

УДК 72.01

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.261223.125.1015

## ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ВІМ-ПАКЕТІВ «ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ МОДЕЛЮВАННЯ МІСТА ЯК ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ»

ФОМЕНКО О. О.<sup>1\*</sup>, *д-р арх., проф.*,  
ДАНИЛОВ С. М.<sup>2</sup>, *д-р арх., доц.*,  
ЧЕЧЕЛЬНИЦЬКИЙ С. Г.<sup>3</sup>, *д-р арх., проф.*

<sup>1\*</sup> Кафедра інноваційних технологій у дизайні архітектурного середовища, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, Харків, Україна, тел. +38 (057) 706 1537, e-mail: [oksana.fomenko@kname.edu.ua](mailto:oksana.fomenko@kname.edu.ua), ORCID ID: 0000-0003-0588-4186

<sup>2</sup> Кафедра урбаністики та містобудування, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, Харків, Україна, тел. +38 (057) 706-15-37, e-mail: [Serhii.Danylov@kname.edu.ua](mailto:Serhii.Danylov@kname.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-7647-4665

<sup>3</sup> Кафедра інноваційних технологій у дизайні архітектурного середовища, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, Харків, Україна, тел. +38 (057) 706-15-37, e-mail: [Serhii.Chechelnytskyi@kname.edu.ua](mailto:Serhii.Chechelnytskyi@kname.edu.ua), ORCID ID: 0009-0002-0247-9054

**Анотація.** Описано принципи формування інформаційних пакетів «Інформаційно-накопичувальної матриці моделювання міста як динамічної системи», яка являє собою один із програмних модулів «Програмного комплексу моделювання міста як динамічної системи». Робоча назва інформаційних пакетів – «Динамічний ВІМ-пакет». ВІМ-пакет є основою для формування великого масиву даних Інформаційно-накопичувальної матриці. Кожен із цих інформаційних пакетів описує окремий об'єкт із типологічного спектра архітектурних споруд як середовище, з яким пов'язані практично всі процеси функціонування міста. Вибір назви пакета пов'язаний з подвійним підходом до його формування: поєднанням опису матеріальної складової архітектурного об'єкта і динаміки його життєвого циклу як сукупності життєвих циклів його складових елементів. Цей підхід дає можливість розробити інноваційний архітектурно-урбаністичний інструментарій для аналізу проблем міста як динамічної системи. У формуванні принципів функціонування «Інформаційно-накопичувальної матриці моделювання міста як динамічної системи» динаміка функціонування міста розглядається як сукупність динаміки типологічного спектра архітектурних споруд і динаміки явищ, що виходять за межі архітектури (розглянуто в інших дослідженнях авторів). Програмний комплекс має високий потенціал як інструмент аналізу та прогнозування принципів функціонування міста та орієнтований на інформаційні сервіси для процесів прийняття стратегічних рішень.

**Ключові слова:** місто; архітектура; динамічна система; програмний комплекс; BIG DATA

## PRINCIPLES OF FORMATION OF BIM INFORMATION PACKAGES IN THE “SOFTWARE COMPLEX FOR PLACE MODELING AS A DYNAMIC SYSTEM”

FOMENKO O.O.<sup>1\*</sup>, *Dr Sc. (Arch.), Prof.*,  
DANILOV S.M.<sup>2</sup>, *Dr Sc. (Arch.), Prof.*,  
CHECHELNITSKY S.G.<sup>3</sup>, *Dr Sc. (Arch.), Prof.*

<sup>1\*</sup> Department of Innovative Technologies in Architectural Environment Design, O.M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, 17, Marshal Bazhanov St., Kharkiv, 61002, Ukraine, tel. +38 (057) 706-15-37, e-mail: [oksana.fomenko@kname.edu.ua](mailto:oksana.fomenko@kname.edu.ua), ORCID ID: 0000-0003-0588-4186

<sup>2</sup> Department of Urbanism and City Planning, O.M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, 17, Marshal Bazhanov St., Kharkiv, 61002, Ukraine, tel. +38 (057) 706-15-37, e-mail: [Serhii.Danylov@kname.edu.ua](mailto:Serhii.Danylov@kname.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-7647-4665

<sup>3</sup> Department of Innovative Technologies in Architectural Environment Design, O.M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, 17, Marshal Bazhanov St., Kharkiv, 61002, Ukraine, tel. +38 (057) 706-15-37, e-mail: [Serhii.Chechelnytskyi@kname.edu.ua](mailto:Serhii.Chechelnytskyi@kname.edu.ua), ORCID ID: 0009-0002-0247-9054

**Abstract.** The article describes the principles of forming information packages of the “Information-cumulative matrix of modeling the city as a dynamic system”, which is one of the software modules of the “Software complex of

modeling the city as a dynamic system". The working name of the information packages is "Dynamic BIM package". The BIM package is the basis for the formation of a large data set of the Information and Accumulation Matrix. Each information package describes a separate object from the typological spectrum of architectural structures as an environment with which almost all processes of the city's functioning are connected. The choice of the name of the package is connected with a double approach to its formation: a combination of the description of the material component of the architectural object and the dynamics of its life cycle, as a set of life cycles of its constituent elements. The developed approach makes it possible to develop an innovative architectural and urban toolkit for analyzing the problems of the city as a dynamic system. When forming the principles of the functioning of the "Information-cumulative matrix of modeling the city as a dynamic system", the dynamics of the functioning of the city is considered as a combination of the dynamics of the typological spectrum of architectural structures and the dynamics of phenomena that go beyond the boundaries of architecture (considered in other studies by the authors). The software complex has high potential as a tool for analyzing and forecasting the principles of the city's functioning and is focused on information services for strategic decision-making processes.

