

*Т. А. ГОНЧАРЕНКО*, канд. техн. наук, доц., КНУБА, Київ,

*В. М. МІХАЙЛЕНКО*, д-р техн. наук, проф., КНУБА, Київ,

*О. В. ДОЛЯ*, канд. техн. наук, доц., КНУБА, Київ

## **ІНВАРІАНТНІСТЬ ІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИБУДИНКОВОЇ ТЕРИТОРІЇ ПРОТЯГОМ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ**

В статті розглянуто вирішення проблеми розробки уніфікованої інформаційної моделі прибудинкової території з додатковими активами протягом всього життєвого циклу. Запропонована параметризація створення уніфікованої моделі об'єкта дозволяє інтегрувати модель управління прибудинковою територією в уніфіковану інформаційну модель об'єкта нерухомості. Іл.: 4. Бібліогр.: 14 назв.

**Ключові слова:** параметризація створення уніфікованої моделі; уніфікована інформаційна модель; прибудинкова територія; модель об'єкта нерухомості.

**Аналіз літератури та постановка проблеми.** Для створення комфортного міського середовища для сталого розвитку найбільш відповідним способом є збір і подальше використання інформації з різних рівнів: фізичного, інженерного, юридичного, економічного, екологічного тощо [1]. Такий величезний обсяг інформації має бути застосований ефективно, швидко, якісно і бути зрозумілим для прийняття ефективних управлінських рішень. Для таких вимог є відповідне програмне забезпечення та методи представлення даних. Інформаційне моделювання будівель (BIM – Building Information Model або Modeling) – це процес створення єдиної уніфікованої моделі (UM – unified model), який включає різні додаткові активи [2].

Додаткові активи – це технологічні, організаційні та економічні та інші моделі, які доповнюють одна одну, коли збільшення одного активу збільшує інвестиційний ефект іншого [3]. Додаткові активи взаємно підвищують ефективність проєкту будівництва. Іншими словами, додаткові активи повинні розвиватися разом, як це є в уніфікованій моделі (UM). Аналіз наукових праць [4 – 10] дозволяє запропонувати узагальнюючу схему основних компонентів уніфікованої інформаційної моделі об'єкта будівництва з додатковими активами протягом всього життєвого циклу, яка представлена на рис. 1.

Наприклад, модель будівлі, створена дизайнером, а потім вдосконалена протягом проєкту, має шанс стати "реальною" моделлю. У цю модель будуть включені всі технічні характеристики, інструкція із експлуатації та технічного обслуговування та гарантійна інформація до

стадії управління об'єктом нерухомості у майбутньому. Це дозволить власнику оцінити економічну ефективність та доцільність запропонованих змін на етапах проектування та будівництва.

