

РОЗРОБКА СИМВОЛЬНОГО ОБРАЗУ БУДІВЕЛЬНОЇ СПОРУДИ В САПР

Становський О. Л., Абу Шена О. М. А., Торопенко О. В., Дадерко О. І.

1. Вступ

Модель майбутнього об'єкта є головним предметом труда в будь-якому проектуванні, особливо, в автоматизованому. Із моделі (технічного завдання) процес проектування починається і моделлю (готовим проектом) – закінчується. Від адекватності та «зручності» таких моделей залежать усі споживчі характеристики та соціальна привабливість не тільки процесу створення опису нових складних об'єктів, але й експлуатаційної надійності останніх, нарешті, їхнього інноваційного потенціалу та конкурентоспроможності на всесвітніх ринках.

В той же час, природно, що під час проектування ці моделі постійно змінюються, пристосовуючись під відповідні технологічні етапи останнього:

- передпроектні проробки;
- розробка проектної документації;
- розробка робочої документації;
- види процесу: вибір, розрахунки, оптимізація, виконання креслень, погодження і т. ін.

Але зміни в моделях відбуваються не тільки за рахунок технологічної адаптації. Можна виділити такі об'єкти (в першу чергу, в будівельній галузі), в яких моделі вже під час проектування вимушені змінюватися ще й під впливом зовнішнього та внутрішнього оточуючого будівництва середовища. Останнє має такий вплив на проект майбутньої будівлі, що з одного технічного завдання можуть вийти зовсім різні проекти (а, відповідно, і різні будівлі). Ці проекти мають індивідуальні властивості, викликані, наприклад, технічною спадковістю від попередніх та сусідніх будівництв, рельєфом місцевості, станом під'їзних шляхів, зовнішніх комунікацій.

Таким чином, можна стверджувати, що САПР в будівництві потребує універсальних для всіх етапів проектування моделей, які відносно легко адаптуються під ці етапи та турбулентне середовище конкретної будівлі. В роботі в якості таких моделей розглядаються символні – розгалужені двійкові хромосоми, які добре зарекомендували себе в рамках генетичних алгоритмів оптимізації.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єкт дослідження – процеси автоматизованого проектування будівництва або реконструкції складних будівельних споруд в умовах дії індивідуальних обмежень на кожну споруду – технічною спадковістю, викликану внутрішнім та зовнішнім оточуючим будівництвом середовищем.

Технологічний аудит є способом діагностики інноваційної підсистеми САПР в будівництві, і дозволяє отримати характеристику інноваційного потенціалу при створенні нових і реконструкції існуючих будівельних споруд. Проведення технологічного аудиту дає проектному підприємству можливість сформулювати стратегію отримання прибутку з результатів інноваційної діяльності. Передбачається, що розробник використовує результати інноваційної діяльнос-

ті безпосередньо в процесі проектування, випускаючи нові будівельні проекти із застосуванням створених проектних інновацій.

Процедуру оцінки комерційного потенціалу інноваційної ідеї проводили за алгоритмом, що складається з семи послідовних кроків [1]:

- проведення попереднього аналізу;
- проведення пошуку аналогів;
- перевірка технічної здійсненності інноваційної ідеї;
- ідентифікація продукту (результату проектування) для порівняння з аналогами;
- визначення ринкових переваг створюваного продукту;
- практична здійсненність інноваційної ідеї.

Проведені дослідження підтвердили високий комерційний потенціал інноваційної ідеї: використання нових моделей в якості символічного образу будівельних об'єктів.

3. Мета і задачі дослідження

Мета роботи – зниження термінів індивідуального автоматизованого проектування і підвищення якості складних будівельних споруд шляхом розробки та впровадження адаптивних моделей об'єкта проектування на всіх етапах розробки проекту.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити *такі задачі*.

1. Виконати аналіз технічного завдання та його місця в процесі автоматизованого індивідуального проектування будівельних споруд.
2. Розробити принципи побудови та адаптації символічних моделей будівельних споруд у вигляді розгалужених двійкових хромосом.
3. Здійснити практичне випробування результатів дослідження з оцінкою їхніх техніко-економічних переваг перед відомими методами та моделями.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Як зазначено вище, усі впливи середовища на процес проектування в будівництві можна розглядати як спадщину, яка дісталася поточному проекту від попередніх та паралельних, *виконаних за тим же технічним завданням*, яка відіграє роль обмежень. Проблема спадковості в проектуванні завжди була складною і неоднозначною [2, 3]. Адже, з одного боку, підтримуючи стандартизацію (яка в цьому сенсі є синонімом спадковості), в деяких випадках зменшуємо вартість проектування, виготовлення і експлуатації складних систем. З іншого, – безумовно, стримуємо науково-технічний прогрес, якому чужде закостеніння [4, 5]. Спадковість не завжди буває «адміністративною». Більша її частина пов'язана з об'єктивними причинами, які навіть можна передбачити, але не можна скасувати.

