

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

КИЇВСЬКА Катерина Іванівна

УДК 004.4: 004.93

**ІНФОРМАЦІЙНІ ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ
ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА**

05.13.06 – Інформаційні технології

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інформаційних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: – доктор технічних наук, професор, академік Академії будівництва України, Лауреат Державної премії УРСР

Городецький Олександр Сергійович, професор кафедри інформаційних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури МОН України (м. Київ)

Офіційні опоненти: – доктор технічних наук, професор
Лантух–Лященко Альберт Іванович, професор кафедри мостів і тунелів Національного транспортного університету МОН України (м. Київ)

– кандидат технічних наук, доцент
Панкевич Ольга Дмитрівна, доцент кафедри інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету МОН України (м. Вінниця)

Захист відбудеться « 27 » грудня 2016 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.01 при Київському національному університеті будівництва і архітектури за адресою: 03680, м. Київ, Повітрофлотський просп., 31, а.466.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці при Київському національному університеті будівництва і архітектури за адресою: 03680, м. Київ, Повітрофлотський просп., 31.

Автореферат розісланий « 25 » листопада 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент

М.І. Цюцюра

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В даний час впровадження технології інформаційного моделювання (ВІМ–технології) в провідних країнах світу відбувається зростаючими темпами, і досить часто з державною підтримкою. З 2016 року використання ВІМ–технології буде обов’язковим при отриманні бюджетних замовлень в ряді європейських країн. В Україні також спостерігається поживалення інтересу до інформаційного моделювання, однак поки що не існує чітко визначених норм та правил його застосування. Використання ВІМ–технології підвищує ефективність розвитку будівельної галузі. Однак, залишається невирішеним ряд задач: висока вартість програмних комплексів, що підтримують ВІМ–технологію порівняно із вартістю проектних послуг; відсутність сумісності між різними програмними продуктами та єдиних стандартів із передачі даних; відсутність нормативної бази щодо статусу інформаційного моделювання та його впровадження у процес будівництва на всіх етапах, тощо. В зв’язку з цим актуальною є розробка інтегрованих моделей та методів моделювання об’єктів будівництва.

Обраний напрямок досліджень відповідає постанові Кабінету Міністрів України «Про забезпечення надійності й безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж» від 05 травня 1997 року № 409 та розпорядженню Кабінету Міністрів України «Про заходи щодо підсилення контролю за проектуванням, новим будівництвом, реконструкцією, капітальним ремонтом та експлуатацією будинків і споруд» № 100 – р від 01 березня 2004 р.

За результатами вивчення наукових праць, принципи параметричного моделювання та створення інформаційних моделей об’єктів будівництва відображені в роботах сучасних вітчизняних та зарубіжних вчених: Барабаш М.С., Городецького О.С., Пакідова О.І., Попова В.А., Скворцова А.В., Мігунова В.В., Козлова А.В., Білика А.С., Сергієнка І.В., Крак Ю.В., Андрухова В.М., Колесника А.О., Терентьєва О.О., Талапова В.В., Тернова А.С., Кривоноса Ю.Г., U. Isikdag, R. Jardim–Goncalves та інших.

Практичним впровадженням ВІМ–технологій для вирішення задач проектування займаються розробники сучасних інформаційних систем моделювання об’єктів будівництва (САПР), такі як Autodesk, Bentley Systems, Nemetschek, Graphisoft, ТЕКЛА, ЛІРА САПР та ін.

В основу дисертаційного дослідження покладено задачу створення узагальненої моделі об’єктів будівництва, яка є основою технології інформаційного моделювання. При розробці системи було запропоновано моделі та методи, які забезпечать скорочення часу на формування різних типів представлення інформаційних моделей та оптимізують процес параметризації її елементів. Дослідження, які пов’язані з розробленням інтегрованої інформаційної технології об’єктів будівництва в умовах постійної зміни параметрів, доповнення існуючих та додавання нових є актуальними та мають не тільки практичне значення для учасників процесу будівництва, але й теоретичне: розробка

концепції та математичного інструментарію, що може скласти основу для подальших наукових досліджень в цій галузі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана в Київському національному університеті будівництва і архітектури. Результати наукових досліджень впроваджено в науково-дослідній роботі №22-16 при виконанні робіт для об'єкту класу відповідальності СС-3 «Корегування дублюючих розрахунків несучих конструкцій каркасу житлового будинку, 1 житлового комплексу з наземним паркінгом у зв'язку із збільшенням поверховості з 24 поверхів до 25 поверхів в рамках науково-технічного супроводу за адресою: вул. Люстдорська, 55\1, м. Одеса (як споруда класу відповідальності СС3)» (номер державної реєстрації – U110U005594), виконаних Державним підприємством «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва» Мінрегіону України.

В межах цієї теми було досліджено основні засоби інтеграції інформаційних моделей в сучасних САПР, розроблено ієрархію структури параметричної узагальненої інформаційної моделі об'єктів будівництва. Результати наукових розробок були впроваджені в діяльності ТОВ «ЛІРА САПР» та ТОВ «СОФОС». Розроблена інформаційна система впроваджена в програму САПФІР-3D.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є створення, обґрунтування та практична реалізація інтегрованих методів та моделей інформаційного моделювання об'єктів будівництва, що дозволить підвищити ефективність впровадження BIM-технології в будівельній галузі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести системний аналіз існуючих методів побудови узагальненої моделі об'єктів будівництва та інформаційних технологій інтеграції різномірної інформації, отриманої з різних програм інформаційного моделювання.
2. Провести системну формалізацію типів моделей BIM-технології та формалізацію критеріїв і параметрів.
3. Дослідити та сформувану узагальнену модель об'єкта будівництва на різних стадіях життєвого циклу, яка дозволить вирішити задачу декомпозиції її підзадач та провести порівняльний аналіз існуючих інформаційних систем (ІС) автоматизованого супроводження етапів життєвого циклу об'єктів будівництва.
4. Дослідити та сформувану математичну модель інтеграції інформаційних моделей об'єктів будівництва, яка дозволить вирішити задачу декомпозицією її підзадач.
5. Обрати методи параметризації елементів об'єктів будівництва та дослідити алгоритми взаємного ув'язування цих елементів між собою при відображенні в різних типах моделей.
6. Розробити програмний продукт та метод, який реалізує інтегровані моделі та інформаційну технологію моделювання об'єктів будівництва.

Об'єктом дослідження є інформаційні процеси супроводження та реалізації етапів життєвого циклу об'єктів будівництва.

Предметом дослідження є моделі, методи та інформаційна технологія моделювання об'єктів будівництва в межах їх життєвого циклу.

Методи дослідження. Проведені дослідження базуються на методах системного аналізу системного представлення процесів; математичного та інформаційного моделювання, структурного моделювання, сучасних інформаційних технологій (ВІМ–технологій) моделювання об'єктів будівництва.

Наукова новизна отриманих результатів дисертаційного дослідження полягає в розробці інтегрованої інформаційної технології моделювання об'єктів будівництва та аналітичних засобів її реалізації.

Вперше:

- розроблено метод багатокритерійного поєднання параметрів елементів інформаційних моделей об'єктів будівництва, на основі інтеграції даних в інформаційній системі моделювання об'єктів будівництва;
- запропоновано узагальнену модель об'єкта будівництва, що супроводжує етапи його життєвого циклу та поєднує основні типи моделей: графічну, фізичну, аналітичну, конструктивно–розрахункову, модель інженерних мереж, часову та кошторисну.