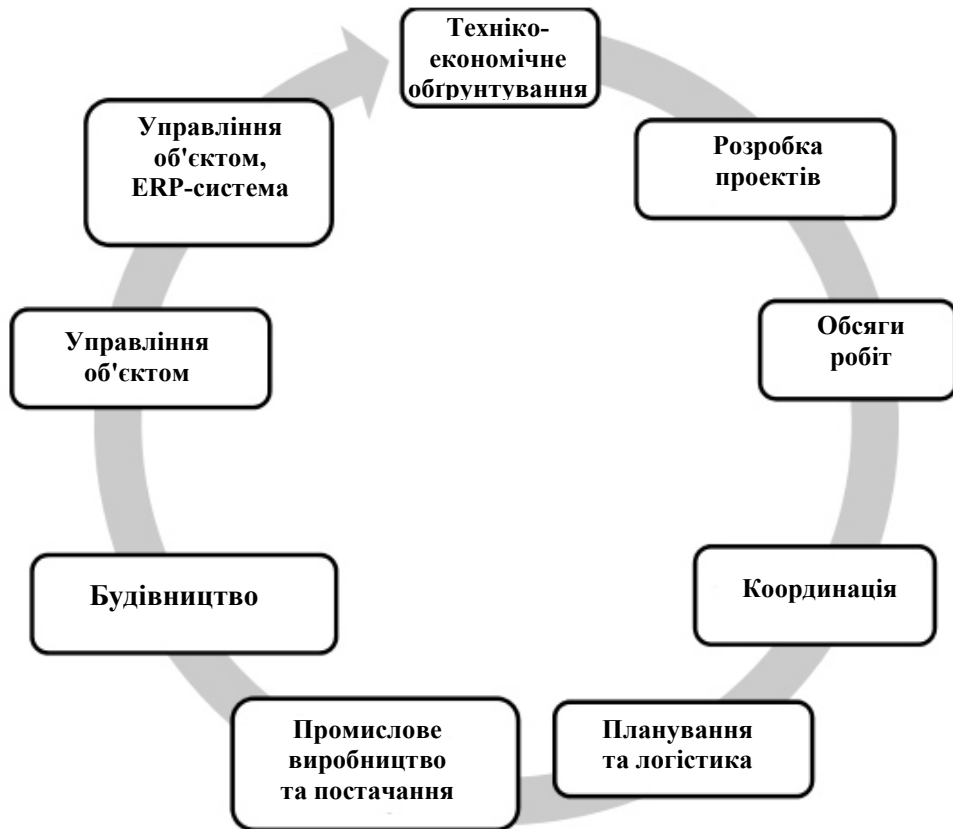


Рис. 1. Уніфікована інформаційна модель об'єкта будівництва з додатковими активами протягом всього життєвого циклу

**Мета статті** – запропонувати вирішення проблеми розробки уніфікованої інформаційної моделі прибудинкової території з додатковими активами протягом всього життєвого циклу, для чого здійснити параметризацію створення уніфікованої моделі, яка дозволить інтегрувати модель управління прибудинковою територією в уніфіковану інформаційну модель об'єкта нерухомості.

**Параметризація створення уніфікованої моделі.** Параметричне моделювання (або параметризація) базується на створенні моделі з використанням параметрів елементів об'єкта та взаємозв'язків між цими параметрами [11]. Сукупність програмних продуктів, які беруть участь у

певному проекті будівництва, мають конкретні моделі з певними опціями. З метою зберігання інформації про компоненти база даних запроєктованих моделей містить:

- 1) геометричні параметри об'єкта (розмір, площа, об'єм тощо);
- 2) семантичні параметри фізичного об'єкта (маса, матеріальні фізичні константи тощо);
- 3) присвоєні атрибутивні параметри об'єкта (ідентифікатор, назва, переріз, маркування, коди тощо).

Параметрична модель об'єкта будівництва інтегрує тривимірну модель (геометрію та дані) з моделлю взаємозв'язків та поведінки елементів між собою. Вся робоча документація формується на цій заповненій базі даних. Усі зміни оновлюються автоматично. Послідовна модель змін нагадує комірки таблиці змін, значення яких наведені формулами. Формули дозволяють автоматизувати системи розрахунку та параметричного моделювання об'єкта будівництва, автоматизувати отримання будівельних документів.

Математичну модель параметричного моделювання загальної інформаційної моделі, що визначається множиною компонентів та множиною моделей проектних рішень  $N_j$  пропонується подавати в такому вигляді:

$$N_j = \{E, P, R, D, C\}_j, \quad (1)$$

де  $E$  – множина елементів структури, яка визначається як  $\{E_1, \dots, E_{NE}\}$ , де  $NE$  – кількість елементів структури;  $P$  – набір параметрів, який визначається множиною  $\{P_1, \dots, P_{NP}\}$ , де  $NP$  – кількість параметрів;  $R$  – набір вимог і обмежень для моделі, який визначається множиною  $\{R_1, \dots, R_{NR}\}$ , де  $NR$  – кількість вимог і обмежень;  $D$  – набір вподобань, який визначається множиною  $\{D_1, \dots, D_{NP}\}$ , де  $ND$  – кількість вподобань;  $C$  – набір функцій витрат, який визначається множиною  $\{C_1, \dots, C_{NC}\}$ , де  $NC$  – кількість функціональних залежностей.

Відповідно множина проектних рішень визначається таким чином:

$$N = \{N_j\}, j = 1, \dots, J, \quad (2)$$

де  $J$  – кількість проектних рішень.

Елемент структури визначає примітивний елемент моделі дизайну. Параметри відображають значення елемента. Кожен параметр пов'язаний з діапазоном значень. Значення параметрів, визначених функціональними вимогами і обмеженнями. Бажання чи переваги клієнта або всієї системи також відображаються в рівнянні. Принципи

параметризації сучасного програмного забезпечення дозволяють інформаційній моделі бути інваріантною до зміни формату різних програмних систем.

