

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ

УДК 004.021:004.92

Є.В. Бородавка

*Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ*

### **КЛАСИФІКАЦІЯ АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНИХ САПР**

*Розглянуто існуючі архітектурно-будівельні САПР, що використовуються в проектних організаціях України. Запропоновано деталізовану класифікацію розглянутих засобів в контексті їх використання в життєвому циклі будівельного об'єкта.*

**Ключові слова:** *архітектурно-будівельні САПР, управління життєвим циклом, САх, САД, АЕССАД, PLM*

#### **Постановка проблеми**

На сьогодні у світі існує близько 150 відомих компаній, що займаються розробкою різноманітних САПР. Скільки є ще невеликих організацій – достеменно невідомо. З часом великі компанії поглинають маленькі, але цей процес не досить швидкий і не такий розповсюджений. Тому загальна кількість фірм розробників САПР залишається приблизно однаковою. Розробників будівельних САПР серед них приблизно 30, тобто лише п'ята частина. Саме на їх продуктах і буде зосереджена основна увага. Звичайно кожна з цих фірм розроблює мінімум один продукт, а такі гіганти як Autodesk мають в своєму активі розробки десятків спеціалізованих САПР.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

У фундаментальній літературі не розглядаються конкретні кінцеві продукти фірм-розробників, оскільки на той час не було так багато реалізованих масових систем автоматизованого проектування. САПР спочатку розроблювалися під конкретні задачі і впроваджувалися в окремих організаціях. Звичайно такі варіанти САПР є і сьогодні, але вони здебільшого застосовуються великими компаніями для своїх специфічних потреб. В основному це машинобудування (автомобілі, кораблі, літаки) або побудова специфічних споруд (реактори атомних електростанцій, мости, тунелі).

В роботах [1-4] паралельно з основними дослідженнями також було проведено аналіз процесу будівництва та програмних засобів, що використовуються під час проектування будівель і

споруд. Було виокремлено основні етапи проектування будівельного об'єкта, а також найбільш розповсюджені програмні засоби, що використовуються на конкретних етапах.

**Метою** даного дослідження є визначення основних програмних засобів, що використовуються під час проектування будівельних об'єктів, встановлення їх призначення, місця в життєвому циклі будівлі та можливості їх взаємодії.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Існує декілька класифікацій систем автоматизованого проектування. Класична і найдавніша з них наступна.

1. За рівнем формалізації розв'язуваних задач: системи побудовані на повністю формалізованих методах розв'язання проектних задач; системи, що проводять проектні роботи, які не піддаються повній формалізації; системи, що організують пошук розв'язання неформалізованих задач.

2. За функціональним призначенням: системи розрахунково-оптимізаційні; графічні системи; системи автоматизованого проектування конструкцій; графоаналітичні системи; системи підготовки технічної документації; системи обробки результатів експериментальних досліджень; інформаційні системи; системи технологічної підготовки програм для верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ).

3. За спеціалізацією: спеціалізовані системи; інваріантні системи.

4. За технічною організацією: системи з центральним процесорним керуванням; системи, що комплектуються автоматизованими робочими

місцями конструктора (APM); системи з власними обчислювальними ресурсами.

Така класифікація придатна до будь-яких САПР, але ми будемо розглядати її лише в розрізі систем автоматизованого проектування в будівництві. Якщо поглянути на дану класифікацію з точки зору існуючих сучасних САПР, то легко зробити висновок, що вона не зовсім адекватна сучасним реаліям. Звичайно ніхто не каже, що вона неправильна, але якщо ми будемо намагатися застосувати дану класифікацію до сучасних САПР, то в нас нічого не вийде з однієї простої причини – кожна з існуючих САПР підпадає під декілька категорій. А все тому, що САПР постійно удосконалюються і об'єднують в собі все більше різноманітних функцій. І це добре, тому що ми рухаємося в напрямку універсалізації всіх систем автоматизованого проектування. Хоча очевидно, що на даному етапі розвитку абсолютна універсалізація неможлива з різних причин.