**Keywords:** *place; architecture; dynamic system; software complex; BIG DATA*

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі розвитку знань місто розглядається як відкрита динамічна система. Це означає, що місто взаємодіє із зовнішнім середовищем. Умовно ці взаємодії можна класифікувати як матеріальні (поток людей, блага, ресурси, енергія) і нематеріальні (технічна інформація, імперативи, моделі поведінки). Місто постійно розвивається за впливу різноманітних факторів, таких як зростання населення, технологічні інновації, зміни в соціокультурному середовищі тощо.

Як система місто має внутрішню структуру, яка в даному дослідженні поділяється на три основні підсистеми: екосфера, техносфера та суспільство. Ці підсистеми взаємодіють між собою, забезпечуючи місту функціональну цілісність. Прямі і зворотні зв'язки, що виникають у процесі функціонування цих підсистем, породжують появу міської системи – нових явищ і властивостей, що виникають у результаті складних процесів взаємодії безлічі різнорідних елементів.

Функціонування міста регулюється наявністю ресурсних та енергетичних потоків. Це багато в чому визначає його здатність пристосовуватися до змін і здатність досягати рівноваги у відповідь на внутрішні і зовнішні впливи.

У принципі ми розглядаємо два типи регулювання функціонування міста як відкритої динамічної системи: стихійне та планомірне. За стихійного типу регуляції система саморегулюється періодичними сплесками катастрофічної саморегуляції. Катастрофічна саморегуляція може

відбуватися за впливу різних факторів, таких як різкі зміни зовнішніх умов, перевантаження системи, непередбачені відхилення від нормальних умов експлуатації тощо. Це поняття пов'язане з теорією катастроф, яка досліджує нелінійні процеси і переходи систем з одного стану в інший. Прикладом може служити каскадна реакція в екологічній системі, коли зміна одного її елемента спричинює ланцюгову реакцію, що, у свою чергу, викликає незворотні зміни у всій системі.

Історичні міста протягом усієї історії, від архаїки до початку глобалізації економік, потерпали від періодичних каскадних реакцій (також відомих як ефект доміно), які мають відносно локальний характер. Для сучасних міст ця загроза не усунена. Насправді, якщо принципи екстенсивного міського управління не перейдуть до інтенсивних, ми можемо зіткнутися з каскадною реакцією планетарного масштабу. Прикладом може служити глобальне потепління і пов'язані з ним кризи.

Саме з причин, зазначених вище, сьогодні особлива увага приділяється плановому регулюванню принципів функціонування міських систем. Одним з основних трендів у таких підходах стали системи управління великими даними (Big Data) як інструмент розвитку Розумного міста (Smart Cities).

В даний час архітектори Харківського національного університету імені О. М. Бекетова розробляють «Програмний комплекс моделювання міста як динамічної

системи». Цей комплекс належить до інструментів для управління великими обсягами даних (Big Data). Сфера застосування – урбаністика в діапазоні її спеціалізацій: містобудування, архітектура, економіка, соціологія та деякі інші. Причому основний акцент формування комплексу зміщується в бік архітектури та містобудування. У цій роботі розглядаються проблеми формування інформаційних пакетів «Динамічний пакет ВІМ» як один із видів пакетів, що формують базу даних програмного комплексу.

**Аналіз публікацій.** У цьому дослідженні здійснено огляд континууму публікацій, що стосуються таких трьох основних напрямків: методи аналізу міста як динамічної системи (стану проблеми); програмні комплекси для моделювання міста як динамічної системи; Big Data як інструмент розвитку Smart Cities.

З безлічі публікацій, присвячених цій темі, особливий інтерес викликали такі: Робота Дж. Форрестера «Міська динаміка» відіграє значну роль у розумінні функціонування міста як системи, пов'язаної загальними соціальними, екологічними та економічними процесами функціонування. У цій роботі структура моделі міста складається із трьох підсистем: промисловість, житло та люди. Першою підсистемою в моделі є виробнича підсистема, елементи якої в процесі природного старіння поступово трансформуються з рівня становлення в зрілий бізнес, а потім переходять у стан занепаду.

За словами Форрестера, перехід з однієї категорії бізнесу в іншу залежить «не тільки від часу, а й від стану всієї міської системи». Друга підсистема представляє об'єкти нерухомості в життєвому циклі будівництва, старіння і знесення. Третя підсистема – це населення, категорії якого відповідають одному з трьох типів людей в місті: «управлінський фахівець», «робоча сила» і «недостатньо зайнятий» (включаючи безробітних і некваліфікованих працівників) [1].

У своїй статті, присвяченій проблемам моделювання міста як динамічної системи, Майкл Батті розвиває концепції Форрестера, Баумоля, Кресіна та інших [2]. Сімао А. С. Нуньєс опублікував результати дослідження, спрямованого на поєднання когнітивного картографування та системно-динамічного підходу, щоб з'ясувати, які фактори сприяють успіху розумного міста, а також причинно-наслідкові зв'язки між цими детермінантами [3].

У другому блоці – «програмні комплекси для моделювання міста як динамічної системи» зібрані та проаналізовані роботи, опубліковані в Scopus. Пошук здійснювався за такими ключовими словами: програма, Big Data, Cities, динамічне моделювання, системна динаміка тощо. З безлічі публікацій, присвячених цій темі, особливий інтерес викликали такі роботи:

Лі Цзінцзе, використовуючи модель Data Envelopment Analysis (DEA)-Malmquist-Tobit, аналізує 21 мегаполіс та суперполіси Китаю з 2011 по 2020 рік з точки зору поліпшення планування та управління міськими поселеннями. Автор виконав статичну та динамічну оцінку ефективності міських поселень та проаналізував основні фактори, що впливають на них [4].

Джулія Датола використовує модель системної динаміки (SDM) як інструмент для оцінення того, як стійкість міст може трансформувати міста з часом, враховуючи їх складність. Ця оціночна модель використовується для моделювання двох різних міських сценаріїв для міста Турин, Італія [5].

У третьому блоці «Великі дані як інструмент розвитку розумних міст» (Big Data as a Tool for the Development of Smart Cities) зібрані та проаналізовані роботи, опубліковані в Scopus. Пошук здійснювався за такими ключовими словами: Big Data, Smart Cities.

