

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ

УДК 004.021:004.92

Є.В. Бородавка

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

СПОСОБИ ПОДАННЯ МОДЕЛІ БУДІВЕЛЬНОГО ОБ'ЄКТА

Проаналізовано інформацію, якою оперують архітектурно-будівельні САПР та проведено її декомпозицію на складові. Виокремлено основні моделі подання будівельного об'єкта в розрізі різних потреб проектування та встановлено взаємозв'язки між ними. Дослідження проведено в контексті розробки методології створення універсальних розширюваних САПР.

Ключові слова: модель, інформація, метадані, архітектурно-будівельні САПР, САх-засоби

Постановка проблеми

Більшість сучасних САПР прагнуть об'єднати в собі якомога більше функцій, щоб досягти максимально можливої уніфікації. Звичайно це позитивна тенденція і автор підтримує її. Але окрім позитивних рис така тенденція має й іншу сторону. Уніфікація веде до збільшення функціональності і максимального ступеня інтеграції САПР різного призначення, але в той же час це веде до підвищення складності таких систем і необхідності використання спеціалістів більш високого класу для роботи з ними. Тому багато сучасних САПР вузькоспеціалізовані і спрямовані на розв'язання конкретних задач. З огляду на те, які саме задачі покликана розв'язувати та чи інша САПР, вона оперує тією моделлю подання інформації, яка необхідна для розв'язання цих задач. В даній роботі збудимо коло задач проектування і обмежимося засобами, що автоматизують процес проектування власне *будівель*.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Як правило внутрішня організація і реалізація існуючих САПР це комерційна таємниця кожного розробника, тому знайти специфікації, за якими створена та чи інша САПР – неможливо. Лише в захищених дисертаціях по будівельним САПР можна знайти описи методик і алгоритмів, але вони здебільшого пов'язані з розрахунком тих чи інших будівельних конструкцій або інженерних мереж.

Мета даної роботи – на основі доступних матеріалів та власному досвіді розробника, провести аналіз існуючих САПР та визначити їх способи подання інформації про будівельний об'єкт. Необхідно визначити, які саме способи подання

моделі будівельного об'єкта використовуються в різних САх-системах, що в них спільного і які між ними існують відмінності.

Виклад основного матеріалу дослідження

Спосіб подання моделі будівельного об'єкта безпосередньо залежить від напрямку автоматизації проектувальних робіт. Залежно від того, які дані про будівлю необхідні для автоматизації конкретного етапу її проектування, створюється модель подання інформації про об'єкт будівництва. Для початку визначимо, які типи моделей будівельного об'єкта існують, а потім – які з них і в яких комбінаціях використовуються в САх-системах різних напрямів.

Оскільки процес проектування будівлі це процес, в результаті якого проектувальники прагнуть отримати об'єкт, що буде існувати в реальному світі, то цілком зрозуміле бажання візуально побачити його майбутній вигляд. Раніше для цього використовувалися малюнки об'єкта, що проектується, створені архітекторами, а також макети, що відображали майбутню будівлю в зменшеному вигляді. З появою комп'ютерів та розвитком комп'ютерної графіки немає потреби в такому моделюванні. Максимально наближений до реального вигляд будівельного об'єкта можна змоделювати на комп'ютері. Отже перший спосіб подання моделі будівельного об'єкта – це віртуальна *тривимірна модель* або, так звана *3D-модель (M_{3D})*. Така модель максимально інформативна, адже дозволяє отримати інформацію як про всю будівлю в цілому, так і про окремі елементи. Причому деталізація інформації про елементи залежить від поставлених задач проектування. Тривимірна модель для будівельних об'єктів може бути розділена на два підтипи: архітектурна (**M_{3Da}**) та

розрахункова (M_{3D}). Обидві моделі є дещо спрощеними відносно повної тривимірної моделі. В архітектурній моделі можуть бути відсутні деякі дрібні конструкції, що не впливають на загальний вигляд будівлі та запропоновані архітектурно-планувальні рішення. Розрахункова модель містить лише несучі конструкції, а всі інші елементи замінюються навантаженнями на них. Або взагалі, в ній всі конструктивні елементи замінюються їх поданням у вигляді скінчених елементів.