У вітчизняній науці та літературі поняття САПР досить широке і охоплює великий спектр задач в різних галузях. В західній літературі застосовуються більш вузькоспеціалізовані поняття, які в останні роки все частіше проникають і в нашу літературу. Зараз поширений англomовний загальний термін, що позначає різноманітні технології автоматизації за допомогою комп'ютера САх – ComputerAided. В свою чергу технології САх поділяються за функціональними напрямками. Серед них виокремлюють три основні складові:

1. ComputerAidedDesign (CAD) – автоматизоване проектування. Термін використовується для позначення широкого спектру комп'ютерних інструментів, які допомагають інженерам, архітекторам та іншим професіоналам у здійсненні проектування. Будучи ключовим інструментом у рамках концепції управління життєвим циклом виробу, системи автоматизованого проектування включають в себе безліч програмних і апаратних засобів – від систем двовимірного креслення до тривимірного параметричного моделювання поверхонь і об'ємних тіл. Найчастіше саме цей термін і ставлять у відповідність нашому терміну САПР. По областях застосування CAD традиційно поділяються на: архітектурно-будівельні (ArchitectureEngineeringand Construction CAD – AECCAD); механічні (Mechanical CAD– MCAD); електронні (Electronic CAD – ECAD або ElectronicDesignAutomation – EDA); технологічні (Computer-Aided ProcessPlanning –CAPP).

2. ComputerAidedEngineering (CAE) – автоматизоване конструювання. Використання спеціального програмного забезпечення для

проведення інженерного аналізу міцності та інших технічних характеристик компонент і складань, виконаних в системах автоматизованого проектування (CAD). Програми автоматизованого конструювання дозволяють здійснювати динамічне моделювання, перевірку та оптимізацію виробів та засобів їх виробництва. Традиційні галузі аналізу включають в себе: аналіз напруженості деталей і складань методом скінченних елементів; аналіз теплових та рідинних потоків методами обчислювальної гідродинаміки; аналіз кінематики; моделювання динамічних механічних взаємодій; моделювання виробничих операцій (лиття, пресування та ін.). У процесі проведення будь-якого виду аналізу в системах CAE традиційно виокремлюються три етапи його проведення: попередня обробка даних (побудова за геометричною моделлю виробу (CAD-даними) потрібної моделі досліджуваного процесу – наприклад, сітки скінченних елементів, точок докладання зусиль та їх векторів); аналіз моделі за допомогою спеціалізованого обчислювача; заключна обробка результатів (візуалізація результатів розрахунків математичної моделі).

3. ComputerAidedManufacturing (CAM) – автоматизоване виробництво. Термін використовується для позначення програмного забезпечення, основною метою якого є створення програм для керування верстатами з ЧПУ (ComputerizedNumericalControl – CNC). Вхідними даними CAM – системи є геометрична модель виробу, розроблена в системі автоматизованого проектування (CAD). В процесі інтерактивної роботи з тривимірною моделлю в САМ-системі інженер визначає траєкторії руху різального інструменту по заготовці виробу (так звані CL-дані, від cutterlocation– положення різця), які потім автоматично верифікуються, візуалізуються (для візуальної перевірки коректності) і обробляються постпроцесором для отримання програми управління конкретним верстатом.

Ще один спосіб класифікації САПР – за характером базової підсистеми. В цій класифікації розрізняють такі САПР [5].

1. САПР на базі підсистеми машинної графіки та геометричного моделювання. Ці САПР орієнтовані на пристрої, де основною процедурою проектування є конструювання, тобто визначення просторових форм та взаємного розташування об'єктів. Тому до цієї групи належить більшість графічних ядер САПР в області машинобудування.