Вдосконалено метод обміну даними між програмними комплексами різного призначення, який дозволяє використовувати позитивні властивості існуючих стандартних ІС при моделюванні об'єктів будівництва.

Набула подальшого розвитку інтегрована інформаційна технологія моделювання (ВІМ–технологія), яка забезпечує процес мінімально збиткової інтеграції інформації щодо будівельних об'єктів та їх елементів, за умов функціонування різних систем автоматизованого моделювання.

Практичне значення отриманих результатів.

Розроблена інформаційна інтегрована технологія моделювання об'єктів будівництва, яка була створена на основі розроблених моделей та методів, дала можливість використовувати її на практиці, зокрема в програмних комплексах ЛІРА–САПР, САПФІР–3D та в навчальному процесі технологія була застосована для створення узагальненої моделі об'єктів будівництва.

Достовірність результатів дослідження. Наукові положення, висновки та рекомендації, наведені в дисертаційній роботі, обґрунтовані використанням коректного аналітичного апарата, ефективною реалізацією розроблених моделей, методів інформаційної технології моделювання об'єктів будівництва та порівняльними результатами комп'ютерного експерименту, щодо функціонування інформаційної системи інтеграції інформаційних моделей в умовах їх супроводження та реалізації етапів життєвого циклу.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідались та обговорювались на міжнародних та науково–практичних конференціях: Науково–практичних конференціях Київського національного університету будівництва і архітектури: 71–й (2010 р.), 72–й (2011 р.), 74–й (2013 р.), 75–й (2014 р.); Науковій конференції молодих вчених, аспірантів і студентів Київського національного університету будівництва і архітектури (КНУБА, м. Київ, 2013 р.); I Всеукраїнській науково–практичній конференції молодих вчених,

аспірантів і студентів «Build Master Class 2015» (КНУБА, м. Київ, 2015 р.); XVI Міжнародній науково–практичній конференції молодих учених і студентів «Політ. Сучасні проблеми науки» (НАУ, м. Київ, 2016 р.); Сімнадцятій міжнародній науково–практичній конференції «Актуальные вопросы науки, технологии и производства» (м. Санкт–Петербург, 2016 р.); II Міжнародному науково–практичному конгресі «Міське середовище – XXI ст. Архітектура. Будівництво. Дизайн» (НАУ, м. Київ, 2016 р.).

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 10 наукових праць, що відображають основні результати дисертаційної роботи, з них 5 – наукові статті у фахових виданнях України, 3 – у виданнях зарубіжних країн, 2 – тези доповідей.

Особистий внесок здобувача. Наукові положення, розробки та висновки дисертаційної роботи є результатом самостійно проведеного автором дослідження в області моделювання об'єктів будівництва. У друкованих працях опублікованих у співавторстві автором публікацій: сформовано принципи та вимоги до параметричного моделювання об'єктів будівництва [1], проведено структурний аналіз параметрів інформаційних моделей будівель та сформовано основні критерії представлення їх в моделях [2], запропоновано класифікацію атрибутів елементів об'єктів будівництва [3], розглянуто основні принципи взаємодії з клієнтами з розмежуванням прав доступу до інформації в інформаційних системах моделювання об'єктів будівництва [4], запропоновано метод інтеграції параметричної моделі на базі програмного комплексу САПФІР–3D [5], запропоновано концепцію представлення інформації в інформаційній моделі об'єктів будівництва [6], описано основні принципи технології інформаційного моделювання об'єктів будівництва (ВІМ–технології) [8], розроблено базу даних інформаційної системи [7].

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів та висновків, загалом викладених на 140 сторінках друкованого тексту. Матеріали дисертації містять 8 таблиць та 40 рисунків. Список використаних джерел містить 169 найменувань, розміщених на 17 сторінках. Дисертація містить 2 додатки на 6 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, сформульовані її цілі, задачі, об'єкт та предмет дослідження. Вказані основні методи дослідження, наукова новизна та практичне значення отриманих результатів. Зазначений особистий внесок здобувача та наведено дані про реалізацію, апробацію та публікацію результатів досліджень.

У **першому розділі** проаналізовано сучасні методи та засоби інформаційного моделювання об'єктів будівництва, наводиться огляд сучасних інформаційних систем автоматизованого проектування, в основі яких лежить принцип параметричного моделювання, а також формулюються основні завдання, які необхідно вирішити в процесі роботи над задачею створення узагальненої параметризованої інформаційної системи об'єктів будівництва (рис. 1).

