

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

МИКИТАСЬ МАКСИМ ВІКТОРОВИЧ

УДК 514.18

**МЕТОДОЛОГІЯ СИСТЕМНОГО ГЕОМЕТРИЧНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ АДАПТИВНИХ БУДІВЕЛЬНИХ КЛАСТЕРІВ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**

05.01.01 – прикладна геометрія, інженерна графіка

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Київському національному університеті будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант доктор технічних наук, професор
ПЛОСКИЙ Віталій Олексійович,
Київський національний університет будівництва і архітектури, МОН України, проректор з наукової роботи (м. Київ)

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ПИЛИПАКА Сергій Федорович,
Національний університет біоресурсів і природокористування України, МОН України, завідувач кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну(м. Київ)

доктор технічних наук, доцент
ВІРЧЕНКО Геннадій Анатолійович,
Національний технічний університет України «КПІ» ім. Ігоря Сікорського, МОН України, професор кафедри нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки (м. Київ)

доктор технічних наук, професор
ШУМАКОВ Ігор Валентинович,
Харківський національний університет будівництва і архітектури, МОН України, завідувач кафедри технології будівельного виробництва (м. Харків)

Захист відбудеться « 04 » липня 2019 року об 11.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.06 у Київському національному університеті будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України за адресою: 03037, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, зал засідань, ауд. 319.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України за адресою: 03037, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31.

Автореферат розіслано « 03 » червня 2019 р.

**Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 056.056.06**

О. А. Бондар

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сьогодні геометричні та графічні інструменти прикладної геометрії є ефективними засобами при моделюванні соціотехнічних систем, в управлінні поточкорозподілом ресурсів, оптимізації багатofакторних процесів, розв'язанні задач економетрики, моделюванні складноструктурованих технологічних процесів тощо.

Якість виконання та реалізації проектів з енергоощадності та енергоефективності в архітектурно-будівельній галузі України значною мірою визначається необхідністю та можливістю створення ефективних організаційних форм реалізації відповідних проектів на місцевому, регіональному та загальнодержавному рівнях. З-поміж організаційно-технічних систем, що забезпечують системний синергетичний ефект у вирішенні проблем енергоефективності, відомі кластерні організаційні системи (КОС), зокрема, *адаптивні будівельні кластери енергоефективності* (АБКЕ), які являють собою локалізовані об'єднання підприємств, установ та організацій, створені для реалізації та впровадження енергоефективних проектів на всіх етапах життєвого циклу будівельних об'єктів. Попри наявний досвід впровадження АБКЕ, на жаль, системні дослідження з моделювання їх структур, функціонування та оптимізації відсутні. Крім того, практика будівельного девелопменту свідчить і про відсутність методології узгодження рівнів менеджменту учасників будівельних проектів.

Проекти енергоефективності в архітектурно-будівельній галузі мають низку особливостей, зокрема:

- 1) значна структурна, функціональна та змістовна різноманітність проектів та задач;
- 2) велика частка наукомісткої інноваційності у складі більшості проектів енергоефективності;
- 3) значна вартість матеріалів та технологій для реалізації проектів;
- 4) велика різноманітність альтернатив комплексних рішень проектів енергоефективності на різних рівнях вирішення;
- 5) наявна суттєва різниця в термінах реалізації окремих стадій, задач та процесів проектів з енергоефективності;
- 6) зазвичай, тривалі терміни окупності реалізованих проектів;
- 7) залежність проектів з енергоефективності від інфраструктурних можливостей галузі, системи державного регулювання та підтримки.

Наведені фактори визначають необхідність та доречність проведення системних досліджень з подальшою розробкою та впровадженням кластерних організаційних форм, що відповідають таким вимогам:

- системність залучення методів і технологій геометричного та графічного моделювання в задачах формування структури, управління розвитком кластера та реалізації конкретних проектів;
- необхідність створення інструментальних засобів підтримки прийняття рішень щодо утворення, функціонування та оптимізації АБКЕ і виконання відповідних проектів з формуванням необхідної бази знань;

– необхідність урахування динамічності (зокрема, *адаптивності*) структури та функцій кластера в залежності від змісту та послідовності виконання проектів.

Очевидно, що різноманітність проблем з підвищення енергоефективності, висока ступінь невизначеності та пов'язана з цим структурна і функціональна складність відповідних підсистем КОС вимагають розробки системного та технологічно обґрунтованого підходу у застосуванні геометричних та графічних методів моделювання при розв'язанні цих завдань.

По-перше, це свідчить про актуальність подальшого розвитку методології прикладної геометрії, зокрема, проведення теоретико-методологічних досліджень у напрямі впровадження методів *теорії систем у прикладній геометрії*. При цьому особливої уваги вимагає розгляд кластеризації як *напрямку наукових досліджень* в прикладній геометрії та її *конструктивно-геометричного засобу*.

По-друге – визначає необхідність створення інформаційно-технологічних інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень стосовно задач моделювання кластерних організаційних структур.

У такий спосіб, сутність дисертаційного дослідження полягає у вирішенні триєдиної **проблеми**: а) розвитку системних методологічних основ прикладної геометрії з використанням засобів кластеризації; б) розробці методів і моделей побудови й дослідження структур і поведінки адаптивних кластерних організаційних систем енергоефективного будівництва; в) створенні відповідних технологічних платформ для побудови систем підтримки прийняття рішень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано відповідно до Проекту Восьмої рамкової програми ЄС HORIZON 2020 «Підготовка спеціалістів зі зведення будівель з близьким до нульового енергоспоживанням: Інформаційні інженерно-будівельні центри знань» («Train-To-NZEB: Building Knowledge Hubs») та Держбюджетної науково-дослідної роботи «Розробка методології системного застосування енергоефективних заходів у історично сформованих навчально-житлових університетських комплексах (кампусах)» (КНУБА, 6ДБ-2017 від 15.02.2017 р.), номер державної реєстрації: 0117U004846.

Гіпотеза дослідження полягає у ідеї, що ефективність моделювання структури та процесів функціонування адаптивних будівельних кластерів енергоефективності (АБКЕ) може бути суттєво покращена шляхом системного застосування інструментів прикладної геометрії та системного аналізу.

Об'єкт дослідження – будівельні кластерні організаційні системи енергоефективності.

Предмет дослідження – моделювання структур та функціонування будівельних кластерів енергоефективності засобами системного геометричного та графічного моделювання.

Мета і завдання дослідження. *Метою* дослідження є розробка методологічних основ створення та ефективного функціонування адаптивних

будівельних кластерів енергоефективності на основі системного застосування методів геометричного та графічного моделювання.

Для реалізації зазначеної мети, необхідно виконати такі *завдання*:

- розвинути методологію прикладної геометрії шляхом використання поняття системності як концептуальної основи її методологічної парадигми, визначити напрямки та засоби реалізації принципів системного геометричного моделювання;

- визначити та дослідити поняття геометричної кластеризації як складової системних засобів методології прикладної геометрії;

- обґрунтувати та розкрити зміст і значення окремих системних засобів методології прикладної геометрії, зокрема інтерпретаційного схематизму та системології графіки як засобу формування геометричних та графічних моделей складних процесів та систем;

- встановити взаємозв'язки системних засобів та інструментів прикладної геометрії з задачами моделювання енергоефективних кластерних організаційних систем загалом та задачами геометричної кластеризації зокрема;

- розробити методологію системно-геометричного моделювання та синтезування структур адаптивних будівельних кластерних організаційних систем енергоефективності;

- створити інтерпретаційну модель функціонування кластерної організаційної системи АБКЕ на основі принципів критеріального системно-геометричного моделювання та розробити графоаналітичну модель критеріальної оцінки якості функціонування АБКЕ як елемента інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (ІСППР);

- розробити структуру інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень щодо проектування КОС засобами системної прикладної геометрії;

- дослідити функціональні можливості оптимізаційних моделей КОС та розробити графоаналітичні моделі оптимізації розподілу повноважень у кластерній організаційній системі на основі способу гравітаційної аналогії;

- розвинути можливості теорії структурно-параметричного моделювання шляхом її адаптації до вирішення задач оптимізації будівельних процесів з застосуванням геометричної кластеризації та реалізувати створені структурно-параметричні графоаналітичні моделі при вирішенні задач раціонального проектування енергоефективних об'єктів.

Методи дослідження. У процесі виконання дослідження було використано методологію прикладної геометрії, методи геометричного та графоаналітичного моделювання, методи системного аналізу, методи організації складних соціотехнічних систем, методи оптимізації, експертний аналіз та теорію прийняття рішень, технологію структурно-параметричного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів. Найсуттєвішими результатами, які характеризують наукову новизну та особистий внесок дисертанта, є те, що:

вперше:

- створено основи нового наукового напрямку – кластерного геометричного моделювання, зокрема, введено та проаналізовано поняття «кластер» та «кластеризація» як системного засобу у складі методологічної парадигми прикладної геометрії та інструментального засобу для вирішення завдань енергоефективності;

- розроблено та досліджено ієрархічну процесну модель функцій графіки як основу графічних технологій та синтезу спеціальних графоаналітичних моделей;

- створено методологію системно-геометричного моделювання адаптивних будівельних кластерів енергоефективності, яка полягає у послідовній концептуальній структуризації кластеру, конструюванні системи та синтезі множини моделей «під задачу»;

- розроблено графоаналітичну модель критеріальної оцінки ефективності структурної побудови та функціонування адаптивних будівельних кластерів енергоефективності;

- створено спосіб представлення та графоаналітична модель процесу оптимізації функціонування кластеру шляхом обґрунтованого розподілу повноважень між його складовими елементами;

- розроблено структуру та алгоритми функціонування інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень на основі положень нечіткої логіки з організацією ВІМ-орієнтованої геометричної бази знань;

удосконалено:

- методологію прикладної геометрії шляхом введення в процес моделювання методологічного мета-рівня «системний засіб», встановлення зв'язку між вимогами системності, напрямками системного розвитку, системними засобами та формами їх реалізації;

- технологію структурно-параметричного моделювання шляхом її екстраполяції на вирішення задач енергоефективного будівництва;

дістали подальшого розвитку:

- типологічні схеми предметно-наукової підсистеми методології прикладної геометрії шляхом приведення їх ієрархій до ВІМ-сумісних подань;

- метод інноваційної оптимізації як теоретико-експериментальний інструмент вдосконалення організаційно-технічних систем.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що проведені дослідження створюють методичні основи для системного впровадження та ефективного функціонування кластерних організаційних систем для вирішення проблем енергоефективного будівництва України. Створені основи організації засобів інтелектуальної експертної підтримки реалізації кластерних енергоефективних проектів є підґрунтям для підвищення інформаційно-технологічного рівня цих проектів.

