways, Geodesy, and Land Management, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: bohdan.samko@gmail.com

Abstract. Problem statement. New challenges in road construction require the application of modern and globally recognized best practices in the design and management of road infrastructure construction processes, involving the use of the latest Building Information Modeling (BIM) technologies. The implementation of BIM technologies necessitates conducting research to systematize information, forecast and evaluate outcomes, and develop a modeling methodology. **The purpose of the article** is to develop a methodology for Building Information Modeling of urban streets and roads. **Research Results.** The proposed methodology for Building Information Modeling is demonstrated using sections of the street and road network in the city of Dnipro. Digital terrain and site models were created in the InfraWorks software based on geospatial data from remote sensing. Conceptual models of urban streets and roads were developed. The conceptual models were exported to Civil 3D, where the terrain model was refined using ground survey data, analyzed, and used to develop route plans, longitudinal and cross profiles of streets and roads. The detailed and coordinated road design solutions in Civil 3D were exported to InfraWorks to build an integrated road infrastructure. An analysis of the spatial smoothness of routes and sight distances on roads was conducted using the building information model. Models of an overpass and bridge developed in Revit were exported to the road infrastructure model. Traffic management measures were modeled. Using the "Traffic Simulation" tools in InfraWorks, vehicle traffic flows on roads and interchanges of the studied street and road network were simulated, taking into account the actual traffic intensity. The building information models were checked for structural deficiencies using Navisworks software. **Conclusion.** The proposed methodology for designing urban streets and roads using BIM technology involves the step-by-step development of a digital model utilizing software for the automated design of road infrastructure with the required level of detail at each stage of the design process.

Keywords: *BIM technologies; building information modeling; city streets and roads; highway infrastructure; digital terrain model*

Постановка проблеми. Нові виклики у будівництві автомобільних доріг вимагають застосування сучасних та підтверджених кращою світовою практикою підходів до проєктування та керування процесами будівництва об'єктів автодорожньої інфраструктури із залученням новітніх технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM). BIM-технології дозволяють розробляти і використовувати

інформацію про об'єкти інфраструктури на всіх етапах життєвого циклу у структурованому вигляді в єдиній цифровій моделі, що сприятиме: надійному і ресурсозберігаючому проєктуванню та експлуатації вулично-дорожньої мережі, транспортних розв'язок, підземних споруд та інженерних мереж в умовах щільної забудови; ефективній організації руху, підвищенню пропускну здатності доріг та

рівня безпеки на основі даних інформаційного моделювання транспортних потоків з урахуванням росту інтенсивності руху та перспективного розвитку міст [1].

Упровадження технології будівельного інформаційного моделювання вимагає проведення досліджень, зокрема, розроблення методики будівельного інформаційного моделювання міських вулиць та доріг.

Виділення невирішеної проблеми. Наразі BIM-технології в Україні здебільшого використовуються у проектуванні будівель. У повній мірі BIM-технології у практиці проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг не застосовуються [2].

Для впровадження концепції технології будівельного інформаційного моделювання в Україні [3] необхідне: проведення дослідницької роботи для систематизації інформації, прогнозування та оцінення результатів; розроблення нормативних документів; запровадження систем і платформ; підготовка фахівців з BIM-технологій.

Мета статті – описати методику будівельного інформаційного моделювання міських вулиць та доріг.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З розвитком IT-технологій та появою будівельного інформаційного моделювання відбулась цифрова трансформація, яка вплинула на будівельне виробництво у світі, підвищивши показники продуктивності, надійності та якості об'єктів будівництва [4]. BIM поєднало комп'ютерне моделювання прототипу об'єкта будівництва за життєвими циклами з інформацією про об'єкт, координацію дій учасників проекту та співпрацю в узгодженні рішень із замовником, що дозволяє ефективно керувати проектом зі значним обсягом цифрових даних [5–8]. Незабаром BIM може стати світовим стандартом для розроблення проектів транспортної інфраструктури [9–10].

Кращий світовий досвід застосування BIM-підходів у розвинених країнах світу, таких як США, Великобританія,

Нідерланди, Сінгапур, Фінляндія, Іспанія та ін. дозволив Технічному комітету ISO/TC 59 – «Buildings and civil engineering works» та SC 13 – «Organization of information about construction works» узагальнити результати та розробити міжнародні стандарти [11–13]. Британський стандарт PAS 1192-2:2013 встановлює вимоги до управління інформацією у проектах будівництва з використанням BIM [14].