На основі повної тривимірної моделі завжди можна отримати модель об'єкта будівництва у вигляді *двовимірних* креслень планів, розрізів та елементів (M_{2D}). Хоча таке подання навряд чи можна назвати повноцінною моделлю, адже за відсутності моделі M_{3D} , на основі лише моделі M_{2D} не можна здійснити автоматизацію більшості напрямів проектування будівлі. Але багато сучасних архітектурно-будівельних САПР – Architecture Engineering and Construction CAD (AEC CAD), використовують саме таку модель і лише її, оскільки це набагато простіше для розробника і дешевше для користувача. Звичайно, для будівельників, які виконують роботи по зведенню будівлі, двовимірні креслення є основними документами для проведення робіт і вони необхідні. Але як вже зазначалося, маючи тривимірну модель завжди можна отримати необхідний набір креслень. В загальному випадку зв'язок між цими моделями можна описати формулою перетворення:

$$M_{3D} \Rightarrow M_{2D}. \quad (1)$$

Перші два способи подання моделі будівельного об'єкта використовували в своїй основі геометричну інформацію. Але для деяких AEC CAD, що використовуються під час проектування будівель така інформація не обов'язкова і вона переважно не використовується на даному етапі розвитку засобів автоматизації проектувальних робіт. Наприклад, для розрахунку інженерних мереж цілком достатньою може бути *топологічна* модель мережі у вигляді графу (M_T). Звичайно така модель потрібна лише для розрахунку, а для фактичного прокладання мереж необхідно мати хоча б модель M_{2D} , а в ідеалі, звичайно, модель M_{3D} . Але, якщо засіб AEC CAD орієнтований на розрахунок мереж, а не на їх реальну топологію і прокладання, то такої моделі цілком достатньо. Хоча топологічну модель мережі можна отримати перетворенням її реальної тривимірної моделі:

$$M_{3D} \Rightarrow M_T \quad (2)$$

З точки зору кошторисів, будівельний об'єкт це обсяги робіт, які необхідно виконати, матеріали з яких побудована будівля та кошти, які на це необхідні. Все це в сукупності можна назвати *нормативно-кошторисна об'ємна* модель будівельного об'єкта (M_Q). Фактично таку модель можна назвати специфікацією елементів з їх прямими та супутніми об'ємними показниками, яка розширена кошторисними нормативами, що несуть цінкову інформацію. Звичайно, ці об'ємні показники могли бути отримані з моделі M_{3D} , що суттєво зменшило б витрати часу і трудових ресурсів для їх введення. Цю залежність можна описати за допомогою формули породження

$$M_{3D} \Rightarrow M_Q \quad (3)$$

Як бачимо, розглянуті вище моделі, різними способами описують будівельний об'єкт, виходячи із специфічних потреб та функціональності САХ-засобів, що їх використовують. Але моделі M_{2D} , M_T і M_Q знаходяться в залежності від тривимірної моделі (M_{3D}) (1-3). Тобто, маючи тривимірну модель будівельного об'єкта та його складових, можна отримати будь-яке інше подання у вигляді тієї моделі, що необхідна для розв'язання конкретної задачі автоматизації проектування та частково-управління.