Справа іноді доходить до того, що, коли проектувальник намагається перейти до креативної, творчої частини своєї роботи, йому через проблеми обмежень від спадковості вже не залишається, що оптимізувати! Саме тому перші автомобілі були підозріло схожі на кінні екіпажі тих часів, а ширина колії деяких сучасних поїздів дорівнює ширині колії грецьких колісниць часів Олександра Македонського [6, 7].

Автоматизація процесів проектування, розробки та впровадження спеціалізованих САПР вимагає додаткових методів і моделей, здатних не тільки пасивно враховувати спадковість, а й використовувати синергію. Підсумковий ефект взаємодії двох або більше факторів, такий, що ефект від їх спільної дії істотно

перевершує ефект кожного окремого компонента [8].

Особливо такий ефект спостерігається у будівельній галузі, яка, на перший погляд, дуже креативна в проектуванні, а на другий – як ніяка інша схильна до різних видів спадковості, особливо при реконструкції будівельних споруд [9]. Ще однією проблемою такого проектування є час, відпущений на нього умовами експлуатації або навіть виживання об'єкта, що підлягає реконструкції. Для вирішення цієї проблеми необхідно мати САПР, побудовану на методах і моделях, призначених саме для прискорення проектування в невибагливих умовах. Сучасне автоматизоване проектування реконструкції будівельної споруди, безумовно, вимагає нових моделей предметної області. Ці моделі мають бути однаково зручні як в «звичайних» інформаційних технологіях, так і у вирішенні завдань вибору, розрахунку, оптимізації та інших, властивих власне для проектування.

Одним з таких видів «універсальних» моделей, безумовно, є символічні [10, 11], наскрізне використання яких може червоною ниткою пройти через весь життєвий цикл проектування – від технічного завдання і до пробного виготовлення і «випробування» об'єкта. Головна перевага таких моделей – їх можна використовувати не тільки на різних етапах проектування для накопичення інформації про спадковість, але й для розв'язання «попутних» задач оптимізації об'єктів, наприклад, за допомогою генетичних алгоритмів [12].

Таким чином, проект будівлі має містити в своїй специфікації всі, передбачені стандартом розділи: перелік запозичених елементів або вузлів, перелік покупних і перелік знову спроектованих вузлів (рис. 1).

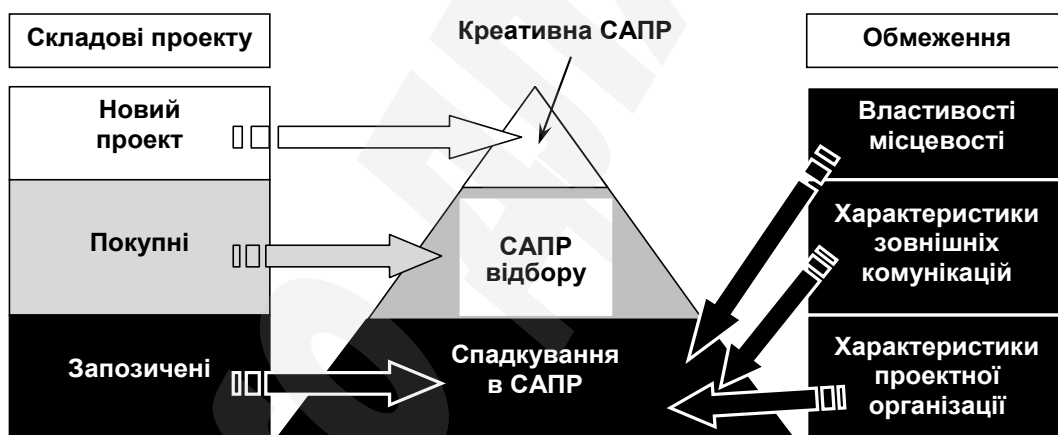


Рис. 1. Джерела спадкування, відбору та креативності в задачах проектування будівельних споруд

Відповідно, і САПР таких споруд повинна складатися, принаймні, з трьох основних підсистем: підсистема спадкування (запозичення), підсистема відбору та планування закупівель, а також креативна підсистема, що виконує нове проектування [13]. Обмеженнями в САПР виступають індивідуальні властивості місцевості, де планується побудувати конкретну споруду, характеристики зовнішніх комунікацій та особливості проектної організації.

При реконструкції виникають додаткові обмеження від спадщини попередньої будівлі.