Група українських науковців та інженерів запропонувала Концепцію впровадження BIM в Україні [4], де проаналізовані виклики, які потребують рішень. Зокрема, зазначено про необхідність зміни підходів до процесів розроблення, зберігання та обміну інформації, її використання, керування об'єктами будівництва на різних етапах життєвого циклу, гармонізації національних норм та стандартів з європейськими та ін. У зв'язку з цим розроблено проект ДСТУ EN ISO 23386 з будівельного інформаційного моделювання [15].

Виклад основного матеріалу. У цьому дослідженні розглянуто методику будівельного інформаційного моделювання вулиць та доріг на прикладі магістральних вулиць загальноміського значення у місті Дніпро – пр. Науки та вул. Січеславська Набережна з інтенсивністю руху близько 1 400 авт./год. Кількість смуг руху проїзної частини 4–6. Розрахункові швидкості руху автотранспорту – 60 км/год.

Проектування автодорожньої інфраструктури за BIM-технологією передбачало розроблення інформаційних моделей комплексу інженерних споруд як цілісної інформаційної системи, що містить геометричні, фізичні, функціональні та інші характеристики, на основі яких розробляється документація, котра супроводжує всі етапи життєвого циклу об'єкта.

На першому етапі концептуального проектування сформовано попередні моделі рельєфу та території за геопросторовими даними дистанційного зондування Землі та інтегрованих функцій дешифрування супутникових знімків у «Model Builder»

програми InfraWorks. За тривимірними моделями проаналізовано характер рельєфу. Інструментами «Component Road» InfraWorks змодельовано існуючі вулиці та дороги.

Для будівельного інформаційного моделювання нових доріг у програмі InfraWorks використано інструменти оптимізації для трасування та профілювання, що дозволило за встановленими критеріями проектування отримати альтернативні концептуальні рішення доріг (рис. 1, 2).



Рис. 1. Моделювання ділянок вулично-дорожньої мережі на пр. Науки у м. Дніпро



Рис. 2. Моделювання магістральної вулиці районного значення на пр. Науки

Для побудови моделей доріг використано переваги тривимірного моделювання: для побудови елементів плану та поздовжнього профілю проводили просторовий аналіз плавності дороги, її узгодженість із ландшафтом та забудовою у 3D-моделі; аналіз профілів у інтерактивному режимі у вікні «Вигляд профілю» з використанням функції «Активного відслідковування»; контролювали пікетажне положення і висотні відмітки елементів траси (рис. 3).

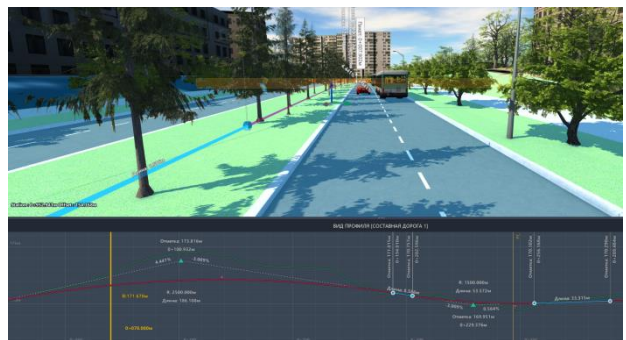


Рис. 3. Інтерактивний контроль елементів плану, поздовжнього та поперечного профілів

Динамічний зв'язок між елементами моделі дозволив коригувати параметри дороги та одразу отримувати відгук у зміні моделі: додавати кути повороту траси та переломи профілю, вводити значення радіусів вертикальних кривих, нахили проектної лінії та висотні відмітки контрольних точок на профілі для прокладення проектної лінії. Виконано укрупнений попередній розрахунок обсягу дорожніх матеріалів.

На другому етапі розроблено детальні проектні рішення та робочі креслення автодоріг із використанням програми AutoCAD Civil 3D. Попередньо у файлі CIVIL 3D налаштовано систему координат. У моделюванні об'єктів інфраструктури,

розташованих у місті Дніпро, прийняті: система координат UTM WGS84, координатна зона № 36 північної півкулі; код UTM84-36N.

Розроблена в InfraWorks концептуальна модель була експортована у програму Civil 3D у форматі IMX. Перед завантаженням моделі InfraWorks обрано такі об'єкти для імпорту: поверхні рельєфу та існуючих дорожніх покриттів, траси доріг.