**Єдина інформаційна модель.** Для єдиної моделі мають бути зібрані дані для інформаційної моделі на всіх етапах життєвого циклу проекту. Виділимо основні етапи створення інформаційної моделі:

1. Етап планування:
  - Інвестиційне планування,
  - Фінансове моделювання,
  - Бізнес-планування.
2. Етап виконання:
  - Управління процесом,
  - Прикладний (включаючи календарне планування),
  - Закупівля,
  - Будівництво,
  - Введення об'єкта в експлуатацію,
  - Експлуатація.
3. Кінцевий етап:
  - Реконструкція,
  - Модернізація,
  - Виведення з експлуатації.

**Етап планування.** Процес планування складається з процесів, що проводяться для визначення загального змісту робіт, проведення та уточнення цілей та вироблення послідовності дій, необхідних для досягнення цих цілей. Під час процесу планування повинен розроблятися план управління проектом та проектна документація. Складний характер прийняття проектних рішень створює ланцюжок зворотного зв'язку для подальшого аналізу. Після отримання та інтерпретації додаткової інформації або характеристик проекту може знадобитися додаткове планування. Суттєві зміни, що відбуваються протягом життєвого циклу проекту, призводять до необхідності перегляду одного або декількох процесів планування та, можливо, ініціювання процесів. Основною метою планування є інтеграція всіх учасників проекту для виконання комплексу робіт, що забезпечують досягнення результатів проекту. Цей етап являє сукупність дій, що передбачає цілі та параметри взаємодії між роботою і організацією сторін, розподіл ресурсів та вибір інших організаційних, технологічних та економічних рішень, що забезпечують досягнення цілей проекту.

**Етап виконання.** На етапі втілення моделі генерального планування безпосередньо на території під забудову має бути враховані всі процеси з уніфікованої моделі (рис. 2).

Після формування інженерної моделі проєктувальник або BIM менеджер повинен збирати та додавати організаційну, технологічну, економічну інформацію в уніфіковану модель вже прибудинкової території.

Найскладніший етап – це етап управління об'єктом. На етапі будівництва необхідно контролювати процеси будівництва та розробки виконавчої документації. По закінченню будівництва керуюча компанія повинна створити інформаційний та електронний банк даних для поточного об'єкта, заснований на технічній документації або на додатковій уніфікованій інформаційній моделі на основі технології інформаційного моделювання, яка буде містити вхідні дані та систему показників [12].



Рис. 2. Єдина інформаційна модель на етапі реалізації генерального планування для завершення розробки проєктної документації

**Етап управління.** Протягом життєвого циклу виникають кількісні та якісні зміни, які додаються в БД системи обліку об'єкта нерухомості. Умови та форми подання інформаційних даних повинні бути зафіксовані стандартною документацією. Інформаційна модель має оцінювати і відстежувати витрати протягом життєвого циклу прибудинкової території та оптимізувати їх.

Головною метою на етапі експлуатації та управління прибудинковою територією є моделювання і тестування сценаріїв безпеки та алгоритмів збереження кожної системи життєзабезпечення об'єкта нерухомості як у стандартній, так і в надзвичайних ситуаціях таких як прорив трубопроводу, виникнення затоплення чи пожежі,

порушення зв'язку, необхідність проведення робіт по благоустрою чи озелененню території тощо [13]. У процесі моделювання має бути розроблена інформаційна система управління будівлею (Building Management Systems) та підпорядкована їй система життєзабезпечення управління прибудинковою територією. На рис. 3 запропонована інформаційна модель для етапу управління прибудинковою територією.

Експлуатуюча компанія уточнює свої вимоги до технічних, виробничих та експлуатаційних характеристик кожної системи життєзабезпечення будівлі. Після завершення роботи дані з моделей на етапах інжинірингу та будівництва передаються у модель експлуатації інтегрованої системи життєзабезпечення будівлі, яка має оптимально відповідати всім вимогам довкілля, енергоефективності, безпеки та ергономіки, а також враховувати витрати на її експлуатацію та обслуговування [14]. Проблема, яка виникатиме в такій інформаційній системі і потребує вирішення – це верифікація інформаційних даних для автоматизованого оновлення моделі на етапі управління об'єктом нерухомості.