5. Методи дослідження

В основу окремих підсистем символічних САПР покладено теорію аналізу технічних систем, теорію автоматизованого проектування та теорію еволюцій-

ної оптимізації за допомогою генетичних алгоритмів.

6 Результати дослідження

6.1. Аналіз технічного завдання та його місця в процесі автоматизованого проектування будівельних споруд

Звернемо увагу на те, що при «звичайному» проектуванні точка поліфуркації життєвого циклу об'єкта знаходиться в кінці цього проектування (рис. 2).

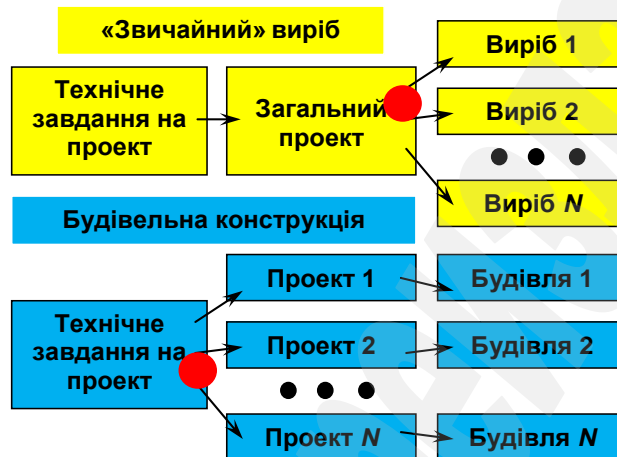


Рис. 2. Точки поліфуркації життєвого циклу звичайного і будівельного об'єктів проектування

Це пов'язано з тим, що у цьому випадку і технічне завдання, і проект є загальними для всіх виробів, відмінності яких від проекту пояснюються різними умовами їх виготовлення і експлуатації. У будівельній галузі все не так. Будівництво однотипних конструкцій [14, 15], реінжиніринг існуючих будівельних конструкцій [16] та інші чинники призводять до того, що спадковість починає проявлятися значно раніше. Точка поліфуркації зміщується на вихід технічного завдання (рис. 2).

В САПР будівництва з'являється нова підсистема «Корегування технічного завдання на проект». Нова структура взаємодії підсистем проектування з вихідним технічним завданням на проект наведена на рис. 3.

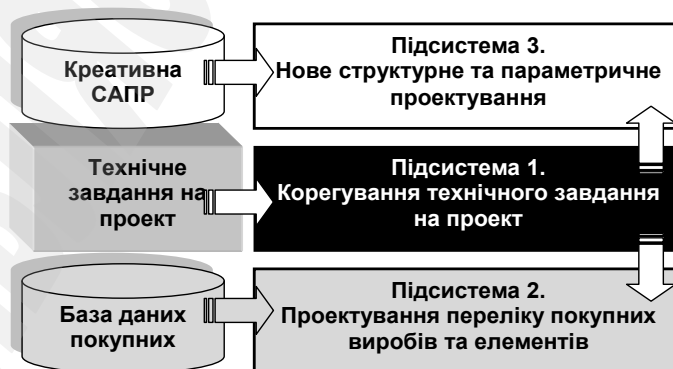


Рис. 3. Місце технічного завдання серед основних підсистем будівельних САПР

Наприклад, якщо на місцевості, де передбачається будівництво, існує прив'язка зовнішнього підведення комунікацій, то місце підведення комунікацій усередині будівлі

перестає бути розрахунковим, які б міркування зручності при цьому не висувалися. Коригування технічного завдання виконується постійно на протязі всього етапу проектування.

Таким чином, при проектуванні будівництва немає єдиного технічного завдання: спочатку воно адаптується під оточуюче середовище.

Далі виконаємо попередню формалізацію логічного простору будівельної споруди [17] та структурне проектування майбутнього об'єкта і виділимо із специфікації проекту оригінальні і покупні елементи і вузли (рис. 4).

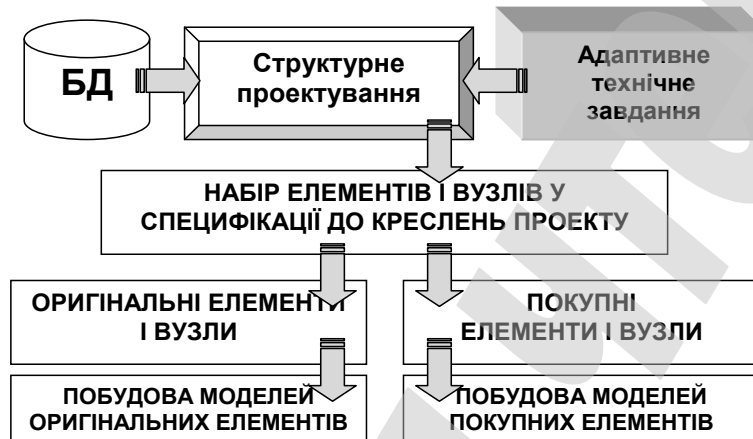


Рис. 4. Виділення структурних елементів конструкції

Для кожного елемента складемо список параметрів та їхніх значень (феноменологічний образ елементів або фенотип), які однозначно визначають цей елемент. В списку обов'язково відзначаються узагальнені, залежні і незалежні параметри. Остання інформація впливає та корегується із адаптивного технічного завдання.

