

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

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ РІВНІВ ДЕТАЛІЗАЦІЇ ПРОСТОРОВИХ ОБ'ЄКТІВ У СКЛАДІ ТРИВИМІРНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ МІСЬКОЇ ТЕРИТОРІЇ

У статті запропоновано метод визначення рівнів деталізації для просторових об'єктів, що входить до складу тривимірної інформаційної моделі міської території з метою зменшення обчислювального навантаження в операціях, пов'язаних з візуалізацією. Метод адаптує концепцію різнорівневої деталізації до списку просторових об'єктів міської території, де для кожного з них обираються діапазони рівнів деталізації, виходячи з потреб різних суб'єктів управління при прийнятті рішень у аварійних ситуаціях. Лл.: 4. Бібліогр.: 14 назв.

Ключові слова: інформаційна модель міської території; моделювання просторових об'єктів; рівні деталізації; LOD; CityGML.

Аналіз та постановка проблеми. Поняття тривимірної (3D) моделі міської території вперше визначено у роботі [1] наукового колективу авторів А. Stadler та Т.М. Kolbe у 2009 р. як цифрові уявлення поверхні Землі та пов'язані з ними об'єкти, що належать міським районам. У той самий час даний термін не обмежується лише містом, це поняття ширше, воно включає населені пункти і райони локальної забудови, наприклад, промислові споруди та підприємства, що знаходяться за межами населених пунктів, але своєю діяльністю впливають на нього. Крім того, під тривимірною моделлю міської території часто розуміють тривимірні моделі, що базуються на просторових даних, в яких всі розміри визначені в тривимірному просторі [2]. Фото реалістична тривимірна візуалізація міської території вимагає великих зусиль зі збирання вихідної інформації, геометричного та радіометричного моделювання окремих об'єктів та підсумкової моделі та залежить від повноти та точності даних, що представляють територію [3].

В системах обробки просторової інформації з урахуванням технологій тривимірного геоінформаційного моделювання існує повна інтеграція просторових елементів з допомогою імпорту на тривимірну поверхню (рельєф) 3D об'єктів. В таких системах основу тривимірної моделі міської території складають цифрові моделі рельєфу (ЦМР) та тривимірні об'єкти, при цьому 3D сцена може підтримувати різні набори просторових даних, які можуть прив'язуватися до сцени 2-, 2.5- та 3-мірним чином [4].

Сучасні технології тривимірного моделювання просторових об'єктів (3D ГІС) дозволяють створювати в середовищі тривимірної місцевості об'єкти будь-якої складності: архітектурні та дорожні споруди, рослинність, наземний та повітряний транспорт тощо. Будь-який об'єкт у 3D ГІС має географічні координати і може бути прив'язаний до бази атрибутів. Топологічна складність тривимірної моделі, що характеризує просторову взаємодію об'єктів, обумовлена зв'язками всередині одного об'єкта та між ними [5].

Важливою концепцією моделювання тривимірних міських територій є концепція рівня деталізації, яка визначає ступінь абстракції об'єктів реального світу і використовується для визначення оптимальної кількості деталей об'єктів відповідно до потреб користувача. Мова CityGML призначена для тривимірного моделювання міст і передбачає такі рівні деталізації міських об'єктів (рис. 1) [6]:

1. *LOD0* є 2.5D цифровою моделлю місцевості (DTM), моделі *LOD0* не містять об'єм, не є тривимірними об'єктами і використовується для вирішення регіональних і ландшафтних задач.

2. *LOD1* є моделлю, яка включає споруди у вигляді об'ємних об'єктів з плоским дахом. Цей рівень використовується для моделювання територій під забудову та міста в цілому.

3. *LOD2* містить диференційовані конструкції даху та тематично диференційовані граничні поверхні. *LOD2* найбільше підходить для моделювання міських районів.

4. *LOD3* позначає архітектурні моделі з конструкціями дахів та зовнішніх стін, включаючи двері та вікна. Здебільшого використовується для орієнтирів місцевості.

