

Т. А. ГОНЧАРЕНКО, ст. викл., КНУБА, Київ,

В. М. МІХАЙЛЕНКО, д-р техн. наук, проф., зав. каф., Київ

ТЕОРЕТИКО-МНОЖИННИЙ ОПИС ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ У СКЛАДІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ТЕРИТОРІЇ ПІД ЗАБУДОВУ

Розглянуто проблему спільного опису різнотипної просторової інформації в складі інформаційної моделі території під забудову та запропоновано концептуальну модель подання геооб'єктів, розташованих на поверхні будівельного майданчика. Для вирішення проблеми запропоновано застосування теоретико-множинного підходу для опису просторових даних, який подає в єдиному формалізованому вигляді множини різнотипних геооб'єктів, необхідних для побудови вищезазначеної моделі. Такий підхід відповідає сучасним вимогам інформаційного моделювання у будівництві – BIM-технології і дозволяє вирішувати завдання, пов'язані з підготовкою території під забудову, на новому технологічному рівні. Іл.: 2. Табл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: просторова інформація; інформаційна модель; територія під забудову; теоретико-множинний підхід; геооб'єкт; BIM-технологія.

Постановка проблеми. Однією із особливостей будівельної діяльності є те, що зведення будь-якого об'єкта будівництва прив'язане до земельного простору та починається з організації рельєфу території під забудову. Сучасні геодезичні, картографічні, фотограмметричні та дистанційні технології збору інформації дають змогу швидко та з необхідною точністю отримувати дискретні дані про поверхню рельєфу. Такі методи і підходи постійно вдосконалюються. Безліч типів джерел вихідних даних для створення моделі досліджуваної території спричинена розмаїттям способів отримання й організації первинних даних та їх похідних. Серед них – данні лазерного сканування, геодезичні (топографічні) вишукування тахеометричної зйомки, фотограмметрична обробка фототеодолітних, аеро- і космічних знімків, альтиметрична зйомка рельєфу суші, промірні роботи та ехолотування підводного рельєфу акваторій водойм, радіолокаційна зйомка тощо [1, 2]. Різноманітними є і вторинні джерела даних про поверхні рельєфу, такі як топографічні карти і плани – топоплани, які можуть бути представлені як у векторному так і у растровому вигляді. Виникає проблема інтеграції різнотипної інформації, отриманої з різноманітних джерел даних про територію, відведену під забудову. Тому актуальною є задача формалізації опису інформації, отриманої з різнорідних джерел для побудови інформаційної моделі території під забудову та моделей

геооб'єктів, що входять до її складу.

Аналіз літератури. Аналіз характерних завдань, пов'язаних з організацією рельєфу території під забудову, виконаний у роботах [1 – 5], виявив три основних види просторових даних, робота з якими повинна підтримуватися можливостями сучасної інформаційної технології. Це традиційні цифрові моделі об'єктів, цифрові моделі для подання просторово-розподілених даних та моделі тривимірних об'єктів. В роботах [6 – 8] викладені основні методологічні принципи побудови цих моделей. Для розв'язання проблеми дослідження доцільно виділити основні з них. Це забезпечення концептуальної цілісності, адекватність завданням будівельного комплексу та відповідність сучасним BIM-моделям на уявлення моделі геопросторових даних. Відповідно до цих принципів інформаційна технологія повинна базуватися на єдиній моделі представлення просторових даних, мати достатню для розглянутих прикладних задач [9, 10] потужність і бути сумісною із провідними розробками по стандартизації BIM-технології.

Мета статті – застосування теоретико-множинного підходу для опису різнотипної просторової інформації для розробки інформаційної моделі території під забудову, який буде заснований на формалізації представлення геооб'єктів, що входять до її складу, і який дозволить описати моделі цих геооб'єктів в єдиній математичній формі.