Тепер, коли місце технічного завдання та необхідність його постійної адаптації під індивідуальний проект з'ясовані, можна переходити до побудови моделей кожного елемента.

6.2. Побудова та адаптація символічних моделей

Для цього для кожного феноменологічного образу створюється його генетичний образ (генотип) так, як це робиться при побудові розгалужених хромосом в методі комплексного генетичного алгоритму [18] (рис. 5).

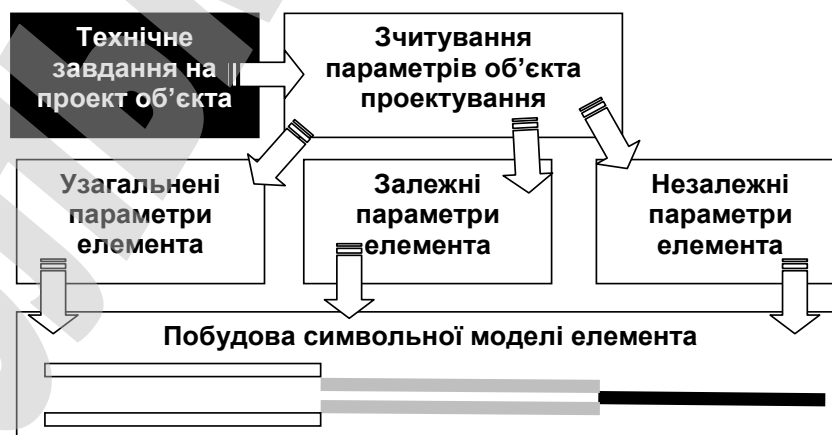


Рис. 5. Побудова символічних моделей покупних і нових елементів будівельної споруди

Поділ параметрів на узагальнені, залежні і незалежні дозволяє будувати складні хромосоми, властиві комплексному генетичному алгоритму проектування елементів об'єктів з внутрішніми зв'язками (рис. 6).

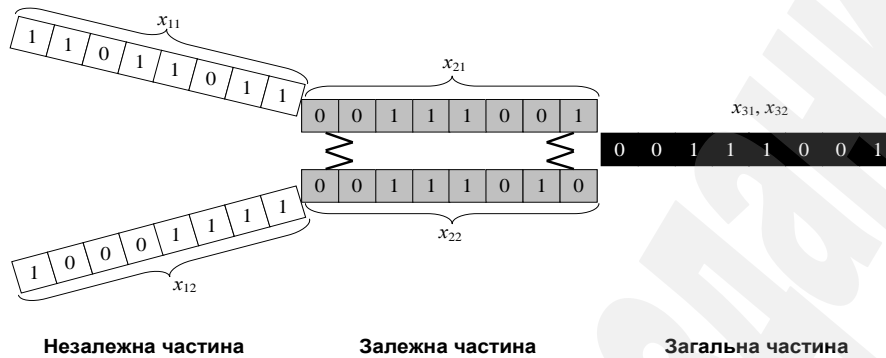


Рис. 6. Схема універсальної комплексної символічної моделі (хромосоми або генома) елемента об'єкта

Наведена на рис. 6 універсальна комплексна хромосома відбиває не тільки феноменологічний портрет об'єкта, що моделюється, але й різні види зв'язності між окремими параметрами останнього [19].

Хай символічна хромосома, зображена на рис. 6, відбиває початковий стан моделювання майбутнього елемента об'єкта, який відповідає технічному завданню на останній. Нехай також на перших етапах проектування відбувається адаптація такої моделі під оточуюче середовище або інші обмеження, про які згадувалося вище.

В роботі запропоновано метод врахування таких обмежень. В генетичного алгоритму відбираються «батьки», які піддаються далі двостатевому розмноженню, а двостатева мутація полягає в заміні 0 на 1 і навпаки. В запропонованому методі використовується метод одностатевого розмноження (рис. 7), в якому генотип (хромосома) єдиного батька просто клонується.

