

УДК 69.691-4:004.92

Є.В. Бородавка

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

## УЗАГАЛЬНЕНА КЛАСИФІКАЦІЯ ТИПОВИХ БУДІВЕЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Проаналізовано типові будівельні елементи та наведено їх основні геометричні характеристики. На основі проведеного аналізу визначено спільні геометричні ознаки будівельних елементів та запропоновано їх узагальнену класифікацію. У подальшому запропонована класифікація буде використана для створення цифрових моделей будівельних елементів.

**Ключові слова:** будівельний елемент, конструкція, геометрична ознака, класифікація, атрибут

### Постановка проблеми

Будівництво завжди було одним з пріоритетних напрямків розвитку людства. Розробка ефективних моделей, методів та засобів автоматизації всього процесу створення будівельного об'єкта є важливим розділом наукових досліджень. Дана стаття є продовженням серії статей, що присвячені методології створення універсальних розширюваних систем підтримки життєвого циклу будівельних об'єктів.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботах [1; 2] було покладено початок дослідженням щодо створення єдиної уніфікованої цифрової моделі об'єкта, для підвищення ефективності автоматизованого проектування будівель і споруд.

В роботі [3] розглянуто етапи життєвого циклу будівельного об'єкта, визначені їх основні характеристики: моделі, інструменти, виконавці.

В роботах [4; 5] проаналізовано способи подання моделі будівельного об'єкта та запропоновано узагальнену модель розширюваної системи автоматизації життєвого циклу будівельного об'єкта.

### Постановка завдання

Для створення моделі будівельного об'єкта, необхідно проаналізувати основні складові елементи будівлі та виявити серед них спільні характеристики і властивості. Метою даної роботи є визначення основних типових будівельних елементів та їх класифікація за спільними ознаками.

### ОБОБЩЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Проанализированы типичные строительные элементы и приведены их основные геометрические характеристики. На основе проведенного анализа определены общие геометрические признаки строительных элементов и предложена их обобщенная классификация. В дальнейшем предложенная классификация будет использована для создания цифровых моделей строительных элементов.

### GENERALIZED CLASSIFICATION TYPICAL CONSTRUCTION ELEMENTS

The most typical building elements and provides their basic geometric properties. Based on the analysis determined the common geometrical characteristics of building elements and offers the generalized classification. Further, the proposed classification will be used to create digital models of building elements.

### Виклад основного матеріалу дослідження

В сучасній будівельній галузі використовується досить широкий набір різноманітних будівельних конструкцій та елементів. З плином часу цей набір постійно поповнюється новими елементами, а існуючі елементи вдосконалюються. З точки зору розробника систем підтримки життєвого циклу будівельних об'єктів важливим є виокремлення основних будівельних елементів і конструкцій та групування їх за схожими ознаками. Це дозволить створити уніфіковані структури даних та класи для опису та роботи з цифровим поданням цих елементів та конструкцій.

Звичайно, проаналізувати всі можливі елементи та конструкції до їх появи неможливо. Тому необхідно для початку класифікувати всі відомі та найчастіше вживані будівельні елементи, і передбачити можливість появи нових елементів, що можуть бути приєднані до однієї з груп класифікації.

Спочатку будемо розглядати будівельні елементи за типами та визначати їх геометричні характеристики.

**Фундамент** – підземна частина будівлі, служить опорою всіх конструкцій споруди. Фундаменти бувають безперервними – по периметру всіх стін або перервними – у вигляді окремих стовпів і залізобетонних подушок, проміжки між якими засипають ґрунтом.

За призначенням розрізняють несучі та комбіновані фундаменти. Комбіновані здатні окрім

несучих функцій ще й виконувати функції сейсмічного захисту.

За конструктивними особливостями можна виокремити чотири основні типи фундаментів:

- стрічкові (можуть бути монолітними або збірними);
- суцільні (можуть бути монолітними або збірними);
- стовпчасті (влаштовуються під залізобетонні і металеві колони);
- пальові (можуть бути монолітними або збірними): забивні, труобетонні, буронабивні, набивні, палі-оболонки.

Стрічкові фундаменти характеризуються кількістю сходинок, їх висотою і шириною (рис. 1). Повну характеристику стрічкового фундаменту дає його вертикальний переріз. Геометрично повний стрічковий фундамент можна отримати шляхом перенесення його перерізу вздовж відрізка направляючої прямої чи кривої, що задає довжину фундаментної стрічки.