Застосування теоретико-множинного підходу для опису просторових даних у складі інформаційної моделі території під забудову. Інформаційна модель території під забудову має вбирати інформацію про всі ресурси будівельного майданчика, такі як земельна ділянка, наявні будівлі та споруди, дороги, підземні та наземні комунікації, природне оточення тощо та відображати просторове розташування цих об'єктів відносно поверхні землі та один до одного. Як зазначалось вище, існують різнорідні джерела отримання та форми подання інформації про ці об'єкти. Для створення найбільш наближеною до реальності інформаційної моделі території під забудову необхідно забезпечити інтеграцію всіх типів даних, що входять до її складу. Вони можуть бути представлені у векторному, растровому форматі, а також у вигляді тріангуляційних поверхонь.

Інформаційна модель території під забудову M може бути описана наступним чином:

$$M = \{R_{\text{растр}}\} \cup \{V_{\text{вект}}\} \cup T_{\text{тріан}}, \quad (1)$$

де $R_{\text{растр}}$ – растрова модель даних, що описує множину геооб'єктів, представлених у вигляді растрів. Дана модель уявлення просторових даних може бути використана для відображення супутникового знімка, креслення топографічного плану тощо (рис. 1а), її можна представити як сукупність комірок (Ncell), яку можна описати наступним відношенням:

$$R_{\text{растр}} = \{N_{\text{cell}}\}, \quad (2)$$

$T_{\text{триан}}$ – триангуляційна модель даних, може бути представлена у вигляді TIN-моделі (з нерегулярним розташуванням точок) або GRID-моделі (з регулярним розташуванням точок) поверхонь (рис. 1, в), які утворюються вершинами ($T_{\text{триан}}$), ребрами ($T_{\text{ребр}}$) та гранями ($T_{\text{гран}}$) в тривимірному просторі:

$$T_{\text{триан}} = \{T_{\text{верш}}, T_{\text{ребр}}, T_{\text{гран}}\}, \quad (3)$$

$V_{\text{вект}}$ – векторна модель даних, описує інформацію про геооб'єкти, розташовані на земельній ділянці (рис. 1, б).

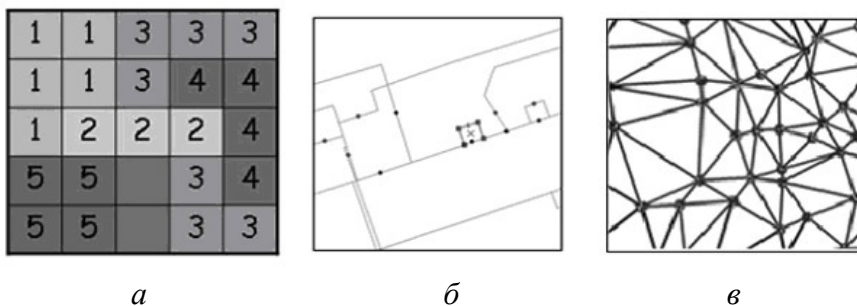


Рис. 1. Моделі даних території під забудову:
а – растрова; б – векторна; в – триангуляційна

Ці об'єкти зберігаються у вигляді класів просторових об'єктів і включають в себе просторову та атрибутивну (непросторову) інформацію:

$$V_{\text{вект}} = \{A_j, I_j\}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (4)$$

де n – кількість геооб'єктів, розташованих на поверхні території під забудову; A_j – множина атрибутивної (непросторової) інформації, яка відображає якісні та кількісні характеристики j -геооб'єкта:

$$A_j = \{a_i\}_j, \quad i = \overline{1, m_a}, \quad (5)$$

де m_a – кількість атрибутів для j -геооб'єкта, I_j – множина просторової інформації, характеризує розташування j -геооб'єкта на території забудови згідно просторової прив'язки

$$I_j = \{X, Y, Z\}_j. \quad (6)$$

Векторним способом подання просторових даних, або векторною моделлю, називають спосіб формалізації просторових даних, що ґрунтується на використанні набору графічних об'єктів, або "графічних примітивів" [4].