У книзі Роджера Уайта представлено ряд моделей міських систем, більшість з яких розробляються з використанням клітинних автоматів (ЦА), які за своєю суттю є просторовими та обчислювально

ефективними. Крім того, обговорюються теоретичні, методологічні та філософські питання, пов'язані з управлінням великими масивами даних та розумними містами. Використання цих моделей у міському та регіональному плануванні проілюстровано на прикладі конкретного дослідження. [6].

Ван Хуейхуей та група дослідників побудували систему оцінювання сталого розвитку територій за допомогою «соціально-економічної-інституційної-екологічної-інженерії» для розроблення прогнозних карт динамічної еволюції територіальних громад у районі Великої затоки провінції Гуандун-Гонконг-Макао [7].

**Мета статті** – формування сукупності даних, пов'язаних із принципами формування інформаційних пакетів «Програмного комплексу моделювання міста як динамічної системи».

**Методи дослідження.** Розвиваючи ідеї Форрестера, автори цього дослідження розробили концепцію «Програмного комплексу моделювання та аналізу міста як динамічної системи» (Комплекс, Програмний комплекс). Програмний комплекс орієнтований на моніторинг та прогнозування сталого функціонування міських систем у динаміці їх змін, відповідно до рекомендацій групи стандартів, розроблених технічним комітетом ISO ISO/TC 268 «Sustainable cities and communities» (Сталі міста та спільноти).

Відповідно до вимог ISO 29148 [8] складено специфікацію, згідно з якою вказано такі характеристики «Програмного комплексу моделювання міста як динамічної системи»:

Мета програмного комплексу – інформаційна підтримка процесів прийняття стратегічних рішень для оптимізації принципів функціонування міста.

До завдань комплексу входить: моніторинг та прогнозування функціонування міста як динамічної системи, визначення показників стабільності, кризових та передкатастрофних станів міста як системи, виявлення прихованих зв'язків між міськими

підсистемами, ідентифікація агентів змін, прогнозування результатів прийняття стратегічних рішень, прогнозування витрат ресурсів на реалізацію стратегічних рішень, ідентифікація «Вузлів проблем» (авторська концепція графоаналітичного методу адаптації до сприйняття результатів аналізу великих обсягів даних про місто), складання та корекція групових когнітивних карт уявлень про місто як систему та принципи його функціонування.

*Загальний опис програмного комплексу.*

Програмний комплекс складається з двох взаємопов'язаних, але незалежних модулів. Перший модуль: «Когнітивно-дослідницька матриця виявлення та аналізу проблем міста як динамічної системи», сутністю та завданнями якого є формування та корекція когнітивних карт уявлень про принципи функціонування міста та його підсистем, формування вербальних та статистичних інформаційних пакетів, встановлення параметричних зв'язків між цими пакетами, формування вимог до підбору фахівців із необхідними та достатніми компетенціями для проведення тематичних досліджень проблем міста та його підсистем.

Другий модуль – «Інформаційно-накопичувальна модель», характером завдань якого є інтерактивне моделювання процесів функціонування міської системи та моделювання реакцій цієї системи на зовнішні та внутрішні зміни, ідентифікація агентів змін, прогнозування ресурсних витрат, необхідних для позитивних змін у принципах функціонування міста, виявлення прихованих системних зв'язків між елементами та процесами функціонування міста, автоматизований відбір інформаційних блоків відповідно до заданих параметрів пошуку на основі контент-аналізу інформаційного масиву BIG DATA програмного комплексу.

*Бачення продукту.* Розроблений продукт є інструментом інформаційної підтримки процесів переходу українських міст до принципів сталого, екологічно позитивного функціонування. Стратегічна мета програмного комплексу – оптимізація

принципів функціонування міста, а також зниження ризиків критичних помилок під час проектування позитивних змін у процесі функціонування міста.

*Функціонал продукту.* Програмний комплекс являє собою програму для управління великими обсягами даних (BIG DATA). Комплекс моделює позитивну та негативну динаміку переходу міста, його підсистем та окремих елементів зі стану стійкості до кризи та можливого передкатастрофного стану.

Унікальність продукту полягає у спробі об'єднати в інформаційних пакетах вербальні та статистичні дані, що описують принципи функціонування міста та його підсистем. Інформаційні пакети формуються в результаті роботи з «Матрицею когнітивних досліджень» програмного комплексу. Під вербальними даними розуміється текстовий опис елементів і подій функціонування міста. Ця функція закладена у структурі шаблону когнітивно-дослідницької матриці.

Функціонал, закладений в програмний комплекс, дає можливість управляти даними на принципово іншому рівні, формувати

інформаційні пакети й інтерпретувати події, формалізовані програмою. Наприклад, програмний комплекс включає в себе підпрограму для контент-аналізу тексту. Такий підхід дає можливість автоматично виробляти тематичну добірку інформаційних пакетів. Інформаційні блоки, сформовані на основі обраних пакетів, дозволяють аналізувати окремі сегменти міської системи та створювати прогностичні карти їх функціонування, не відриваючись від загальної моделі.

Класи та характеристики користувачів: органи місцевого самоврядування, урбаністи всіх галузей спеціалізації, архітектори, урбаністи.

*Інтерфейси користувача.* Розроблено інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Принципи організації робочого простору програми засновані на масштабованому виведенні графоаналітичних даних. Розроблена система іконок дозволяє значно прискорити управління даними, що відображаються. Масштабованість моделі відбувається в двох напрямках: з точки зору географічних даних і з точки зору динамічних процесів.