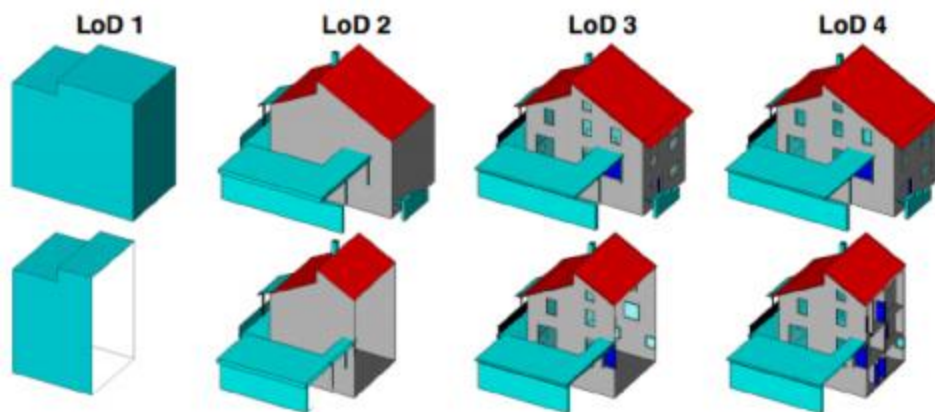


Рис. 1. Адаптована концепція рівня деталізації міських об'єктів [6]

5. *LOD4* доповнює модель *LOD3*, додаючи внутрішні конструкції до будівель. Наприклад, будівлі в *LOD4* включають відображення внутрішніх стін і перегородок з дверними прорізами в них, сходи і міжповерхові перекриття, а також меблі та обладнання.

Відповідно до проведеного аналізу в наукових працях [7 – 13] методів обробки просторової інформації у тривимірному вигляді, можна зробити такі висновки про вибір методу моделювання території міського об'єкта:

1. Метод тривимірного моделювання має бути ефективним та економічно вигідним, витрати на розробку тривимірної моделі мають відповідати її якості.

2. Тривимірна модель для підтримки прийняття рішень в аварійних ситуаціях (АС) на міських об'єктах повинна мати високу точність, геометричну детальність і зберігати інформацію про всі просторові об'єкти міської території, включаючи підземні та наземні комунікації, внутрішні планування будівель та споруд.

3. Тривимірна модель має бути динамічною і допускати внесення змін про просторові об'єкти, які розташовані на території, без додаткових витрат на отримання даних, але при цьому здійснювати доступний механізм оновлення існуючих даних, що отримуються при моніторингу технічного стану об'єкта.

4. Тривимірна модель має забезпечити можливість поетапного нарощування функціоналу у галузі моделювання АС.

Наявне програмне забезпечення, що реалізує підходи до тривимірного моделювання міської забудови, не вирішує в повній мірі всіх проблем пов'язаних із розробкою трьохвимірних моделей міських об'єктів для вирішення завдань ліквідації АС, оскільки для побудови тривимірних моделей міських об'єктів, що мають складну структуру, представлену у вигляді комплексу будівель та споруд і розгалуженої мережі інженерних комунікацій, необхідно забезпечити різномірневу деталізацію перерахованих об'єктів у взаємозв'язку з завданнями, що вирішуються. Крім того, для досягнення прийняттого рівня функціональності тривимірних моделей необхідно забезпечити обробку інформації про міські об'єкти, представлену з різних джерел (векторних картах, растрових технологічних схемах, текстових документах та інше), для інтерпретації, якою необхідно провести операції аналізу, зіставлення та узагальнення.

Таким чином, у зв'язку із зазначеними аспектами необхідно розробити метод визначення складу та структури тривимірних моделей міської території у взаємозв'язку з різномірневою деталізацією просторових об'єктів, який дозволить побудувати складну тривимірну модель із застосуванням комплексу програмних продуктів.

Мета статті – розробка методу визначення рівнів деталізації для просторових об'єктів, що входить до складу тривимірної інформаційної моделі міської території з метою зменшення обчислювального навантаження в операціях, пов'язаних з візуалізацією для підтримки прийняття рішень щодо ліквідації аварійних ситуацій.

Розробка методу визначення рівнів деталізації просторових об'єктів. Аналіз об'єктів, розташованих на міських територіях, показав, що крім будівельних споруд важливе значення для підтримки прийняття рішень щодо ліквідації аварійних ситуацій мають інженерні комунікації та спеціальне обладнання для їх обслуговування (рис. 2). Пропонується удосконалити метод визначення складу та структури інформаційної моделей міської території, запропонований у роботі [5] для промислових об'єктів, за рахунок застосування адаптивної концепції різномірної деталізації для міських об'єктів. Спираючись на власні результати досліджень у роботах [13, 14], доцільно виділити такі рівні деталізації:

1 рівень ($LoDE1$). Відображення будівель та споруд у вигляді полігональних об'єктів, у тривимірному вигляді, що відповідає загальноприйнятому стандарту деталізації $LoD1$ шляхом витягування їх у просторі по висоті, а також доріг та огорож території, розташованих відносно поверхні рельєфу.

2 рівень ($LoDE2$). До тривимірної моделі міського об'єкта рівня $LoDE1$ додається відображення будівель та споруди з різними конструкціями (вікна, двері та інше) (відповідає загальноприйнятому стандарту деталізації $LoD3$), що надають більш реалістичний вигляд моделі міського об'єкта і використовуються для орієнтації на місцевості.