Практично значущим результатом для розвитку методології прикладної геометрії є створення основ для системного та обґрунтованого застосування її інструментарію в моделюванні складних систем, що підвищує достовірність одержаних результатів.

Крім того, практичне значення досліджень підтверджується й системним впровадженням результатів, а саме: методологія та рекомендації з моделювання раціональних структур адаптивних будівельних кластерів енергоефективності та оптимізації процесів їх функціонування – впроваджено в Інституті сталого розвитку НАН України; графоаналітична модель та алгоритми оптимізації розподілу повноважень між багатьма виконавцями при спільному виконанні кількох енергоефективних проектів – впроваджено Державній корпорації Укрбуд; структурно-параметрична оптимізаційна модель та методика розрахунку ефективності проектів утеплення об'єктів житлового фонду – впроваджено в ГО «Асоціація енергоаудиторів України»; методика та структурно-параметричні кластерні моделі термореконструкції житлових будинків та оптимального формування енергоефективної малоповерхової забудови – впроваджено в Академії будівництва України; методичні основи формування кластерів енергоефективності як ефективної організаційної форми будівельного виробництва – на кафедрі організації та управління будівництвом КНУБА; структурно-параметричні моделі та розрахунки економічно обґрунтованого енергоефективного конструювання будівель – впроваджено в Центрі дослідження та проектування будівель з нульовим енергоспоживанням КНУБА.

Особистий внесок здобувача. В 28 наукових працях, виданих у співавторстві, авторові належить: 2. виконано співставлення вимог системності та засобів їх вирішення, досліджено процес розробки системних інструментальних засобів кластерів енергоефективності; 3. Запропоновано загальні принципи кластеризації геометричних об'єктів, як інструменту геометричного моделювання; 4. Розроблено структуру інтелектуальної системи інженерії будівельних кластерів енергоефективності, класифіковано невизначеності, що виникають при виборі методу моделювання; 5. Розроблено методичку оцінки ефективності функціонування кластерної системи; 7. Розроблено типологію будівельних кластерів енергоефективності та концептуальну модель конструювання (синтезу) кластерної системи; 8. Розроблено схему імітаційного моделювання в процесі реалізації методології створення раціональної структури адаптивного кластера; 9. Удосконалено процедури проектування енергоефективних архітектурно-будівельних кластерів шляхом застосування методів системного геометричного моделювання; 10. Описано загальну схему впровадження методології синтезу кластерних систем; 11. Виконано аналіз стану сталого розвитку міст як мета-рівня їх енергоефективного розвитку; 14. Розроблено концептуальну схему адаптивного управління динамікою розвитку кластерної організації; 15. Розроблено структурно-параметричну динамічну модель адаптивного управління кластерною організаційною структурою та описано процес налаштування параметрів моделі; 16. Розроблено схему інструментального забезпечення системи підтримки прийняття рішень щодо стратегічного розвитку кластерних організаційних систем; 17. Розроблено типологію соціотехнічних систем, визначено роль моделювання як інструментального засобу дослідження кластерних організацій; 18. Розроблено концептуальну модель формування

будівельного кластеру енергоефективності, сумісну з технологією BIM-проекування; 21. Розроблено схему формування раціональної структури архітектурно-будівельного кластеру.

Апробація результатів дослідження. Основні результати дисертаційного дослідження було оприлюднено на міжнародних наукових конференціях, зокрема на: Міжнародній науково-практичній конференції «BUILDING INNOVATIONS–2018» (м. Баку, 2018 р.); VII, VIII, IX Міжнародних науково-практичних конференціях «Інтегровані енергоефективні технології в архітектурі та будівництві «ЕНЕРГОІНТЕГРАЦІЯ» (м. Київ, 2017–2019 рр.); III та IV Міжнародних конференціях молодих учених «BUILD-MASTER-CLASS» (м. Київ, 2017–2018 рр.); III та IV Міжнародних науково-практичних конференціях «Ефективні технології в будівництві» (м. Київ, 2018–2019 рр.).

Публікації: Основні теоретичні положення, висновки і практичні результати, одержані у процесі дослідження, висвітлено у 28 наукових працях, з них 22 – статті у виданнях, що входять до переліку фахових видань, 10 з них входять до наукометричних баз, 6 – матеріали та тези конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 272 найменувань та додатків. Дисертація має 277 сторінок основного тексту, що містить 65 рисунків та 15 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розкрито актуальність теми дисертації, визначено її мету і завдання, теоретичні та методичні основи, предмет і об'єкт дослідження, сформульовано наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, висвітлено апробацію їх дослідження та рівень відображення у наукових публікаціях, а також наведена інформація про структуру роботи.

У **Розділ 1 «Аналітичний огляд розвитку кластерних організаційно-технічних систем та засобів їх моделювання»** досліджено стан розробки кластерних організаційно-технічних систем, системних інструментів та технологій забезпечення підтримки прийняття рішень при їх проектуванні та в процесі функціонування. Визначено та уточнено термінологічний апарат в частині понять *кластер* та *кластеризація*.

Крім того, проаналізовано стан розвитку методології прикладної геометрії та досвід застосування в її складі системних методів та технологічних платформ. Зокрема, в застосуванні до задач моделювання організаційно-технічних та економічних систем, складних технологічних процесів, побудови системних засобів підтримки прийняття рішень, розглянуто роботи таких учених: О. А. Бондар, В. В. Ваніна, Г. А. Вірченка, В. М. Найдиша, А. В. Найдиша, В. О. Плоского, С. А. Теренчук, Д. В. Ісаєнка та інших.

Визначено необхідність подальшого удосконалення методологічної платформи прикладної геометрії шляхом створення теоретичних передумов та механізмів упровадження системного підходу та відповідних технологічних платформ, метою чого є формування основ *системної прикладної геометрії*, як актуального самодостатнього напрямку досліджень.

Сформовано графічну структурно-логічну схему дисертаційного дослідження, яка об'єднує такі взаємопов'язані напрями, а саме:

- розробку методологічних основ системної прикладної геометрії з дослідженням кластеризації як її важливого інструментального засобу;
- створення моделей структур, функціонування та оптимізації кластерних організаційних систем енергоефективності;
- розробку технологічних платформ та інтелектуальних засобів підтримки проектування організаційних кластерів з системним застосуванням методів геометричного та графічного моделювання.

Розділ 2 «Системність методології прикладної геометрії та проблема кластеризації» присвячено розвитку системних основ методологічної парадигми прикладної геометрії.

Необхідність впровадження системності як базового методологічного принципу прикладної геометрії, визначається необхідністю задоволення таких фундаментальних ієрархічно пов'язаних *вимог системності*:

- 1) **безальтернативність застосування загалом** (чи є застосування методів прикладної геометрії неминучим (найбільш раціональним));
- 2) **вибір кращого методу з можливих** (чи доречно застосовано саме той метод геометричного (графічного) моделювання);
- 3) **відповідність форми подання структури системи об'єкта** (чи є оптимальною форма реалізації методу щодо об'єкта моделювання);
- 4) **раціональність графічного представлення** (чи є інформаційно достатньою та ергономічною форма візуалізації);
- 5) **оптимальність використання операційної потужності – кваліметрія методу** (чи повною мірою використано операційні можливості методу та його інтерпретацій);
- 6) **системна технологічність методу на рівні моделювання та графічного представлення інформації** (чи є застосовувані методи елементом системних технологічних платформ) та інших.

Крім того, представлено схему реалізації методології системного геометричного (графічного) моделювання (рис. 1).



Рис. 1 Послідовність системного геометричного (графічного) моделювання

Зазначено, що під *системними засобами прикладної геометрії* потрібно розуміти операційні засоби, що застосовуються на мета-рівні до інструментів прикладної геометрії з метою їх використання відповідно до вимог системності. *Інструменти прикладної геометрії* – це множина методів геометричного та графічного моделювання, способів, форм їх реалізації, моделей, алгоритмів тощо.

Відкритий перелік системних засобів складають: **інтерпретаційний схематизм, операції над методами, кластеризація, комбінаторика,**

кваліметрія методів, системологія графіки та технологічні платформи моделювання.

Встановлено та досліджено структурно-логічні зв'язки між системними напрямками розвитку, системними засобами прикладної геометрії та формами їх реалізації. В результаті побудовано комплекс моделей на основі системної реалізації інструментів, які вирішують практичні задачі дослідження, викладені в розділах 3–7.

При дослідженні системних засобів, особливу увагу зосереджено на *кластеризації* як загальній проблемі та практично важливому операційному елементу прикладної геометрії. Досліджено можливості застосування кластеризації стосовно об'єктів, методів моделювання, складних систем та окремих системних засобів (рис. 2).