Для створення векторної моделі території під забудову, яка б відповідала сучасним вимогам інформаційного моделювання в будівництві – ВІМ-технології, необхідно атрибутивну інформацію певного геооб'єкту прив'язати до його метричної (просторової) компоненти. Детально застосування ВІМ-вимог до створення таких моделей було розглянуто раніше в роботі [3]. Для вирішення цієї задачі пропонується застосувати теоретико-множинний підхід для формалізованого подання різнотипних геооб'єктів, який дозволяє описати геооб'єкти в єдиному уніфікованому вигляді.

В залежності від геометричної форми реального геооб'єкта просторова інформація може бути представлена у вигляді точкових (7), полілінійних (8), полігональних (9) або комплексних моделей (10).

Розглянемо більш детально формалізацію кожного виду моделі в єдиній математичній формі.

1) Точковий об'єкт – це нуль-вимірний об'єкт, який розташовано в одній планарній точці простоту. Такою моделлю можуть бути представлені такі об'єкти поверхні будівельного майданчика, як дерево, стовп, люк та ін. Множину точкових геооб'єктів P пропонується формалізувати наступним відношенням

$$P = \left\{ \left\{ \left(x_j^p, y_j^p, z_j^p \right) \right\}, \left\{ A_j^p \right\} \right\}_{j=1, \overline{n_p}}, \quad (7)$$

n_p – кількість точкових об'єктів; (x_j^p, y_j^p, z_j^p) – геометричні координати j -го точкового об'єкту; A_j^p – множина атрибутивної інформації для j -го точкового об'єкту.

2) Полілінійний об'єкт – це одновимірний об'єкт, утворений впорядкованим списком вершин, які визначають форму та тип сегменту лінії, які задаються між кожною парою вершин. Сегменти можуть бути представлені прямими лініями або параметрично заданими кривими. Прикладами таких моделей є інженерні комунікації, огорожі, підпірні

стілки. Множину полілінійних геооб'єктів L можна формалізувати наступним відношенням

$$L = \left\{ \left\{ \left(x_q^l, y_q^l, z_q^l \right) \right\}_j, \left\{ A_j^l \right\} \right\}, \quad j = \overline{1, n_l}, \quad q = \overline{1, b_j}, \quad (8)$$

n_l – кількість лінійних об'єктів; b_j – кількість вершин у l -му лінійному об'єкті; (x_q^l, y_q^l, z_q^l) – геометричні координати j -ої вершини l -го полілінійного об'єкту; A_j^l – множина атрибутивної інформації для j -го полілінійного об'єкту.

3) Полігональний об'єкт – це двовимірний об'єкт, обмежений замкнутою послідовністю поліліній та заповнений всередині контуру однотиповою інформацією. Такими моделями можуть бути описані зони певного ландшафту, однорідної рослинності, існуючі будівлі та споруди, паркувальні майданчики. Множину полігональних геооб'єктів S можна формалізувати наступним відношенням

$$S = \left\{ \left\{ \left(x_t^s, y_t^s, z_t^s \right) \right\}_q, \left\{ A_j^s \right\} \right\}, \quad j = \overline{1, n_s}, \quad q = \overline{1, b_j}, \quad t = \overline{1, c_q}, \quad (9)$$

де (x_t^s, y_t^s, z_t^s) – геометричні координати t -ої вершини j -го лінійного об'єкту; A_j^s – множина атрибутивної інформації для j -го полігонального об'єкту; n_s – кількість полігональних об'єктів; c_q – кількість ліній у j -му полігоні; b_j – кількість вершин у q -й лінії.

4) Комплексний об'єкт – це такий об'єкт, який створюється за допомогою комбінації або поєднання попередніх (7) – (9) базових форм. Принцип створення окремого комплексного об'єкту формалізується певним набором правил. Прикладом моделювання об'єктів такого типу може виступати укiс, який за своєю природою має верхню та нижню бровки, тому складається з двох полілінійних об'єктів. Комплексним об'єктом є дорожній проїзд, який складатися мінімум з трьох (і більше) полілінійних об'єктів, які відповідно моделюють вісь, правий та лівий бордюр проїзної частини. Прикладом комплексної моделі може виступати каналізаційна мережа, яка складається з комбінації трубопроводу (полілінійного об'єкту) та люків (точкових об'єктів). Множину комплексних геооб'єктів K можна формалізувати наступним відношенням

$$K = \left\{ \left\{ \left\{ \left\{ \left\{ \left(x_m^K, y_m^K, z_m^K \right) \right\}_t \right\} \right\}_q \right\}_j \right\}, \left\{ A_j^K \right\}, \quad (10)$$