2. САПР на базі СУБД. Вони орієнтовані на програми, в яких при відносно нескладних математичних розрахунках обробляється великий об'єм даних. Такі САПР переважно зустрічаються в техніко-економічних програмах, наприклад при

проектуванні бізнес-процесів, але застосовуються також при проектуванні об'єктів, що подібні до щитів управління в системах автоматики.

3. САПР на базі конкретного прикладного пакету. Фактично це автономно використовувані програмно-методичні комплекси, наприклад, імітаційного моделювання виробничих процесів, розрахунку міцності за методом скінченних елементів, синтезу і аналізу систем автоматичного управління і т.д. Часто такі системи належать до систем CAE. Прикладами можуть слугувати програми логічного проектування на базі мови VHDL, математичні пакети типу MathCAD.

4. Комплексні (інтегровані) САПР, що складаються із сукупності підсистем попередніх видів. Характерними прикладами комплексних САПР є CAE/CAD/CAM системи в машинобудуванні або САПР великих інтегральних схем (ВІС). Так, САПР ВІС включають в себе СУБД і підсистеми проектування компонентів, принципів, логічних і функціональних схем, топології кристалів, тестів для перевірки придатності виробів. Для керування такими складними системами застосовують спеціалізовані системні середовища.

Іншим, більш простим, варіантом класифікації САПР є класифікація за вартістю:

- САПР нижнього рівня: \$500–\$2000 за робоче місце;
- САПР середнього рівня: \$2000–\$20000 за робоче місце;
- САПР високого рівня: понад \$20000 за робоче місце.

Звичайно таким методом можна класифікувати всі наявні САПР, але така класифікація малоінформативна по відношенню до їх спеціалізації і функціонального призначення. Така класифікація може використовуватися як додаткова до вже існуючих, розширюючи інформативну частину цінними показниками. Хоча, зважаючи на нестабільність курсів валют і цінової політики взагалі, покладатися на абсолютну точність цих показників не варто.

З усіх наведених класифікацій, найбільш точною і зрозумілою, є класифікація, що використовується в західній літературі. Вона розділяє всі САПР за напрямками, що робить її досить зручною та зрозумілою. Для більшої зручності розуміння ієрархії систем САХ пропонується їх класифікацію подати у вигляді схеми (рис. 1).

Це далеко не повний перелік всіх напрямків САХ-систем, декомпозицію можна продовжувати і далі, але нас цікавить лише один напрямок – архітектура і будівництво. САПР цього напрямку в

подальшому будемо називати просто АЕССАД або архітектурно-будівельні САПР, щоб уникати неоднозначності поняття САПР, яке в цілому набагато ширше.

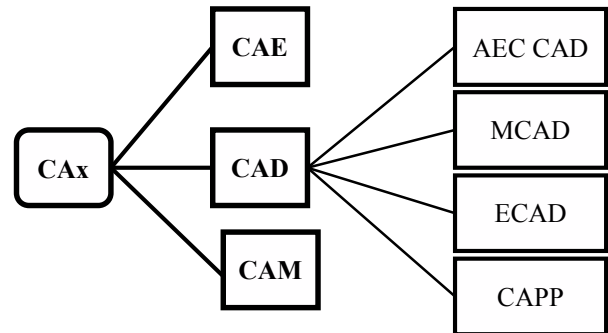


Рис. 1. Класифікація САХ-систем

Слід звернути увагу на такий момент – хоча в наведеній класифікації САХ-систем можна знайти найбільш близький відповідник визначенню САПР (це – САД), все ж не варто відкидати всі інші. У визначеннях САЕ і САМ зазначається, що вони в якості вхідної інформації використовують результати проектування в САД-системах, а значить їх спільне використання забезпечує автоматизацію всього життєвого циклу продукту (об'єкта). Тому всі САХ-системи є складовою управління життєвим циклом продукту – ProductLifecycleManagement (PLM). Звичайно в PLM використовуються багато інших систем і технологій, але їх розгляд не є метою роботи.