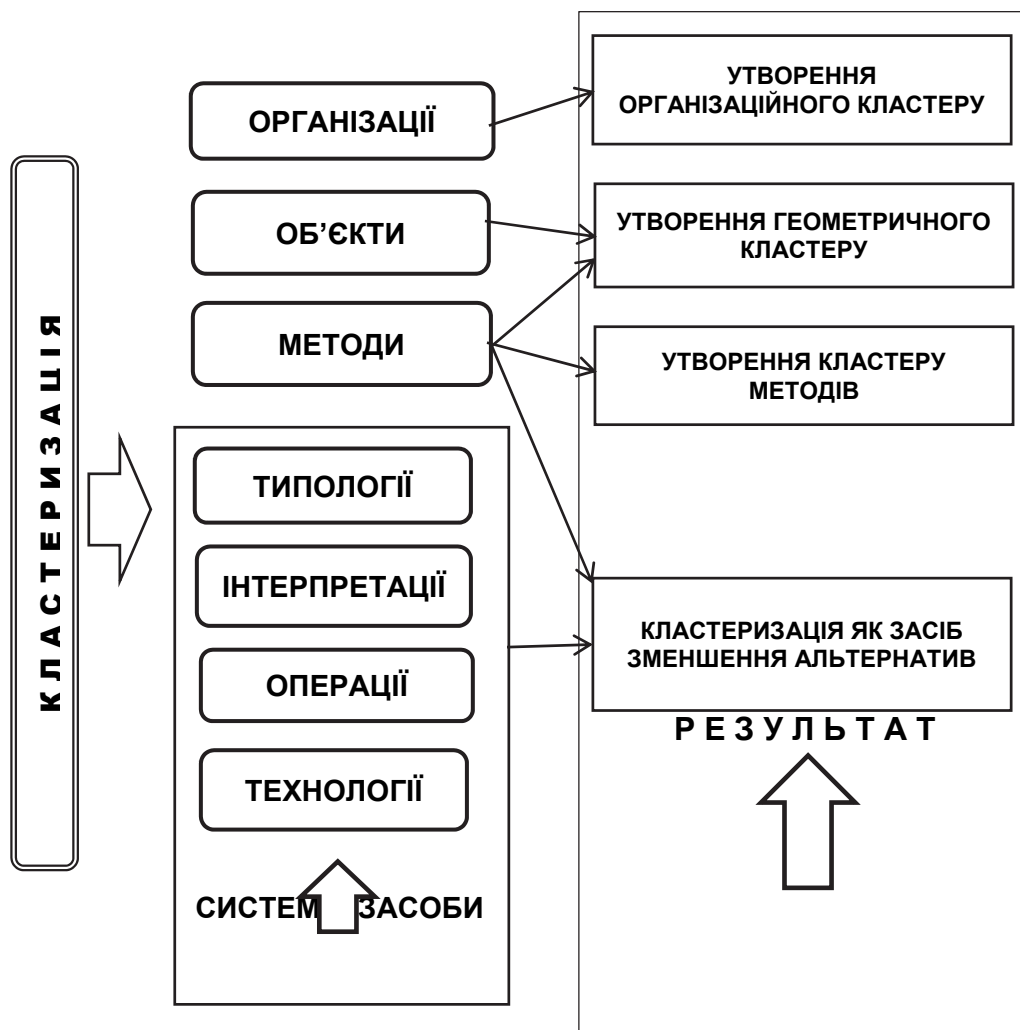


Рис. 2 Кластеризація як універсальний операційний елемент методології

У такий спосіб, кластеризація розглядається як засіб формування: *організаційних кластерів* (об'єднаних за територіальною ознакою та цільовою функцією); *геометричних кластерів*, а саме: *кластерів геометричних об'єктів* (сукупність локалізованих, однотипних або функціонально пов'язаних геометричних елементів); *кластерів геометричних методів* (поєднання сумісних методів, способів, прийомів, алгоритмів, методик тощо, які утворюють

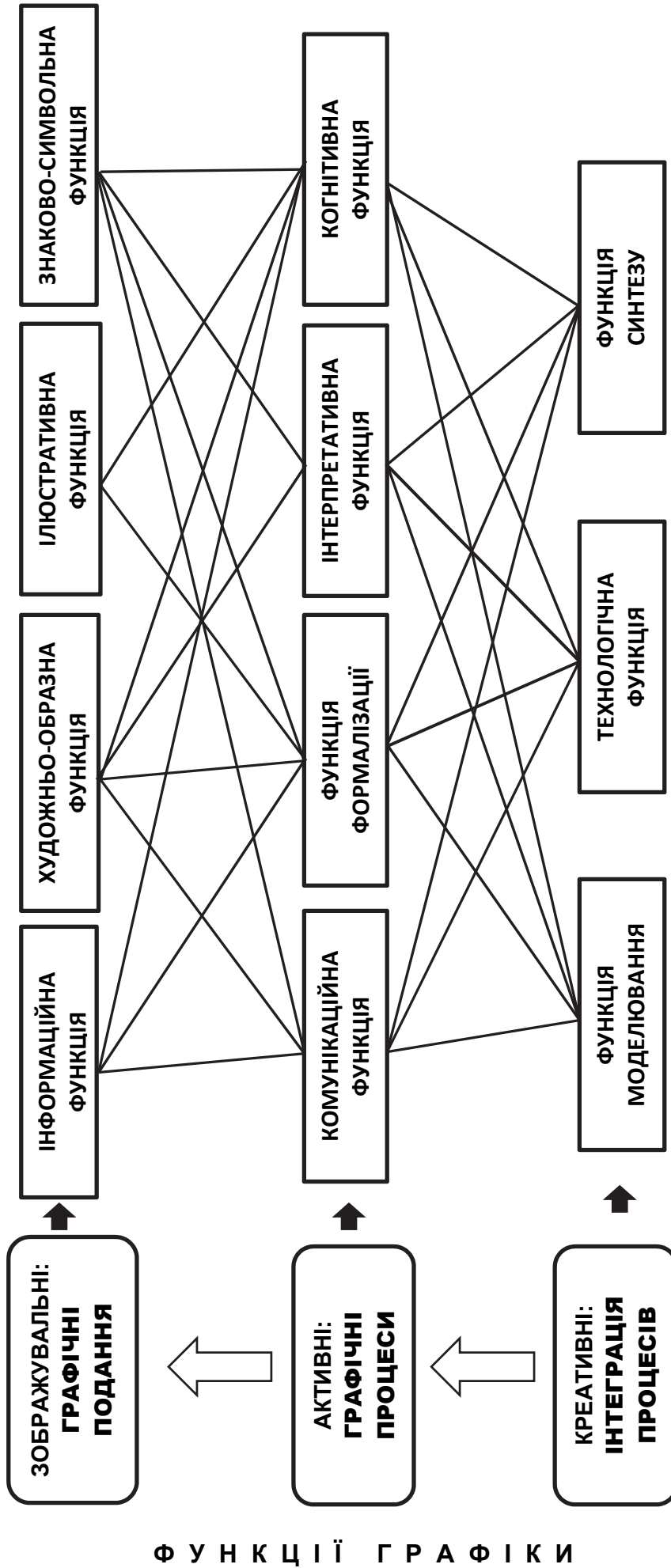


Рис. 3 Ієрархічна «процесна» модель функцій графіки

одне ціле та мають необхідні властивості). Стосовно *інтерпретацій, типологічних схем, операцій над методами та технологічних платформ*, кластеризація є інструментом зменшення альтернативності вибору варіантів за визначеними кваліметричними параметрами.

Досліджено типологію інтерпретаційних схем та породжуваних ними інтерпретаційних моделей, які є основою моделювання структур та функцій адаптивних організаційних кластерів енергоефективності (розділи 3, 4), а також вирішення задач оптимізації (розділ 5) та об'єктно орієнтованих задач кластеризації на основі технології структурно-параметричного моделювання (розділ 7).

В розвиток досліджень В. О. Плоского функціональності графіки як основи побудови графічних технологій, дисертантом побудовано та досліджено ієрархічну процесну модель функцій графіки (рис. 3), яка дає змогу синтезувати спеціальні комбіновані розрахунково-графічні подання, зокрема, спростити графічні уявлення структур КОС, розробити графоаналітичні моделі оптимізації розподілу повноважень в організаційних кластерах тощо.

Логіка формування графічної моделі (рис. 3) полягає у редуційній технології реалізації необхідної креативної функції через можливі типи графічних процесів (активні функції) у певній комбінації графічних форм подання (зображувальні функції).

У **Розділ 3 «Графоаналітичне моделювання структур адаптивних будівельних кластерів енергоефективності»** з'ясовано, що адаптивний будівельний кластер енергоефективності складається з множини цільових об'єктів, які описуються відповідними інтерпретаційними геометричними моделями.

Загалом, з точки зору типології прикладної геометрії, енергоефективний адаптивний архітектурно-будівельний кластер є складно-структурованою моделлю з геометричними компонентами, де кожен геометричний або ж геометрично інтерпретований елемент моделі може бути описаний та представлений деяким набором геометричних та графічних способів. Зазначено, що підбір методу геометричного моделювання «під задачу» (або ж його конструювання за відсутності як такого) виконується на конкретно обраному класі задач, які підлягають окремому аналізу.

Геометрична модель системи адаптивного кластеру S формально може бути представлена у такому вигляді:

$$S = ((M \times R) \times P), \quad (1)$$

де: $M = \{m_1, m_2, \dots, m_N\}$ – впорядкована множина різнорідних елементів системи S , на якій реалізовано множину відносин $R = \{r_1, r_2, \dots, r_N\}$, що пов'язують елементи в єдину структуру; $P = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}$ – множина часткових властивостей системи АБКЕ.

Під множиною M потрібно розуміти певну структуру з множин M_1, M_2 та M_3 , елементи яких пов'язані прямими та зворотними зв'язками, тобто:

$$M = M_1 \cup M_2 \cup M_3, \quad (2)$$

де M_1 є підмножиною методів геометричного моделювання, які забезпечують генерування моделей дії підмножини кластерних організаційних структур M_2 на підмножину цільових об'єктів M_3 .

Будь-який метод геометричного моделювання M_1 являє собою один з різновидів в загальному випадку направлених структурованих систем:

$$M_1 = (\hat{S}, d: W \rightarrow V, \hat{M}_G, \hat{f}_{GB}), \quad (3)$$

де: \hat{S} – направлена не вироджена вихідна система, що включає систему об'єкта і системи її уявлень (подань); $d: W \rightarrow V$ – системи даних (СД) з семантикою – змінні, параметри, обмеження; \hat{M}_G – маски («напрями») можливих переходів станів системи; \hat{f}_{GB} – направлені функції породження.

Множиною відносин або зв'язків R виступає сукупність ресурсних потоків $r_i, i = 1, 2, \dots, k$ (фінансових, матеріальних, енергетичних, трудових тощо).

Функціональні якісні показники системи S визначаються частковими властивостями системи p_1, p_2, \dots, p_n , тобто спрямованістю функціонування системи на вирішення локальних задач: підвищення енергоефективності, екологічності, економічності, соціального комфорту, інноваційності, інвестиційної привабливості, конкурентоспроможності підприємств тощо.

Методологія створення АБКЕ полягає у послідовній реалізації таких етапів:

- а) структуризація процесу утворення кластера;
- б) конструювання (синтез) кластерної системи;
- в) синтез необхідної множини моделей «під задачу».

На рис. 4 представлено концептуальну схему послідовності розробки структури та механізмів адаптивного управління кластерами енергоефективності архітектурно-будівельної галузі – етап «а». На схемі аббревіатурами позначено окремі інструментальні засоби, що можуть використовуватись на різних етапах структуризації АБКЕ: ЕВ – експертні визначення; СГД – системні геометричні дослідження; СА – системний аналіз; ЕО – експертне оцінювання; ЕММ – економіко-математичне моделювання; НЛ – методи нечіткої логіки; ГМ – геометричне моделювання; НМ – нечіткі моделі; СК – системне конструювання; ШНМ – штучні нейронні мережі.

В основу алгоритму структуризації АБКЕ покладено методи системного геометричного моделювання. Зазначені методи утворюються за індуктивно-редукційним сценарієм, як результат зустрічного співставлення даних про підсистеми об'єкта, системи уявлень щодо об'єкта моделювання та цілеспрямованого конструювання методів геометричного моделювання.

На рис. 5 представлено концептуальну модель конструювання (синтезу) КОС.

Властивості, якими має володіти КОС, будуть залежати від відповідності та чіткості висунутої до неї множини вимог $\{B_i\}$, які узгоджено з метою, що передбачає вирішення певної зовнішньої проблеми. Множині вимог, з

урахуванням наявних вихідних даних, зіставляється множина функцій $\{f_i\}$ майбутньої системи.