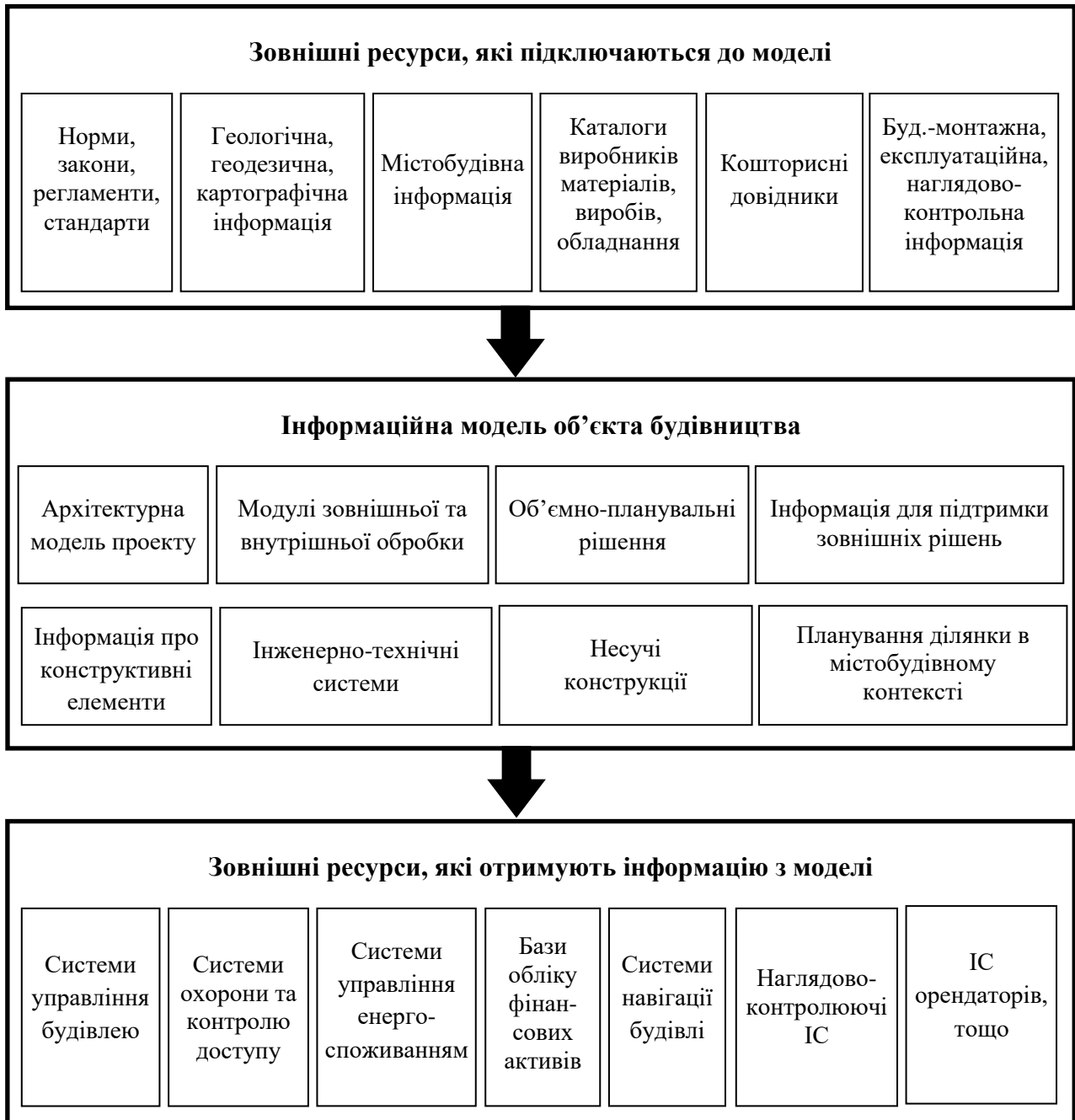


Рис. 1. Загальна схема інформаційної моделі об'єктів будівництва

Розроблено структуру параметричної інтегрованої інформаційної моделі об'єктів будівництва (ІМОБ), що складається з різних моделей створених на різних етапах моделювання (архітектурна; конструктивно-розрахункова; модель енергозбереження; модель інженерних мереж, що містить інформацію про електричну, силову моделі, модель водопостачання, опалення, каналізації, вентиляції, тощо; об'ємно-конструктивна; вартісна, тощо); підтримує концепцію Multi-D (2D, 3D, ..., 7D); досить легко може бути включена в системи управління та аналізу життєвого циклу об'єктів будівництва (CALS системи) та займається рішенням задач проектування (рис. 2).



Рис. 2. Параметрична інтегрована ІМОБ

Проведено аналіз засобів інтеграції та обміну різномірними даними в ІС і підходів до формування інформаційної моделі об'єкта будівництва, в результаті якого визначено, що сучасні ІС інтегрованого моделювання мають бути:

- Інтегрованими «по горизонталі», тобто охоплювати всі частини та етапи процесу моделювання, гарантувати злагоджену передачу даних по технологічному ланцюжку між окремими частинами проекту (архітектура, конструкції, інженерні мережі, тощо).

- Інтегрованими «по вертикалі», тобто гарантувати злагоджену передачу даних по технологічному ланцюжку виробничого процесу (проектування, виготовлення, монтаж, тощо).

- Інтегрованими «по діагоналі», щоб безпосередньо або в форматах стандартних даних обмінюватися інформацією з іншими інформаційними

системами проектування, в тому числі передавати дані з графічних (САД) систем в розрахункові (САЕ) системи.

– Інтегрованими «в обох напрямках», щоб результати розрахунків та моделювання вивантажувалися в спільну систему з подальшим оновленням вихідної моделі.

– «Мульти–» інтегрованими між окремими областями проектування (будівництво, промисловість, енергетика, нафтогаз, ГІС, тощо).

Ґрунтуючись на проведеному аналізі зроблено наступний висновок: використання ВІМ–технології у будівництві значно спрощує процес створення об'єкта будівництва, а розробка ІС інтеграції інформаційних моделей, створених в різних програмах забезпечує злагоджену передачу даних по технологічному ланцюжку між усіма учасниками та частинами проекту. *По–перше*, в ній вирішені задачі інтеграції різномірної інформації. *По–друге*, інтеграція інформаційних моделей, отриманих з різних ІС автоматизованого моделювання, виконується через спільну базу даних за допомогою параметризації елементів. *По–третє*, використані в даній ІС методи параметризації дають змогу уникнути суперечок при роботі з однаковими параметрами в різних моделях. *По–четверте*, інтеграція інформаційних моделей з ІС різного призначення (архітектурні, розрахункові, тощо) забезпечує спадкоємність різних типів моделей, що створюються в процесі інформаційного моделювання. *По–п'яте*, така ІС надає інструментальні, модельні та інформаційні можливості розглядати та вирішувати задачі інформаційного моделювання для різних ситуацій у будівництві.

У **другому розділі** досліджено та розроблено математичну модель інтегрованої інформаційної системи моделювання об'єктів будівництва, що складається з набору моделей, отриманих з різних ІС на різних етапах життєвого циклу, яку можна представити у вигляді сукупності:

$$M_u = M_g \cup M_{tr} \cup M_f \cup M_r \cup M_i \cup M_c \cup M_t, \quad (1)$$

де M_g — геометрична (архітектурна) модель об'єкту будівництва, яка містить інформацію про об'ємно–планувальні архітектурні рішення (кількість поверхів, розбиття поверхів на приміщення, ліфтові шахти, сходи і т. д.).

M_{tr} — топологічна модель, що містить інформацію про географічне розташування об'єктів будівництва з урахуванням ґрунтової моделі.

M_f — фізична модель, яка містить інформацію про елементи будівлі (стіни, колони, балки тощо).

M_r — конструктивно–розрахункова модель об'єкту будівництва, яка частково включає інформацію про архітектурну частину проекту, та інформацію про характеристики міцності елементів будівлі.

M_i — модель інженерних мереж. Включає інформацію про всі електротехнічні, сантехнічні та газопровідні прилади, що використовуються в будівлі, мережі їх з'єднання, вентиляційні мережі, тощо.

M_c — вартісна модель, що містить інформацію про вартості робіт, обладнання, матеріалів, тощо.

M_t — часова модель будівлі, що містить інформацію про зведення об'єкту (можливі зміни властивостей будівельних конструкцій з часом) та календарно-сітьову модель життєвого циклу.

При цьому, кожна з цих моделей містить, як спільну інформацію з іншими моделями, так і інформацію, що є характерною лише для неї. Кожний елемент даних моделей описується власним набором параметрів, і може бути представлений у вигляді сукупності:

$$S_i = \{I_g, I_f, I_a, I_{tp}, I_t, O\}, \quad (2)$$

де I_g – геометричні параметри об'єктів (розміри, об'єм і т.д.);

I_f – фізичні параметри об'єктів (маса, матеріал, фізичні константи і т.д.);

I_a – присвоєні (атрибутивні) параметри об'єктів (ім'я, перетин, маркування, ГОСТ, ДБН, тощо);

I_{tp} – топологічні параметри об'єктів (що містить інформацію про географічне розташування будівельного об'єкту з урахуванням ґрунтової моделі);

I_t – часові параметри об'єктів;

O – операції між елементами (дотягування, стиківка, підрізка, тощо).

Задача об'єднання параметрів об'єктів будівництва, отриманих з різних моделей в узагальненому вигляді зводиться до вибору таких значень параметрів, при яких об'єкт буде відповідати всім вимогам, що до нього висуваються на різних етапах моделювання при рішенні конкретних задач (розрахунок конструкції, формування календарних графіків, створення кошторисів, тощо).

Для цього, вихідні параметри мають відповідати обмеженням:

$$y_i(g, x, q) \geq A_i, \quad y_i(g, x, q) \leq B_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

де $y_i(g, x, q)$ – i -й вихідний параметр, що є деякою функцією геометричних параметрів $g=(g_1, \dots, g_l)$, внутрішніх параметрів $x=(x_1, \dots, x_m)$ та зовнішніх параметрів $q=(q_1, \dots, q_k)$; A_i та B_i – межі допустимих змін i -го вихідного параметру, що описується у вимогах.

В якості параметрів, які необхідно оптимізувати, обираються внутрішні параметри, які можна змінювати на даному етапі об'єднання. В загальному вигляді задача записується таким чином: $\max (F(g, x, q)), x \in D$, де $F(g, x, q)$ – цільова функція та функція обмеження – нелінійні функції керованих параметрів, D – область допустимих змін внутрішніх параметрів, які відображають умови роботи системи та простір внутрішніх параметрів. При оптимізації вибираються або номінальні значення зовнішніх параметрів, або такі, що описують найгірший випадок.