Для підвищення точності попередньо сформованої за даними дистанційного зондування цифрової моделі рельєфу завантажено дані з файлу координат точок (x, y, z) наземної геодезичної зйомки автомобільних доріг та рельєфу.

Виконано аналіз моделі рельєфу. Тривимірний поверхні рельєфу відображалась у вигляді горизонталей та сітки трикутників – TIN-поверхні. Переріз горизонталей рельєфу налаштований у «Surface properties» – «Surface style».

У робочому просторі «Planning and Analysis» під'єднано растр супутникового знімка та обрано прийняту у проєкті систему координат.

Після детального аналізу трас та оцінення їх відповідності вимогам будівельних державних норм, інструментами редагування та компоновки вносились зміни до параметрів колових та перехідних кривих. Траси доріг у Civil 3D являють собою складні динамічні лінійні об'єкти, у яких зміна будь-якого елемента викликає автоматичну зміну параметрів усіх взаємопов'язаних із ним інших елементів дороги. Це дозволило оперативно вносити зміни на будь-якій стадії проєктування доріг. Пікетаж трас розраховувався автоматично програмою.

Проєктуючи заокруглення підбирали оптимальні функції для побудови існуючої траси дороги згідно з координатами точок осі траси, визначених наземними методами геодезичної зйомки. Для цього використано такі інструменти програми автоматизованого проєктування: «Плаваючі криві», «З'єднання кривих через точку», «Пряма ділянка – пряма ділянка з кривими», «Фіксовані криві найкращого вписування»,

«Плаваюча S-подібна крива з перехідними кривими».

Визначено, що ефективний інструмент, який дозволяє оптимально підбирати параметри заокруглення, – це «Фіксовані криві найкращого вписування». Функція базується на методі регресійного аналізу та будує криву апроксимації за координатами точок осі траси. Підбір параметрів заокруглення існуючої дороги полягав у визначенні радіусів колових кривих, типу і довжини перехідних кривих.

Бібліотека програми CIVIL 3D вміщує такі типи перехідних кривих: клотоїди, синусоїди, кубічні параболи, біквдратичні. У практиці проєктування, як правило, застосовують клотоїдні перехідні криві. Для побудови траси дороги за координатами точок, отриманих за результатами геодезичної зйомки, використано клотоїдні та синусоїдальні перехідні криві.

Для побудови поздовжнього профілю використано інструменти «Створення профілю по поверхні» відповідно до обраної траси та цільових поверхонь – рельєфу та існуючих дорожніх покриттів. Автоматично програмою сформовані попередні креслення поздовжніх профілів із лініями поверхонь рельєфу та існуючого дорожнього покриття.

Для побудови проєктної лінії поздовжнього профілю використано функції, що дозволили оптимально описати поверхні існуючих дорожніх покриттів з урахуванням контрольних точок на перехрестях, примиканнях доріг та транспортних розв'язках: «Вертикальні криві найкращого вписування», що визначаються шляхом регресійного аналізу при апроксимації точок вертикального профілю; «Параболічні вертикальні криві»; «Вертикальні криві прокладені через контрольну точку та нахил».

Конструкції поперечних профілів розроблені інструментами «Assembly» та «Tool Palettes». Тривимірне моделювання дорожнього полотна виконане автоматично на основі розроблених поперечних профілів із застосуванням функції «Corridor».

Таким чином, у CIVIL 3D розроблено плани доріг, робочі креслення поздовжніх та

поперечних профілів, сформовано відомості елементів, плани вертикального планування, обчислено обсяги земляних робіт.

На третьому етапі детально розроблені та скоординовані проектні рішення доріг у CIVIL 3D були експортовані до моделі місцевості у InfraWorks з метою отримання цілісної дорожньої інфраструктури, узгодження із забудовою та інженерними комунікаціями, доповнення штучними спорудами, елементами благоустрою, озеленення і моделювання руху транспорту.

Параметри водозбірних басейнів та аналіз поверхневого водовідведення виконані за допомогою інструменту «Watershed» на основі сформованих поверхонь автодоріг і територій.

Виконано просторовий аналіз проектного рішення в цілому, оцінено плавність траси та видимість на перехрестях і примиканнях за ВІМ-моделями (рис. 4, 5).



Рис. 4. Інформаційна модель перехрестя пр. Науки – вул. Ніла Армстронга



Рис. 5. Оцінка просторової плавності та відстаней видимості під час руху на автомобілі, моделювання транспортних потоків по пр. Науки

Інструментами «Traffic Simulation» InfraWorks виконано моделювання автотранспортних потоків на дорогах і транспортних розв'язках досліджуваної вулично-дорожньої мережі з урахуванням фактичної інтенсивності руху (рис. 6).