Для початку спробуємо вдосконалити класифікацію саме АЕССАД, причому зробимо це різними методами. Проведення класифікації важлива частина створення методології побудови систем проектування будівельних об'єктів, оскільки дозволяє формалізувати задачі, які стоять перед розробниками конкретних програмних засобів.

Класифікацію АЕССАД пропонується виконати у вигляді ієрархічної структури, де на кожному рівні буде здійснюватися декомпозиція за функціональними напрямками. Пропонується така класифікація АЕС САД за типами будівельних об'єктів: АЕС САД промислових будівель; АЕС САД цивільних будинків; АЕССАД специфічних споруд (мости, дороги, тунелі і т.д.).

Далі пропонується всі АЕССАД класифікувати за напрямками автоматизації проектувальних робіт і прив'язати до типів будівельних об'єктів. Звичайно багато напрямків АЕССАД будуть наявні у всіх типах будівельних об'єктів. Тому, для полегшення сприйняття класифікації, вона подається у вигляді схеми (рис. 2).

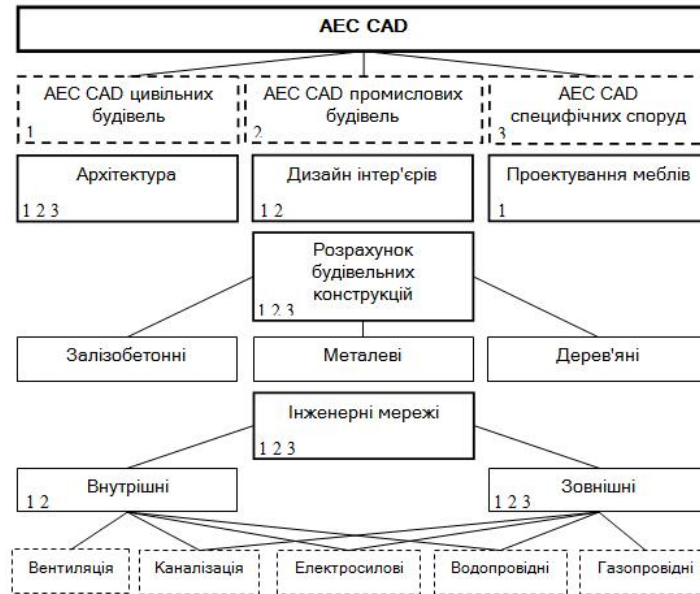


Рис.2. Класифікація АЕССАD за типами будівельних об'єктів

Звичайно наведена класифікація вже більш інформативна, ніж попередні. Але вона ідеальна для користувача, який намагається вибрати програмні засоби для автоматизованого проектування конкретного будівельного об'єкта, що належить до одного з наведених типів. Для розробника засобів АЕССАD така класифікація не дає відповіді на питання, що спільного між АЕССАD різних напрямків. З позиції розробника необхідно знати, якими видами подання інформації про будівельний об'єкт оперує АЕССАD того чи іншого напрямку. В цьому розрізі пропонується класифікувати всі АЕССАD на дві категорії:

Використовують двовимірні креслення будівельного об'єкта або його складових.

Використовують тривимірну модель будівельного об'єкта або його складових (поверхів, приміщень, будівельних конструкцій і т.д.).

Далі проведемо розподіл АЕССАD за напрямками з прив'язкою до класифікації, що запропонована. Отримана класифікація за видами подання інформації про будівельний об'єкт наведена на схемі (рис. 3).

Звичайно не всі конкретні програмні засоби, що є реалізаціями АЕССАD певного напрямку, можуть строго відповідати наведеній класифікації (рис. 3), але в ідеалі, це повинно бути так.