Відхилення параметрів виникають під впливом факторів, що діють в процесі моделювання, виробництва, експлуатації, та мають випадковий характер. Тому внутрішні параметри необхідно розглядати як деякі випадкові функції часу. Отже, умови робочого стану моделі можуть бути задоволені лише з певною ймовірністю:

$$P(t) = P\{X(t) \in D, \forall t \in [0, T]\}, \quad (4)$$

де $X(t)$ – випадковий процес зміни внутрішніх параметрів, T – заданий час функціонування системи. Вибрані номінальні значення параметрів можна розглядати як компоненти вектора математичних очікувань випадкового процесу $X(t)$ в початковий момент часу $t=0$, коли $x_0 = M[X(0)]$.

Для вирішення задачі коректного відображення елементів у фізичній моделі, отриманій шляхом інтеграції, застосовують булеві операції об'єднання, перетину або різниці (віднімання). Дослідивши існуючі алгоритми та виконавши їх порівняльний аналіз, в роботі було вирішено використовувати комбінування алгоритмів Леонова, Холверда та Триангуляційний.

В алгоритмі Леонова виконується обчислення перетину, об'єднання або різниці багатокутників, що не є замкнутим або мають отвори та реалізована коректна обробка вершин, в яких сходиться більше двох ребер багатокутників, чого не відбувається в більшості існуючих алгоритмів.

Обчислювальна трудомісткість алгоритму різниться на різних етапах. В середньому вона дорівнює:

$$O_t((n_1+n_2)\log(n_1+n_2)+n_0+z*\log(n_1+n_2)), \quad (5)$$

де (n_1+n_2) – загальне число вершин регіонів А і В; z – загальне число контурів регіонів А і В; n_0 – максимальне число нових вершин.

Алгоритм Холвера має певні недоліки, наприклад, на вході не можна використовувати багатокутники, що самоперетинаються. Однак оригінальність, висока швидкість роботи, коректне округлення координат точок перетину і досить висока обчислювальна стійкість дозволяють виділити його із загального ряду. В роботі він використовується для попарної обробки елементів (стіл, балок, тощо).

Основна ідея алгоритму побудови булевих операції багатокутників за допомогою тріангуляції полягає в побудові тріангуляції з обмеженнями, де в якості структурних ліній виступають сторони вихідних багатокутників, а потім об'єднання деяких трикутників в шуканий багатокутник. Цей алгоритм є покроковим і обчислювальна трудомісткість першого кроку в гіршому випадку становить $O_t(n*\log(n_1+n_2))$. В середньому випадку трудомісткість першого кроку та всіх наступних є лінійною та становить $O_t(n)$.

Враховуючи те, в цілому ці алгоритми є універсальними для будь-яких елементів, але мають певні недоліки, доцільно використовувати поєднання цих алгоритмів для отримання правильної фізичної (3D) моделі об'єктів будівництва.

В роботі розглядається ще одна задача: розрахунок початкових коефіцієнтів навантажень. Суть її полягає в тому, що для формування аналітичної моделі, необхідно визначити всі навантаження, які впливають на об'єкт будівництва, та виконати розрахунок об'єктів будівництва, мета якого – забезпечити задані умови експлуатації та необхідну міцність об'єкта при мінімальних витратах матеріалів та мінімальних витратах праці на виготовлення і монтаж. Об'єкти будівництва розраховують на силові та інші впливи, що визначають їх напружений стан і деформації, за граничними станами. В роботі запропоновано метод автоматизованого розрахунку коефіцієнтів навантажень, що полягає в автоматичному підборі нормативних значень та перетворенні їх на розрахункові, для виконання подальших розрахунків об'єктів будівництва.

Метод складається з наступних етапів: знаходження нормативних коефіцієнтів навантажень (за ДБН або іншими нормативами) в залежності від типу навантаження, знаходження коефіцієнтів надійності по відповідальності та по навантаженню. Знаходження розрахункового значення навантаження, що дорівнює добутку зазначених коефіцієнтів навантажень. Узагальнений алгоритм даного методу представлений на рис. 3.

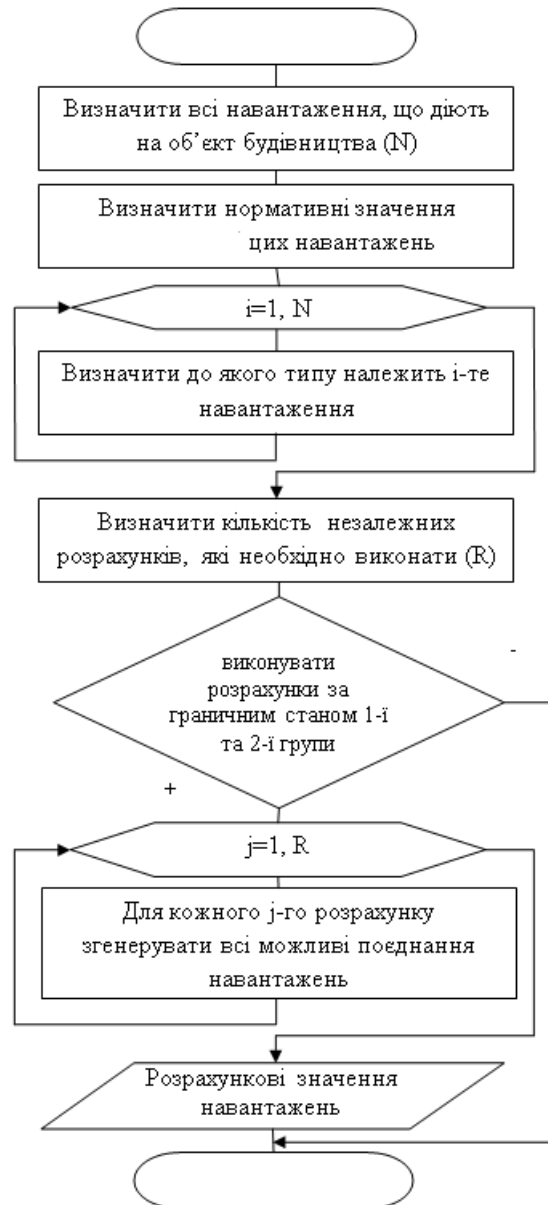


Рис. 3. Узагальнений алгоритм розрахунку навантажень

Запропоновані моделі та методи є лише частиною процесу формування узагальненої інформаційної моделі об'єктів будівництва. Враховуючи те, що процес формування вимог до інформаційних моделей об'єктів будівництва знаходиться на початковій стадії, передбачити всі задачі, що можуть виникнути, не можливо. Тому основна ідея використання параметричної ІМОБ полягає в тому, що створюється універсальний механізм, який дає змогу на базі інформації,

що міститься в ІМОБ, вирішувати будь-яку задачу, яка може виникнути в процесі її використання.

Третій розділ присвячений розробці архітектури інтегрованої ІС моделювання об'єктів будівництва.

Розроблено загальну модель ІС та схему взаємодії її окремих модулів між собою (рис. 4).