Рис. 6. Моделювання транспортних потоків на кільцевій розв'язці

Згідно із запропонованою методикою розроблено модель ділянки вулично-дорожньої мережі з неповною транспортною розв'язкою за типом «накопичувальний ромб» зі шляхопроводом на підході до Центрального мосту по вул. Січеславська Набережна у місті Дніпро (рис. 7).



Рис. 7. Вид зверху ділянки вулично-дорожньої мережі та транспортної розв'язки на підході до Центрального мосту



Рис. 8. Інформаційна модель Центрального мосту через річку Дніпро

Попереднє моделювання дорожнього мосту та шляхопроводу виконане інструментами «Bridge structures» з урахуванням конструктивних особливостей та розмірів прогонових будов, опор та фундаментів споруд (рис. 8). Детально розроблені у програмі Revit моделі мосту та шляхопроводу експортовані до моделі дорожньої інфраструктури.

Змодельовані засоби організації дорожнього руху та автотранспортні потоки (рис. 9, 10).



Рис. 9. Транспортна розв'язка на підході до Центрального мосту у м. Дніпро



Рис. 10. Міська дорога по вул. Січеславська Набережна у м. Дніпро

Інструментами «Environment» у моделі вулично-дорожньої мережі змодельовано елементи благоустрою території: пішохідні переходи, зупинки громадського транспорту, малі архітектурні форми, озеленення, газони та ін.

Моделі перевірені щодо конструктивних недоліків у програмі Navisworks.

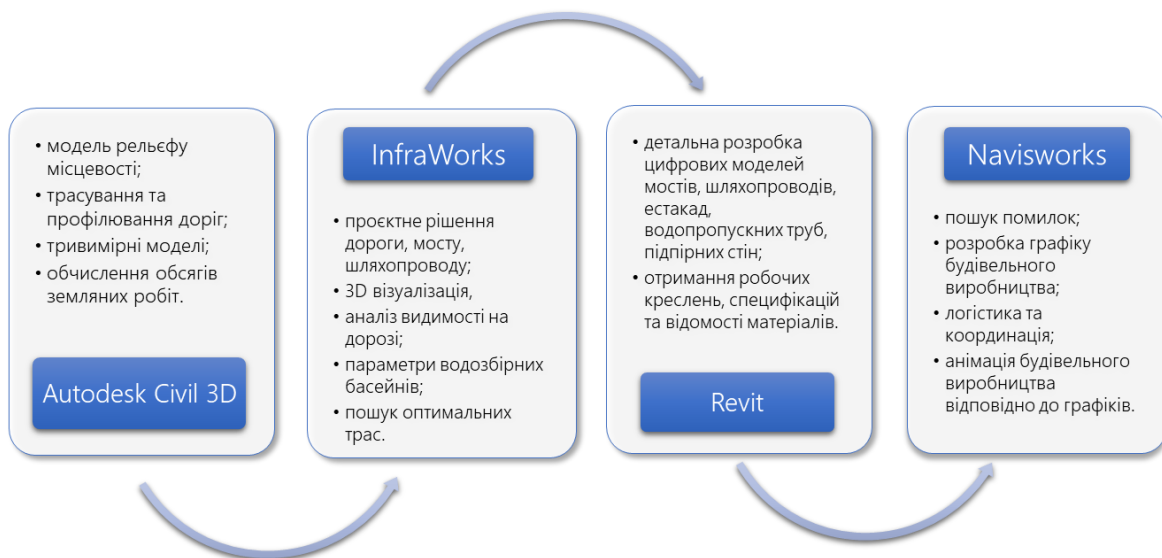


Рис. 11. Будівельне інформаційне моделювання автомобільних доріг

Рекомендується таке поетапне будівельне інформаційне моделювання міських вулиць та доріг:

1-й етап – концептуальне (ескізне) 3D-моделювання вулично-дорожньої мережі, транспортних розв'язок, мостових переходів, що надає інформацію про об'єкти

автодорожньої інфраструктури на базовому рівні, при цьому моделі скоординовані, відповідають геометричним параметрам, що дозволяє проводити попередній аналіз, узгоджувати та оптимізувати рішення, виконувати укрупнений розрахунок обсягів

необхідних дорожніх матеріалів і будівельних робіт;