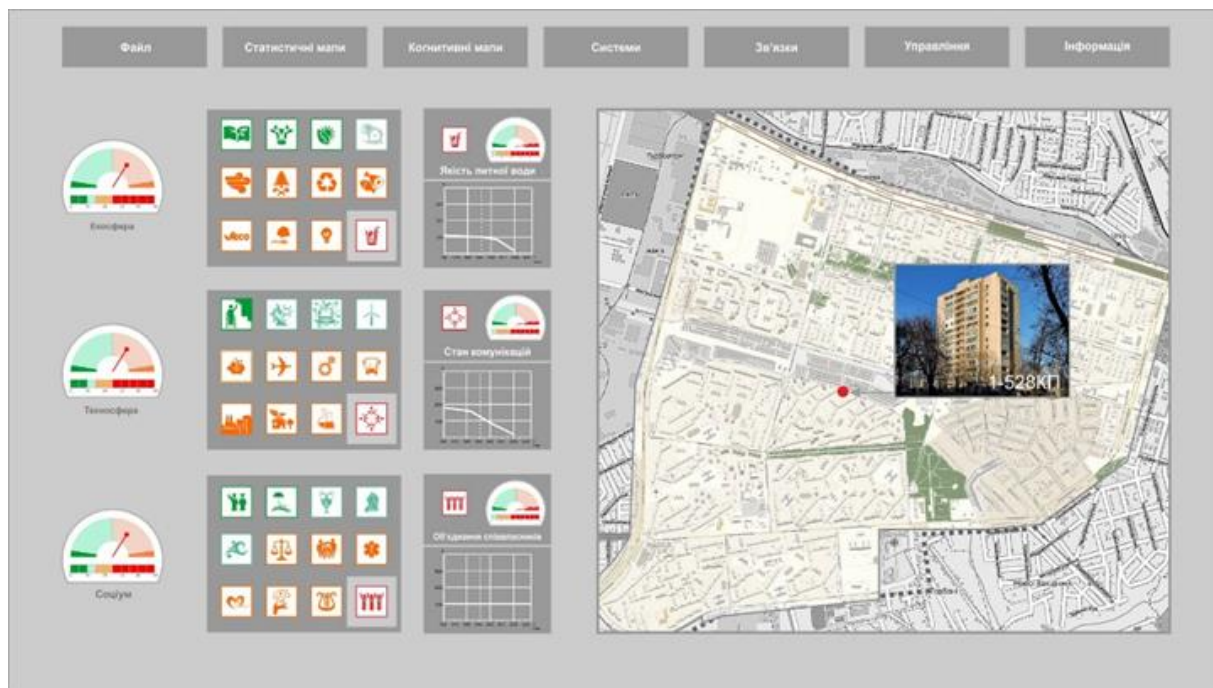


Рис. 1. Інтерфейс Програмного комплексу моделювання міста як динамічної системи

Кожен описаний процес функціонування міської системи забезпечений автоматично згенерованим «Маркером подій». Маркер складається з двох частин: перша частина – спостереження за процесом у поточний момент у градаціях від стагнації до передкатастрофного стану, друга частина – прогноз функціонування події в тих же градаціях від поточного моменту до горизонту прогнозу (50 років). Опис концепції комплексу опубліковано в докторській дисертації доктора архітектури С. М. Данилова «Методологічні основи моделювання міста як динамічної системи»

[9]. Інтерфейс програмного продукту показано на рисунку 1.

**Результати досліджень.** Дослідження присвячене уточненню комплексу даних, пов'язаних із принципами формування інформаційних пакетів «Програмного комплексу моделювання міста як динамічної системи» [10], що належать до його другого функціонального модуля – «Імітаційна інформаційно-накопичувальна модель міста як динамічної системи». Робоча назва інформаційних пакетів другого модуля: «Динамічний BIM-пакет» (рис. 2).