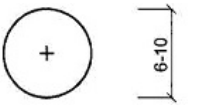
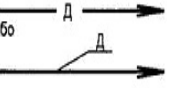
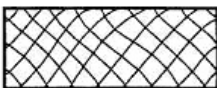
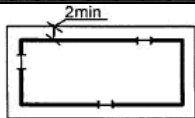
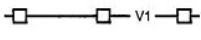
$$j = \overline{1, n_K}, \quad q = \overline{1, b_j}, \quad t = \overline{1, c_q}, \quad m = \overline{1, a_t},$$

де Rules – набір правил поєднання або інтеграції базових форм (7) – (9); A_j^K – множина атрибутивної інформації для K -го комплексного об'єкту; n_K – кількість комплексних об'єктів; b_j – кількість полігонів в j -об'єкті; c_q – кількість ліній в q -полігоні; a_t – кількість вершин в t -лінії.

Інформаційна модель території під забудову має містити максимально точний опис розташування реальних об'єктів в прийнятій системі координат та їх атрибутивних характеристик. Властивості об'єктів описуються з застосуванням єдиних класифікаторів (довідників) і мають своє умовне зображення, що забезпечує автоматизований обмін і обробку даних. В таблиці наведені приклади моделей різнотипних об'єктів території під забудову.

Таблиця

Приклади моделей геооб'єктів території під забудову

Найменування реального об'єкту території забудови	Векторна модель даних, (формула)	Графічне зображення об'єкта згідно ДСТУ Б А.2.4-2:2009	Множина атрибутів об'єкта A_j
Дерево	Точковий об'єкт (7)		<ul style="list-style-type: none"> - найменування породи - висота - діаметр крони - вік, параметри росту - умови догляду
Дренаж	Полілінійний об'єкт (8)		<ul style="list-style-type: none"> - найменування - призначення, - матеріал - діаметр труби
Квітник	Полігональний об'єкт (9)		<ul style="list-style-type: none"> - найменування - площа покриття - умови догляду
Будівля наземна	Комплексний (10)		<ul style="list-style-type: none"> - призначення, стан - експлікаційний номер - кількість входів - відмітка нуля
ЛЄП	Комплексний (10)		<ul style="list-style-type: none"> - найменування - кількість опор - висота опори

Тепер формально векторну модель території під забудову можна подати як сукупність моделей геооб'єктів, описаними виразами (7) – (10) та множинами просторових зв'язків:

$$V_{\text{ВЕКТ}} = \langle P, L, S, K, F, \sigma \rangle \quad (11)$$

де F – множина просторових зв'язків між об'єктами (7) – (10) території забудови, σ – множина типів зв'язків (топологічних, метричних, морфологічних та ін.).

Для вирішення задачі моделювання поверхні території під забудову від адекватності, повноти і точності векторного способу подання просторових даних (11) залежить точність та адекватність побудови триангуляційних моделей поверхонь (3).

Моделі даних території під забудову – це формалізована система подання інформації про реальні геооб'єкти, як природного, так і антропогенного походження, які мають просторову прив'язку до земельного простору та топологічно пов'язані між собою. На концептуальному рівні вона подається у вигляді сукупності трьох основних елементів, представлених на рис. 2:

- просторова компонента, що складається із геометричних об'єктів та просторової прив'язки;
- атрибутивна компонента, що визначає змістовну сутність об'єктів і їх частин у термінах моделі реального світу. При цьому використовуються каталоги і класифікатори об'єктів. Сюди входять також якісні або кількісні негеометричні дані, які представлені у вигляді властивостей або характеристик геооб'єкту;
- метадані, що дають додаткову інформацію, яка необхідна для інтерпретації об'єктів: зміст, якість та інші характеристики і властивості даних.