У наведених класифікаціях були розглянуті лише АЕССАD відокремлено від всього життєвого циклу будівельного об'єкта. Але як вже зазначалося

вище, в сучасній науці і техніці САХ-системи розглядаються в контексті управління життєвим циклом продукту (PLM). Тому при розробці будь-якої системи автоматизованого проектування будівельних об'єктів необхідно враховувати можливість її включення в PLM цих об'єктів.

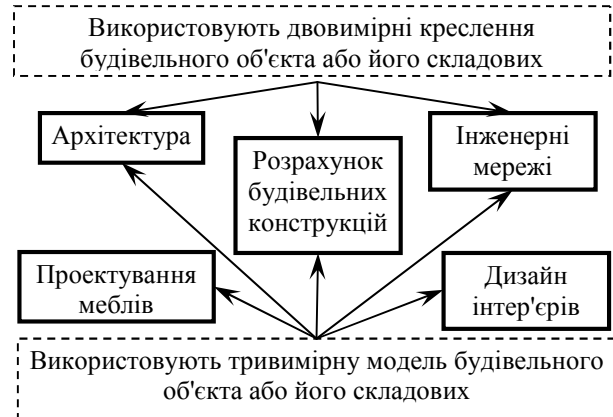


Рис.3. Класифікація АЕССАD за видами

А для цього необхідно розглянути всі складові життєвого циклу будівельного об'єкта (проектування, будівництво, експлуатація, утилізація), виокремити та деталізувати ті з них, в яких можуть застосовуватися САХ-системи, програмні засоби та інформаційні технології.

На сучасному етапі розвитку будівництва найбільш автоматизовані стадії життєвого циклу будівельного об'єкта це проектування та управління будівництвом, а також частково стадія експлуатації.

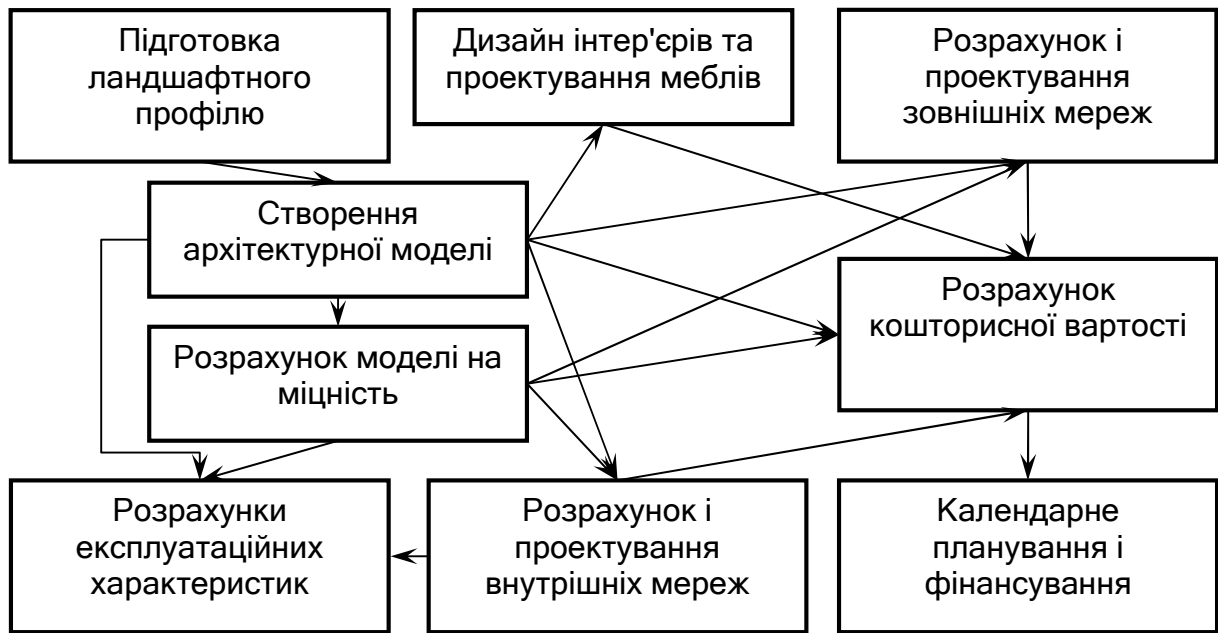


Рис. 4. Деталізований фрагмент життєвого циклу будівельного об'єкта

Якщо виокремити та деталізувати лише їх, то ми отримаємо схему (рис. 4).