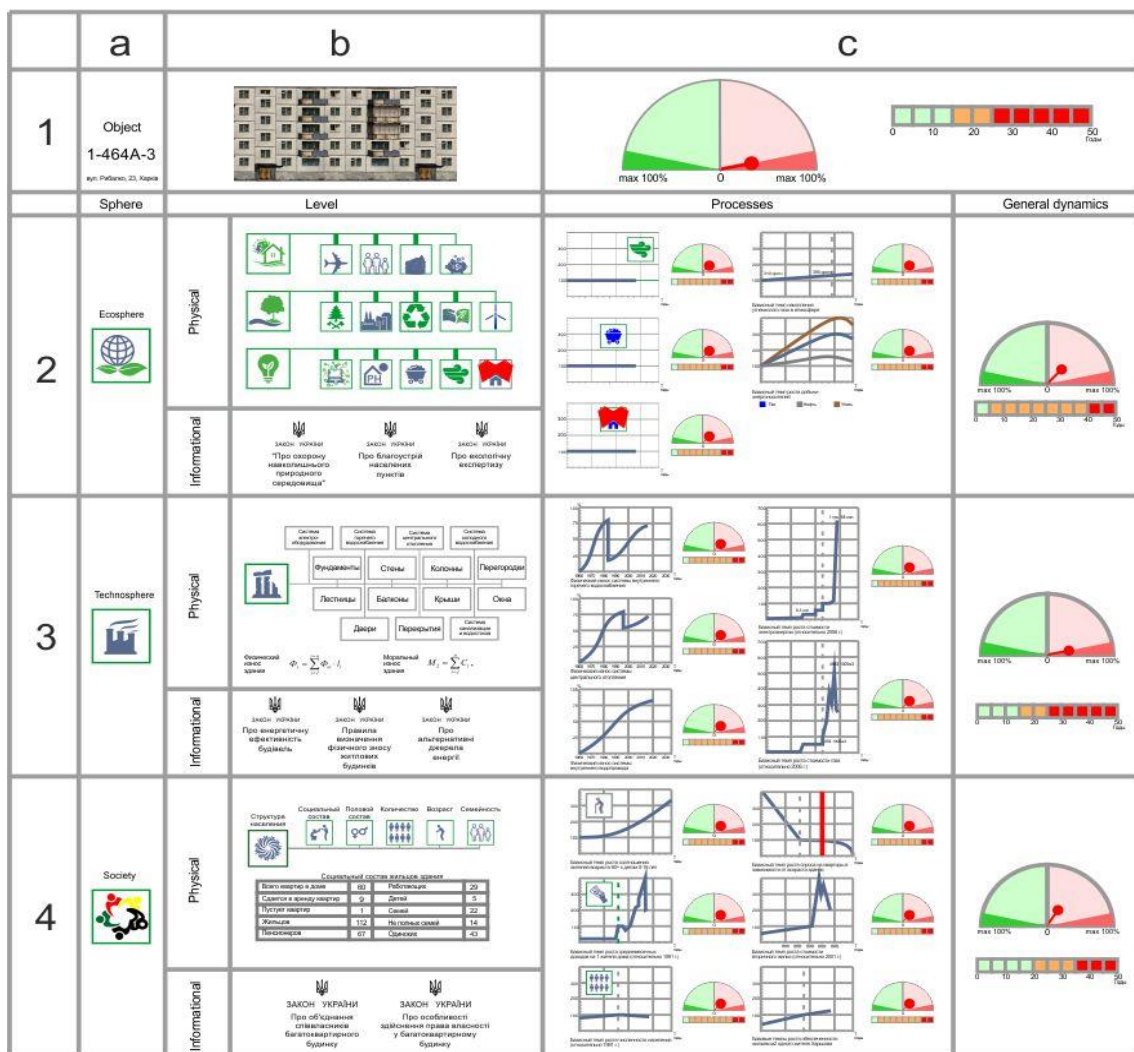


Рис. 2. Графоаналітична модель структури «Динамічного BIM-пакета»

**Динамічний BIM-пакет.** Цей термін обрано з таких причин:

– архітектурно-урбаністичний підхід. Унікальність розробленого методу полягає у спробі координувати динамічні процеси, що

відбуваються в місті, через його архітектурну складову. В ході нашої роботи ми вивчали різні програмні підходи до динамічного моделювання міст, серед яких найбільш поширені соціальні, транспортні,



економічні та енергетичні моделі. Всі вони є спеціалізованими інструментами для оптимізації міст, але не можуть бути використані архітекторами в процесах адаптації архітектури до сучасних викликів. Використання типологічного спектра архітектурних споруд як середовища, в якому відбуваються майже всі процеси функціонування міста, дає можливість розробити власний архітектурно-урбаністичний інструментарій аналізу проблем міста як динамічної системи;

- кластеризація інформації за типологічними ознаками. У цьому випадку ми маємо унікальну можливість розглядати кожен архітектурний об'єкт як прототип цифрового двійника, який існує в часі та просторі. Кожен цифровий двійник розглядається як сукупність соціальних, екологічних та штучних артефактів зі своєю динамікою функціонування;

- розгляд динаміки функціонування міста, або його фрагмента як суми динаміки функціонування «Динамічних BIM-пакетів». У перспективі розвитку «Програмного комплексу» ті аспекти функціонування міста, які виходять далеко за межі його архітектурної складової, будуть сформовані в першому модулі програми – «Матриця когнітивних досліджень для виявлення та аналізу проблем міста як динамічної системи» [11]. До таких аспектів можна віднести явища, які практично не пов'язані географічно, такі як: фінансові потоки, забруднення повітря, зміна імперативів населення, динаміка попиту на продукти харчування та багато інших.

Для пояснення такого підходу до формування «Динамічного BIM-пакета» можна навести абстрактний приклад типової будівлі. Як уже говорилося вище, кожен архітектурний об'єкт розглядається як сукупність соціальних, екологічних і рукотворних артефактів. Опис техногенної складової будівлі включає в себе життєві цикли таких елементів, як: фундамент, огорожувальні конструкції, перекриття, покрівля, вікна і двері, інженерні мережі, оздоблення, сходи і ліфти, меблі та обладнання тощо. Відповідно до наших

уявлень, техногенна частина пакета повинна включати в себе інформацію, що статистично описує будівлю – класичний BIM-пакет і інформацію, що описує динаміку життєвого циклу кожного з перерахованих елементів – з виробництва перед утилізацією (включаючи цикли ремонту), пов'язані з пакетом BIM.

Інформаційний блок «Динамічного BIM-пакета», що належить до його екологічної частини, включає в себе такі елементи і описи динаміки їх функціонування: енергоефективність, водозбереження, благоустрій території, поводження з відходами, якість внутрішнього середовища і деякі інші параметри.

На соціальному рівні описуються: морфологічний склад населення, динаміка доходів кожного з домогосподарств, освіта, охорона здоров'я, зайнятість тощо.

Зміст «Динамічного BIM-пакета» виглядає як шаблон таблиці, сформований на основі методів морфологічного аналізу [12]. Методи Morphological box (морфологічних ящиків) [13] дозволяють сформувати ієрархічну структуру шаблону таблиці. Методи табличної параметризації дозволяють зв'язати весь набір даних і відтворити загальну картину динаміки функціонування описуваного об'єкта.

Один із найважливіших факторів, що впливають на формування програмного комплексу – це нагальна потреба в розробленні інструментарію аналізу перспектив модернізації міських кварталів/районів, забудованих застарілим житлом. За деякими даними, не менше двох третин існуючого житла не відповідають сучасним стандартам споживання ресурсів [14].

У процесі перевірки працездатності деяких модулів програмного комплексу, що розробляється, ми провели експеримент, пов'язаний з моделюванням проблем житлового масиву «Нові будинки» м. Харкова, забудованого переважно з 1958 по 1980 рік [15]. Висновки, зроблені в ході експерименту, вказували на необхідність урахування в динамічній моделі різкого відставання в енергоефективності

проаналізованих будівель, що стало наслідком прийняття нових законів (наприклад, вимог Закону України 2118-VIII «Про енергетичну ефективність майбутнього»).