Відповідні геометричні дані також поділяються на два види, які показані на рис. 2. Дані першого виду – об'єктно-локалізовані – описують відокремлені геооб'єкти (будова, дорога, інженерна комунікація та ін.). Призначенням даних цього виду є передача просторової геометрії геооб'єкта, що описується. Дані другого виду – просторово-розподілені – описують рельєф території, вимірювання на місцевості та інші подібні дані. Призначення даних цього виду полягає у передачі просторового каркасу, який може бути представлений у вигляді набору точок, ізоліній (горизонталей), TIN- або GRID-поверхонь.

Всі геооб'єкти створюються формалізуються в єдиній системі, і в незалежності від типу та інформаційного наповнення належать до однієї з цих моделей.

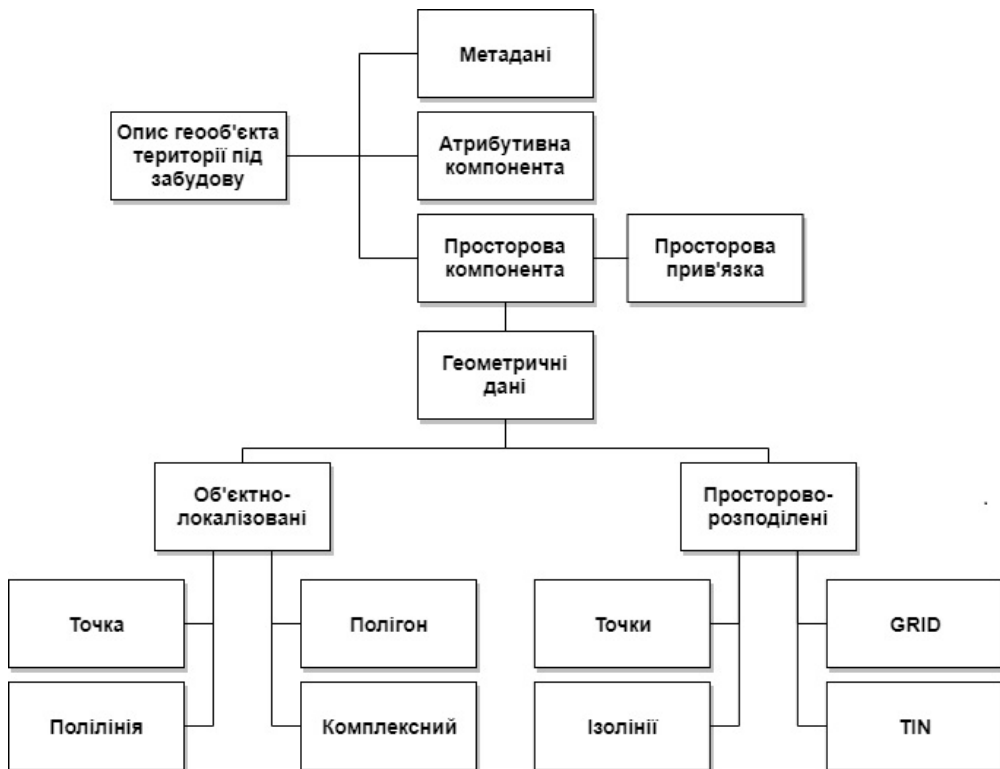


Рис. 2. Концептуальна модель опису об'єкта території під забудову

Висновки. Розглянуто проблему подання різнотипної просторової інформації в складі інформаційної моделі території під забудову. Для вирішення цієї проблеми запропоновано використання теоретико-множинного підходу, який дозволяє в єдиному математичному вигляді описати множини різнотипних геооб'єктів. Наукова новизна дослідження полягає в застосуванні теоретико-множинного підходу для уніфікованого формалізованого опису просторової інформації. Практична цінність результатів дослідження полягає в застосуванні запропонованого способу формалізації для створення векторних та цифрових моделей геооб'єктів. Такі моделі відповідають сучасним вимогам інформаційного моделювання у будівництві BIM-технології і в залежності від задачі дослідження можуть носити самостійний характер або ставати вихідними даними для побудови триангуляційної моделі поверхні території під забудову.