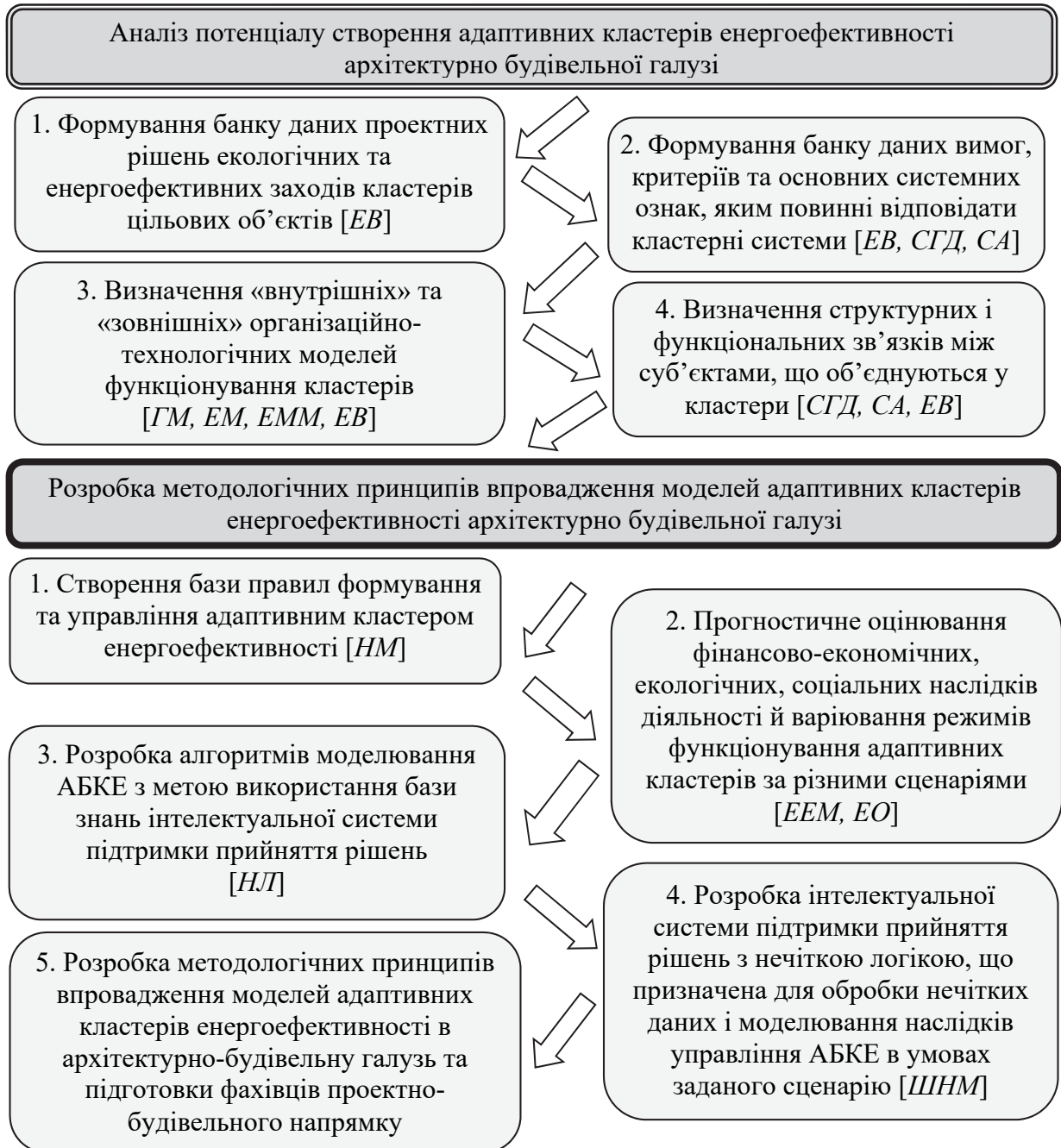


Рис. 4 Концептуальна схема розробки структури та механізмів управління АБКЕ

КОС синтезується як результат критеріального відбору з множини ресурсів $\{S_i\}$ структурних одиниць (елементів та/або підсистем), що забезпечуватимуть взаємоузгоджене виконання визначених функцій.

Результуюча система може містити кілька *рівнів вкладеності*, тобто рівнів взаємодії із зовнішнім середовищем. В результаті аналізу наслідків такої взаємодії – «реакції», визначається ефективність функціональної та структурної організації кластеру.

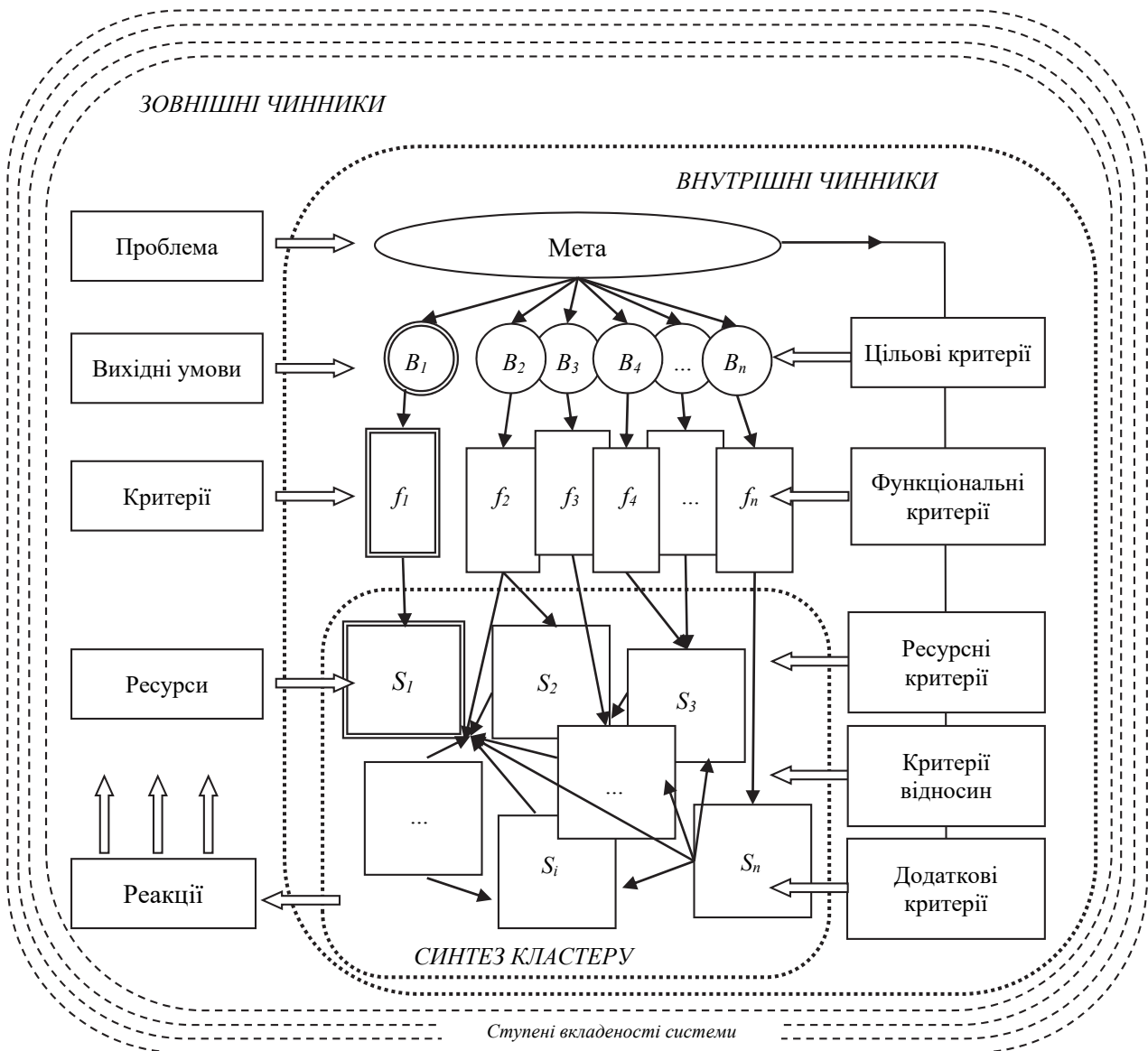


Рис. 5 Концептуальна модель конструювання (синтезу) кластерної організаційної структури

Функціонування кластеру, як адаптивної системи, потребує наявності моделей «поведінки» (множини моделей реалізації стратегічних рішень), а також засобів підтримки прийняття управлінських рішень. Ефективним інструментом адаптивного управління є імітаційне моделювання множини альтернативних стратегій.

Однією з проблем, що ускладнює реалізацію означеного підходу, є формування системи ключових показників. З метою її вирішення, розроблено низку BIM-орієнтованих (Building Information Model) типологічних схем, які дають змогу сформуванню системи критеріальної оцінки ефективного функціонування АБКЕ – встановити його типологічні ознаки, притаманні функціональні ознаки, набір структурних елементів та агреговані одиниці даних. Встановлено системні властивості структурних одиниць кластерних

структур (за ознаками функцій, критеріїв функціонування, розподілу ресурсів та типами зв'язків між підсистемами).

На основі ідеології структуризації та синтезу кластерів розроблено графоаналітичну модель синтезу моделей кластеру в процесі його адаптивного розвитку («під задачу») (рис. 6).



Рис. 6 Обґрунтування моделі вибору структури архітектурно-будівельного кластера енергоефективності «під задачу»

У Розділі 4 «Моделі функціонування та розвитку адаптивних будівельних кластерів енергоефективності» встановлено, що на етапі моделювання структури і властивостей АБКЕ передбачається, що система знаходиться в стані постійної зміни. Це вимагає врахування множини часових сценаріїв поведінки середовища, яким буде відповідати деяка оптимальна поведінка системи. Виявлення оптимальної поведінки формує множину векторів функціонування системи:

$$E(\lambda, \mu, \Theta, P(s), v, \gamma(t), t) \rightarrow \max_{M, R}, \quad (4)$$

де: E – рівень успішності функціонування АБКЕ (енергоефективність регіону дії організаційного кластеру); λ – вектор пріоритетів властивостей системи; μ – особливості об'єкту (умови розташування та експлуатації); Θ – вектор характеристик множини елементів життєвого циклу; s – n -вимірна змінна

поточного стану системи, що описується в значеннях часткових властивостей p_i (1) і може виступати індикатором ефективності системи за певною локальною характеристикою; v – очікуваний показник функціонування системи; $\gamma(t)$ – параметри часових сценаріїв поведінки середовища. Задача (4) відноситься до класу багатокритеріальних неперервних динамічних задач прийняття рішень в умовах невизначеності. Схема її вирішення на рівні вибору методу та створення системної підтримки є предметом розгляду в розділах 5 та 6.