Розглядаючи перспективи впровадження передового німецького досвіду модернізації застарілого житла, ми спиралися на модель, яка стала майже стандартною: домовласники наймають управителя, управитель наймає архітектора, складається план модернізації, який затверджується власниками, а потім під наглядом управителя та архітектури наймаються підрядники для виконання запланованого комплексу робіт [16]. Перспективи реалізації такої простої та логічної моделі в Харкові викликали низку запитань до авторів цього дослідження.

Основне занепокоєння викликали соціально-економічні показники аналізованих об'єктів. Низька соціалізація населення, низький рівень доходів, недостатньо розвинена законодавча база, незадовільний розвиток організацій домовласників, практично повна відсутність підготовлених управлінців сформуливали дуже тривожну прогностичну карту можливого розвитку проблеми модернізації.

Детальніше з виявленими проблемами та перебігом експерименту можна ознайомитись у дисертаційному дослідженні доктора архітектури С. М. Данилова «Методологічні основи моделювання міста як динамічної системи» [9].

Виходячи з вищевказаних аспектів формування «Динамічного ВІМ-пакета», ми вирішили, що необхідно адаптувати його структуру до можливості формування покрокових стратегій реалізації масштабних заходів. Основною гіпотезою дослідження стала ідея про те, що практично кожен процес функціонування або елемент будівлі так чи інакше належить до певного виду ресурсів. Умовно ми поділили такі ресурси на три категорії: техногенні, природні та соціальні. Такий підхід забезпечив дуже цікаву точку аналізу проблеми позитивних трансформацій як окремих елементів, так і міста в цілому.

Розглядаючи будь-яку трансформацію об'єкта/району/міста як рух ресурсів, ми почали розробляти принципи прив'язки динаміки функціонування елементів аналізованих об'єктів до виду ресурсів через їх матеріальну складову. Важливим моментом у цьому напрямі досліджень стала розробка «Коефіцієнт значущості подій» як модуля, здатного відображати відносну вагу або важливість певних ознак чи подій для прогнозування результатів функціонування динамічної моделі об'єкта/району/міста.

Коефіцієнт дозволив структурувати всі елементи об'єкта за їх значимістю і, побічно, вказує на питому вагу ресурсу, до якого належить описуваний елемент. Спроба змодельовати роботу «Динамічного ВІМ-пакета» на основі такого підходу показала можливість дуже помітних математичних помилок. З іншого боку, з точки зору планування, динамічна модель міста набула здатності показувати прогностичну карту ефективності використання ресурсів і їх пропорційного співвідношення в певних межах.

## Висновки

Описаний підхід ще перебуває на стадії логічного уточнення, але здається дуже перспективним. У результаті впровадження нових функцій в «Імітаційну інформаційно-накопичувальну модель міста» програмний комплекс набув нових можливостей для вирішення наступних питань:

1. Запропонований модельний комплекс – це інструмент, здатний відстежувати та керувати складними інформаційними потоками, що описують функціонування елементів та підсистем міста, проводити їх аналіз та об'єднувати дані за заздалегідь заданими параметрами. Завдяки зворотному зв'язку, закладеному у принципи функціонування інформаційно-накопичувальної моделі, цей інструмент стає засобом прогностики життєдіяльності міста.

Комплекс дозволяє відслідковувати найбільш значущі динамічні процеси, що відбуваються в місті; виявити ієрархічну систему цих процесів, оцінивши силу їх впливу на місто; виявити елементи і



фрагменти системи, функціонування яких втратило стабільність і потребує оперативної корекції. Уникнути та спрогнозувати низку системних помилок, які можуть критично вплинути на ситуацію в місті.

2. Визначення «меж зростання» міської системи та окремих її елементів. Під цим терміном мається на увазі аналіз обмежень у розвитку системи, що накладаються, наприклад, можливостями біосфери, наявністю ресурсів, розвитком інноваційних технологій, соціальними змінами і низкою інших факторів. Поняття «межа зростання» безпосередньо пов'язане з прогнозом розвитку системи. Вона визначає межі, за які вона не в змозі вийти [17].

У дослідженні цей фактор стає одним із ключових і безпосередньо пов'язаний з ідентифікацією індикаторів стійкості, криз та катастроф у процесі функціонування міста як динамічної системи. Стосовно до міської системи це виявлення нових вимог і обмежень у межах, в яких вона повинна розвиватися. Також одним із важливих моментів дослідження стало виявлення потенційної можливості розрахунку «Коефіцієнта екологічного сліду архітектури».

Наразі ми розробляємо принципи формування такого коефіцієнта на основі роботи «Динамічних ВІМ-пакетів». В основу розробленого методу покладено створення підходів, що дозволяють автоматизовано розрахувати «екологічний слід архітектурного об'єкта» як суму екологічних слідів його елементів. Ми бачимо кілька перспективних результатів такого розвитку, серед них: застосування результатів дослідження у формуванні методів оцінювання екологічності будівель, визначення оптимальної швидкості та прискорення трансформацій архітектурної складової міста, можливість більш чіткого визначення «меж зростання» міста.

3. Визначення «меж потреб» міської системи та окремих її елементів. Під цим терміном мається на увазі визначення мінімального набору екологічних, техногенних і людських ресурсів,

необхідних для успішного функціонування міста як системи. Потреби формують відносини міста з навколишнім середовищем. Наявність дефіцитів, наприклад, дефіциту ресурсів, визначає характер криз, які переживає архітектура міст. Стабільність забезпечує його стійкість.

4. Визначення показників стабільності, криз та можливих катастроф у процесі функціонування міста як системи. Індикатори – це групи агентів, які тісно взаємопов'язані процесами спільної життєдіяльності і мають великий вплив на поведінку міської системи в цілому.

Програмний комплекс дає можливість в автоматичному режимі ідентифікувати та формувати групи показників, за допомогою яких можна судити про стан тих чи інших аспектів функціонування та розвитку міста: екологічних, соціальних, економічних тощо.