**Інтеграція моделі управління прибудинковою територією в уніфіковану інформаційну модель об'єкта нерухомості.** Для поліпшення якості житлової забудови в цілому необхідно в єдину інформаційну модель об'єкта нерухомості вводити дані показників кожної інженерної мережі будівлі (водопостачання, опалення, вентиляції, системи управління електроживленням, внутрішнє та зовнішнє освітлення тощо).

На рис. 4 надана уніфікована інформаційна модель комунальної системи на етапі експлуатації і управління прибудинковою територією. Процес експлуатації, управління об'єктами нерухомості та комунальними послугами включає моніторинг і зовнішніх інженерних мереж, їх безпеку та автоматизацію роботи, реєстрацію аварій, плановий ремонт, розрахунок енергії, зміну поточних налаштувань, автоматизоване управління системами. Благоустрій території теж потребує інформаційної підтримки щодо планових робіт по озелененню та підтримання в доброму стані малих архітектурних форм.



Рис. 3. Інформаційна модель етапу управління прибудинковою територією



Рис. 4. Уніфікована інформаційна модель комунальної системи на етапі експлуатації і управління прибудинковою територією

Уніфікована інформаційна модель управління об'єктом нерухомості має базуватися на моделі об'єкта будівництва, яка для подальшого використання наповнюється відповідними інформаційними даними на етапі експлуатації, що потребує відповідних методів верифікації та інтеграції БД для розробки інформаційної системи з використанням BIM-орієнтованого програмного забезпечення.

**Висновки.** Проведене дослідження дозволяє виділити ключові переваги використання параметричного моделювання у застосуванні додаткових активів для розробки уніфікованої інформаційної моделі об'єкта будівництва протягом всього життєвого циклу, що дозволяє:

- виявити параметри моделі з різних аспектів;
- зменшити кількість помилок у проектних рішеннях та колізій через погану координацію між будівельниками та проектувальниками;
- вибрати найкращі можливі варіанти з альтернативних;
- мати широкий спектр можливостей для аналізу та моделювання;
- контролювати вартість будівництва шляхом прямого обліку всіх змін;
- працювати над складними проектами;
- підтримувати прийняття управлінських рішень на всіх етапах життєвого циклу.



Наукова новизна дослідження полягає у розробці уніфікованої інформаційної моделі комунальної системи на етапі експлуатації і управління прибудинковою територією, яка має базуватися на моделі об'єкта будівництва. Практична цінність результатів дослідження полягає у виявленні необхідності використання BIM-орієнтованого програмного забезпечення для інтеграції моделі прибудинкової території в уніфіковану інформаційну модель об'єкта нерухомості.

Додаткова уніфікована модель, заснована на BIM, бере участь у всіх фазах життєвого циклу проекту, включаючи технічне обслуговування та експлуатацію. Тому основною метою BIM-менеджерів має стати створення діючої автоматизованої системи для забезпечення подальшого використання об'єкта будівництва та його систем вже як об'єкта експлуатації. Ця система має вбирати інформаційні БД, які були зібрані протягом попередніх етапів життєвого циклу.

Для подальших наукових досліджень передбачається вирішення проблеми застосування BIM можливостей програмних продуктів для забезпечення інтеграції різних БД до єдиної БД.

#### Список літератури:

1. *De Santana S.A.* Modeling urban landscape: new paradigms and challenges in territorial representation / *S.A. De Santana* // *Disegnare con.* – 2013. – № 6 (11). – P. 161-174.
2. *Azhar S.* BIM-based approach for communicating and implementing a construction site safety plan / *S. Azhar, A.A. Behringer* // 49th ASC Annual International Conference Proceedings. – Associated Schools of Construction, 2013.
3. *Eastman C.M.* BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors / *C.M. Eastman.* – John Wiley & Sons. – 2011.
4. *Biancardo S.A.* BIM-Based Design for Road Infrastructure: A Critical Focus on Modeling Guardrails and Retaining Walls / *S.A. Biancardo, N. Viscione, A. Cerbone, E. Dessi* // *Infrastructures.* – 2020. – Vol. 5. – P. 59.
5. *Kulikov P.* OLAP-Tools for the Formation of Connected and Diversified Production and Project Management Systems / *P. Kulikov, G. Ryzhakova, T. Honcharenko, D. Ryzhakov, O. Malykhina* // *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering.* – 2020. – Vol. 8 (10). – P. 7337-7343.
6. *Гончаренко Т.А.* Застосування BIM-технології для створення інформаційної моделі території під забудову / *Т.А. Гончаренко* // *Управління розвитком складних систем.* – К.: КНУБА, 2018. – Вип. 33. – С. 131–138.
7. *Горковчук Д.В.* Розроблення геоінформаційної моделі зонування міських територій для використання в системах містобудівного кадастру / *Д.В. Горковчук* // *ScienceRise.* – 2016. – № 2 (29).
8. *Гончаренко Т.А.* Інструменти інформаційного забезпечення визначення прихованого потенціалу розвитку міських територій для реалізації проєктів генерального планування комплексної житлової забудови / *Т.А. Гончаренко, В.М. Михайленко* // *Управління розвитком складних систем.* – 2020. – № 44. – С. 70–77.
9. *Максимова Ю.С.* Об'єктно-орієнтована модель геопросторових даних генерального плану / *Ю.С. Максимова* // *Управління розвитком складних систем.* – 2017. – № 31. – С. 92–100.