Окрім розглянутих вище статичних моделей будівельного об'єкта та його складових, в сучасних умовах все більшого розвитку набувають динамічні моделі. Це моделі, де окрім кількісних і якісних характеристик об'єкта будівництва використовується також *час*. Звичайно це не новий підхід, адже часові показники використовуються в програмних засобах кошторисних розрахунків і, звичайно, в системах управління будівництвом, де вони є одними з основних показників. Але раніше часові характеристики використовувалися для розширення моделі M_Q , надаючи таким чином інформацію про ступінь завершеності будівництва об'єкта з одного боку, та ступінь завершеності фінансування – з іншого. Фактично це не самостійна модель (M_{Qt}), а лише розширення існуючої, тому що часові характеристики повинні бути прив'язані до кількісних характеристик будівельного об'єкта. В сучасних САХ-засобах часові характеристики використовуються для розширення тривимірної моделі, і такі моделі називають *4D-моделі* (M_{4D}). В таких моделях, кожному атомарному елементу окрім геометричних характеристик присвоюється часова характеристика, за якої в кожен момент часу можна отримати інформацію про ступінь завершеності даного елемента. Часова характеристика в такому випадку впливає

відповідним чином на підрахунок об'ємних характеристик елемента та його візуалізацію, якщо така можливість реалізована.

Новою тенденцією в проектуванні будівельних об'єктів є об'єднання розширеної геометричної тривимірної моделі (M_{4D}) та розширеної нормативно-кошторисної об'ємної моделі (M_{Qt}) в одну єдину модель – M_{5D} . Така модель об'єднує в собі геометричні, кошторисно-фінансові та часові характеристики кожного елемента будівлі, що забезпечує максимальну інтеграцію різних напрямів проектування.

Всі розглянуті типи моделей будівельного об'єкта, їх розширення та взаємозв'язки подані на схемі (рис. 1).

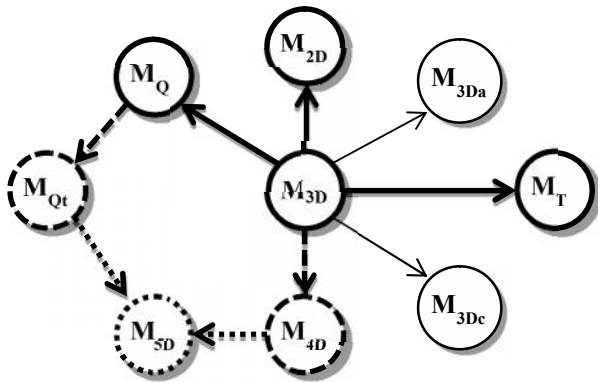


Рис. 1. Типи моделей будівельного об'єкта та їх взаємозв'язки

Тепер спробуємо класифікувати інформацію, якою оперують розглянуті типи моделей. Для виокремлення типів інформації скористаємось методом *декомпозиції*. Тобто кожен із розглянутих типів моделей спробуємо розкласти на типи інформації, якими вони оперують.

Тривимірний модель (M_{3D}) перш за все, містить *геометричну* інформацію (I_G) про елементи будівельного об'єкта. Це інформація про розміщення елементів у просторі, їх форму та розмірні характеристики:

$$I_G = \left\{ \bigcup_k |O_k(X, Y, Z, W), S_k \left\{ \bigcup_n G_{k,n} \right\} \bigcup_i (x_i, y_i, z_i, w_i) \right\} \quad (4)$$

де O_k – точка прив'язки кожного k -го елемента в глобальних однорідних ($W \neq 1$) або звичайних координатах ($W = 1$);

S_k – геометрична форма кожного k -го елемента тривимірної моделі;

$G_{k,n}$ – множина графічних примітивів, з яких складається геометрична форма кожного k -го елемента тривимірної моделі.

Наступний тип інформації, який обов'язково повинен бути наявним в тривимірній моделі це

топологічна інформація (I_T). Ця інформація вказує про геометричні взаємозв'язки між елементами – які елементи зв'язані між собою, які є дочірніми для інших чи вирізають в них отвори і т.п.:

$$I_T = \left\{ \bigcup_i \bigcup_j [e_i \cup | \cap | e_j]; e_i, e_j \in E, i \neq j \right\}, \quad (5)$$

де E – множина всіх елементів тривимірної моделі будівельного об'єкта.