Критерієм комплексної оцінки запропоновано загальний показник ефективності адаптивного АБКЕ (в порівнянні з початковим станом), який може бути представлено у такому векторному вигляді:

$$E(s,t) = \{(E_{en}(s,t), E_{res}(s,t), E_{econ}(s,t), E_{ecol}(s,t), E_{soc}(s,t), \quad (5)$$

$E_{inv}(s,t), E_{inn}(s,t), E_{comp}(s,t)\}$, де:

- показник енергетичної ефективності $E_{en}(s,t)$ – визначає здатність системи до зменшення сумарного використання енергетичних ресурсів;
- показник ресурсної ефективності $E_{res}(s,t)$ – визначає здатність системи до зменшення сумарного використання матеріальних ресурсів;
- показник економічної ефективності $E_{econ}(s,t)$ – визначає здатність системи до підвищення рівня економічної необхідності залучення коштів;
- показник соціальної ефективності $E_{soc}(s,t)$ – визначає здатність системи до підвищення рівня якості життєдіяльності людини;
- показник екологічної ефективності $E_{ecol}(s,t)$ – визначає здатність системи до зменшення рівня впливу на навколишнє природне середовище;
- показник інвестиційної ефективності $E_{inv}(s,t)$ – визначає здатність системи до підвищення показників рентабельності;
- показник науково-технічної ефективності $E_{inn}(s,t)$ – визначає здатність системи до підвищення показників наукоємності та інноваційності технологічних рішень;
- показник конкурентоспроможності $E_{comp}(s,t)$ – визначає здатність системи до підвищення рівня стійкості системи до впливу зовнішніх чинників.

Для коректного визначення питомої ваги показників, необхідно використовувати такі оцінки:

- *системні оцінки*, які отримуються в результаті проведення системних досліджень з метою виділення інваріантів, що можуть бути оцінені однозначно;
- *кількісні оцінки*, які отримуються в результаті виконання симуляційного аналізу в інформаційному середовищі;
- *експертні оцінки*, які отримуються в результаті виконання узагальнення досвіду фахівців на основі проведення відповідних анкетувань або опрацювання результатів попередніх досліджень;
- *оцінки аналогій*, які отримуються в результаті співставлення досліджуваних характеристик з характеристиками систем іншої природи.

Так як в загальному випадку використання повністю формалізованих оптимізаційних схем є проблематичним, то застосування геометрично інтерпретованих теоретико-експериментальних методів інноваційної оптимізації є пріоритетним.

Порівняння властивостей основних методів індикаторної оцінки багатокритеріальних складних систем підтверджує вибір матричного методу як базового. Однією з його модифікацій є метод балів, застосування якого передбачає виконання таких етапів:

1. Формування матриці вихідних оціночних показників $K = (k_{ij})$, де k_{ij} – оціночний коефіцієнт j -ого сценарію ($1 \leq j \leq m$) за i -им ключовим показником «ефективності» функціонування АБКЕ ($1 \leq i \leq n$);

2. Визначення ступеня вагомості оціночних показників «ефективності» з подальшим їх ранжуванням;

3. Формування вектор-стовпчика максимальних значень оціночних показників «ефективності»: $K^{max} = (k_p)$, де $k_p \geq k_{ij}$, $1 \leq p \leq n$;

4. Формування нормалізованої матриці $K^* = (k^*_{ij})$, де $k^*_{ij} = k_{ij}/k_p$;

5. Розрахунок бальної оцінки за відповідним оціночним показником відносно максимального (еталонного) значення: $S_{ij} = k^*_{ij} \cdot S_p$, де S_p – максимально встановлений бал оцінювання окремого показника ($1 \leq p \leq n$);

6. Отримання інтегрального показника бальної оцінки «ефективності» функціонування АБКЕ за кожним сценарієм та їх подальше ранжування.

Для наочного представлення розрахунків показника ефективності побудовано спеціальну графоаналітичну модель – модифіковану секторальну діаграму, яка враховує як частку складового показника ефективності функціонування АБКЕ в сукупній оцінці, так і його показник бальної оцінки (рис. 7).

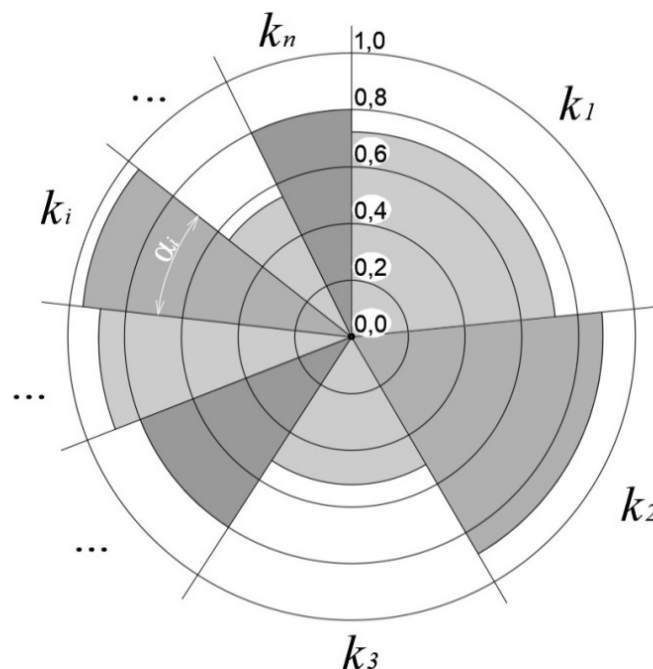


Рис. 7 Графоаналітичне подання інтегрального показника бальної оцінки «ефективності» функціонування АБКЕ за j -м симуляційним сценарієм

$$\begin{cases} S = (S_1)^{p_1} \cdot (S_2)^{p_2} \cdot \dots \cdot (S_n)^{p_n}; \\ \sum_{i=1}^n p_i = p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1, \end{cases} \quad (6)$$

де: S – узагальнений показник ефективності функціонування АБКЕ; n – кількість категорій, за якими виконується оцінка; S_i – оцінка i -ої категорії; p_i – коефіцієнт впливу (вага) i -ої категорії на загальний показник ефективності функціонування АБКЕ.

Ймовірність хибної рейтингової оцінки, внаслідок набору більшої кількості балів при врахуванні критерію меншої значущості, ліквідується шляхом використання «функції бажаності» Харрінгтона. Запропоновано формування системи критеріальної оцінки ефективності функціонування АБКЕ на основі узагальненого «показника бажаності» S , який враховує вплив n -факторів, що розраховується за ваговою функцією від оцінок за категоріями, із встановленими коефіцієнтами впливу (6):

Окремою перевагою такого підходу є можливість залучення або усунення окремих категорій, за рахунок зміни заданих ваг (ступеня впливу) елементів відносно системи загалом. Тобто система внутрішніх оцінок залишається незмінною, а комплексна оцінка коригується відповідно до кількості та значущості складових.

З факторів зовнішнього середовища на якість функціонування кластерних структур суттєво впливає держава. Проаналізовано світовий досвід взаємодії державних органів та кластерних організацій, визначено модель оптимального функціонування взаємодії між державою та кластерами енергоефективності.

Розділ 5 «Дослідження інструментів оптимізації функціонування кластерних систем» присвячено системному обґрунтуванню застосування оптимізаційних процедур в задачах проектування КОС енергоефективності та розробці графоаналітичних моделей ефективного функціонування кластерних систем.

Побудовано типологію оптимізаційних задач, які виникають в реалізації проектів енергоефективного будівництва (мінімізація трансмісійних тепловтрат через огороження, мінімізація теплового балансу, економічних витрат, періоду окупності).

Для порівняння та вибору раціональних *методів оптимізації*, використано метод експертного оцінювання за критеріями Лапласа і Вальда, а результат представлено у вигляді «матриці доходів» (відображає привабливість варіанту) і «матриці витрат» (відображає ризикованість варіанту).

Критерій Лапласа розраховано за формулою:

$$A^L = \max_{A_i} \left\{ \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n A_j \right\}, \quad (7)$$

де A_j – оцінки експертів;

У такому випадку оцінка відображає середньозважену оцінку привабливості методу експертами.

Критерій Вальда є оцінкою:

$$A^V = \min_{A_j} \{A_j\}. \quad (8)$$

У такому випадку привабливість методу оцінюється за найгіршим показником, і «оптимальним» є такий, який призводить до найкращого з найгірших станів. Цей критерій використовує оціночну функцію, що відповідає позиції крайньої обережності і повністю усуває ризик (табл. 1).

Розрахунок ризикованості проекту (кращому варіанту відповідають менші оцінки) проводиться аналогічно. Результати представлено у таблиці 2.

Таблиця 1

Формування «матриці доходів»

№	Методи	Фактори			Розрахунок	
		Відповідність властивостям систем	Надійність	Швидкість	Критерій Лапласа	Критерій Вальда
1	Алгоритми без навчання	5	4	3	4	3
2	Алгоритми з самонавчанням	6	6	4	4,5	4
3	Прямі методи пошуку без використання похідних ЦФ	6	5	5	5,3	5
4	Методи пов'язаних напрямків без використання похідних ЦФ	6	5	6	5,7	5
5	Градентні методи	6	5	6	5,7	5
6	Спряжених градієнтів з використанням перших похідних ЦФ	6	5	7	6	5
7	Ньютонівські	6	4	8	6	4
8	Квазіньютонівські	6	6	8	6,7	6
9	Алгоритми з використанням двох і більше похідних ЦФ	6	6	7	6,3	6

Таблиця 2

Формування «матриці витрат»

№	Методи	Ризики			Розрахунок	
		Ускладненості алгоритму	Збільшення витрат часу	Недосягнення результату	Критерій Лапласа	Критерій Вальда
1	Алгоритми без навчання	3	8	7	6	3
2	Алгоритми з самонавчанням	4	7	7	6	4
3	Прямі методи пошуку без використання похідних ЦФ	4	7	6	5,7	4
4	Методи пов'язаних напрямків без використання похідних ЦФ	5	6	6	5,7	5
5	Градентні методи	5	6	6	5,7	5
6	Спряжених градієнтів з використанням перших похідних ЦФ	6	5	6	5,7	5
7	Ньютонівські	6	4	7	5,7	4
8	Квазіньютонівські	6	4	6	5,3	4
9	Алгоритми з використанням двох і більше похідних ЦФ	6	5	6	5,7	5

Аналіз особливостей кластерних систем свідчить, що найбільш придатними в такому випадку є квазіньютонівські методи. Для більш ефективного їх використання запропоновано удосконалення стратегії оптимізації, що ґрунтується на упорядкованому впровадженні інновацій на різних рівнях організації кластерних систем.