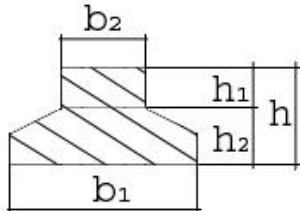


Рис. 1. Стрічковий фундамент:  $h$  – висота;  $k$  – кількість сходинок;  $h_1$  – висота сходинок;  $b_1$  – ширина сходинок

Пальовий фундамент складається з двох частин – власне палі і ростверка (рис. 2). Ростверк – монолітна чи збірна залізобетонна балка, влаштовується по верху палі і служить для передачі навантаження від будівлі на фундамент. Ростверки зв'язують палі між собою, тому з геометричної точки зору палі і ростверк це різні елементи, які знаходяться в топологічному зв'язку. Причому зв'язок може бути як 1:1 (у випадку збірного ростверка), так і 1:N (у випадку монолітного ростверка).

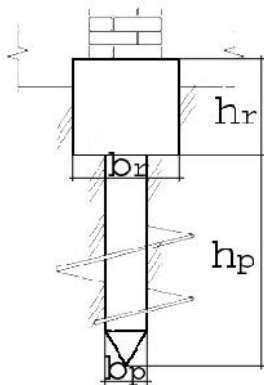


Рис. 2. Пальовий фундамент:  $h_p$  – висота палі;  $b_p$  – ширина палі;  $h_r$  – висота ростверка;  $b_r$  – ширина ростверка

Стовпчасті фундаменти призначені для монтажу залізобетонних та металевих колон (рис. 3). Вони мають форму ступінчастої піраміди з квадратною основою та отвором на вершині для вставки туди колони. Описати геометрично стовпчастий фундамент так само, як і стрічковий неможливо, оскільки в даному типі фундаменту є отвір, який необхідно врахувати.

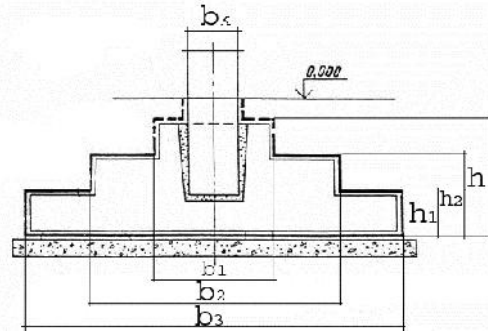


Рис. 3. Стовпчастий фундамент:  $h$  – висота;  $k$  – кількість сходинок;  $h_1$  – висота сходинок;  $b_1$  – ширина сходинок;  $b_k$  – ширина колони;  $l_k$  – довжина колони

Суцільний фундамент в загальному випадку це багатокутна призма. В найпростішому випадку основою призми є прямокутник (рис. 4). Геометрична інтерпретація такого типу фундаменту дуже проста – це координати вершин багатокутника і товщина.

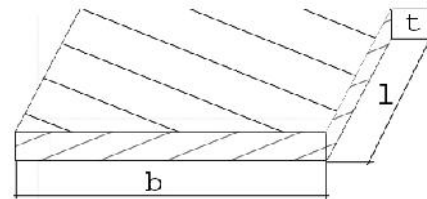


Рис. 4. Суцільний фундамент з прямокутною основою:  $b$  – ширина;  $l$  – довжина;  $t$  – товщина

За результатами аналізу геометричних характеристик фундаментів різних типів можна зробити висновок, що спільними для них всіх є лише тип будівельного елемента *фундамент*, що впливає з його призначення в будівельному об'єкті. З геометричної точки зору розглянуті типи фундаментів належать до різних категорій елементів.

**Стіна** – вертикальна огорожувальна конструкція, що відділяє приміщення від навколишнього простору (зовнішня) або сусіднього приміщення (внутрішня).

Геометрично стіни можна розділити на дві категорії: прямолінійні та багатокутні. До першої категорії належить переважна більшість стін, а друга використовується доволі рідко і на відміну від першої категорії, в таких стінах не буває вікон, дверей або інших наскрізних отворів.

У загальному випадку прямолінійні стіни мають вертикальний переріз у вигляді

паралелограма (рис. 5). Геометрична інтерпретація повної стіни отримується шляхом переміщення вертикального перерізу вздовж відрізка направляючої прямої або кривої. В тілі такої стіни можуть міститися наскрізні отвори, що можуть бути заповнені дверми або вікнами.