В принципі, описаних вище типів інформації достатньо для побудови «чистої» тривимірної моделі будівельного об'єкта. Але архітектурно-будівельні САПР найчастіше використовують або архітектурне, або розрахункове розширення тривимірної моделі. Оскільки «чиста» тривимірний модель це лише «красива картинка», без інформації про *типи* або *матеріали* елементів будівельного об'єкта її «краса» викликає великі сумніви. Тому для повноти моделі необхідно використати ще один тип інформації – *атрибутивну* (I_A). Атрибутами може бути будь-яка інформація: числова, текстова, графічна. Для будівельного об'єкта і його елементів важливими атрибутами є тип елемента, його матеріал та інші додаткові специфічні атрибути (наприклад, розрахункові формули) залежно від задач, що стоять перед конкретним засобом АЕССАД:

$$I_A = \left\{ \bigcup_i |T_i, M_i, \bigcup_j P_{i,j} \right\}, \quad (6)$$

де T_i – тип кожного i -го елемента тривимірної моделі будівельного об'єкта;

M_i – матеріал кожного i -го елемента тривимірної моделі об'єкта будівництва (не обов'язковий елемент);

$P_{i,j}$ – j -й специфічний параметр i -го елемента тривимірної моделі будівельного об'єкта.

Для двовимірної моделі (M_{2D}) характерні ті ж самі типи інформації, що і для тривимірної. Тобто головним тут є геометричний тип інформації (I_G), але в спрощеному вигляді. Формула (4) справедлива і для тривимірної моделі, за відсутності четвертої однорідної координати ($W = 1$) і за таких умов:

$$(Z = 0; X, Y \in R) \vee (X = 0; Z, Y \in R) \vee (Y = 0; Z, X \in R). \quad (7)$$

Як і в тривимірній моделі, в двовимірній теж є *топологічна* інформація (I_T), що описує взаємозв'язки між елементами моделі (5). Також в моделі M_{2D} , як і в моделі M_{3D} ,

бажаная наявність атрибутивної інформації (I_A), що наповнює модель змістом.

Окрім наведених вище типів інформації, ніяких інших не потрібно. Тому фактично, можна стверджувати, що модель M_{2D} оперує тими типами інформації, що і модель M_{3D} навіть дещо в спрощеному вигляді стосовно геометричної інформації.

Тепер розглянемо топологічну модель (M_T). Вже навіть з її назви стає зрозумілим, що основним типом інформації, яка тут використовується, є топологічна інформація (I_T), оскільки для цієї моделі найважливішим моментом є взаємозв'язки між елементами моделі. Звичайно, елементи моделі повинні мати певні характеристики, тому очевидним є необхідність використання в цій моделі атрибутивної інформації (I_A).

Фактично наведених типів інформації цілком достатньо для функціонування топологічної моделі. Але для більшої виразності і зручності використання, топологічну модель часто використовують у поєднанні з двовимірною моделлю (M_{2D}), а вона за собою «тягне» окрім описаної, ще й геометричну інформацію (I_G). Хоча формально в модель (M_T), геометрична інформація не входить.

Модель M_Q фактично складається з одного типу інформації – атрибутивної (I_A). Але класичного поняття атрибуту, що описується парою «ім'я – значення», недостатньо для повноцінного опису цієї моделі. Для опису моделі M_Q необхідна інформаційна структура, яка б дозволяла описувати матрицю параметрів. Такий тип інформації пропонується називати *параметричною* (I_P). Тому фактично модель M_Q складається з одного типу інформації – параметричної, що дозволяє будь-який елемент чи групу елементів будівельного об'єкта описувати матрицею атрибутів, що може розширюватися як у «висоту», так і в «ширину». Тут можна зробити зауваження, що атрибутивний тип інформації (I_A) є підмножиною інформації параметричного типу (I_P):

$$I_A \subseteq I_P. \quad (8)$$

Розширені моделі M_{4D} та M_{Qt} наслідують інформаційний склад своїх базових моделей – M_{3D} та M_Q відповідно. Часові характеристики, що в них використовуються, легко можуть бути віднесені до атрибутивного типу інформації (I_A). Тому ніяких додаткових типів інформації вони не породжують і не використовують.