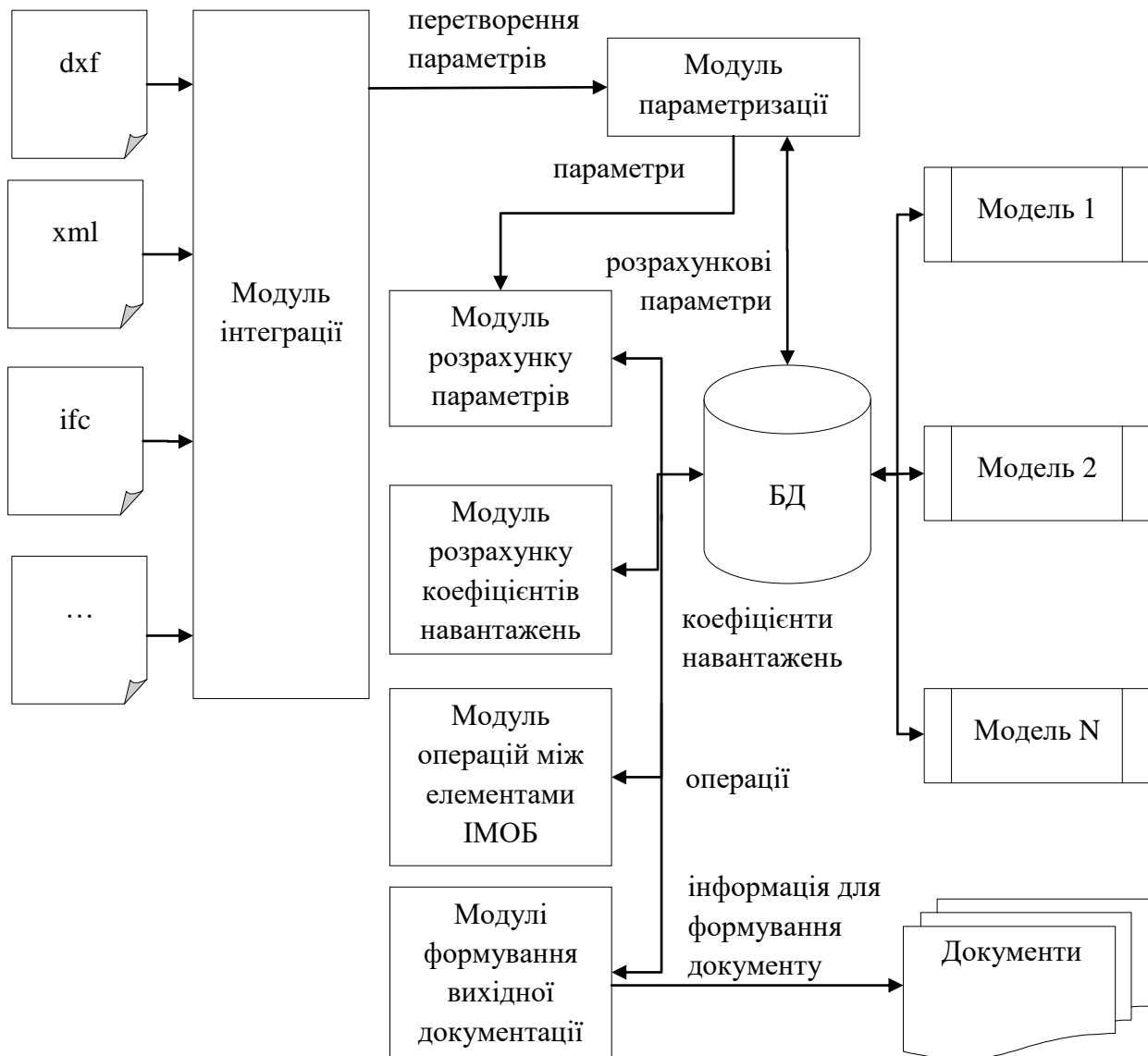


Рис. 4. Загальна модель інтегрованої ІС МОБ

Розроблено інформаційне забезпечення ІС, а саме структура бази даних (БД) інтегрованої ІС моделювання об'єктів будівництва, що складається з наступних БД:

БД нормативно-довідкової інформації (класифікатор будівельних матеріалів, довідники по нормативним значенням навантажень, тощо).

БД параметрів об'єктів (дані про набори параметрів, що характеризують відображення об'єктів в різних моделях).

БД розрахункової інформації, що містить таблиці з розрахунковими даними на підставі яких буде виконуватись аналіз об'єктів будівництва на різних стадіях життєвого циклу.

БД користувачів системи, що мають доступ до інформації на різних етапах моделювання.

Виділено основні сутності, та атрибути предметного середовища, на базі яких була побудована концептуальна модель предметного середовища, розроблені логічна та фізична моделі бази даних.

Сформульовано основні вимоги до створення БД та обрано підхід для розмежування даних, отриманих з різних моделей та прав доступу до них різними користувачами. Проаналізовано основні методи збереження інформації в БД та було прийнято рішення використовувати в роботі мережеві моделі даних. У цих моделях БД формується із записів фіксованого формату, що можуть мати різні типи. Кожний тип запису передбачає певну кількість полів фіксованої довжини, тому мережеві моделі даних відносять до моделей на основі записів. Мережева модель є орієнтованим графом з поіменованими вершинами і дугами. Для кожного типу записів (вершин графа) може бути кілька примірників конкретних значень його інформаційних елементів. У мережевих моделях безпосередній доступ за ключем може забезпечуватись до будь-якого об'єкта незалежно від рівня, на якому він перебуває в моделі. Можливий також доступ за зв'язками до будь-якої точки доступу.

Четвертий розділ присвячений розробці інтегрованої інформаційної системи моделювання об'єктів будівництва.

ІС була розроблена в середовищі VisualStudio з використанням мови програмування C++ та JavaScript з причини зручності застосування та багатофункціональності середовища. В якості СУБД використовувалася MS SQL Server.

Загальна архітектура системи інтеграції інформаційних моделей об'єктів будівництва та структура програми представлені на рис. 5 та рис. 6.

Документатор призначений для формування документації на підставі інформації з ІМОБ, без використання спеціалізованого ІС. Передбачається використання технології PlugIn-бібліотек, додаткових DLL файлів, тощо.

Сховище документів – структуроване (ієрархічне) сховище документів (файлів) будь-якого призначення та формату, що генеруються будь-якими ІС. У сховищі до кожного файлу прикріплюється коментар і інші атрибути, що дозволяють розвинути систему до рівня документообігу. В сховищі так само може міститись інформація з нормативних документів.

Конфігуратор виконує асоціювання будь-якого елемента ІМОБ з внутрішньою і/або зовнішньою інформацією, в залежності від формату моделі, з якою працюємо (Multi-D). На вхід він отримує інформацію від різних учасників процесу проектування (конструкторів, архітекторів, проектувальників тощо) та з різних програмних комплексів. Всередині ця інформація упорядковується за визначеними правилами, та формуються вибірки даних, які будуть задіяні при побудові певного формату моделі.