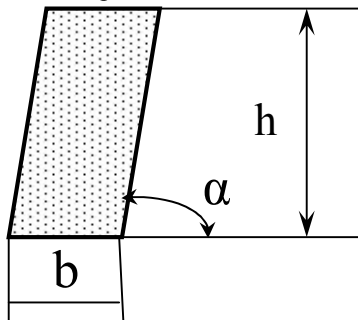


Рис. 5. Прямолінійна стіна:  $h$  – висота;  $b$  – товщина;  $\alpha$  – кут нахилу

Багатокутні стіни описуються не вертикальним, а горизонтальним перерізом основи (рис. 6). Геометрично повна стіна утворюється аналогічно до прямолінійної. Різниця лише в тому, що обирається горизонтальний, а не вертикальний переріз.

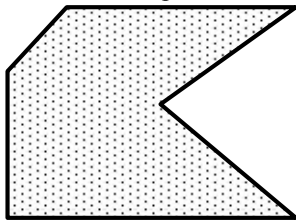


Рис. 6. Багатокутна стіна (горизонтальний переріз)

Проаналізувавши геометричні характеристики обох категорій стін, дійдемо висновку, що з точки зору геометрії, вони інтерпретуються практично однаково. Для першої категорії переріз вертикальний і в загальному випадку має форму паралелограма (найчастіше просто прямокутника), а для другої – переріз горизонтальний і в загальному випадку має форму багатокутника. Побудова обох варіантів стін здійснюється однаково – шляхом переміщення перерізу по направляючій, яка для першої категорії може бути криволінійною.

**Перекриття** – горизонтальна внутрішня захисна конструкція, що розділяє по висоті суміжні приміщення в будинку.

Залежно від способу влаштування конструкції перекриття бувають: збірні (великопанельні на кімнату, панельні, балкові по залізобетонних, металевих, дерев'яних балках), монолітні залізобетонні, збірно-монолітні, безригельні, кесонні, шатрові, цегляні, аочні, склепінчасті.

В загальному випадку геометрична форма перекриття це багатокутник, що має товщину. Збірні перекриття зазвичай мають прямокутний профіль в основі (рис. 7). Геометрично перекриття практично

ідентичні суцільним фундаментам. Лише для збірних перекриттів точна геометрична форма буде не призма, а зрізана піраміда. Хоча кути нахилу в ній настільки малі, що ними можна знехтувати. Інші особливості – це наявність вертикальних наскрізних отворів для монолітних перекриттів, а також наскрізних горизонтальних отворів для плит збірних перекриттів.

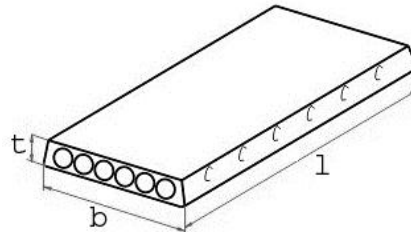


Рис. 7. Плита збірного перекриття:  $l$  – довжина;  $b$  – ширина;  $t$  – товщина

**Колона** – архітектурно оброблена вертикальна опора, як правило, кругла в перерізі. Елемент несучої конструкції споруд та архітектурних ордерів.

В загальному випадку колона описується висотою та кутом нахилу до горизонтальної площини (рис. 8). Переважна більшість колон мають строго вертикальну форму – кут нахилу до горизонтальної площини становить  $90^\circ$ , але можливі випадки, коли цей кут менший за  $90^\circ$ , і це необхідно враховувати.

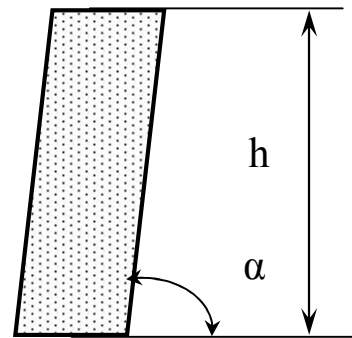


Рис. 8. Вертикальний переріз колони:  $h$  – висота;  $\alpha$  – кут нахилу

За геометричними параметрами перерізів розрізняють такі види колон: прямокутна, багатокутна, кругла, з перерізом двотавра, з перерізом швелера, з перерізом кутика, хрестоподібна, з пустотою.

Зважаючи на перелік можливих перерізів колон, їх можна розділити на три категорії: з круглим перерізом, з полігональним перерізом, і з пустотою. Тобто для опису геометричної форми колони, окрім висоти і кута нахилу, необхідно задати параметри перерізу.