3 рівень ($LoDE3$). До тривимірної моделі міського об'єкта рівня $LoDE2$ додаються інженерні комунікації, трубопроводи та обладнання.

4 рівень ($LoDE4$). На цьому рівні відображаються всі об'єкти рівня $LoDE3$, а також до будівель і споруд додаються детальні внутрішні планування (відповідає загальноприйнятому стандарту деталізації $LoDE4$).

Для моделювання прилеглої території достатньо мати інформацію про місце розташування та висоту будівель. Для таких просторових об'єктів достатнім є рівень деталізації $LoDE1$. Для об'єктів, що не мають внутрішнього планування (склади, ангари та інше), але які необхідні для орієнтації на місцевості та надання моделі реалістичного вигляду, може бути застосований рівень деталізації $LoDE2$. Для лінійних об'єктів із спеціальним обладнанням – $LoDE3$, а для відображення тривимірних моделей із внутрішніми плануванням будівель необхідно використовувати рівень деталізації $LoDE4$.

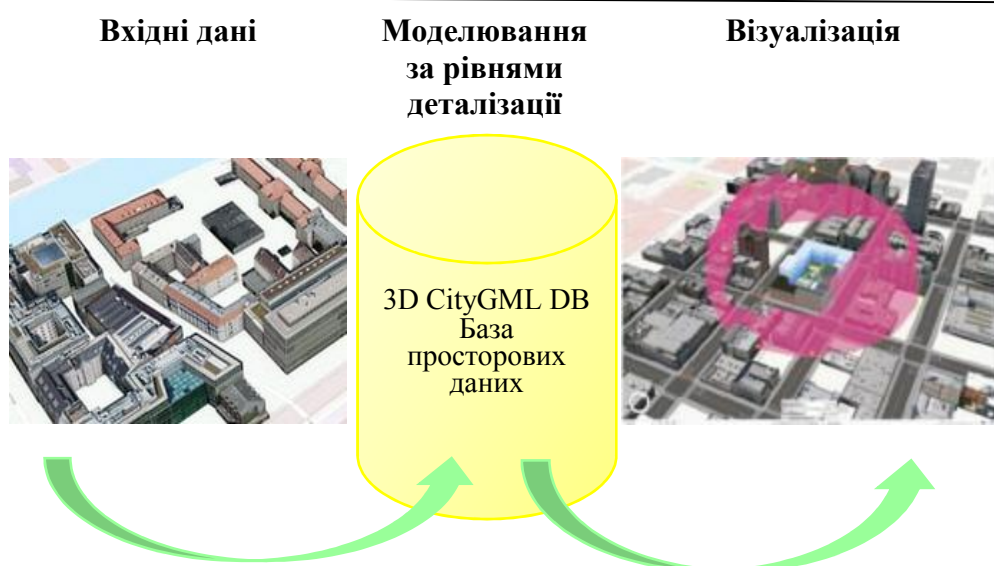


Рис. 2. Концепція методу визначення рівнів деталізації просторових об'єктів в моделі міської території

Прагнення підвищити рівень деталізації моделі призводить до збільшення обчислювального навантаження в операціях, пов'язаних із візуалізацією та перетворенням моделей [6, 7, 11, 13]. У зв'язку з цим необхідно визначити критерії складу та структури тривимірної моделі, а також умови та механізми відображення тривимірних моделей міських об'єктів з урахуванням рівня деталізації:

Для здійснення підтримки прийняття рішень щодо ліквідації АС необхідно, щоб склад та структура тривимірної моделі просторового об'єкта відповідали таким критеріям з урахуванням адаптованої концепції рівня деталізації:

1) Створена модель має містити високо деталізовані просторові об'єкти (O_j) рівня LoD_{E4} , при цьому кількість деталізованих об'єктів не повинна перевантажувати модель та ускладнювати її використання.

2) Склад моделі повинен визначатися кількістю об'єктів різного рівня деталізації відповідно до завдання користувача. Так, наприклад, при аналізі аварійної ситуації на території міського об'єкта необхідно мати детальне уявлення рівня LoD_{E2} про об'єкти, що потрапили в аварійну зону.

3) Незалежно від локалізації АС навколо міського об'єкта, тривимірна модель завжди має візуалізувати стратегічно важливі об'єкти (СВО) $O_{сво}$, які можуть бути задіяні при ліквідації АС. СВО можуть являти собою будівлі та споруди рівня деталізації LoD_{E2} та комунікації рівня LoD_{E3} .