10. Гончаренко Т.А. Структура методології CIM для інформаційного моделювання міського середовища на основі інтеграції BIM та GIS технологій / Т.А. Гончаренко // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Серія: Інформатика та моделювання. – 2020. – № 2 (4). – С. 42-53.
11. Гончаренко Т.А. Інтеграційна модель життєвого циклу території будівлі на основі BIM / Т.А. Гончаренко // Управління розвитком складних систем. – 2020. – № 43. – С. 83–90.
12. Безлюбченко О.С. Планування і благоустрій міст-[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://masters.kubg.edu.ua/index.php/art/article/%20view/314/292#.X2oRM2gzZPa>
13. Гончаренко Т.А. Застосування методів багатовимірного аналізу даних для моделювання території під забудову / Т.А. Гончаренко, В.М. Михайленко // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Серія: Інформатика та моделювання, 2019. – № 28 (1353). – С. 5–15.
14. Лященко А.А. Системні вимоги до сучасного містобудівного кадастру та містобудівної документації / А.А. Лященко // Містобудування та територіальне планування. – 2013. – № 47. – С. 397–405.

#### **References:**

1. De Santana, S.A. (2013), "Modeling urban landscape: new paradigms and challenges in territorial representation", *Disegnare con.*, No. 6 (11), pp. 161–174.
2. Azhar, S., and Behringer, A. (2013), "A BIM-based approach for communicating and implementing a construction site safety plan", *49th ASC Annual International Conference Proceedings, Associated Schools of Construction*, <https://ascpro0.ascweb.org/archives/cd/2013/paper/CPRT43002013.pdf>
3. Eastman, C.M., et al. (2011), *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*, John Wiley & Sons.
4. Biancardo, S.A., Viscione, N., Cerbone, A. and Dessì, E. (2020), "BIM-Based Design for Road Infrastructure: A Critical Focus on Modeling Guardrails and Retaining Walls", *Infrastructures*, Vol. 5, 59, <https://doi.org/10.3390/infrastructures5070059>.
5. Kulikov, P., Ryzhakova, G., Honcharenko, T., Ryzhakov, D., and Malykhina, O. (2020), "OLAP-Tools for the Formation of Connected and Diversified Production and Project Management Systems", *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, Vol. 8 (10), pp. 7337-7343, <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/1108102020>.
6. Honcharenko, T. (2018), "The use of BIM-technology to create an information model territories for development", *Management of Development of Complex Systems*, Vol. 33, pp. 131–138,
7. Gorkovchuk, D.V. (2016), "Development of a geoinformation model of zoning of urban areas for use in urban cadastre systems", *ScienceRise*. – No 2 (29).
8. Honcharenko, T., and Mihaylenko, V. (2020), "Information support tools for determining the hidden development potential of urban areas for the implementation of master planning projects of integrated housing", *Management of Development of Complex Systems*. Kyiv, 44, 70–77, [doi.org/10.32347/2412-9933.2020.44](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.44).
9. Maximova, Yu.S. (2017), "Object-oriented model of geospatial data of the master plan", *Management of complex systems development*, No. 31, p. 92–100.
10. Honcharenko, T.A. (2020), "Structure of CIM methodology for information modeling of the urban environment based on the integration of BIM and GIS technologies", *Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling*. – Kharkov: NTU "KhPI" – No. 2 (4), pp. 42-53.
11. Honcharenko, T., Mihaylenko, V., Borodavka, Y., Dolya, E., and Savenko, V. (2021),

"Information tools for project management of the building territory at the stage of urban planning", *CEUR Workshop Proceedings*, Vol. 2851, pp. 22-33.