Таким чином, ми визначили інформаційний склад всіх моделей будівельного об'єкта, застосувавши до них декомпозицію. Тепер для побудови класифікації типів інформації використаємо метод *агрегації*, тобто об'єднаємо типи інформації всіх моделей, будівельного об'єкта (I_B):

$$I_B = (I_G, I_T, I_A) \cup (I_G, I_T, I_A) \cup (I_T, I_A) \cup (I_P) \\ = (I_G, I_T, I_A, I_P). \quad (9)$$

В результаті ми отримали чотири типи інформації, яка використовується в усіх поданнях моделі будівельного об'єкта (рис. 2).

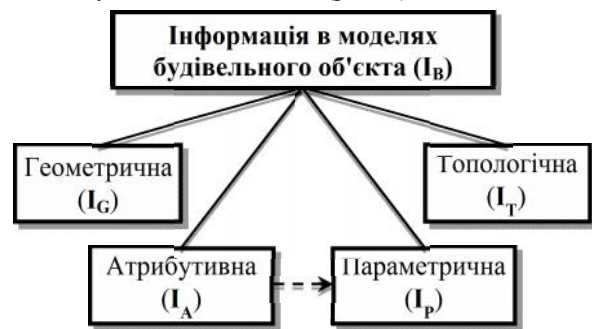


Рис. 2. Класифікація інформації, що використовується в поданнях моделі будівельного об'єкта

Таким чином, в результаті аналізу та дослідження моделей будівельного об'єкта, виявлено та класифіковано типи інформації, що використовуються в цих моделях.

Оскільки метою даної роботи є визначення способів подання моделі будівельного об'єкта для подальшого створення методології побудови *універсальних* систем проектування будівельних об'єктів, то цілком очевидно, що такі системи повинні оперувати всіма наведеними моделями. Тобто модель будівельного об'єкта в універсальній САХ-системі (M_B) це буде об'єднання всіх моделей, що розглянуті вище або їх розширень, що є більш універсальним:

$$M_B = M_{2D} \cup M_{4D} \cup M_T \cup M_{Qt}. \quad (10)$$

Інформація, що циркулює в універсальній САХ-системі, поділяється на чотири типи, що були визначені вище. Але тут необхідно розглянути ще один аспект. Ми розглянули інформацію як складову частину кожної моделі. Але будь-який тип інформації можна розділити на два види: інформація, яка знаходиться власне в *конкретній* моделі (I_B) та *інваріантна* (загальна) інформація (I_I), що може бути використана для будь-якої моделі будівельного об'єкта. Наприклад, в окремо взятому будівельному об'єкті використовуються елементи типу A і типу B . А елементи типу C і D не

використовуються. Але ж вони повинні бути десь описані необхідними типами інформації. Для універсальних САх-систем склад інваріантної інформації (I_I) такий же, як і модельної інформації (I_B).

Виходячи з написаного вище, ми отримали розширення класифікації інформації, що буда запропонована на початку. Тепер вся інформація розділяється на два види: модельна (I_B) та інваріантна (I_I). А кожен з цих видів, в свою чергу розділяється на чотири типи, що визначені раніше. Але тут слід знову згадати про загальну мету даної роботи. Створюється методологія побудови не просто універсальних САх-систем, а методологія побудови універсальних *розширюваних* САх-систем. Оскільки розширюваність є важливою складовою будь-якої САПР, а тим більше архітектурно-будівельної, необхідно розглянути методи її забезпечення в розрізі інформації. Щоб забезпечити розширюваність САх-системи без втручання розробників, необхідно забезпечити можливість породження нових інформаційних об'єктів. Тобто необхідно мати такий тип інформації, що дозволяє породжувати інформаційні об'єкти одного з чотирьох типів, що описані вище. Таку інформацію будемо називати *метаінформація* (I_M), тобто інформація про інформацію. Цей тип інформації належить до виду інваріантної інформації, оскільки теж є загальним для моделей всіх можливих об'єктів будівництва.