У зв'язку з цим, наведено геометричну інтерпретацію класичної схеми оптимізації. Наприклад, нехай враховуються два параметри x_1 та x_2 , визначено окремі цільові функції ξ_1 та ξ_2 і узагальнена цільова функція $\xi(\xi_1, \xi_2)$, а також набір обмежень A (завдання обмеженої багатокритеріальної оптимізації). Множина можливих рішень X (з урахуванням обмежень A) знаходиться у площині, яка розбивається на дві підмножини – область згоди X_1 та область компромісів X_2 . Мінімум узагальненої цільової функції, який відповідає найкращому рішенню x^1 , знаходиться в області компромісів (Парето-оптимальних рішень). Достовірність цього рішення повністю залежить від правильного визначення ваги оціночних показників та вигляду узагальненої цільової функції. Як тільки ваги показників і співвідношення окремих цільових функцій змінюються, рішення x^1 перестає бути оптимальним.

Припустимо, що в області згоди знаходиться рішення x^2 , яке відповідає мінімуму однієї з окремих цільових функцій, при цьому друга окрема цільова функція *не збільшується*, то таке рішення називається *прийнятним*. Прийнятне рішення не залежить від співвідношення вагових коефіцієнтів та узагальненої цільової функції. Ця властивість і лежить в основі алгоритму вдосконалення способу оптимізації, який полягає в тому, що:

1. Визначаються параметри x_1, x_2 , обмеження A^1 , окремі цільові функції ξ^1_1, ξ^1_2 . Узагальнена цільова функція ξ не визначається;
2. Знаходиться мінімум однієї з окремих цільових функцій (в цьому випадку – ξ^1_1), за умови, що інша окрема цільова функція продовжує зменшуватися. Йому відповідає перше прийнятне рішення x^1 ;
3. Вводиться інновація p_1 , яка змінює характер першої окремої цільової функції $\xi^2_1 = (p_1, x_1)$ так, що її мінімум зміщується праворуч. Тоді область згоди збільшується. При цьому набір обмежень також може змінюватися: $A^1 \rightarrow A^2$;
4. Для нових умов визначається друге рішення x^2 . Вводиться інновація p_2 , яка змінює характер ξ^1_2 або ξ^2_1 і т. д., після чого цикл повторюється;
5. Умовою припинення ітерацій може бути досягнення бажаного рівня показників системи, або вичерпання інноваційних ресурсів.

Отримане в результаті прийнятне рішення перевіряється шляхом виробничих експериментів або експертного оцінювання та фіксується в базі знань ІСППР. Коректність застосування наведеної стратегії вимагає також урахування неадитивності кластерної системи.

Крім того, досліджено питання структурно-функціональної оптимізації діяльності кластерної організації – ефективного розподілу повноважень між виконавцями – учасниками кластеру при виконанні кількох спільних проектів енергоефективності.

У математичному формулюванні задачу представлено у такий спосіб. Є множина m проектів, які необхідно виконати. Визначено множину Ω ключових рис, якими характеризуються проекти та відображають специфіку наслідків від їх впровадження. Нехай існує n зацікавлених сторін – потенційних виконавців робіт за усіма наявними проектами – кожен з яких має значний досвід та ступінь ефективності виконання різних проектів, що оцінюються ключовими рисами (за Ω потрібно обирати різновид ефекту від впровадження проектів). Необхідно визначити, яким із зацікавлених сторін потрібно доручити виконання певних проектів із множини m .

Розділимо усі m проектів на Ω підмножин, об'єднуючи проекти у підмножини за принципом обрання однієї з Ω ключових рис як найбільш вагомого ефекту від реалізації. Оцінимо кожного з n потенційних виконавців за досвідом виконання проектів. Нехай чисельний показник такого h -го досвіду для i -го виконавця є $b_{i,h}$. Після того, як кожен із потенційних виконавців отримає відповідне значення за кожною з характеристик, необхідно перетворити ці значення у відсоткові показники у такий спосіб, щоб сума усіх показників усіх проектів дорівнювала 100 %. Перетворення від натуральних (чисельних) $b_{i,h}$ до відсоткових $a_{i,h}$ показників здійснюється за формулою:

$$a_{i,h} = \frac{b_{i,h}}{\sum_{g=1}^n b_{g,h}} \cdot 100\%, (h = 1, 2, \dots, \Omega)., \quad (9)$$

за виконання вимоги:

$$\sum_{i=1}^n a_{i,h} = 100\%, (h = 1, 2, \dots, \Omega). \quad (10)$$

Побудуємо секторальну діаграму з кількістю секторів, що відповідає кількості характеристик і підмножин Ω , при чому, можливе додаткове внутрішнє розбиття окремих секторів на підсектори окремих проектів, які можуть бути ближчими чи віддаленішими від сусідніх секторів. Побудуємо неорієнтований граф на секторальній діаграмі (рис. 8).

Вершини цього графа розділимо на два типи:

- 1) із невідомими (змінними) положеннями на діаграмі – відповідають n потенційним виконавцям;
- 2) із відомими незмінними положеннями – відповідають спільним рисам підмножин Ω .

Показники умовної інтенсивності взаємодії $k_{i,j}$ між усіма парами потенційних виконавців отримуємо шляхом додавання усіх відсоткових показників за кожною з характеристик (спільною рисою) кожного потенційного виконавця (вершини графа):

$$k_{i,j} = \sum_{h=1}^{\Omega} (a_{i,h} + a_{j,h}), \quad (11)$$

де $a_{i,h}$ та $a_{j,h}$ – відповідні h -ті показники ефективності виконання проектів зі спільними рисами потенційного i -го та j -го виконавців.

Вектор впливу довільної i -ї на j -ту вершину має такий вигляд:

$$\bar{\gamma}_{i,j} = \gamma_{x_{i,j}} \cdot \bar{e}_x + \gamma_{y_{i,j}} \cdot \bar{e}_y, \quad (12)$$

де векторні компоненти інтенсивності взаємодії між двома виконавцями (яким відповідають i -та та j -та вершини) становитимуть:

$$\gamma_{x_{i,j}} = k_{i,j} \cdot (x_j - x_i), \quad (13)$$

$$\gamma_{y_{i,j}} = k_{i,j} \cdot (y_j - y_i). \quad (14)$$

де x_i та y_j – координати місцезнаходження потенційного виконавця робіт на секторальній діаграмі.

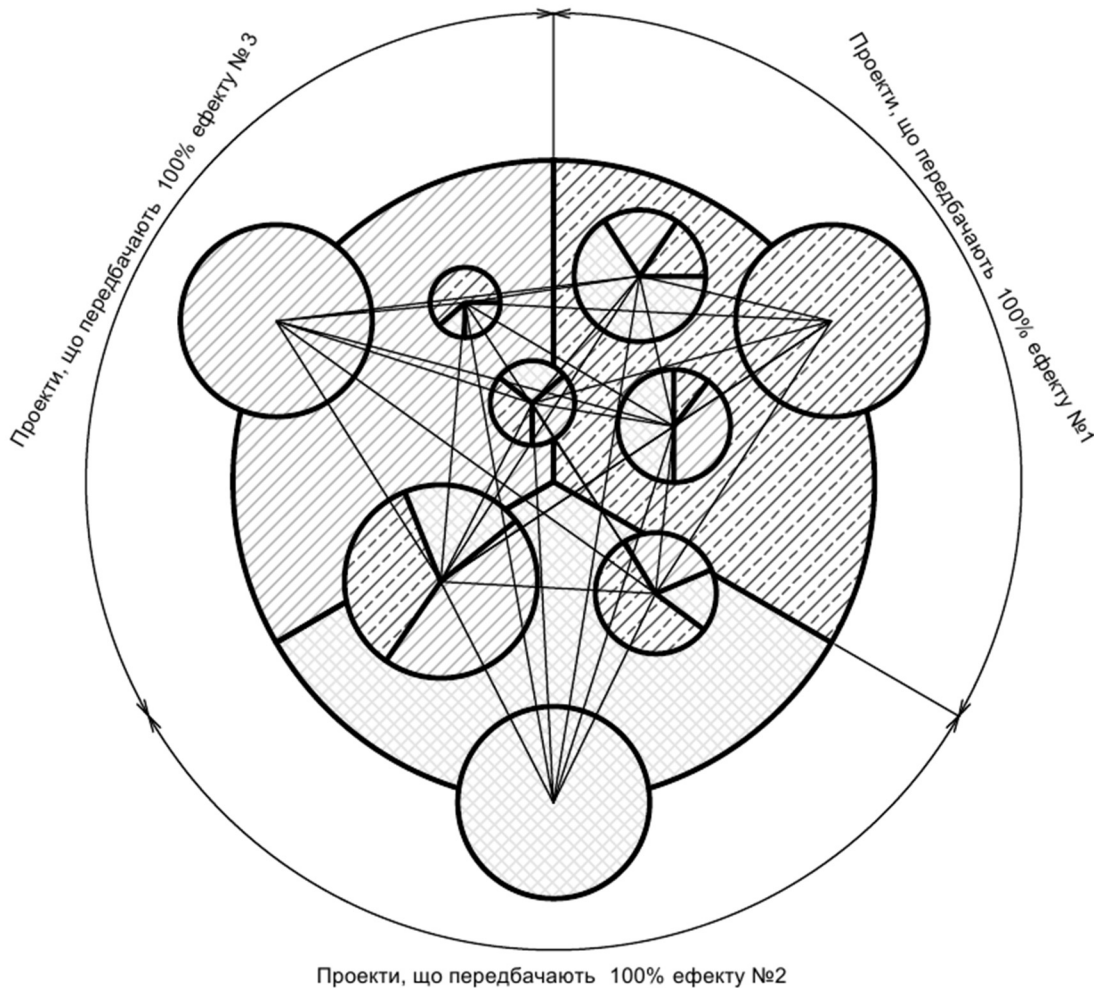


Рис. 8 Комбінована графоаналітична модель «діаграма + граф»

Закономірністю, що описує вплив i -го виконавця на j -го, оберемо векторне поле виду:

$$\bar{F}_{i,j} = F_{x_{i,j}} \cdot \bar{e}_x + F_{y_{i,j}} \cdot \bar{e}_y; \quad (15)$$

(можливі інтерпретації: аналог сил притягіння/відштовхування об'єктів з масами $a_{i,h}$ та $a_{j,h}$; аналог сил впливу псевдоджерел векторного поля з коефіцієнтами пропорційності $a_{i,h}$ та $a_{j,h}$; нормалізовані сили впливу гравітаційного характеру тощо).

У такий спосіб, маємо задачу *геометричної кластеризації*, що геометрично є задачею пошуку невідомих координат графу на площі діаграми.

Положення вершини, що відповідає конкретному виконавцю, належать певному сектору (проекту), а підмножини вершин, що знаходяться у відповідних секторах, сформуують організаційні кластерні субструктури.