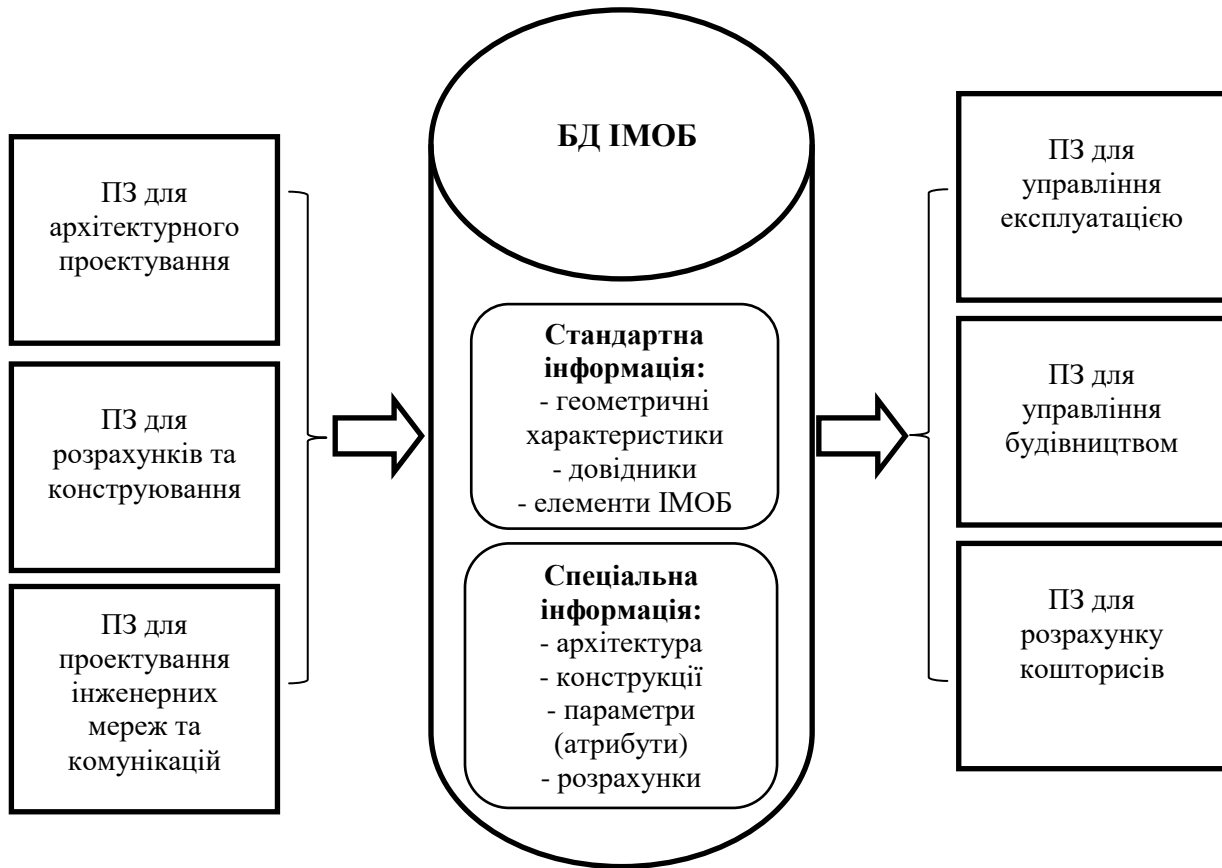


Рис. 5. Узагальнена схема інтеграції інформаційних моделей

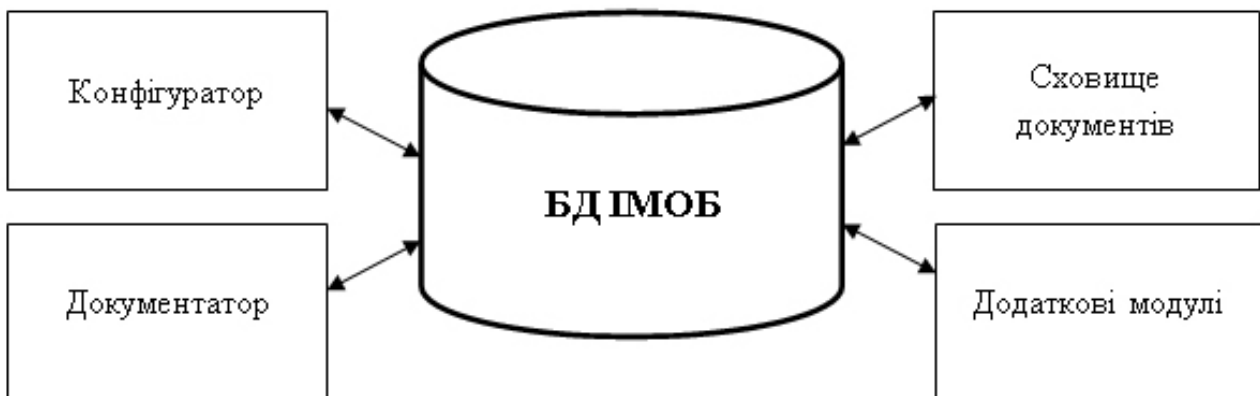


Рис. 6. Узагальнена схема архітектури програми

В цьому розділі наведено приклади інтеграції двовірних креслень поверхових планів в тривимірні моделі.

Створений в AutoCAD план поверху, з групуванням елементів однакового типу по шарах, передається в ПК САПФІР-3D.

Додатково формується набір параметрів, які необхідні для створення 3D-моделі (рис. 7). Також формуються набори параметрів, необхідні для створення інших типів моделей. На основі параметрів для всіх елементів моделі, в яких заданий параметр «Розрахувати навантаження», автоматично розраховуються

коефіцієнти навантажень та об'єми. Виконується розпізнавання інформації, отриманої з креслення, для створення тривимірної параметричної моделі. Для отриманої моделі виконується коригування (дотягування та підрізка стін, підрізка балок, перевірка коректності введених значень параметрів, тощо).

Таблица параметров 3D модели

Элемент	Тип	Высота, мм	Толщина, мм	Уровень основания, мм	Материал
- WALLS_BLOK(H-400)	Перегородка	3000	400	0	Бетон В30
0000L	Перегородка	3000	400	0	Бетон В30
0001L	Перегородка	3000	400	0	Бетон В30
0002L	Перегородка	3000	400	0	Бетон В30
0003L	Перегородка	3000	400	0	Бетон В30
+ WALLS_BLOK(H-600)	Наружная стена	3000	600	0	Бетон В30
+ WALL_DOORS_2(H-2100)	Дверной проем	2100		0	
+ SLABS	Плита перекрытия		200	2800	Бетон В30
+ Slabs1	Плита перекрытия		200	2800	Бетон В30

Сохранить значения ? X

Рис. 7. Приклад роботи конфігуратора з вибіркою параметрів для формування 3D-моделі

Процедури інтеграції, налаштування параметрів та коригування моделі можна виконувати як для одного поверху, так і для всієї моделі загалом. На рис. 8а представлена 3D-модель планів поверхів в ПК САПФІР-3D.

Зі створеної 3D-моделі (рис. 8б) в ПК САПФІР-3D отримуємо аналітичну модель (рис. 8в). В ПК ЛІРА-САПР із аналітичної моделі формуємо розрахункову модель (рис. 8г). На основі отриманих результатів розрахунку та конструювання формуємо робочу документацію: робочі креслення несучих конструктивних елементів, специфікації матеріалів, тощо (рис. 8д).

В результаті з двомірного креслення створено деталізовану інформаційну модель (рис. 8), яка надалі використовується програмними комплексами різного призначення (розрахунок кошторисів, побудова календарно-мережєвих графіків, інженерних мереж та устаткування, тощо) на всіх етапах життєвого циклу об'єктів будівництва, для доповнення її іншою необхідною інформацією.

На будь-якому етапі можна змінювати модель (додавати або вилучати елементи, змінювати її параметри, тощо). Всі зміни автоматично будуть відображені в таблиці параметрів моделі та в усіх моделях, що були створені в проекті.