В сучасних САх-засобах реалізація розширювання заснована на різних методах. Дуже поширений метод застосування плагінів (Plug-In) – невеликих застосунків, що розширюють функціональність основної програми. Ще один метод – використання скриптів, що написані на одній із скриптових мов програмування (JScript, VBScript). В AutoCAD використовується метод написання надбудов над основною функціональністю, що реалізуються на внутрішніх мовах системи – AutoLISP та VisualBasic. В ArchiCAD використовується метод написання аддонів (Add-On) – спеціалізованих DLL на мові C++, що вмонтовуються в середовище виконання основного застосунку. Але хоча вказані методи і використовуються для розширювання функціональності основних застосунків без допомоги розробників, все ж вони вимагають навичок програмування і виконуються професійними програмістами. Тому їх не можна назвати методами розширення без втручання в програмний код. Це засоби реалізації механізму

відкритості, що є невід'ємною частиною сучасних САх-систем. Реальна *розширюваність* – це надання користувачу інструментарію, для породження нових інформаційних об'єктів, що задовольняють його специфічні потреби в проектуванні в цілому, і будівельних об'єктів зокрема, без потреби втручання в програмний код існуючого застосунку чи написання своїх додаткових застосунків або бібліотек. Інформаційною основою такого інструментарію є метаінформація, або інша її назва – *метадані*.

З урахуванням необхідності інваріантності та розширюваності, модифікуємо схему класифікації інформації, що використовується в моделях будівельного об'єкта (див рис. 2). Кінцева схема класифікації інформації буде виглядати таким чином (рис. 3).

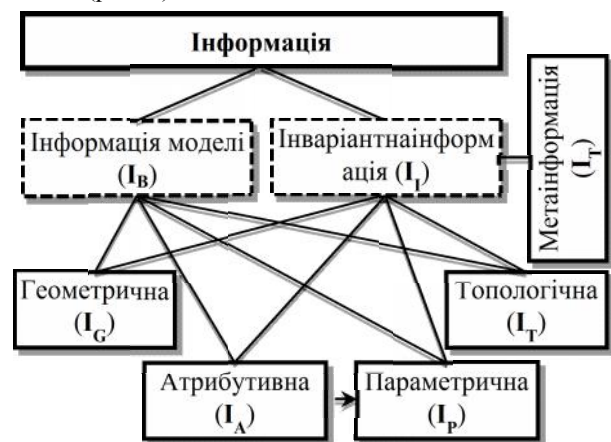


Рис. 3. Ієрархічна класифікація інформації, що використовується в поданнях моделі будівельного об'єкта

Отже, ми визначили основні типи моделей будівельного об'єкта та класифікували інформацію, якою оперують ці моделі. Тепер необхідно розглянути сучасні САх-засоби та проаналізувати їх на предмет використання в них визначених моделей. Проаналізовані лише найбільш розповсюджені вітчизняні та зарубіжні САх-засоби, що використовуються в проектних організаціях України. Для більшої виразності результатів дослідження, подамо їх у вигляді зведеної таблиці. В ній рядки відповідають САх-засобам різних напрямів, а стовпчики – моделям будівельного об'єкта.