Показники сталості – це групи показників ступеня інерційності міської системи. Вони дозволяють зберегти важливі характеристики функціонування міста в умовах змін зовнішніх і внутрішніх факторів його життєдіяльності. Стійка система – це система, яка перебуває в стані динамічної рівноваги. Це відбувається, коли всі вузли системи перебувають у робочому стані одночасно, а вхідний і вихідний потоки відповідають один одному.

Основною проблемою для успішної побудови динамічної моделі, в якій конкретне місто може перебувати як у стані сталого розвитку, так і в стані деградації, стало завдання адекватного визначення сутності системотвірних груп елементів системи, найважливіших характеристик і параметрів їх динаміки, а також встановлення зв'язків між ними, що впливають на динаміку процесу розвитку міста.

Кризові індикатори – це групи показників, які демонструють ступінь динамічних коливань систем міста, що становлять загрозу його стабільному стану.

Індикатори стихійних лих – групи показників, які демонструють, що динамічні коливання міських систем перевищують межі безпечних значень.

5. Ідентифікація «агентів змін» – наявність елементів або груп елементів, зміна параметрів життєдіяльності яких зумовлює перетворення міської системи або зміни її окремих підсистем.

Дослідження виявило два типи агентів змін:

Явні елементи або групи елементів, значення яких очевидне і визначається простою логічною послідовністю. Це можуть бути різні інфраструктурні об'єкти, заходи (наприклад, термомодернізація міських будівель) тощо.

Приховані – найбільш важливі для дослідження, оскільки, маючи високий потенційний вплив на систему, причинно-наслідкові зв'язки цих впливів можуть бути виявлені лише за допомогою глибоких міждисциплінарних досліджень. Прикладом

може служити доля житлового району Прюїтт-Ігоу, США, який був зруйнований в результаті прийняття закону про сегрегацію. Наразі розробляються механізми виявлення прихованих агентів змін.

6. Розроблення стратегії коригування міської системи на основі цих «агентів змін». Завдання, які вирішує модельний комплекс, полягають не тільки у виявленні прихованих агентів змін, а й у прогнозуванні реакції міської системи на зміну параметрів життєдіяльності її архітектурних об'єктів. Властивості комплексу імітувати реакції міської системи на зміни в поведінці її елементів дозволяють формувати стратегії оптимізації архітектурного середовища міста за допомогою його мінімальних коригувань.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Jay W. Forrester. *Urban Dynamics*. M. I. T. Press, Cambridge, Mass., 1969. 290 p.
2. Batty M. Modelling Cities as Dynamic Systems. *Nature*. 1971. Vol. 231. Pp. 425–428. URL: <https://doi.org/10.1038/231425a0>.
3. Simão A. S. Nunes, Fernando A. F. Ferreira, Kannan Govindan, Leandro F. Pereira. “Cities go smart!”: a system dynamics-based approach to smart city conceptualization. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 313. 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127683>.
4. Li J., Ding J. Analysis of Spatiotemporal Changes, Influencing Factors, and Coupling Coordination Degree of Urban Human Settlements Efficiency : a Case Study of Megacities and Supercities in China. *Journal of Urban Planning and Development*. 2024. Vol. 150 (1). Art. no. 05023044. DOI: 10.1061/JUPDDM.UPENG-4617.
5. Datola Giulia & Bottero Marta & Angelis Elena. How Urban Resilience Can Change Cities : a System Dynamics Model Approach. 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-24305-0\_9.
6. Roger White, Guy Engelen, Inge Uljee. Modeling Cities and Regions as Complex Systems : From Theory to Planning Applications. The MIT Press. DOI: <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262029568.001.0001>.
7. Wang H., Xue H., He W., Han Q., Xu T., Gao X., Liu S., Jiang R., Huang M. Spatial-temporal evolution mechanism and dynamic simulation of the urban resilience system of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area in China. *Environmental Impact Assessment Review*. 2023. Vol. 104. Art. no. 107333. DOI: 10.1016/j.eiar.2023.107333.
8. ISO/IEC/IEEE 29148:2018. Systems and software engineering. Life cycle processes. URL: <https://www.iso.org/standard/72089.html>.
9. Данилов С. М. Методологічні основи моделювання міста як динамічної системи : дис. ... д-ра архітектури : 18.00.01. Харків, 2019. URL: [https://kstuca.kharkov.ua/wp-content/uploads/2019/ndial/nauka/208-specializovana-vchena-rada-d-6405602/danilov\\_diser.pdf](https://kstuca.kharkov.ua/wp-content/uploads/2019/ndial/nauka/208-specializovana-vchena-rada-d-6405602/danilov_diser.pdf) (дата звернення : 06.11.2021).
10. Danylov S. Information model of city analysis as a complex dynamic system. *SPACE & FORM* No. 33/2018. DOI: 10.21005/pif.33\_2018. Vol. B-02. 2018. Pp. 95–106. e-ISSN 2391-7725 | ISSN 1895-3247. URL: <http://www.pif.zut.edu.pl/pif-33-2018>.
11. Фоменко О. О., Данилов С. М. Когнітивно-дослідницька матриця виявлення та аналізу проблем міста. *Науковий вісник будівництва*. 2018. Т. 93, № 3. С. 89–97. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb\\_2018\\_93\\_3\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2018_93_3_14).
12. Álvarez, Asunción & Ritchey, Tom. Applications of General Morphological Analysis : From Engineering Design to Policy Analysis. *Acta Morphologica Generalis*. Vol. 4. 2015.
13. Zwicky F. *Discovery, Invention, Research – Through the Morphological Approach*. Toronto : The Macmillan Company, 1969.
14. Amirbekova A., Abdykarimova S., Oliynyk O. Renovation of Residential Buildings of the First Mass Series from A Sustainable Development Point of View. *Civil Engineering and Architecture*. 2023. Vol. 11 (4). Pp. 1814–1823. DOI: 10.13189/cea.2023.110412.