Список літератури:

1. Михайленко В.М. Интеллектуальная информационная технология диагностики технического состояния зданий / В.М Михайленко, А.А. Терентьев, М.И. Цюцюра. – К.: Компринт, 2015. – 162 с.
2. Зацерковний В. І. Моделі, методи та програмно-технічні засоби геоінформаційної підтримки прийняття рішень у системах управління територіями / автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.13.06. – К., Інститут ПММС, 2013. – 40 с.
3. Кейк Д. Геоінформаційні технології та інфраструктура геопросторових даних. Том 2: Системи керування базами геоданих для інфраструктури геопросторових даних. Монографія / Д. Кейк, А.А. Лященко, В.В. Путренко, Ю. Хмелевський, К.С. Дорошенко, М. Говоров. – Харків: Планета-Прінт, 2017. – 456 с.
4. Гончаренко, Т.А. Застосування ВІМ-технології для створення цифрової моделі території під забудову / Т.А. Гончаренко // Управління розвитком складних систем. – 2018. – № 33. – С. 131 – 138.
5. Гончаренко Т.А. Аналіз та постановка задачі моделювання поверхні території під забудову / Т.А. Гончаренко, І.А. Пороховніченко // Управління розвитком складних систем. – 2017. – № 31. – С. 138 – 144.
6. Карпінський, Ю.О. Еталонна модель бази топографічних даних / Ю.О. Карпінський, А.А. Лященко, Р.М. Рунець // Вісник геодез. та картогр. – 2010. – № 2. – С. 28-36.
7. Penn, S. The BIM Project Execution Planning Guide (Penn State). – 2016. – [Електронний ресурс] // URL: <http://bim.psu.edu/uses>.
8. Brink L. Establishing a national standard for 3D topographic data compliant to CityGML / L. Brink, J. Stoter, S. Zlatanova // International Journal of Geographical Information Science. – 2013. – Vol. 27 (1). – P. 92-113.
9. Biljecki F. The concept of level of detail in 3D city models. – 2013. – [Електронний ресурс] // URL: <http://www.gdmc.nl/publications/reports/GISSt62.pdf>.
10. Ямалов И.У. Трехмерное моделирование пространственных объектов в Геоинформационной системе органов исполнительной власти Республики Башкортостан / И.У. Ямалов и др. // Материалы 15-ой Междунар. науч.-практ.конф. "Компьютерные науки и информационные технологии". – Т.2. – Уфа: 2013. – С. 66-70.

References:

1. Mikhaylenko, V., Terentyev, O., and Tsutsura, M. (2015), *Intellectual information technology for diagnosing the technical condition of buildings*, TSB Komprint, Kyiv, 162 p.
2. Zatserkovny, V.I. (2013), *Models, methods and software and technical means of geoinformational support for decision-making in territorial management systems: Author's thesis*, Kyiv, 40 p.
3. Cake, D, Lyaschenko, A., Putrenko, V., Khmelevsky, Y., Doroshenko, K., and Govorov, M. (2017), *Geoinformation Technologies and Infrastructure of Geospatial Data. Volume 2: Geospatial database management systems for geospatial data infrastructure*, Planet-Print, Harkiv, 456 p.
4. Honcharenko, T., and Porohovnichenko, I. (2018), "The use of BIM-technology to create an information model territories for construction", *Management of Development of Complex Systems*, Vol. 33, pp.131-138.
5. Honcharenko, T. (2017), "Analysis and resolution of the surface modeling task for construction territory", *Management of Development of Complex Systems*, Vol. 31, pp.138-144.
6. Karpinsky, Yu., Lyashchenko, A., and Runec, R. (2010), "Standard model of topographic data base", *Herald surveyor and cartogram*, Vol. 2, pp. 28-36.