12. Bezlyubchenko, O.S. Planning and improvement of cities – [Electronic resource]. Access <http://masters.kubg.edu.ua/index.php/art/article/%20view/314/292#.X2oRM2gzZPa>

13. Honcharenko, T., and Mihaylenko, V. (2020), "Information support tools for determining the hidden development potential of urban areas for the implementation of master planning projects of integrated housing". *Management of Development of Complex Systems*. Kyiv, Vol. 44, pp. 70-77, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2020.44.

14. Liashchenko, A.A. (2013), "System requirements for modern urban cadastre and urban planning documentation", *Urban Planning and Spatial Planning*, No. 47, pp. 397-405.

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

*Поступила (received) 10.05.2021*

Tetyana Honcharenko, Ph.D, Associate Professor,  
Kyiv National University of Construction and Architecture  
Avenue Povitroflotsky, 31, Kyiv, Ukraine, 03037  
Tel: +38 093 022-82-01, e-mail: [geocad@ukr.net](mailto:geocad@ukr.net)  
ORCID ID: 0000-0003-2577-6916

Victor Mihaylenko, Dr.Sci.Tech, Professor  
Kyiv National University of Construction and Architecture  
Avenue Povitroflotsky, 31, Kyiv, Ukraine, 03037  
Tel: (096) 365-04-11, e-mail: [kpm\\_knuba@ukr.net](mailto:kpm_knuba@ukr.net)  
ORCID ID: 0000-0002-9573-9873

Elena Dolya, Ph.D, Associate Professor,  
Kyiv National University of Construction and Architecture  
Avenue Povitroflotsky, 31, Kyiv, Ukraine, 03037  
Tel: +38 093 022-82-01, e-mail: [geocad@ukr.net](mailto:geocad@ukr.net)  
ORCID ID: 0000-0003-2503-2634

УДК 004.942+045

**Інваріантність інформаційного моделювання прибудинкової території протягом життєвого циклу / Гончаренко Т.А., Михайленко В.М., Доля О.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2021. – № 1 (5). – С. 5 – 16.**

В статті розглянуто вирішення проблеми розробки уніфікованої інформаційної моделі прибудинкової території з додатковими активами протягом всього життєвого циклу. Запропонована параметризація створення уніфікованої моделі об'єкта дозволяє інтегрувати модель управління прибудинковою територією в уніфіковану інформаційну модель об'єкта нерухомості. Іл.: 4. Бібліогр.: 14 назв.

**Ключові слова:** параметризація створення уніфікованої моделі; уніфікована інформаційна модель; прибудинкова територія; модель об'єкта нерухомості.

УДК 004.942+045

**Инвариантность информационного моделирования придомовой территории в течение жизненного цикла / Гончаренко Т.А., Михайленко В.М., Доля Е.В. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2021. – № 1 (5). – С. 5 – 16.**

В статье рассмотрено решение проблемы разработки унифицированной информационной модели придомовой территории с дополнительными активами в течение всего жизненного цикла. Предложенная параметризация создания унифицированной модели объекта позволяет интегрировать модель управления придомовой территорией в унифицированную информационную модель объекта недвижимости. Ил.: 4. Библиогр.: 14 назв.

**Ключевые слова:** параметризация создания унифицированной модели; унифицированная информационная модель; придомовая территория; модель объекта недвижимости.

UDK 004.942+004.045

**Invariance of information modeling of adjoining territory during the lifecycle // Honcharenko T.A., Mikhailenko V.M., Dolya E.B. // Herald of the National Technical University "KhPI". Series of "Informatics and Modeling". – Kharkov: NTU "KhPI". – 2021. – № 1 (5). – P. 5 – 16.**

The article considers the solution of the problem of development of the unified information model of the adjacent territory with additional assets during all life cycle. The proposed parameterization of the creation of a unified model of the object allows integrating the model of management of the adjacent territory in the unified information model of the real estate object. Figs.: 4. Refs.: 14 titles.

**Keywords:** parameterization of the creation of a unified model; parametric modeling; unified information model; adjoining territory; construction object; real estate object.