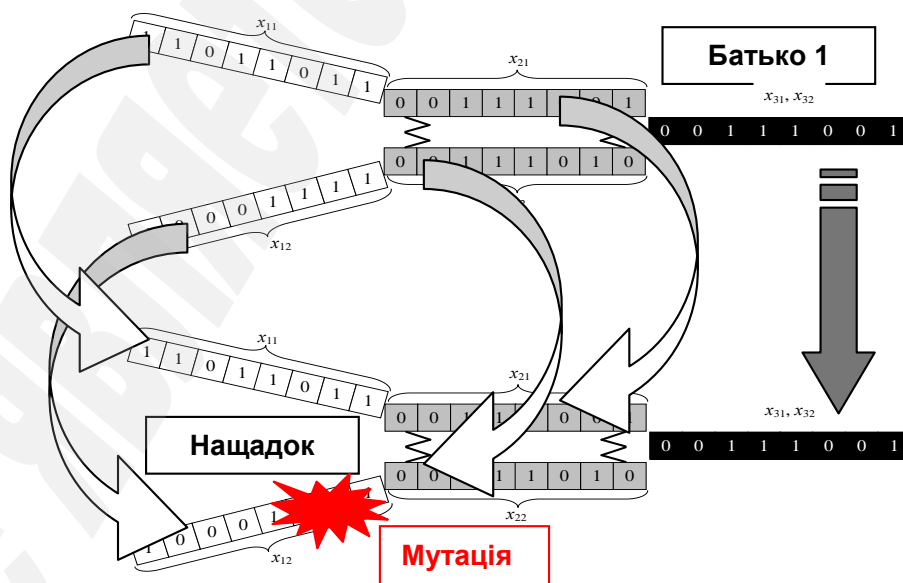


Рис. 7. Схема одностатевого розмноження генома з утворенням гена-мутанта

Цей процес може супроводжуватися одностатевими мутаціями так, що клон, який вийшов, може істотно відрізнятись за генотипом і фенотипом від батька. Вибір конкретних генів, які мутують, безпосередньо пов'язаний з причинами та обставинами спадкування або обмеження. На символічному рівні одностатева мутація виглядає як фіксація (закостеніння) відповідного гена на первинному рівні (0 або 1) із заборонаю в подальшому зміні цього значення до кінця моделювання. Коли такі хромосоми із фіксованими значеннями генів йдуть, наприклад, на генетичну оптимізацію, заборона зміни значення розповсюджується і на цей етап.

Прикладом такого обмеження можуть бути координати підводу водопостачання від зовнішньої мережі. Координати підключення води всередині будинку не можуть бути змінені при будь-якій оптимізації планування внутрішніх мереж.

Таким чином, на цьому етапі реалізується врахування спадковості на рівні символічних моделей. Створені таким чином символічні моделі (початкові і такі, що постійно мутують під різні обставини) заносяться до відповідного банку даних САПР. У поповненні цього банку можуть брати участь відомості, отримані з Інтернету: дані по покупних виробках з сайтів виробників і продавців, а також інформація з відповідних каталогів і стандартів.

Саме в такому вигляді символічні моделі беруть участь в подальших операціях вибору і оригінального проектування. Для цього використовуються вихідні варіанти хромосом, але варіюванню з них піддаються тільки ті гени, які не мутували. Так, для прикладу на рис. 8 наведена схема алгоритму вибору покупних елементів для деякого проекту.

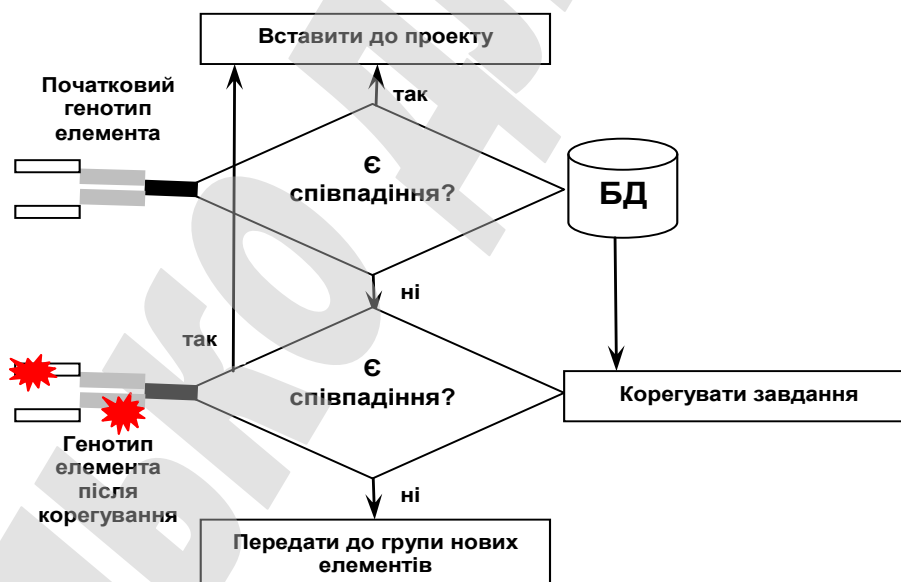


Рис. 8. Схема алгоритму вибору покупних елементів

Спочатку для порівняння з банком даних направляються вихідні «неушкоджені» хромосоми. Якщо збігів немає, можна в заданих межах варіювати значення непошкоджених генів цих хромосом. Якщо і в цьому випадку не вдасться знайти збіги, потрібний елемент переміщується до списку знову проєктованих.