Найчастіше застосовуються колони з круглим та прямокутним перерізами. Геометрично їх описати дуже просто – колона з круглим перерізом описується радіусом перерізу, колона з прямокутним перерізом описується шириною та довжиною (рис. 9).

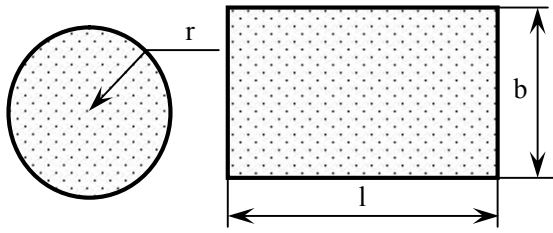


Рис. 9. Круглий та прямокутний перерізи колони:  
 $r$  – радіус перерізу;  $l$  – довжина перерізу;  
 $b$  – ширина перерізу

Окрім простих типів перерізів для колон використовуються спеціальні профілі. Кожен з них описується своїм набором параметрів (рис. 10). В цілому назва і суть цих параметрів збігається для всіх специфічних перерізів. В них виокремлюють поняття «полка» і «стінка», які мають товщину і висоту та ширину відповідно. В загальному випадку кожен з цих профілів є багатокутником, що може бути описаний як послідовність вершин з їх координатами. Такий підхід дозволить уніфікувати структуру даних для збереження інформації про геометричну форму перерізів. Але в такого підходу є й недолік – втрачається зрозуміле для людини описове формулювання характеристик перерізу, тобто поняття «полка» і «стінка» втрачаються разом з їх геометричними параметрами, що є не прийнятним.

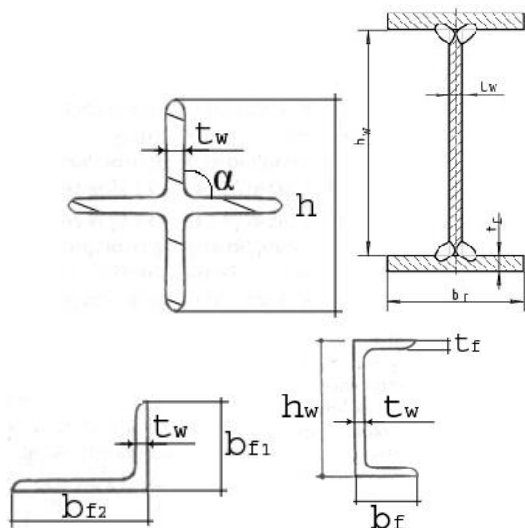


Рис. 10. Перерізи колон: хрестоподібний, кутиків, двотавровий, швелерний:  $h$  – висота перерізу;  $h_w$  – висота стінки;  $t_w$  – товщина стінки;  $b_f$  – ширина полки;  $t_f$  – товщина полки;  $b_{f1}$  – ширина однієї сторони кутика;  $b_{f2}$  – ширина іншої сторони кутика;  $\alpha$  – кут між сегментами хрестоподібного перерізу

Ще одним типовим набором перерізів колон є перерізи з пустотою (рис. 11).

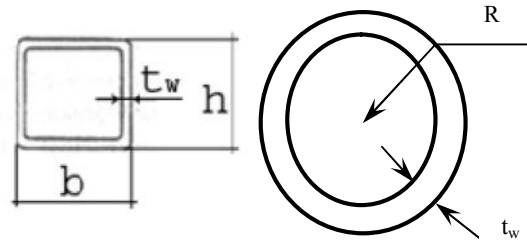


Рис. 11. Перерізи колон з пустотами:  $h$  – висота перерізу;  $b$  – ширина перерізу;  $t_w$  – товщина стінки;  $R$  – зовнішній радіус перерізу

Параметри перерізів з пустотою аналогічні до параметрів спеціалізованих профілів (двотаврів, швелерів). Відрізняються вони лише загальною геометрією, тому описуються аналогічно.

**Балка** – конструктивний елемент, зазвичай у вигляді бруса, що працює, головним чином, на вигин. Перерізи балок ідентичні до перерізів колон. Тому з геометричної точки зору балка, це колона, що повернута в просторі на  $90^\circ$  до горизонтальної площини (рис. 12).