4) За умови великої завантаженості тривимірної моделі об'єктами, що відображають реальне планування території, просторові об'єкти рівня $LoDE4$ слід відображати лише за потреби.

З урахуванням наведених критеріїв, завдання визначення складу та структури тривимірної моделі міського об'єкта на основі різнорівневої концепції деталізації можна сформулювати в наступному вигляді: необхідно визначити склад та структуру тривимірної моделі просторового об'єкта з урахуванням того, що вона має відображати всі просторові об'єкти, розташовані на території міського об'єкта на різних рівнях деталізації ($LoDE1$, $LoDE2$, $LoDE3$, $LoDE4$) і при цьому кількість високо деталізованих об'єктів рівнів $LoDE2$, $LoDE3$ має давати достатнє уявлення про АС, але не перевантажувати модель як для візуального аналізу, так і для розрахункових завдань.

У зв'язку з цим, часткова оптимізація тривимірної моделі міського об'єкта може бути досягнута за рахунок зберігання об'єктів (будівель та споруд), що містять внутрішнє планування на рівні $LoDE4$, як самостійних моделей. Оскільки внутрішнє планування будівель і споруд приховане під каркасом будівлі і не застосовується в розрахункових задачах моделювання АС на території міського об'єкта і не впливає на зовнішній вигляд території, тому доцільно об'єкти рівня $LoDE4$ візуалізувати тільки за потреби, окремо не навантажуючи саму модель. При цьому моделі рівня $LoDE4$ можуть зберігатися в обмінних форматах пакетів тривимірної графіки, відображати внутрішнє планування будівель та споруд, розташування засобів пожежогасіння, сигналізації та ін. Таким чином, частково завдання визначення складу та структури тривимірної моделі міського об'єкта зводиться до організації зв'язку між вихідними об'єктами рівня $LoDE2$ та множиною моделей будівель та споруд рівня $LoDE4$.

Нехай B_{LoDE2} – це множина будівель та споруд рівня деталізації $LoDE2$, що зберігаються в базі даних (DB), яка може бути описана таким чином:

$$B_{LoDE2} = \{b^j_{LoDE2}\} = \{(x, y, z)_{LoDE2}, \{A_{atr}\}\}_j, \quad j = \overline{1, n_{LoDE2}}, \quad (1)$$

де $\{b^j_{LoDE2}\}$ – множина просторових об'єктів в моделі міської території, $(x, y, z)_{LoDE2}$ – просторові координати, які описують розташування j – об'єкта на міській території, $\{A_{atr}\}$ – множина атрибутивної інформації j -об'єкта, n_{LoDE2} – кількість просторових об'єктів в моделі міської території рівня деталізації $LoDE2$.

Для множини B_{LoDE4} просторових об'єктів рівня деталізації $LoDE4$, які створені засобами сучасних пакетів тривимірної графіки для більш детальної візуалізації планувань будівель та споруд має виконуватися така умова:

$$B_{LoDE4} = \{(b^j_{LoDE4})\}, b^j_{LoDE4} \notin DB, j = \overline{1, n_{LoDE4}}, \quad (2)$$

де n_{LoDE4} – це кількість об'єктів рівня $LoDE4$ в моделі міської території.

Тоді для здійснення зв'язку b^j_{LoDE2} j -об'єкта тривимірної моделі міського об'єкта з об'єктом b^j_{LoDE4} необхідно задати функцію відображення R :

$$b^j_{LoDE2} \leftrightarrow R(b^j_{LoDE4}). \quad (3)$$

Зв'язок такого типу може бути організований за допомогою механізму прикріплення за умови виконання наступної умови (рис. 3):