Процеси оптимізації в САПР здійснюються за допомогою комплексного

генетичного алгоритму, але на його початку вже не потрібно створювати масив батьківських хромосом, оскільки він вже існує і постійно підтримує свою адаптивність до об'єкта проектування.

6.3. Практичне використання результатів дослідження

В Одеському ТОВ «Геоморас» (Україна) проведені випробування розробленої в Одеському національному політехнічному університеті символічної системи підтримки проектних рішень, а також зниження вартості та терміну виконання проектів «ТЕНЕД». Структура символічної САПР «ТЕНЕД» наведена на рис. 9.

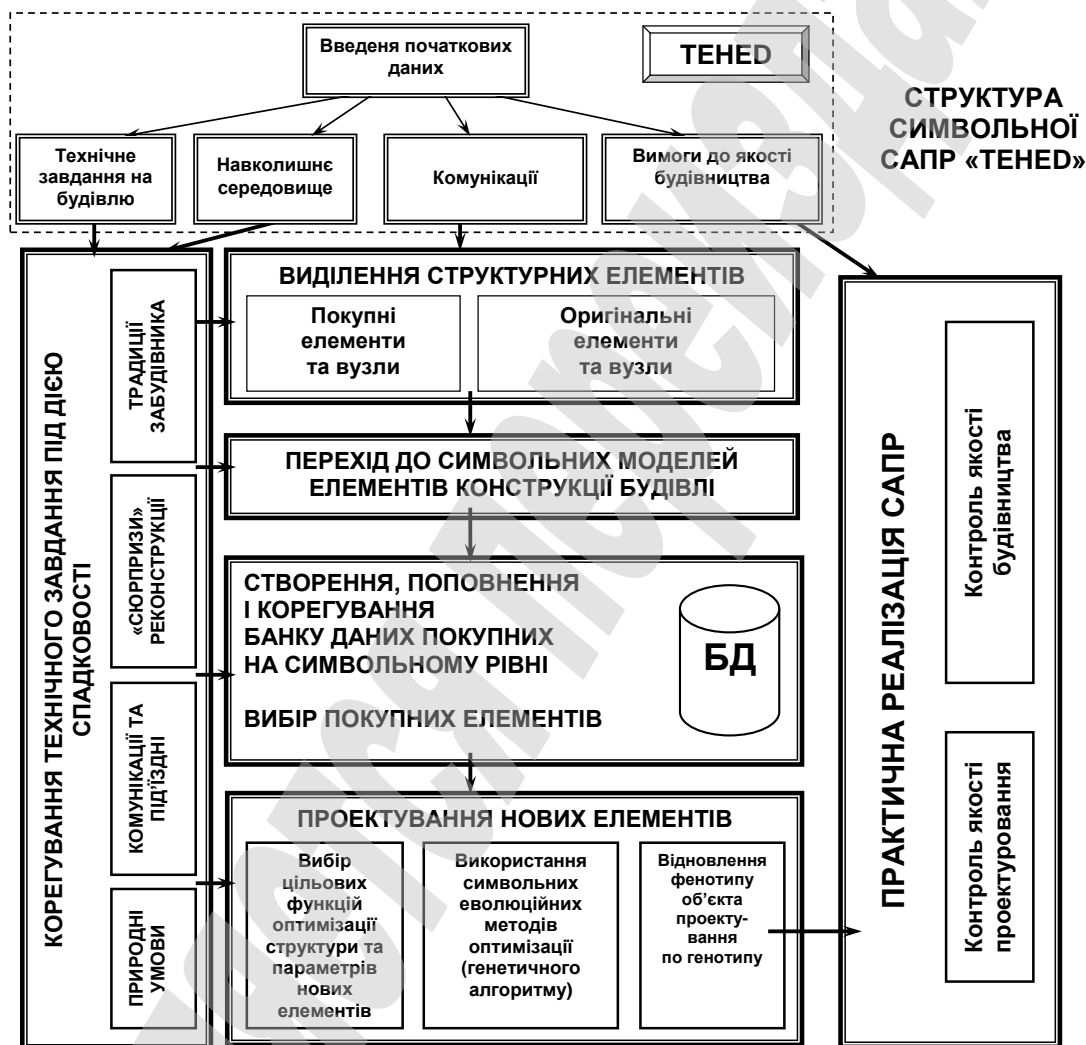


Рис. 9. Структура символічної САПР «ТЕНЕД»