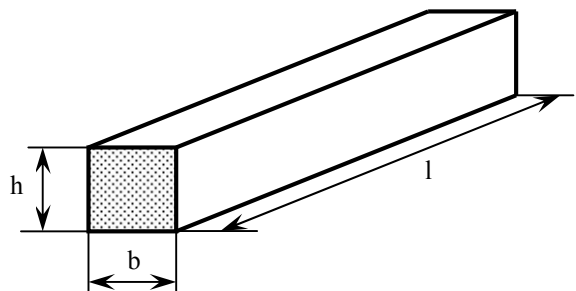


Рис. 12. Балка типового перерізу:  $l$  – довжина;  $h$  – висота;  $b$  – ширина

**Дах** – верхня частина огороження будинку. Вона складається з тримальної частини, що передає навантаження від снігу, вітру й власної ваги даху на стіни або окремі опори й зовнішньої оболонки – покрівлі.

Конструкція даху і вибір покрівельного матеріалу визначається на стадії проекту і залежить від дизайну фасаду будівлі і технології настилу крівлі. Крівля – верхній елемент даху (покриття), що оберігає будівлі від всіх видів атмосферних дій.

Дахи, складаються з таких елементів: крівля, скат, крокви, обрешетування, мауерлат, ребра, гребінь, карниз, фронтон, жолоб, ринва.

Дахи бувають різних форм. Основні з них подані на рис. 13.

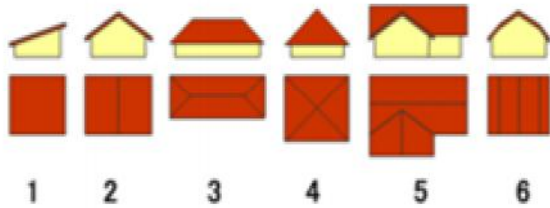


Рис. 13. Форми даху: 1 – односкілий; 2 – двоскатний;  
3 – вальмовий; 4 – шатровий; 5 – багатощипцевий;  
6 – мансардовий

З геометричної точки зору дах це набір плоских багатокутників, що розташовані в тривимірному просторі. Параметр «товщина даху» легко реалізується переміщенням багатокутника вздовж свого вектора нормалі.

**Двері** – елемент конструкції, призначені забезпечити доступ або, навпаки, обмежити проникнення в приміщення. Найчастіше під «дверима» розуміється отвір у стіні для пересування за межі будівлі і для обмеження цієї можливості.

**Вікна** – прорізи в зовнішніх стінах будинків, що призначаються для освітлення, інсоляції та провітрювання приміщення.

І вікна, і двері – це елементи будівлі, що не можуть існувати «самі по собі». Вони знаходяться в топологічному зв'язку з елементами типу «стіна». В загальному випадку геометрична форма дверей і вікон це багатокутник або коло в площині стіни (рис. 14).

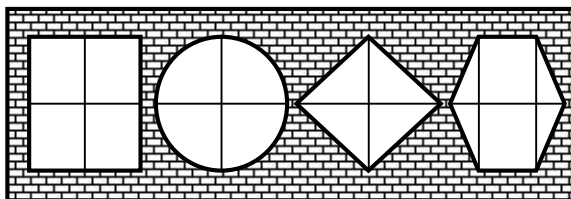


Рис. 14. Деякі геометричні форми вікон і дверей

**Сходи** – це конструктивний елемент будинку. Вони складаються з коосуру, маршру (частина сходів), підходинок, поручнів, проступів, сходиць, сходового майданчика та тятиви (рис. 15).

Розрізняють такі види сходів: одномаршові (прямі, криволінійні); з декількома маршрутами; гвинтові; комбіновані та інші.

В цілому сходи – складний будівельний елемент, що має багато різних параметрів. Для одномаршових, найпростіших сходів, такими параметрами є: кількість сходиць, ширина маршру, довжина маршру, загальна висота, ширина та висота сходиць. Багатомаршові сходи складаються з декількох одномаршових та одного чи декількох сходових майданчиків.



Рис. 15. Загальний вигляд сходів та їх основні елементи

Для гвинтових сходів характерними параметрами є такі: кількість сходиць, ширина маршру, загальна висота, радіус.

З геометричної точки зору будь-які сходи – це комплексна конструкція, що не може бути однозначно просто описана. В загальному випадку сходи можна описати граничною полігональною моделлю для їх візуалізації в тривимірному просторі. Для двовимірних побудов достатньо мати значення основних параметрів, що описують конкретний вид сходів.

Вище були коротко розглянуті основні будівельні елементи та їх типи і види залежно від конструктивних особливостей. В якості основного атрибуту класифікації розглядався тип будівельного елемента з огляду на його конструктивне призначення.