Використання моделей будівельного об'єкта в сучасних САХ-засобах

НазваСАХ-засобу	ПризначенняСАХ-засобу	M _{2D}	M _{3D}	M _T	M _Q
			M _{4D}		M _{Qr}
AllPlan	Архітектура, інженерні мережі, конструктивні розрахунки	+	+	+	+
ArchiCAD	Архітектурне проектування	+	+	+	+
AutoCAD	САХ-засіб загального призначення	+	+	+	-
Autodesk Revit Architecture	Архітектурне проектування	+	+	+	+
Autodesk Revit MEP	Внутрішні інженерні мережі	+	+	+	+
Autodesk Revit Structure	Конструктивні розрахунки	+	+	+	+
Building Manager	Управління будівництвом	-	-	-	+
CAE Electro	Електросилове обладнання і мережі	+	-	+	+
PVS	Зовнішні інженерні мережі	+	-	+	+
SCAD	Конструктивні розрахунки	-	+	-	-
Spider Project	Управління будівництвом	-	-	-	+
ABK-3	Кошторисні розрахунки	-	-	-	+
БудCAD	САХ-засіб загального призначення	+	+	+	-
ЕЛЬФ	Електротехнічні мережі	+	+	+	-
ЛИРА	Конструктивні розрахунки	-	+	-	-
МОНОМАХ	Конструктивні розрахунки	+	+	+	+
САПФИР	Архітектурне проектування	-	+	+	+
СОЛЯРИС	Розрахунок інсоляції	+	+	+	-
Alkima for AutoCAD	Внутрішні інженерні мережі	+	+	+	+
WinELSO	Електросилове обладнання і мережі	+	-	+	+
ТК-ИСС	Кошторисні розрахунки	-	-	-	+
АС-4	Кошторисні розрахунки	-	-	-	+
ИНЖКАД	Зовнішні інженерні мережі	+	-	+	-

Висновки

Результати досліджень підтверджують, що САх-засоби оперують тими моделями, які необхідні для вирішення конкретних задач проектування і це є *першим висновком* проведеного аналізу. Тобто відслідковується чіткий розподіл САх-систем за напрямками автоматизації стадій життєвого циклу будівельного об'єкта, що, в свою чергу, визначає використання в них конкретних моделей будівельного об'єкта. Лише деякі з сучасних САх-засобів, що охоплюють практично увесь спектр напрямів автоматизації стадій життєвого циклу будівельного об'єкта, використовують майже всі способи подання моделі будівельного об'єкта. Відповідно вартість таких універсальних САх-систем на порядок вище, ніж вузькоспеціалізованих.

Другим висновком є те, що всі проаналізовані САх-системи мають інваріантну інформацію, яка найчастіше подана у вигляді бібліотек і баз даних стандартних об'єктів, матеріалів та елементів. Це підтверджує правильність виокремлення цього виду інформації в запропонованій класифікації (рис. 3).

Але з іншого боку, дослідження показали, що можливості розширювання в сучасних САх-засобах реалізовані на низькому рівні і, в основному, спираються на принципи і технології відкритих систем – це *третій висновок*. А це означає, що під час розробки методології створення універсальних розширюваних систем проектування будівельних об'єктів, необхідно приділити особливу увагу методам розширюваності, зокрема тим, що засновані на використанні метайнформації.

Список літератури

1. Барабаш М.С. Нова концепція автоматизації проектування об'єктів будівництва на основі цифрової моделі / М. С. Барабаш, С. Д. Коба // *Будівництво України*. – 2004. – № 5. – С. 31-34.
2. Бородавка Є.В. Логічна і фізична організація структури даних цифрової моделі об'єкта. Концептуальна модель ЦМО // *Східноєвропейський журнал передових технологій*. – 2006. – №3/3(21). – С. 47-49.
3. Бородавка Є.В. Цифрова модель об'єкта як засіб інтеграції архітектурно-будівельних програмних комплексів // *Східноєвропейський журнал передових технологій*. – 2006. – №2/2(20). – С. 1-4.
4. Бородавка Є.В. Моделі та засоби інформаційної інтеграції систем проектування будівель і споруд // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. – 2009. – №6(136). – С. 255-259.
5. Городецький О.С. Засоби підтримки процесу проектування будівель і споруд з використанням уніфікованої цифрової моделі об'єкта / О.С. Городецький,

Є.В. Бородавка // *Будівництво України*. – 2007. – №4. – С. 36-39.

6. Демченко В.В. Формальний опис і практичне використання уніфікованої цифрової моделі об'єкта будівництва / В.В. Демченко, Є.В. Бородавка // *Східноєвропейський журнал передових технологій*. – 2007. – №2/2(26). – С. 64-69.

Стаття надійшла до редколегії: 01.12.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Цюцюра, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.