$$b^j_{LoDE2} \geq b^j_{LoDE4}. \quad (4)$$

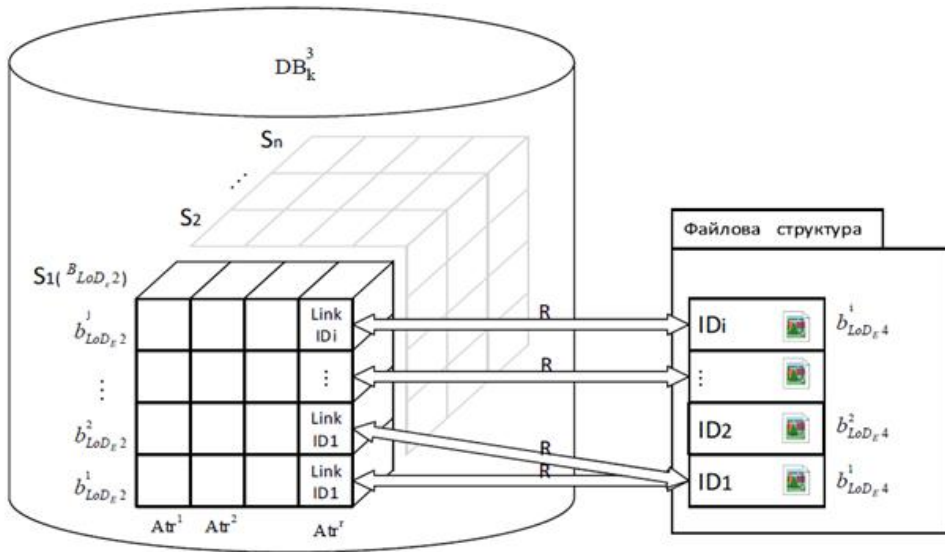


Рис. 3. Організація зв'язку в DB між об'єктами b^j_{LoDE2} та b^j_{LoDE4}

Збільшення швидкості візуалізації та роботи розрахункового модуля може бути досягнуто за рахунок визначення складу ділянки моделі з високим рівнем деталізації у зв'язку з АС на території міського об'єкта. Множина управлінських рішень у разі виникнення АС на міському об'єкті є обмеженою через певні фактори. Альтернативні рішення залежать від операційного розуміння ситуації на основі вхідної інформації, що впливає на хід прийняття управлінського рішення при розвитку АС. Тоді для тривимірної моделі міської території необхідно визначити для візуалізації мінімальну кількість деталізованих просторових об'єктів рівня $LoDE2$, при

цьому їх кількість повинна бути достатньою для операційного розуміння ситуації, на основі якого формується управлінське рішення по ліквідації АС.

Нехай множина $N_{AC} = \{x, y, z\}_{AC}$ описує місце виникнення АС в просторі тривимірної моделі, тоді область F_{AC} операційного розуміння АС можна описати як замкнуту параметричну множину:

$$\begin{aligned} F_{AC} &= \{N(x, y, z)\}_{AC} = 0, \text{ границя множини,} \\ N_j(x, y, z)_{AC} &< 0, \text{ внутрішня область множини.} \end{aligned} \quad (5)$$

Тоді завдання визначення структури моделі можна звести до візуалізації деталізованих просторових об'єктів рівня $LoDE2$, які потрапили до F_{AC} та сформулювати у такий спосіб:

$$S = \{s_{LoDE2}^j\} = (U_{j=1, I} \{O_{ij}\}) \cap (U_{m=1, M} \{F_{AC}^m\}), \quad (6)$$

де S – це множина просторових об'єктів, які потрапили в область F_{AC} , O_{ij} – область відображення j -го об'єкта в i -му шарі рівня $LoDE2$, M_{AC} – кількість областей операційного розуміння F_{AC} , якщо є декілька АС.

При цьому на об'єкти, що потрапляють в область АС, накладається наступне обмеження:

$$d(O_{ij}, N_{AC}) \leq D(F_{AC}), \quad (7)$$

де $d(O_{ij}, N_{AC})$ – це відстань від об'єкта рівня деталізації $LoDE2$ до місця виникнення АС, $D(F_{AC})$ – це відстань від місця виникнення АС до границі множини операційного розуміння АС.

Якщо при цьому на міській території розміщуються стратегічно важливі об'єкти O_{CBO} , їх необхідно відображати рівнем $LoDE3$ незалежно від місця виникнення АС. Тоді обмеження (7), що накладається на область операційного розуміння АС, може бути розширено наступним чином:

$$d(O_{ij}, N_{AC}) \leq D(F_{AC}), O_{CBO} = const. \quad (8)$$

Результат розробки методу. Розробка тривимірної моделі починається з функціонального та інформаційного моделювання, збору необхідної інформації та перетворення її до виду, що підтримується інформаційною системою. Спочатку дані представлені у вигляді двовимірних карт, креслень, технологічних схем та планів, різної документації, фото- та відеоматеріалами обладнання, будівель та споруд. Для коректного відображення просторових даних у тривимірному просторі необхідно визначити розташування шару у просторі, для комунікацій

задати умовне 3D позначення об'єктів, розробити тривимірні моделі будівель та споруд з урахуванням рівня деталізації.

Для вирішення завдань, пов'язаних із зменшенням ресурсних навантажень на обчислювальну систему на етапі візуалізації та перетворення тривимірної моделі на основі запропонованого методу розроблено алгоритм визначення рівнів деталізації просторових об'єктів у складі тривимірної інформаційної моделі міської території (рис. 4).