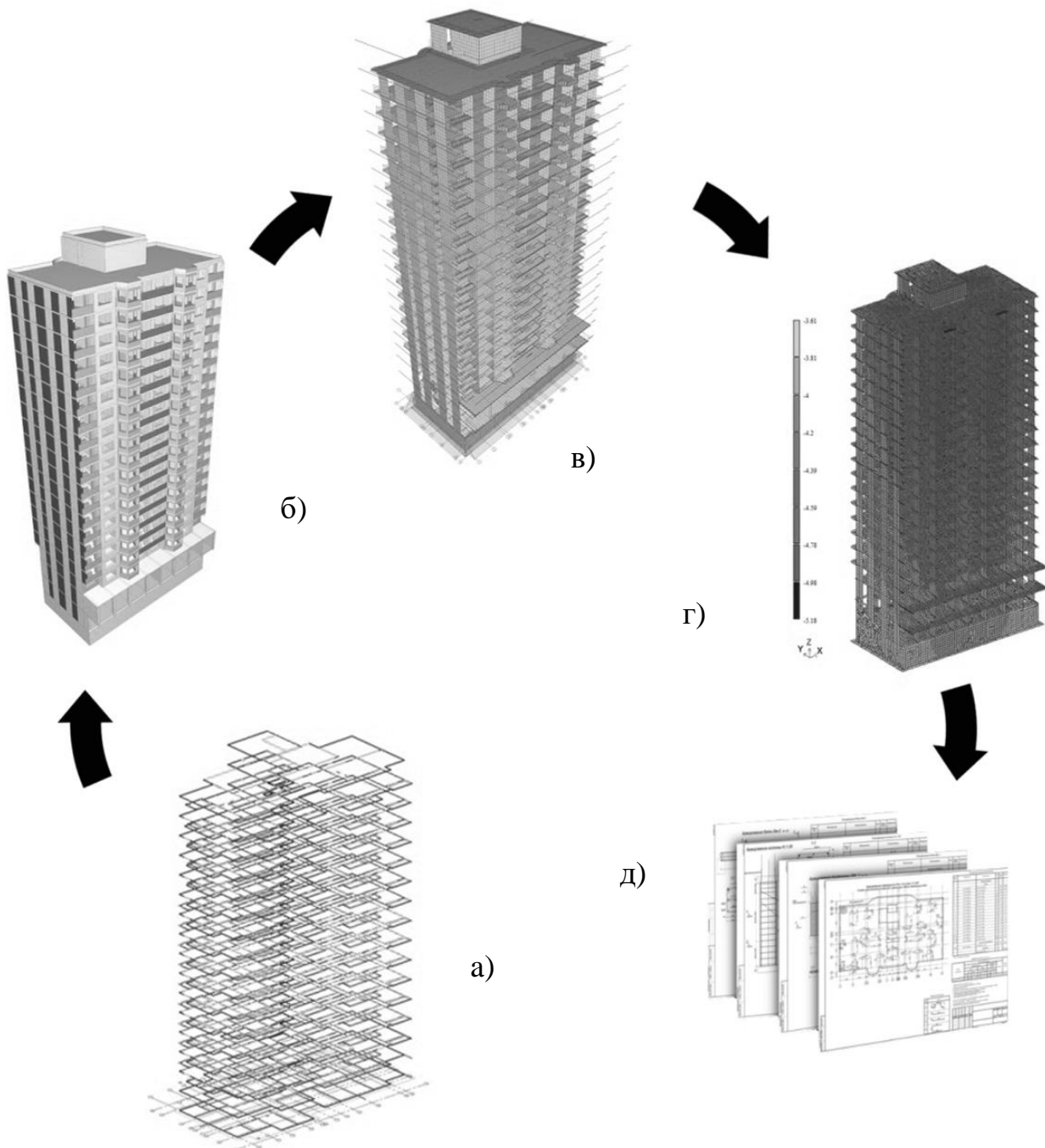


Рис. 8. Приклад трансформації інформаційної моделі об'єкта будівництва в рамках BIM-технології: а) модель, імпортована з AutoCAD; б) 3D-модель в ПК САПФІР-3D; в) аналітична модель; г) розрахункова модель в ПК ЛІРА-САПР; д) робоча документація

На прикладі наведено єдиний технологічний ланцюг інформаційної моделі об'єкта будівництва, що забезпечує спадкоємність між різними типами моделей та включає 2D-моделі планів, фізичну модель, аналітичну модель з навантаженнями, розрахункову модель та робочу документацію по моделі. Далі отримані моделі передаються в інші інформаційні системи для отримання специфікацій, календарно-мережових графіків, моделей інженерних мереж, тощо.

ВИСНОВКИ

Робота присвячена вирішенню актуальної науково–технічної задачі розробки методів та моделей інтегрованої інформаційної технології моделювання об'єктів будівництва. В роботі були отримані такі наукові та практичні результати:

1. Проведено аналіз методів побудови узагальненої моделі об'єктів будівництва та інтеграції даних в ІС моделювання об'єктів будівництва і визначено їх основні переваги та недоліки.

2. Виконано формалізацію типів моделей ВІМ–технології, на базі якої визначено основні критерії параметрів об'єктів будівництва, та вимоги, які до них висуваються, в залежності від їх використання в тих чи інших моделях.

3. Сформовано узагальнену модель об'єкта будівництва, що супроводжує його на різних етапах життєвого та є спільною для всіх учасників проекту.

4. Сформовано математичну модель інтеграції інформаційних моделей об'єктів будівництва та визначено основні підзадачі, для поєднання різнорідної інформації, отриманої від різних учасників на різних етапах.

5. Розроблено методи параметризації елементів об'єктів будівництва та запропоновано алгоритми взаємного ув'язування цих елементів між собою при відображенні в різних типах моделей. Результатом застосування даного методу є точність і координація даних проекту, від розробки концепції будівлі до його зведення і здачі в експлуатацію.

6. Розроблено програмний продукт та методи, які реалізують інтегровані моделі та інформаційну технологію моделювання об'єктів будівництва, що утворюють єдиний технологічний ланцюжок проекту. Наукові положення, висновки, пропозиції і рекомендації дисертаційної роботи можуть бути використані для подальшого розвитку технології інформаційного моделювання (ВІМ–технології) в будівництві. Робота впроваджена в проектно–будівельних компаніях України та використовується в програмному комплексі САПФІР–3D.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Праці у закордонних виданнях:

1. Киевская Е.И. Принципы параметрического моделирования строительных объектов [Текст] / Е.И. Киевская, М.С. Барабаш // Современное строительство и архитектура – Екатеринбург, 2016. – Вып. 1 – С. 16–22.

Автором описано принципи та вимоги до параметричного моделювання об'єктів будівництва.

2. Киевская Е.И. Структурирование параметров информационной модели здания [Текст] / Е.И. Киевская, М.С. Барабаш // Международный союз ученых

«Наука. Технологии. Производство» – Санкт–Петербург, 2016. – Вып. 1(17) – С. 13–17.

Автором проведено структурний аналіз параметрів інформаційних моделей будівель та сформовано основні критерії представлення їх в моделях.

3. Киевская Е.И. Классификация атрибутов информационной модели строительных объектов [Текст] / Е.И. Киевская // НАУКА И МИР Международный научный журнал – Волгоград, 2016. – Вып. 3(31), Том 1 – С. 57–59.

Автором запропоновано класифікацію атрибутів елементів об'єктів будівництва, що використовуються при створенні різних вигляді BIM–моделей.

Праці у фахових виданнях:

4. Задоров В.Б. Концепция создания современных информационных систем маркетинга предприятий [Текст] / В.Б. Задоров, К.И. Київська // Східно–Європейський журнал передових технологій, №3/2(39), 2009. – С. 18–25.