Як бачимо зі схеми (рис. 4), самих лише АЕССАД не достатньо для автоматизації всіх складових життєвого циклу будівельного об'єкта. Класифікацію АЕССАД потрібно розширити за рахунок її доповнення компонентами автоматизованих систем управління (АСУ) та програмних засобів (ПЗ) розрахунків експлуатаційних характеристик (освітлення, шумоізоляція, рівень забруднення навколишнього

середовища і т. п.) будівельного об'єкта. Всі наведені компоненти підпадають під загальну назву САх, оскільки використовують автоматизацію з використанням комп'ютера. Розгляд цих компонент дозволить виявити спільні риси для всіх САх-систем, що використовуються при створенні будівельного об'єкта. А це досить важливо при розробці методології створення уніфікованих розширюваних систем автоматизованого проектування будівельних об'єктів, оскільки

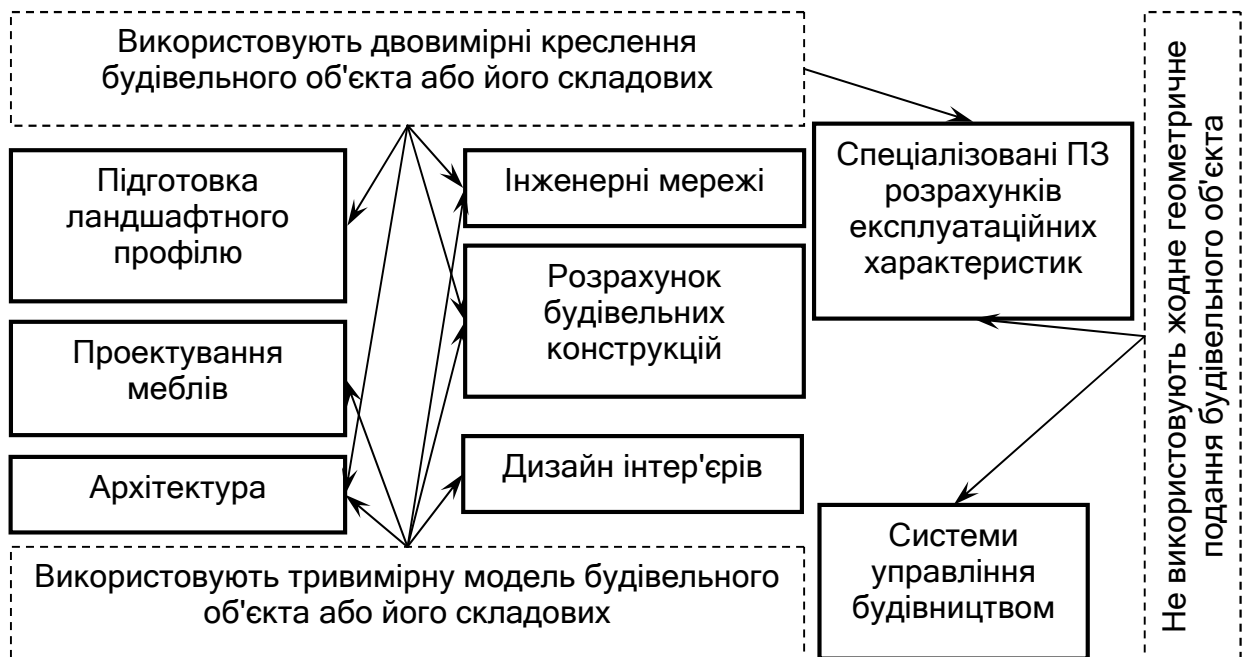


Рис. 5. Класифікація САх-систем, що використовуються в PLM будівельних об'єктів за видами інформації

дозволить виявити і врахувати напрямки розширення та інтеграції АЕССАД з іншими компонентами, що використовуються в PLM.