2-й етап – уточнення цифрової моделі рельєфу за даними геодезичної зйомки; детальне проектування трас, поздовжніх та поперечних профілів автомобільних доріг та вулиць; формування робочих креслень, відомостей елементів трас та профілів; 3D-моделювання дорожнього полотна; визначення водостоків; визначення відстаней видимості; визначення обсягів земляних робіт і дорожніх матеріалів; проектування вертикального планування території;

3-й етап – формування загальної 3D-моделі автодорожньої інфраструктури; детальне моделювання штучних споруд, засобів організації дорожнього руху; просторовий аналіз проектного рішення в цілому, перевірка узгодження транспортної та інженерної інфраструктури і забудови; перевірка моделей щодо конструктивних недоліків і колізій; перевірка відстаней видимості; доповнення моделі об'єктами дорожнього сервісу, елементами благоустрою території та озеленення; моделювання та дослідження транспортних потоків на основі сформованої вулично-

дорожньої мережі; розроблення графіків будівельного виробництва та кошторисної документації;

4-й етап – приведення будівельної моделі автодорожньої інфраструктури міських вулиць відповідно до фактично виконаних дорожніх і будівельно-монтажних робіт за результатами виконавчих геодезичних зйомок; підготовка завершеної BIM-моделі до передачі для обслуговування й експлуатації організації-балансоутримувачу.

Технологія будівельного інформаційного моделювання автомобільних доріг у загальному вигляді наведена на рисунку 11.

Висновки

Для впровадження концепції BIM-технологій запропоновано методику проектування міських вулиць і доріг за BIM-технологією, що передбачає поетапне розроблення цифрової моделі з використанням програм для автоматизованого проектування автодорожньої інфраструктури з необхідним рівнем деталізації на відповідному етапі проектування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Самко Б., Трегуб О. Будівельне інформаційне моделювання міських вулиць та доріг : зб. тез доп. VI наук.-практ. конф. студ., аспір. і мол. вч. ПДАБА. Дніпро : ПДАБА, 2023. С. 536–537.
2. Трегуб О. В., Демура А. В. Методика реалізації концепції будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) при проектуванні об'єктів автодорожньої інфраструктури : тези всеукр. наук.-практ. форуму «Переможемо – Відбудуємо!». Дніпро : ПДАБА, 2022. С. 98–99.
3. Концепція впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні та затвердження плану заходів з її реалізації : розпорядження Кабінету Міністрів України № 152-р 2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/152-2021-%D1%80#Text>
4. Афанасьєв Д., Блонський О., Коломоець М., Поддубни А., Подольчук Ю., Смирнов Ю., Соколовський О., Юрасов І. Концепція впровадження BIM – Будівельного Інформаційного Моделювання в Україні. За підтримки проекту ЄС «Допомога органам влади України в удосконаленні менеджменту циклом інфраструктурного проекту». 2020. 118 с. URL: <http://surl.li/nvdkq>
5. Building Information Modelling (BIM) for road infrastructure: TEM requirements and recommendations. United Nations Economic commission for Europe, United Nations. Geneva, 2021. 119 p.
6. Biancardo S. A., Viscione N., Cerbone A., Dessì E. Jr. BIM-Based Design for Road Infrastructure :a Critical Focus on Modeling Guardrails and Retaining Walls. *Infrastructures*. 2020. № 5. 59 p.
7. Sacks R., Eastman C., Lee G., Teicholz P. BIM Handbook : a Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers, 3rd ed.; John Wiley & Sons : Hoboken, NJ, USA, 2018. 688 p.
8. Lati A. A., Mohd S., Kasim N., Fathi M. S. Building Information Modeling (BIM) Application in Malaysian Construction Industry. *Int. J. Constr. Eng. Manag.* 2013. № 2. Pp. 1–6.
9. Costin A., Adibfar A., Hu H., Chen S. S. Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations. *Autom. Constr.* 2018. Vol. 94. Pp. 257–281.
10. Biancardo S. A., Capano A., Oliveira S. G., Tibaut A. Integration of BIM and Procedural Modeling Tools for Road Design. *Infrastructures*. 2020. № 5. 37 p.

11. ISO 12006-2:2001. Building construction – Organization of information about construction works. Part 2: Framework for classification of information (Міжнародний стандарт).
12. ISO 12006-3:2007. Building construction – Organization of information about construction works. Part 3: Framework for object-oriented information.
13. ISO 22263:2008. Organization of information about construction works – Framework for management of project information.
14. PAS 1192-2:2013. Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling (Британський стандарт).
15. ДСТУ EN ISO 23386 (Проект). Будівельне інформаційне моделювання та інші процеси цифрового представлення даних, застосовані в будівництві.