Автором розглянуто основні принципи взаємодії з клієнтами з розмежуванням прав доступу до інформації в інформаційних системах моделювання об'єктів будівництва.

5. Барабаш М.С. Использование методов интеграции для создания укрупненной информационной модели строительного объекта [Текст] / М.С. Барабаш, К.И. Київська // Управління розвитком складних систем – К. : КНУБА, 2016. – Вип. 25. – С. 114–120.

Автором запропоновано метод інтеграції параметричної моделі на базі програмного комплексу САПФІР–3D.

6. Барабаш М.С. Концепция создания информационной модели строительного объекта [Текст] / М.С. Барабаш, К.И. Київська // Проблемы развития городского сообщества: Наук.–техн. збірник – К.: ЦП «Компринт», 2016. – Вип. 1(15). – С. 60–68.

Автором запропоновано концепцію представлення інформації в інформаційній моделі об'єктів будівництва.

7. Київська К.И. Разработка элементов параметрической базы данных для информационной модели объектов строительства [Текст] / К.И. Київська // Технологический аудит и резервы производства, 2016. – Вип. 2/2(28). – С. 41–47.

Автором розроблено базу даних інформаційної системи, яка призначена для покращення процесу інтеграції інформації про будівельні об'єкти з різних систем автоматизованого проектування та наведено приклади її практичного застосування.

8. Киевская Е.И. Принципы BIM–технологии проектирования на примере программного комплекса САПФИР–3D [Текст] / Е.И. Киевская, Т.А. Лященко // Управління розвитком складних систем, збірник наукових праць, випуск 26/2016 – К.: КНУБА, 2016. – С. 141–145.

Автором описано основні принципи технології інформаційного моделювання об'єктів будівництва (BIM–технології).

Матеріали міжнародних наукових конференцій:

9. Київська К.І. Принципи параметричного моделювання об'єктів будівництва [Текст] / К.І. Київська // Тези доповідей II Міжнародного науково–практичного конгресу «МІСЬКЕ СЕРЕДОВИЩЕ – XXI СТ. «АРХІТЕКТУРА. БУДІВНИЦТВО. ДИЗАЙН» – К.: НАУ, 2016. – с. 24–25.

10. Киевская Е.И. Моделирование зданий с несущим каркасом из монолитного железобетона в САПР САПФИР–ЖБК [Текст] / М.А. Кузьменко, О.О. Похнюк, Е.И. Киевская // Тези доповідей XVI Міжнародної науково–практичної конференції молодих учених і студентів «Політ–2016». Секція «Міське, промислове, цивільне та транспортне будівництво» – К.: НАУ, 2016. – с. 62–63.

АНОТАЦІЇ

Київська К.І. Інформаційні інтегровані технології моделювання об'єктів будівництва. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, 2016 р.

Дисертація присвячена задачі створення узагальненої моделі об'єктів будівництва, що складається з набору моделей, отриманих з програмних комплексів різного призначення на різних етапах життєвого циклу. Проведено аналіз методів побудови узагальненої моделі об'єктів будівництва та інтеграції даних в інформаційних системах (ІС) моделювання об'єктів будівництва. Для вирішення розробленої математичної моделі інтеграції інформаційних моделей об'єктів будівництва, запропоновано методи параметризації їх елементів та взаємного ув'язування цих елементів між собою при відображенні в різних типах моделей.

Розроблено програмний продукт, в якому реалізовано інтегровані моделі та інформаційну технологію моделювання об'єктів будівництва, що утворюють єдиний технологічний ланцюжок проекту.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені в проектно-будівельних компаніях України та використовуються в програмному комплексі САПФИР–3D.

Ключові слова: BIM–технологія; параметричне моделювання; інформаційні технології; інформаційне моделювання, системи автоматизованого проектування; інтеграція моделей.

Киевская Е.И. Информационные интегрированные технологии моделирования объектов строительства. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, 2016.

Диссертация посвящена задаче создания обобщенной модели объектов строительства, состоящей из набора моделей, полученных из программных комплексов различного назначения на различных этапах жизненного цикла. Проведен анализ современных информационных систем (ИС) моделирования объектов строительства, средств интеграции их информационных моделей, для построения обобщенной модели объектов строительства. Выполнена формализация типов моделей BIM-технологии, на базе которой определены основные критерии параметров объектов строительства и требования, которые к ним предъявляются, в зависимости от представления в тех или иных моделях.

Для решения задачи создания обобщенной модели объектов строительства, разработана математическая модель параметризации, которая дает возможность синтезировать параметры из разных моделей с последующей их оценкой и решением проблемы различного представления идентичных параметров в различных моделях. Разработан метод многокритериального сочетания параметров элементов информационных моделей объектов строительства. Предложено использование метода автоматизированного сбора различных типов нагрузок на элементы модели.

Разработаны основные составляющие ИС: база данных (БД) нормативно-справочной информации (классификатор строительных материалов, справочники по нормативным значениям нагрузок и т.д.); БД параметров объектов строительства (данные о наборах параметров, характеризующих представление объектов в разных моделях); БД расчетной информации; БД пользователей системы, имеющих доступ к информации на различных этапах моделирования. Сформулированы основные требования к созданию БД и выбран подход для разграничения данных, полученных из различных моделей, и прав доступа к ним различными пользователями. Разработаны концептуальная, логическая и физическая схемы базы данных информационной интегрированной технологии моделирования объектов строительства, которые могут выступать основой для выполнения основного принципа BIM-технологии, а именно, формирования обобщенной параметрической модели объектов строительства.

Разработаны программные средства интеграции информационных моделей объектов строительства, которые содержат информацию о модели, полученную из различных ИС на различных этапах её создания.

Получила дальнейшее развитие технология информационного моделирования (BIM-технология), которая обеспечивает процесс минимально убыточной интеграции информации об объектах строительства и их элементов, в условиях функционирования различных систем автоматизированного моделирования.

Полученные результаты диссертационной работы внедрены в проектно-строительных компаниях Украины и используются в программном комплексе САПФИР-3D.

Ключевые слова: BIM-технология; параметрическое моделирование; информационные технологии; системы автоматизированного проектирования; интеграция моделей.

Kyivska K.I. Information technology integrated modeling of construction projects. – Manuscript.

The thesis a Candidate's degree in engineering science in specialty 05.13.06 – Information technologies. – Kiev National University of Construction and Architecture, Kyiv, 2016.

Dissertation is devoted to the task of creating a generalized model of construction projects, consisting of a set of models obtained from software systems for different purposes at different stages of the life cycle. The analysis of modern information systems, modeling of construction projects, means the integration of their information models for the construction of a generalized model of construction projects. Made formalization types BIM-technology models, based on which the basic criteria for the construction of objects of the parameters and requirements, which they are subject, depending on the presentation in the various models.

To solve the problem of creating a generalized model of construction projects, developed a mathematical model parameterization which allows to synthesize the parameters of the different models and their subsequent evaluation and solution of various representations of identical parameters in different models. A method of multi-criteria combination of parameters of elements of information models of construction projects. It is proposed to use the method of automated collection of various types of loads on the elements of the model.

Developed software integration of information models of construction projects, which contains information about the model, derived from a variety of information systems at various stages of its creation.

The results of the thesis are introduced in the design and construction companies of Ukraine and used in the software package SAPFIR-3D.

Keywords: BIM-technology; parametric modeling; Information Technology; computer aided design; integration.