Часткова оптимізація досягається за рахунок виключення з бази просторових даних тривимірної моделі міської території високо деталізованих об'єктів – будівель та споруд рівня деталізації LoD_{E4} , а також організації зв'язку між розробленими у графічних додатках моделями будівель та споруд та базою просторових даних. За рахунок генералізації об'єктів рівня деталізації LoD_{E3} та LoD_{E1} досягається оптимізація моделі з концентрацією на суттєвих деталях при АС, що тягне за собою підвищення рівня операційного розуміння АС.

Висновки. Проведений аналіз існуючих підходів до обробки просторової інформації засобами тривимірного інформаційного моделювання міських територій дозволив виявити переваги та недоліки існуючих технологій та визначити найоптимальніший спосіб моделювання міських об'єктів. Але у зв'язку зі специфікою об'єктів та ситуацій, що моделюються, програмне забезпечення, яке реалізує підходи до тривимірного моделювання міської забудови, не вирішує повною мірою всіх проблем, пов'язаних з відображенням об'єктів різнорівневої деталізації. Тому запропоновано та розроблено метод формування складу та структури тривимірних моделей міських об'єктів на основі адаптованої концепції рівня деталізації, який дозволяє знизити часові витрати на розробку моделі за рахунок заздалегідь визначеного складу об'єктів з певним рівнем деталізації, а також на обробку та візуалізацію тривимірної моделі міського об'єкта.

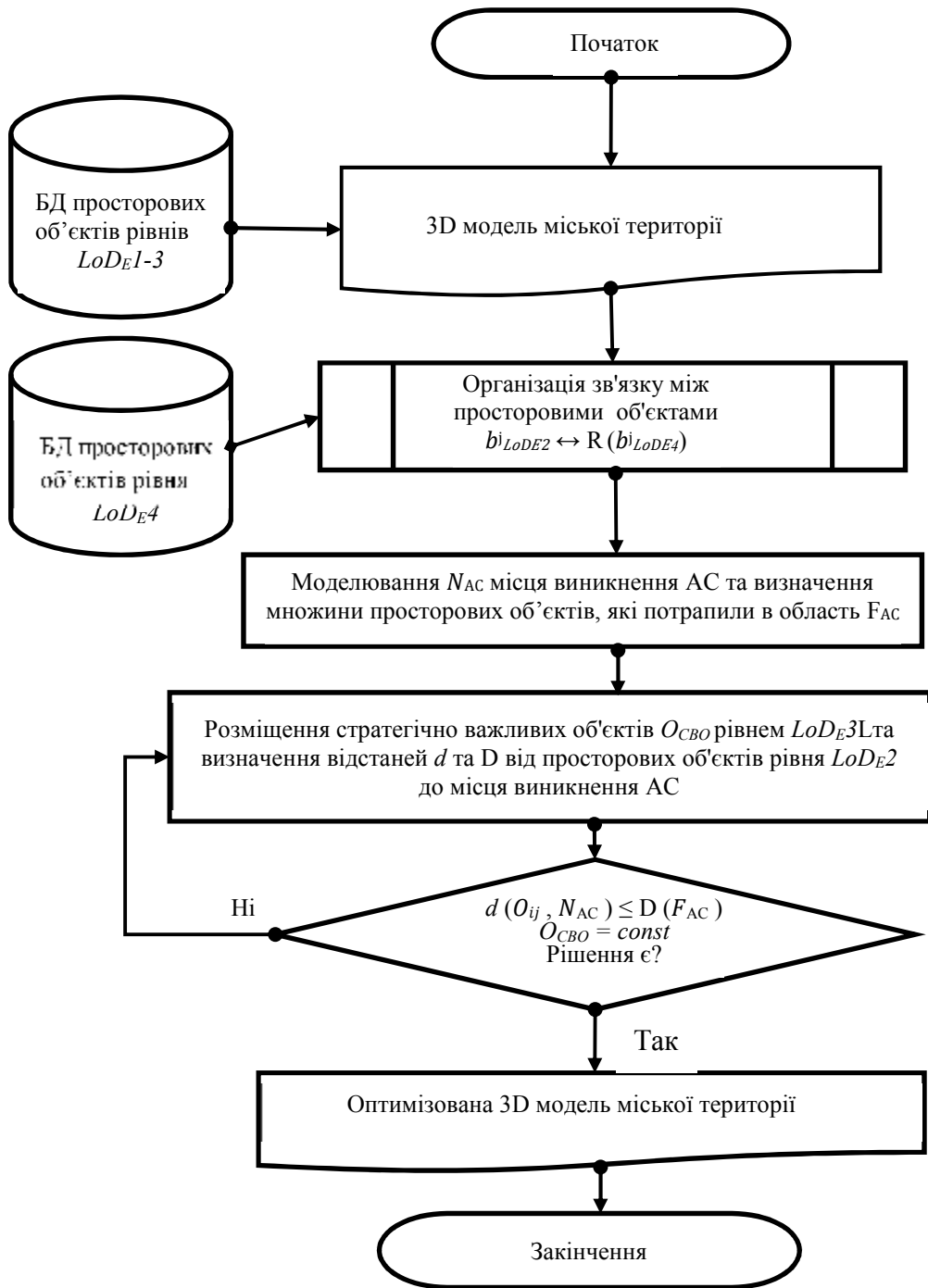


Рис. 4. Алгоритм визначення рівнів деталізації просторових об'єктів у складі тривимірної інформаційної моделі міської території