Тепер спробуємо проаналізувати та узагальнити зібрану інформацію та на основі цього побудувати класифікацію будівельних елементів залежно від геометричних особливостей їх побудови в комп'ютерному моделюванні.

Найпростіші будівельні елементи будуються з використанням плоских просторових багатокутників. Для утворення закінченої тривимірної моделі таких будівельних елементів достатньо здійснити переміщення твірного багатокутника вздовж деякої кривої. В найпростішому випадку ця крива є відрізком прямої.

Складні будівельні елементи неможливо описати простою плоскою геометричною фігурою. Вони складаються з декількох геометричних примітивів і є комплексними об'єктами. Для побудови тривимірної моделі таких елементів найпростіше використовувати граничні моделі. В ідеальному випадку бажано, щоб це були полігональні моделі з триангульованими гранями.

Відповідно до проведеного аналізу пропонується класифікація будівельних елементів за геометричними ознаками (рис. 16).

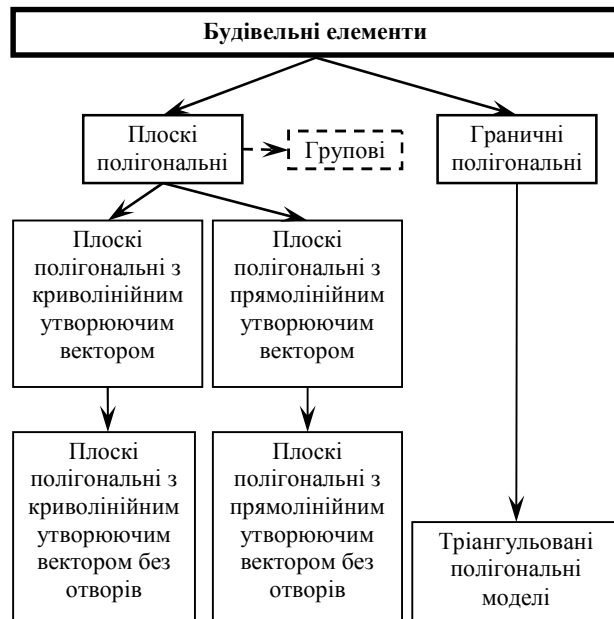


Рис. 16. Класифікація будівельних елементів за геометричними ознаками

Запропонована класифікація (рис. 16) є ієрархічною і на перший погляд проста, але вона дозволяє уніфікованим чином описати будь-який, розглянутий вище, будівельний елемент. Звичайно конструктивних типів будівельних елементів набагато більше, ніж було проаналізовано, але всі вони можуть бути віднесені до одного з класу запропонованих геометричних ознак.

Для спрощеного опису будівельних об'єктів, які є композицією плоских полігональних моделей введено додаткову абстрактну геометричну ознаку «групові». Вона необхідна, наприклад, для опису ферм. Ферма – це складний комплексний елемент, але описувати його через граничну модель не зовсім зручно. Простіше описати її як групу стержнів, кожен з яких це плоска полігональна модель.

Звичайно лише геометричних характеристик не достатньо для опису будь-якого елемента. Тому потрібно мати додатковий набір параметрів та атрибутів, щоб зберігати специфічну інформацію по кожному елементу.

## Висновки

Досліджені в статті типи будівельних елементів є найбільш розповсюдженими при спорудженні будинків. Їх аналіз показав, що багато елементів мають ряд спільних геометричних ознак, за якими виконана їх класифікація. На основі цієї класифікації в подальшому буде створено базовий набір графічних примітивів для опису всіх типових будівельних елементів.

Також подальшим розвитком даного дослідження повинно стати розділення моделей будівельних елементів на двовимірні та тривимірні з подальшим визначенням методів їх опису в цифровому вигляді.

## Список літератури

1. 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.
2. 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.
3. Borodavka Y.V. Product life cycle management in construction / Y.V. Borodavka, S.L. Pechenov// Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2010. – №6/3(48). – С. 31-34.
4. Бородавка Є.В. Модель розширеної системи автоматизації життєвого циклу будівельного об'єкта / Є.В. Бородавка // Управління розвитком складних систем. – 2010 – №4. – С. 69-71.
5. Бородавка Є.В. Способи подання моделі будівельного об'єкта / Є.В. Бородавка // Управління розвитком складних систем. – 2011 – №8. – С. 101–107.

Стаття надійшла до редколегії 15.10.2012

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