САПР «ТЕНЕД» була задіяна при реінжинірингу (відновленні) фасаду промислового об'єкта з метою підвищення його вентиляційних, енергозберігаючих та освітлювальних характеристик. Випробування показали, що використання САПР «ТЕНЕД» дозволило досягти таких техніко-економічних результатів:

— стосовно перебігу реінжинірингу:

- зменшилася вартість монтажних робіт в 1,3 рази;
- зменшився термін оренди складських приміщень на 18 %;
- зменшилася кількість проміжних етапів по переоснащенню робочої зони

підйомно-розвантажувальних операцій;

- збільшилася швидкість обробки інформації у відділі логістики на 7 %;
- стосовно якості реінжинірингу:
- освітлюваність найбільш затемнених зон приміщення збільшилася майже на 40 %;
- сумарні витрати на опалювання приміщень об'єкта зменшилися 11,7 % при збереженні середньої температури в приміщеннях;
- кількість окису вуглецю (CO₂) в повітрі внутрішнього об'єму споруди зменшилася на 27,1 %.

7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Strengths. Головним позитивним впливом об'єкта дослідження на свої внутрішні чинники є створена ним можливість на початкових етапах проектування впливати на головний його об'єкт – символну модель майбутньої будівлі. Це дозволяє значно покращити ефективність головних етапів САПР в цілому, зокрема, оптимізацію конструкції будівлі та її окремих елементів.

Weaknesses. Головним негативним впливом об'єкта дослідження на свої внутрішні чинники є необхідність представляти всі характеристики об'єкта у вигляді символної двозначної хромосоми, що при великій кількості параметрів виглядає вельми обтяжливо навіть для ЕОМ.

Opportunities. Перспективи подальших досліджень в цьому напрямку пов'язані як з розвитком теоретичної бази, так і з вдосконаленням методів і засобів підвищення якості будівництва за рахунок створення нових символних моделей. Ці моделі «працюють» на протязі всього етапу індивідуального проектування будівельних споруд.

Threats. Як в будь-якому випадку індивідуального проектування, загрози цієї «діяльності» є продовженням її основних переваг: проектування ведеться з врахуванням адаптивності технічного завдання на будівництво. При цьому імплементація пропонованого методу практично не призведе до додаткових витрат в будівельній індустрії. Вона заснована на застосуванні нових простих методів і моделей.

Повних аналогів пропонованих моделей і методів в проектуванні не існує. Раніше символні моделі при проектуванні будівництва на етапах до оптимізації не використовували.

8. Висновки

1. В результаті аналізу ролі технічного завдання та його місця в процесі автоматизованого проектування будівельних споруд встановлено, що первинне завдання повинне постійно адаптуватися під зовнішнє та внутрішнє оточуюче будівлю середовище. З другого боку, воно також повинне адаптуватися під умови, які досталися конкретній будівлі від її попередників або сусідів.

2. Запропоновано в якості символних моделей будівельних споруд використовувати відомі із комплексного генетичного алгоритму моделі у вигляді розгалужених хромосом, а накопичення «одностатевих мутацій» в них моделювати за допомогою (заборону на зміну) в будь-якому перетворенні відповідних генів.

3. Результати роботи у вигляді САПР «ТЕНЕД» були задіяні при перебудові фасаду промислового об'єкта з метою підвищення його вентиляційних, енергозберігаючих та освітлювальних характеристик. Випробування показали,

що використання САПР «ТЕНЕД» дозволило зменшити терміни автоматизованого проектування реконструкції на 23,4 %, в результаті, вартість реконструкції виявилася на 18,9 % нижче запланованої.