Крім того, розроблений метод має стратегічне значення за підтримки прийняття рішень щодо ліквідації АС на міських об'єктах, яке полягає у підвищенні рівня операційного розуміння ситуації, без відволікання на несуттєві деталі.

Список літератури:

1. *Stadler A., Kolbe Thomas H.* Representing and exchanging 3D city models with CityGML // 3D Geo-Information Sciences. – 2009. – P. 15–31.
2. *De Santana S. A.* Modeling urban landscape: new paradigms and challenges in territorial representation // *Disegnare con.* – 2013. – 6(11). – P. 161–174. <https://doi.org/10.6092/issn.1828-5961/3379>
3. *Ujang U., Rahman A.* Temporal Three-Dimensional Ontology for Geographical Information Science (GIS)—A Review // *Journal of Geographic Information System.* – 2013. – Vol. 5. – №3. – P. 314-323.
4. *Stoter J. et al.* 5D modeling - applications and advantages // *In Geospatial World Forum 2012, Amsterdam, The Netherlands.* – 2012. – P. 216-223.
5. *Sokolova A. V., Pavlov S. V., Efremova O. A.* Information decision support of region management on the basis of integration technology of potentially dangerous objects three-dimensional models with geographic information system of the executive agencies // *International Research Journal.* – 2016. – 12(54). – P. 165-167. <http://research-journal.org/wp-content/uploads/2011/10/12-3-54.pdf>
6. *Baig S.* Generalization and Visualization of 3D Building Models in CityGML / *S. Baig, A. Rahman et al.* // *Progress and New Trends in 3D Geo-Information Sciences.* Springer – Berlin Heidelberg. – 2013. – P. 63-77.
7. *Biljecki F., Ledoux H., Stoter J.* Height references of CityGML LOD1 buildings and their influence on applications // *Proceedings of the ISPRS 9th 3D GeoInfo conference, Dubai, UAE, 2014.* – P. 1–19.
8. *Biljecki F.* Formalisation of the level of detail in 3D city modelling / *F. Biljecki* // *Journal Computers, Environment and Urban Systems.* – 2014. – pp. 1-15.
9. *Гончаренко Т.А., Михайленко В.М.* Інструменти інформаційного забезпечення визначення прихованого потенціалу розвитку міських територій для реалізації проєктів генерального планування комплексної житлової забудови // *Управління розвитком складних систем.* – 2020. – 44. – С. 70–77. DOI: 10.32347/2412-9933.2020.44.70-77.
10. *Lowner, M.* New concepts for structuring 3D city models – an extended level of detail concept for CityGML buildings / *M.-O. Lowner et al.* // *Proceedings of the 13-th International Conference Computational Science and Its Applications ICCSA 2013 Ho Chi Minh City, Vietnam.* – 2013. – P. 466–480.
11. *Mihaylenko V.* Modeling of Spatial Data on the Construction Site Based on Multidimensional Information Objects / *V. Mihaylenko, T. Honcharenko, K. Chupryna, Yu. Andrashko, S. Budnik* // *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*². – 2019. – Vol. 8. – P. 3934-3940.
12. *Khristodulo O., Gvozdev V., Blinova D.* Information Support of Technogenic Safety Management on the Basis of Mathematical Modeling and GIS Technologies // *2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM).* – 2017. – P.1-4.
13. *Гончаренко Т.А.* Структура методології СІМ для інформаційного моделювання міського середовища на основі інтеграції ВІМ та GIS технологій // *Вісник НТУ "ХПІ".*

Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2020. – 2(4). – С. 42-53.
<https://doi.org/10.20998/2411-0558.2019.28.02>

14. Гончаренко Т.А., Михайленко В.М. Теоретико-множинний опис просторових даних у складі інформаційної моделі території під забудову // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2018. – № 24 (1300). – С. 149– 159.
<https://doi.org/10.20998/2411-0558.2018.24.13>

References:

1. Stadler, A., and Kolbe, T. (2009). "Representing and exchanging 3D city models with CityGML". *3D Geo-Information Sciences*, pp. 15–31.
2. De Santana, S. A. (2013). "Modeling urban landscape: new paradigms and challenges in territorial representation", *Disengage con.*, 6(11), pp. 161–174.
<https://doi.org/10.6092/issn.1828-5961/3379>
3. Ujang, U., and Rahman, A. (2013). "Temporal Three-Dimensional Ontology for Geographical Information Science (GIS)—A Review", *Journal of Geographic Information System*. Vol. 5 (3), pp. 314-323.
4. Stoter et al. (2012). "5D modeling - applications and advantages", *Geospatial World Forum 2012*, Amsterdam, The Netherlands, pp. 216-223.
5. Sokolova, A. V., Pavlov, S. V., and Efremova, O. A. (2016). "Information decision support of region management on the basis of integration technology of potentially dangerous objects three-dimensional models with geographic information system of the executive agencies", *International Research Journal*, 12(54), pp. 165-167. <http://research-journal.org/wp-content/uploads/2011/10/12-3-54.pdf>
6. Baig, S., and Rahman, A. (2013). "Generalization and Visualization of 3D Building Models in CityGML Progress and New Trends", *3D Geo-Information Sciences*, Springer – Berlin Heidelberg, pp. 63-77.
7. Biljecki, F., Ledoux, H., and Stoter, J. (2012). "Height references of CityGML LOD1 buildings and their influence on applications", *Proceedings of the ISPRS 9th 3D GeoInfo conference*, Dubai, UAE, pp. 1–19.
8. Biljecki, F. (2012). "Formalisation of the level of detail in 3D city modelling", *Journal Computers, Environment and Urban Systems*, pp. 1-15.
9. 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, 2020, pp. 70–77. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.44.70-77>
10. Lowner, M. (2020). "New concepts for structuring 3D city models – an extended level of detail concept for CityGML buildings", *Proceedings of the 13-th International Conference Computational Science and Its Applications – ICCSA 2013. Ho Chi Minh City, Vietnam*, pp. 466–480.
11. Mihaylenko, V., Honcharenko, T., Chupryna, K., Andrashko, Yu., and Budnik, S. (2019). "Modeling of Spatial Data on the Construction Site Based on Multidimensional Information Objects", *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*’ Volume 8, August 2019, pp. 3934-3940.
12. Khristodulo, O., Gvozdev, V., and Blinova, D. (2017). "Information Support of Technogenic Safety Management on the Basis of Mathematical Modeling and GIS Technologies", *2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, pp. 1-4.
13. 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", 2(4), pp. 42-53, <https://doi.org/10.20998/2411-0558.2019.28.02>

14. Honcharenko, T. A., and Mykhailenko, V.M. (2018). "Set-theoretic description of spatial data in the information model of the construction territory", *Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling*, 24, p. 149–159. <https://doi.org/10.20998/2411-0558.2018.24.1>

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

Поступила (received) 10.10.2022

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: iust511@ukr.net
ORCID ID: 0000-0003-2577-6916

УДК 004.942+045

Метод визначення рівнів деталізації просторових об'єктів у складі тривимірної інформаційної моделі міської території / Т.А. Гончаренко // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2022. – № 1 –2 (7 – 8). – С. 93 – 106.

У статті запропоновано метод визначення рівнів деталізації для просторових об'єктів, що входить до складу тривимірної інформаційної моделі міської території з метою зменшення обчислювального навантаження в операціях, пов'язаних з візуалізацією. Метод адаптує концепцію різнорівневої деталізації до списку просторових об'єктів міської території, де для кожного з них обираються діапазони рівнів деталізації, виходячи з потреб різних суб'єктів управління при прийнятті рішень у аварійних ситуаціях. Іл.: 4. Бібліогр.: 14 назв.

Ключові слова: інформаційна модель міської території; моделювання просторових об'єктів; рівні деталізації; LoD; CityGML.

UDK 004.942+004.045

Method for determining the levels of detail of spatial objects as part of a three-dimensional information model of an urban area // Tetyana Honcharenko // Herald of the National Technical University "KhPI". Series of "Informatics and Modeling". – Kharkov: NTU "KhPI". – 2022. – № 1 – 2 (7 – 8). – P. 93 – 106.

The article proposes a method for determining the levels of detail for spatial objects, which is part of the three-dimensional information model of the urban area in order to reduce the computational load in operations related to visualization. The method adapts the concept of multi-level detailing to the list of spatial objects of the urban territory, where ranges of levels of detail are chosen for each of them, based on the needs of different management subjects when making decisions in emergency situations. Figs.: 4. Refs.: 14 titles.

Keywords: information model of the urban area; modeling of spatial objects; levels of detail; LoD; CityGML.