В результаті викладеного аналізу, робимо *висновок*: дослідження і класифікація лише АЕССАД не дає повного уявлення про інформацію, що використовується в PLM будівельних об'єктів та види її подання. Тому разом з АЕССАД необхідно розглянути деякі АСУ та спеціалізовані ПЗ, що використовуються в PLM.

Результатом розширення класифікації АЕССАД (рис. 3) буде класифікація САХ-систем, що використовуються в PLM будівельного об'єкта за видами подання інформації (рис. 5). Окрім вказаних двох категорій класифікації з АЕССАД за видами подання інформації пропонується додати третю – засоби, що не використовують жодне геометричне подання будівельного об'єкта або його складових.

Як бачимо зі схеми (рис. 5) в більшості сучасних спеціалізованих ПЗ та систем управління будівництвом не використовується жодна геометрична модель будівлі чи її складових. Але такий підхід не дозволяє максимально автоматизувати та інтегрувати різні стадії життєвого циклу будівельних об'єктів, оскільки багато інформації доводиться вводити вручну, або взагалі розраховувати ручним способом. Яскравим прикладом цього слугують програмні засоби кошторисних розрахунків. В якості вхідної інформації вони потребують об'ємні показники будівлі. Їх отримують з креслень найчастіше ручним вимірюванням, а потім вносять з клавіатури в програмний комплекс з паралельною прив'язкою до нормативів, яка теж відбувається в ручному режимі.

### Висновки

В результаті аналізу створеної класифікації САХ-систем робимо *висновок*: переважна більшість АЕССАД потребують тривимірної моделі об'єкта, що проектується, або його складових, а також різноманітних двовимірних креслень. Системи управління будівництвом та спеціалізовані програмні засоби, які на сьогодні не мають такої моделі, могли б її мати і це суттєво полегшило б процес проектування. Відсутність тривимірного подання будівельного об'єкта в багатьох програмних засобах пояснюється суто економічними причинами – це суттєво зменшує їх вартість, а цей показник в наших умовах має вагоме значення. Але оскільки метою цієї роботи є класифікація САПР для подальшої розробки методології створення універсальних систем проектування будівельних об'єктів, то необхідність наявності тривимірного

графічного ядра очевидна. Але тут слід зауважити, що потрібно розрізняти:

- можливість збереження інформації про тривимірний об'єкт ( $3DO_i$ );
- можливість візуалізації тривимірного об'єкта ( $3DO_v$ );
- можливість створення тривимірного об'єкта ( $3DO_c$ );
- можливість редагування тривимірного об'єкта ( $3DO_e$ ).

Ієрархію складності реалізації вказаних можливостей можна описати формулою включення:

$$3DO_i \subset 3DO_v \subset 3DO_c \subset 3DO_e.$$

Для деяких будівельних САХ-засобів необхідно реалізувати всі наведені можливості, а для деяких достатньо лише візуалізації чи навіть просто інформації про геометрію, за якою можна здійснити підрахунок технологічних обсягів.

Перспективними є подальші дослідження архітектурно-будівельних САПР на предмет виявлення способів подання моделі будівельного об'єкта в них та її декомпозиції на складові. Це дозволить отримати необхідні теоретичні знання для створення програмних засобів для автоматизації проектування будівельних об'єктів.

### Список літератури

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Норенков І.П. Основи автоматизованого проектування: Учебник для вузів. 2-е издание, перераб. и доп. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 336 с.

Стаття надійшла до редколегії 01.11.2011

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