REFERENCES

1. Samko B. and Tregub O. *Budivelne informaciyne modelyuvanya miskyh vulic ta dorig* [Building information modeling of city streets and roads]. *Zb. tez dopovidey VI naukovo-praktychnoyi konferentsiyi studentiv, aspirantiv i molodykh vchenykh PDABA* [Collection abstracts of reports of the VI scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists of PSACEA]. 2023, pp. 536–537. (in Ukrainian).
2. Tregub O.V. and Demura A.V. *Metodyka realizatsiyi kontseptsiyi budivel'noho informatsiynoho modelyuvannya (BIM-tehnolohiy) pry proyektuvanni ob'yektiv avtodorozhn'oyi infrastruktury* [Methodology for implementing the concept of building information modeling (BIM-technologies) in the design of road infrastructure objects]. *Tezy vseukrayins'koho naukovo-praktychnoho forumu «Peremozhemo – Vidbuduyemo!»* [Theses of the All-Ukrainian scientific and practical forum “We will win – We will rebuild!”]. Dnipro : SHEI PSACEA Publ., 2022, pp. 98–99. (in Ukrainian).
3. *Kontseptsiya vprovadzhennya tehnolohiy budivel'noho informatsiynoho modelyuvannya (BIM-tehnolohiy) v Ukrayini ta zatverdzhennya planu zakhodiv z yiyi realizatsiyi* [Concept of implementation of building information modeling technologies (BIM-technologies) in Ukraine and approval of the plan of measures for its implementation]. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine no. 152-p, 2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/152-2021-%D1%80#Text> (in Ukrainian).
4. Afanasyev D., Blonskyi O., Kolomoets M., Poddubny A., Podolchuk Yu., Smirnov Yu., Sokolovskyi O. and Yurasov I. *Kontseptsiya vprovadzhennya BIM-Budivel'noho Informatsiynoho Modelyuvannya v Ukrayini* [Concept of implementation of BIM - Building Information Modeling in Ukraine]. *Za pidtrymky projektu ES “Dopomoha orhanam vlady Ukrayiny v udoskonalenni menedzhmentu tsyklom infrastruktornoho projektu”* [With the support of the EU project “Help to the authorities of Ukraine in improving the management of the infrastructure project cycle”]. 2020, 118 p. URL: <http://surl.li/nvdkq> (in Ukrainian).
5. Building Information Modelling (BIM) for road infrastructure : TEM requirements and recommendations. United Nations Economic commission for Europe, United Nations. Geneva, 2021, 119 p.
6. Biancardo S.A., Viscione N., Cerbone A. and Dessì E. Jr. BIM-Based Design for Road Infrastructure: A Critical Focus on Modeling Guardrails and Retaining Walls / *Infrastructures* 2020, 5, 59 p.
7. Sacks R., Eastman C., Lee G. and Teicholz P. *BIM Handbook : a Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*, 3rd ed.; John Wiley & Sons : Hoboken, NJ, USA, 2018, 688 p.
8. Lati A.A., Mohd S., Kasim N. and Fathi M.S. Building Information Modeling (BIM) Application in Malaysian Construction Industry. *Int. J. Constr. Eng. Manag.* 2013, no. 2, pp. 1–6.
9. Costin A., Adibfar A., Hu H. and Chen S.S. Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations. *Autom. Constr.* 2018, vol. 94, pp. 257–281.
10. Biancardo S.A., Capano A., Oliveira S.G. and Tibaut A. Integration of BIM and Procedural Modeling Tools for Road Design. *Infrastructures*. 2020, no. 5, 37 p.
11. ISO 12006-2:2001. Building construction – Organization of information about construction works. Part 2: Framework for classification of information (International Standard).
12. ISO 12006-3:2007. Building construction – Organization of information about construction works. Part 3: Framework for object-oriented information (International Standard).
13. ISO 22263:2008. Organization of information about construction works. Framework for management of project information (International Standard).
14. PAS 1192-2:2013. Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling (British Standard).
15. DSTU EN ISO 23386 (Proyekt). *Budivel'ne informatsiyne modelyuvannya ta inshi protsesy tsyfrovoho predstavlennya danykh, zastosovani v budivnytstvi* [Building information modeling and other processes of digital representation of data applied in construction (Project)] (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 02.04.2024.