Для окремого виконавця рівняння сил взаємодії між виконавцями та секторами має вигляд:

$$\sum_{j=1}^n \bar{\gamma}_{i,j} + \sum_{j=1}^n \bar{F}_{i,j} = 0. \quad (16)$$

Рівняння (16) в проєкціях на координатні осі є системою для довільної i -ї вершини графа:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n k_{i,j} \cdot (x_j - x_i) + \sum_{j=1}^n F_{x_{i,j}} = 0, \\ \sum_{j=1}^n k_{i,j} \cdot (y_j - y_i) + \sum_{j=1}^n F_{y_{i,j}} = 0. \end{cases} \quad (17)$$

Розв'язуючи систему рівнянь типу (17), для усіх n одержуємо такий розподіл відповідних виконавців за секторами із підмножинами проєктів, який буде оптимальним з точки зору забезпечення ефективності взаємодії під час роботи над зазначеними проєктами.

Система рівнянь (17) у матричній формі має вигляд:

$$[K] \cdot \{X\} = \{F\}, \quad (18)$$

де: $\{X\}$ – вектор невідомих координат із кількістю елементів $2 \cdot n$;

$\{F\}$ – вектор взаємних впливів вершин графу із кількістю елементів $2 \cdot n$:

$$\{X\} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \\ y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}, \quad (19)$$

$$\{F\} = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^n F_{x_{1,j}} \\ \sum_{j=1}^n F_{x_{2,j}} \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^n F_{x_{n,j}} \\ \sum_{j=1}^n F_{y_{1,j}} \\ \sum_{j=1}^n F_{y_{2,j}} \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^n F_{y_{n,j}} \end{pmatrix}. \quad (20)$$

$[K]$ – матриця інтенсивностей взаємодії вершин графу розмірністю $(2 \cdot n) \times (2 \cdot n)$, що має таку форму:

$$[K] = \left\{ \begin{array}{cccccccc} k_{1,1} & k_{1,2} & \cdots & k_{1,n} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ k_{2,1} & k_{2,2} & \cdots & k_{2,n} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n,1} & k_{n,2} & \cdots & k_{n,n} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & k_{1,1} & k_{1,2} & \cdots & k_{1,n} \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & k_{2,1} & k_{2,2} & \cdots & k_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & k_{n,1} & k_{n,2} & \cdots & k_{n,n} \end{array} \right\}. \quad (21)$$

Розв'язок системи (17) має вигляд:

$$\{X\} = [K]^{-1} \cdot \{F\}. \quad (22)$$

Очевидно, що система (17) може мати високу нелінійність, тому для її розв'язання розроблено спеціальний алгоритм:

1. Задаємо елементи вектору $\{F\}$ сталими у першому наближенні;
2. Розраховуємо координати вершин графу за формулою (22);
3. Використовуючи одержані координати, уточнюємо значення елементів вектору $\{F\}$ для наступного наближення;
4. Повторно виконуємо розв'язання (22), одержуючи у такий спосіб наступне наближення у розрахунку координат графу, із використанням значень елементів вектору $\{F\}$, визначених на попередньому етапі алгоритму;
5. Повторюємо виконання пунктів 2 – 4 цього алгоритму до досягнення заданої похибки ітераційного числення.

Приклад. Маємо 7 потенційних виконавців та 3 проекти (із різними типами ефектів від їх впровадження: А, В, С). Задано відсотковий розподіл досвіду реалізації аналогічних проектів цими виконавцями.

1. Будуємо граф, що ілюструє зв'язок між потенційними виконавцями та проектами (рис. 9);
 2. Задаємо координати апріорно зафіксованих вершин графу $A(x_A, y_A)$, $B(x_B, y_B)$ і $C(x_C, y_C)$: $x_A = 14.1$; $y_A = 11.5$; $x_B = 8$; $y_B = 1$; $x_C = 1.9$; $y_C = 11.5$;
 3. Для відображення взаємного зовнішнього впливу вершин одна на одну, використаємо безвекторну гіпотезу, вважаючи, що діють лише сили взаємодії між вершинами;
 4. Визначаємо показники умовної інтенсивності взаємодії k_{ij} за формулою (3);
 5. Складаємо систему векторних рівнянь для усіх семи вершин графу.
- Відповідно до одержаних результатів, сформовано три субкластери, до яких увійшли такі виконавці (рисунок 10):
- 1) До кластеру «А»: виконавці № 3, № 4, № 5 та № 7;

- 2) До кластеру «В»: виконавці № 1 та № 6;
 3) До кластеру «С»: виконавець № 2.

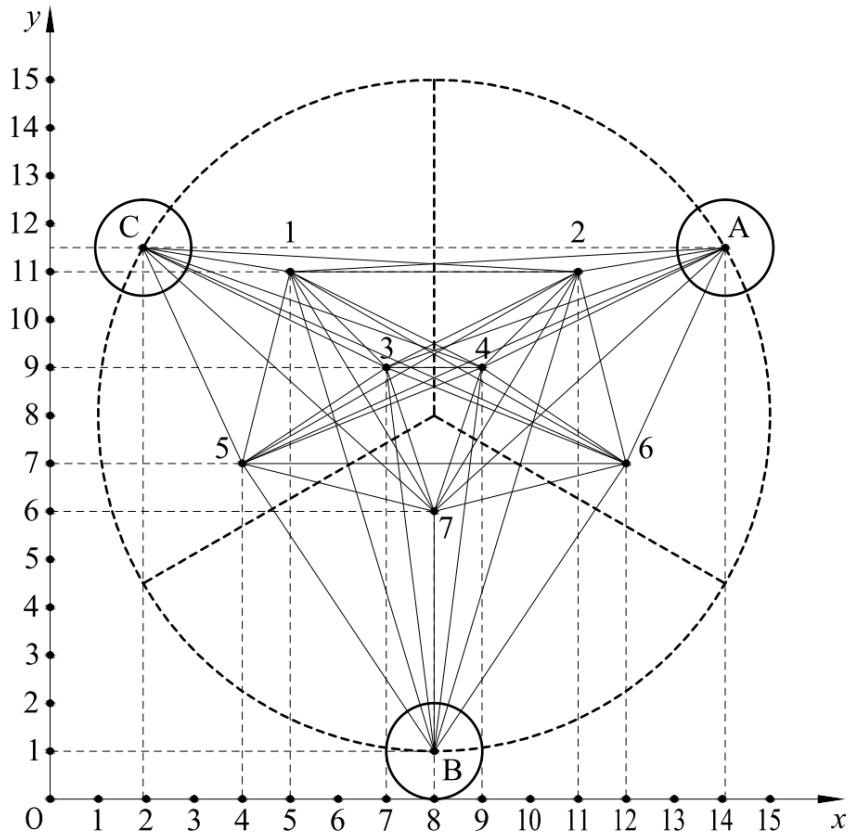


Рис. 9 Граф зв'язків між виконавцями та проектами

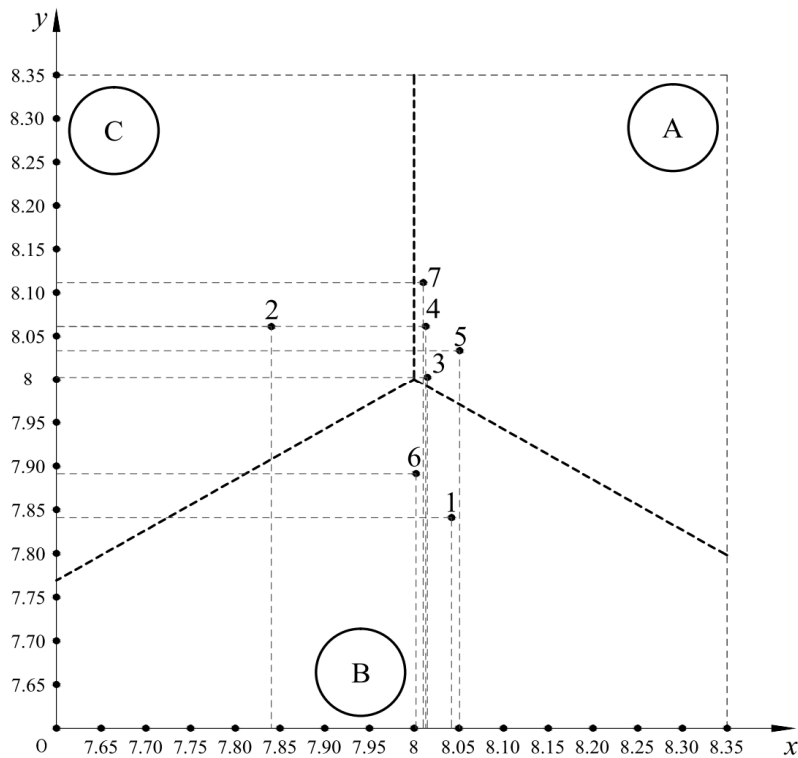


Рис. 10 Кластеризація 7 виконавців за 3 проектами

Розділ 6 «Системна підтримка прийняття рішень при моделюванні кластерів енергоефективності» присвячено переходу від концептуального

моделювання до розробки інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень з формування структури реальних кластерів.

Одним із шляхів вирішення задач побудови та оптимізації структури адаптивних будівельних кластерів енергоефективності (АБКЕ) вважається розробка та впровадження в процес кластеризації інтелектуальної системи інженерії (ІСІ).

ІСІ АБКЕ, що розробляється, призначена:

- синтезувати множину кластерних структур;
- формувати множину варіантів структуризації їх елементів;
- накопичувати та зберігати в базі знань проектні рішення з експертними оцінками різних організаційно-управлінських рішень та досвід реалізованих проектів.

Структура інтелектуальної системи інженерії адаптивних будівельних кластерів енергоефективності, яка розробляється для підтримки прийняття рішень щодо кластеризації архітектурно-будівельної галузі, показана на рис. 11.