7. Penn, S. (2016), "The BIM Project Execution Planning Guide", available at: <http://bim.psu.edu/uses>.
8. Brink, L., Stoter, J., and Zlatanova, S. (2013). "Establishing a national standard for 3D topographic data compliant to CityGML", *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 27 (1), pp. 92–113.
9. Biljecki, F. (2013), "The concept of level of detail in 3D city models", available at: <http://URL: http://www.gdmc.nl/publications/reports/GIS62.pdf>.
10. Yamalov, I. (2013), "Three-dimensional modeling of spatial objects in the Geoinformation system of executive bodies of the Republic of Bashkortostan", *Materials of the 15th International scientific-pract.conf. "Computer Science and Information Technologies, Vol. 2, Ufa*, pp. 66-70.

Статтю представив д-р техн. наук, проф. КНУБА Терентьев О.О.

Поступила (received) 10.05.2018

Honcharenko Tetyana, Senior Lecturer
Kyiv National University of Construction and Architecture
Avenue Povitroflotsky, 31, Kyiv, Ukraine, 03037
Tel: +38 093 022-82-01, e-mail: geocad@ukr.net
ORCID ID: 0000-0003-2577-6916

Mihaylenko Victor, Dr.Sci.Tech, Professor
Kyiv National University of Construction and Architecture
Avenue Povitroflotsky, 31, Kyiv, Ukraine, 03037
Tel: (044) 360-55-09, e-mail: kpm_knuba@ukr.net
ORCID ID: 0000-0002-9573-9873

УДК 004.942+045

Теоритико-множинний опис просторових даних у складі інформаційної моделі території під забудову / Гончаренко Т.А., Михайленко В.М. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2018. – № 24 (1300). – С. 149 – 159.

Розглянуто проблему спільного опису різнотипної просторової інформації в складі інформаційної моделі території під забудову та запропоновано концептуальну модель подання геооб'єктів, розташованих на поверхні будівельного майданчика. Для вирішення проблеми запропоновано застосування теоритико-множинного підходу для опису просторових даних, який подає в єдиному формалізованому вигляді множини різнотипних геооб'єктів, необхідних для побудови вищезазначеної моделі. Такий підхід відповідає сучасним вимогам інформаційного моделювання у будівництві – BIM-технології і дозволяє вирішувати завдання, пов'язані з підготовкою території під забудову, на новому технологічному рівні. Ил.: 2. Табл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: просторова інформація; інформаційна модель; територія під забудову; теоритико-множинний підхід; геооб'єкт; BIM-технологія.

УДК 004.942+045

Теоритико-множественное описание пространственных данных в составе информационной модели территории под застройку / Гончаренко Т.А., Михайленко В.М. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2018. – № 24 (1300). – С. 149 – 159.

Рассмотрена проблема общего описания разнотипной пространственной информации в составе информационной модели территории под застройку и предложена концептуальная модель представления геообъектов, расположенных на поверхности строительной площадки. Для решения проблемы предложено применение теоритико-множественного подхода для описания пространственных данных, который подает в едином формализованном виде множества разнотипных геообъектов, необходимых для построения вышеупомянутой модели. Такой подход соответствует современным требованиям информационного моделирования в строительстве – BIM-технологии и позволяет решать задачи, связанные с подготовкой территории под застройку, на новом технологическом уровне. Ил.: 2. Табл.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: пространственная информация; информационная модель; территория под застройку; теоритико-множественный подход; геообъект; BIM-технология.

UDK 004.942+004.045

Set-theoretic description of spatial data in the information model of the construction territory // Honcharenko T.A., Mihaylenko V.M. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI" – 2018. – № 24 (1300). – P. 149 – 159.

The problem of joint description of different types of spatial information in the composition of the information model of the territory under construction is considered and a conceptual model of representation of geobjects located on the surface of the construction site is proposed. To solve the problem, we propose the application of multiplicative theoretical approach for the description of spatial data, which presents in a single formalized form a plurality of different types of geobjects necessary for constructing the aforementioned model. This approach meets the modern requirements of information modeling in construction - BIM-technology and allows you to solve tasks related to the preparation of the territory for development, at a new technological level. Figs.: 2. Tabl.: 1. Refs.: 10 titles.

Keywords: spatial information; information model; the construction territory; set-theoretic approach; geobject; BIM-technology.