Література

1. Baranov, V. V. Tehnologicheskii audit predpriiatiia v semi shagah [Electronic resource] / V. V. Baranov // Elitarium. – Available at: \www/URL: http://www.elitarium.ru/tehnologicheskijj_audit_predprijatija/
2. Vasiliev, A. S. Tehnologicheskaia nasledstvennost' v mashinostroenii [Text] / A. S. Vasiliev // Vestnik Rybinskoi gosudarstvennoi aviatsionnoi tehnologicheskoi akademii im. P. A. Solovieva. – 2017. – No. 1 (40). – P. 198–202.
3. Yashcheritsyn, P. I. Tehnologicheskoe nasledovanie ekspluatatsionnyh parametrov detalei mashin [Text] / P. I. Yashcheritsyn // Spravochnik, inzhenernyi zhurnal. – 2004. – No. 9. – P. 20–22.
4. Lapidus, V. A. Sovmestimy li standartizatsiia i tvorchestvo? [Text] / V. A. Lapidus, M. E. Serov // Metody menedzhmenta kachestva. – 2017. – No. 5. – P. 60–61.
5. Tsytsyliano, O. Kreatyvnist ta standartyzatsiia yak osnova konkurentospromozhnosti orhanizatsii [Text] / O. Tsytsyliano // Standartyzatsiia. Sertyfikatsiia. Yakist. – 2007. – No. 1 (44). – P. 66–71
6. Novikov, S. Svoei koleei [Text] / S. Novikov // Standarty i kachestvo. – 2007. – No. 8. – P. 34–35.
7. Istoriia razvitiia kolei [Electronic resource]. – Available at: \www/URL: <http://rzd-expo.ru/history/Istoriya%20razvitiya%20kolei/>
8. Jia, J. Mechanisms of drug combinations: interaction and network perspectives [Text] / J. Jia, F. Zhu, X. Ma, Z. W. Cao, Y. X. Li, Y. Z. Chen // Nature Reviews Drug Discovery. – 2009. – Vol. 8, No. 2. – P. 111–128. doi:[10.1038/nrd2683](https://doi.org/10.1038/nrd2683)
9. Kolesnykova, K. The project management of the building structure reengineering by the limits in all functional areas [Text] / K. Kolesnykova, D. Monova, A. Toropenko, O. Toropenko, A. Sh. Ali // Technology Audit and Production Reserves. – 2016. – Vol. 5, No. 2 (31). – P. 18–23. doi:[10.15587/2312-8372.2016.79982](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2016.79982)
10. Martin, J. N. T. Metaphors in Mind: Transformation Through Symbolic Modeling [Text] / J. N. T. Martin // Metaphor and Symbol. – 2007. – Vol. 22, No. 2. – P. 201–211. doi:[10.1080/10926480701235510](https://doi.org/10.1080/10926480701235510)
11. Rees, J. The Use of Clean Language and Metaphor in Helping Clients Overcoming Procrastination [Text] / J. Rees, A. I. Manea // Journal of Experiential Psychotherapy. – 2016. – Vol. 19, No. 3. – P. 30–36.
12. Ferreira, C. Gene Expression Programming: A New Adaptive Algorithm for Solving Problems [Text] / C. Ferreira // Complex Systems. – 2001. – Vol. 13, No. 2. – P. 87–129.
13. Technical Drawing Specifications Resource. A guide to support VCE Visual Communication Design study design 2013–17 [Electronic resource]. – Available at: \www/URL: <https://www.slideshare.net/bhubanfomb/technical-drawing-specifications>
14. Gogunskii, V. D. Upravlenie seriinymi proektami v mashinostroenii [Text] / V. D. Gogunskii, I. I. Stanovska, I. N. Guriev // Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni. – 2013. – No. 8. – P. 254–262.
15. Gogunskii, V. D. The complex optimization problems in the control of same ob-

jects creation program [Text] / V. D. Gogunskii, I. I. Stanovska, I. N. Guriev // Informatsiini tekhnolohii v osviti, nautsi ta vyrobnytstvi. – 2013 – No. 1 (2). – P. 250–255.

16. Cui, W. Tupni: Automatic reverse engineering of input formats [Text] / W. Cui, M. Peinado, K. Chen, H. J. Wang, L. Irun-Briz // ACM Proceedings of the 15th ACM Conference on Computer and Communications Security. – Virginia, 2008. – P. 391–402. doi:[10.1145/1455770.1455820](https://doi.org/10.1145/1455770.1455820)

17. Chetverikov, G. G. Formal'noe opisanie logicheskogo prostranstva [Text] / G. G. Chetverikov, I. D. Vechirskaia // Shtuchnyi intelekt. – 2008. – No. 3. – P. 781–789.

18. Zhang, J. Clustering-Based Adaptive Crossover and Mutation Probabilities for Genetic Algorithms [Text] / J. Zhang, H. S.-H. Chung, W.-L. Lo // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 2007. – Vol. 11, No. 3. – P. 326–335. doi:[10.1109/tevc.2006.880727](https://doi.org/10.1109/tevc.2006.880727)

19. Stanovskyi, O. Connectivity optimization of the elements in the tasks of computer-aided system design [Text] / O. Stanovskyi, P. Shvets, A. Toropenko, V. Bondarenko, Sh. O. Abu, O. Krasnozhon, A. Stanovskyi // Bulletin of The National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»: Mechanical-Technological Systems And Complexes. – 2015. – Vol. 49. – P. 170–175. – Available at: \www/URL: <http://mtsc.khpi.edu.ua/article/view/59969>