15. Fomenko O., Danylov S. Izbash M., Izbash A. Innovative programming product for work architect-urbanist with Big Data of city. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1203. DOI 10.1088/1757-899X/1203/2/022021.
16. Kompendium “Energetische Sanierung”. Praxisnahes Fachwissen für Immobilienverwalter. Dachverband Deutscher Immobilienverwalter e.v. URL: [https://vdiv-bw.de/fileadmin/user\\_upload/Downloadbereich/Brosch%c3%bcren/DDIV-Kompendium\\_Energetische-Sanierung\\_2-Auflage-2014.pdf](https://vdiv-bw.de/fileadmin/user_upload/Downloadbereich/Brosch%c3%bcren/DDIV-Kompendium_Energetische-Sanierung_2-Auflage-2014.pdf).
17. Медоуз Д. и др. Пределы роста. Пер. с англ.; предисл. Г. А. Ягодина. 1991. 208 с.

## REFERENCES

1. Jay W. Forrester. *Urban Dynamics*. M. I. T. Press, Cambridge, Mass., 1969, 290 p.
2. Batty M. Modelling Cities as Dynamic Systems. *Nature*. Vol. 231, pp. 425–428, 1971. URL: <https://doi.org/10.1038/231425a0>.
3. Simão A.S. Nunes, Fernando A.F. Ferreira, Kannan Govindan and Leandro F. Pereira. “Cities go smart!”: a system dynamics-based approach to smart city conceptualization. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 313, 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127683>.
4. Li J. and Ding J. Analysis of Spatiotemporal Changes, Influencing Factors, and Coupling Coordination Degree of Urban Human Settlements Efficiency : a Case Study of Megacities and Supercities in China. *Journal of Urban Planning and Development*. 2024, vol. 150 (1), art. no. 05023044. DOI: 10.1061/JUPDDM.UPENG-4617.
5. Datola Giulia, Bottero Marta and Angelis Elena. How Urban Resilience Can Change Cities : a System Dynamics Model Approach. 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-24305-0\_9.
6. Roger White, Guy Engelen, Inge Uljee. *Modelling Cities and Regions as Complex Systems : from Theory to Planning Applications*. The MIT Press. DOI: <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262029568.001.0001>.
7. Wang H., Xue H., He W., Han Q., Xu T., Gao X., Liu S., Jiang R. and Huang M. Spatial-temporal evolution mechanism and dynamic simulation of the urban resilience system of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area in China. *Environmental Impact Assessment Review*. 2023, vol. 104, art. no. 107333. DOI: 10.1016/j.eiar.2023.107333.
8. ISO/IEC/IEEE 29148:2018. *Systems and software engineering. Life Cycle Processes*. URL: <https://www.iso.org/standard/72089.html>.
9. Danylov S.M. *Metodolohichni osnovy modelyuvannya mista yak dynamichnoyi systemy: dys. ... d-ra arkhitektury: 18.00.01* [Methodological foundations of modeling the city as a dynamic system: dissertation. ... Doctor of Architecture: 18.00.01]. Kharkiv, 2019. URL: [https://kstuca.kharkov.ua/wp-content/uploads/2019/ndial/nauka/208-specializovana-vchena-rada-d-6405602/danilov\\_diser.pdf](https://kstuca.kharkov.ua/wp-content/uploads/2019/ndial/nauka/208-specializovana-vchena-rada-d-6405602/danilov_diser.pdf) (date of application: 06.11.2021). (in Ukrainian).
10. Danylov S. Information model of city analysis as a complex dynamic system. *SPACE & FORM* no. 33/2018. DOI: 10.21005/pif. 33\_2018. 2018, vol. B-02, pp. 95–106. e-ISSN 2391-7725 | ISSN 1895-3247. URL: <http://www.pif.zut.edu.pl/pif-33-2018>.
11. Fomenko O.O. and Danylov S.M. *Kohnityvno-doslidnyts'ka matrytsya vvyavlennya ta analizu problem mista* [Cognitive-research matrix of identification and analysis of city problems]. *Naukovyy visnyk budivnytstva* [Scientific Bulletin of Civil Engineering]. 2018, vol. 93, no. 3, pp. 89–97. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb\\_2018\\_93\\_3\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2018_93_3_14). (in Ukrainian).
12. Álvarez Asunción and Ritchey Tom. *Applications of General Morphological Analysis : from Engineering Design to Policy Analysis*. *Acta Morphologica Generalis*. 2015, vol. 4.
13. Zwicky F. *Discovery, Invention, Research – through the Morphological Approach*, Toronto : The Macmillan Company, 1969.
14. Amirbekova A., Abydkarimova S. and Oliynyk O. Renovation of Residential Buildings of the First Mass Series from A Sustainable Development Point of View. *Civil Engineering and Architecture*. 2023, vol. 11 (4), pp. 1814–1823. DOI: 10.13189/cea.2023.110412.
15. Fomenko O., Danylov S. Izbash M. and Izbash A. Innovative programming product for work architect-urbanist with Big Data of city. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021, vol. 1203. DOI 10.1088/1757-899X/1203/2/022021.
16. Kompendium “Energetische Sanierung”. Praxisnahes Fachwissen für Immobilienverwalter. Dachverband Deutscher Immobilienverwalter e.v. URL: [https://vdiv-bw.de/fileadmin/user\\_upload/Downloadbereich/Brosch%c3%bcren/DDIV-Kompendium\\_Energetische-Sanierung\\_2-Auflage-2014.pdf](https://vdiv-bw.de/fileadmin/user_upload/Downloadbereich/Brosch%c3%bcren/DDIV-Kompendium_Energetische-Sanierung_2-Auflage-2014.pdf).
17. Medouz D. and oth. *Predely rosta* [Limits to growth]. Transl. from Engl. and preface by H.A. Yahodyn. 1991, 208 p. (in Russian).

Надійшла до редакції: 15.11.2023.