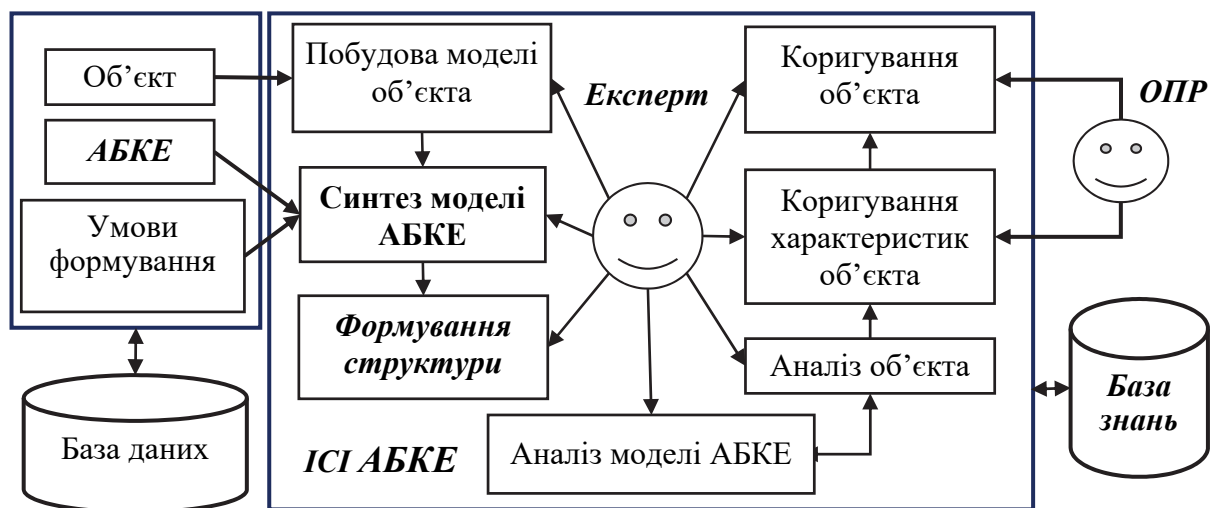


Рис. 11 Структура інтелектуальної системи інженерії адаптивних будівельних кластерів енергоефективності

Побудова моделі та прогнозування характеристик об'єкта в середовищі кластера здійснюється із застосуванням розрахункових комплексів, в яких виконується побудова інформаційної моделі будівлі (Building Information Model – BIM). Алгоритми синтезу моделей ІСІ АБКЕ розроблено за принципом «від практичних вимог до геометричної моделі».

Вибір оптимальної структури кластера та налаштування параметрів моделі, згідно з якими здійснюється коригування характеристик об'єкта на всіх стадіях життєвого циклу, відбувається на основі імітаційного моделювання. Рішення приймаються вповноваженою особою на основі системного аналізу експертних оцінок і результатів економіко-математичного моделювання ключових показників діяльності кластерних структур, що синтезовані для заданих умов (рис. 12).

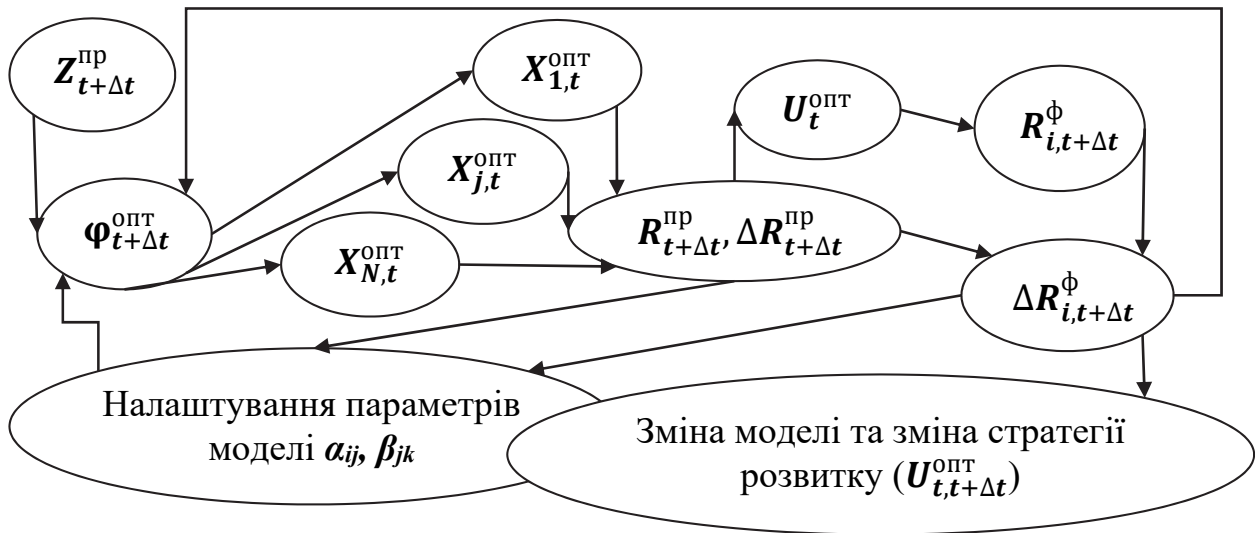


Рис. 12 Схема моделювання показників діяльності кластерних структур

Основним критерієм оптимізації, за умови адаптивного розвитку системи, є очікуване значення цільової функції (φ_t^{opt}) в заданому часовому проміжку ($t + \Delta t$) за заданих умов ($Z_{t+\Delta t}^{пр}$):

$$\varphi_t^{opt} = \sum_{1 \leq i \leq I} \alpha_{ij} R_{ij}^{opt}(t), \quad R_{ij}(t) = \sum_{\substack{1 \leq j \leq J \\ 1 \leq k \leq K \\ 1 \leq l \leq L}} \beta_{jk} Y_{jk} x_{mn,t,\Delta t,\varepsilon}. \quad (23)$$

де: R_{ij} – j -й ключовий показник діяльності об'єкта в структурі АБКЕ; Y_{jk} – функція, що відображає вплив k -го фактору умов формування АБКЕ на j -й ключовий показник діяльності об'єкта; x_{mn} ($1 \leq m \leq M$, $1 \leq n \leq N$) – пояснювальні фактори економіко-математичної моделі, що відображає поведінку об'єкта; α_{ij} , β_{jk} – параметри моделі, за якими здійснюється коригування характеристик об'єкта; t – час оцінювання; $U(t)$ – управління.

У такий спосіб, коригування характеристик об'єкта обґрунтовується обчислювальними експериментами. Експерименти полягають в тому, що для різних моделей синтезованих кластерів здійснюються розрахунки ключових показників та цільової функції. Для коригування об'єкта як еталона, обирається найкраща з моделей.

Стратегія управління розробляється на основі моделі-еталона і числових значень параметрів керованих змінних (управління), які забезпечують досягнення очікуваного значення цільової функції.

Інтеграція ВІМ-технології у процес інформаційно-аналітичного супроводу проектів надає змогу:

- реалізувати обчислювальні експерименти з моделями об'єкта в середовищі АБКЕ;
- виконувати коригування характеристик об'єкта у випадках зміни умов функціонування на різних етапах їх життєвого циклу.

Необхідність системного застосування геометричних методів і моделей (інструментарій моделювання), що можуть використовуватись для синтезу ІСІ кластерних структур, визначається характером невизначеності (рис. 13).

Для формування оптимальної структури АБКЕ запропоновано, зокрема, конструювати графоаналітичні моделі «діаграма + граф» (рис. 8). Запропонований підхід забезпечує здатність системи функціонувати в умовах невизначеності, що пов'язана з дублюванням та поліфункціональністю функцій елементів кластера, так як саме ці властивості елементів системи відповідають за її адаптивність.

Застосування графоаналітичних моделей «діаграма + граф» надає змогу вирішувати задачу оптимізації вибору виконавців проекту. Однак, провідна функція підтримки рішень щодо узгодження структури і властивостей таких складних систем, як енергоефективні адаптивні кластери архітектурно-будівельної галузі, залишається за експертами. При цьому, впровадження штучних нейронних мереж в процеси кластеризації архітектурно-будівельної галузі обмежується низкою проблем, які пов'язані з унікальністю кластерів і неможливістю проведення реальних експериментів для формування навчальної вибірки.

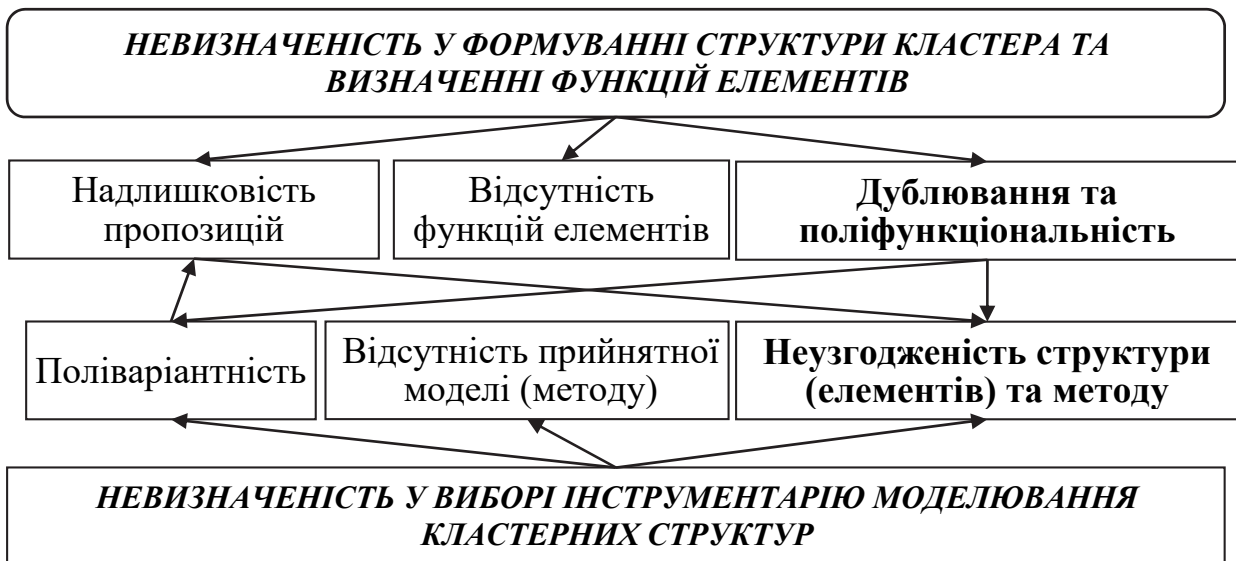


Рис. 13 Класифікація невизначеності вибору інструментарію моделювання кластерних структур

Алгоритм синтезу моделей АБКЕ (розділ 3) дає змогу сформувати базу знань, яка містить структуровану інформацію щодо організаційних рішень кластерів, результатів проектування та інструментів геометричного моделювання, які можуть застосовуватись на різних етапах створення, оптимізації та функціонування АБКЕ. Формування бази знань ІСІ АБКЕ в умовах невизначеності вибору інструментарію моделювання кластерних структур, базується на тому, що мета-процедури системи генерують множину кластерних структур «під задачу» різними методами. Після чого виконується аналіз композицій і відбираються найкращі для заданих умов комбінації.

Експертні висновки формалізуються у вигляді правил, що наповнюють базу знань системи (рис. 14).

Так як однією з найбільш ефективних математичних теорій, що спрямовані на обробку нечітких, слабо структурованих даних та формалізацію текстової інформації, є нечітка математика, робота ІСІ АБКЕ побудована на основі принципів нечіткої логіки.

Схема формування бази знань ІСІ АБКЕ передбачає навчання штучних нейронних мереж:

– без учителя на основі експертних оцінок характеристик ЕААБК, що одержані в результаті експериментів з моделями архітектурно-будівельних кластерів та їх структурних елементів;

– з учителем на основі множини правил, що являють собою формалізовані знання експертів.

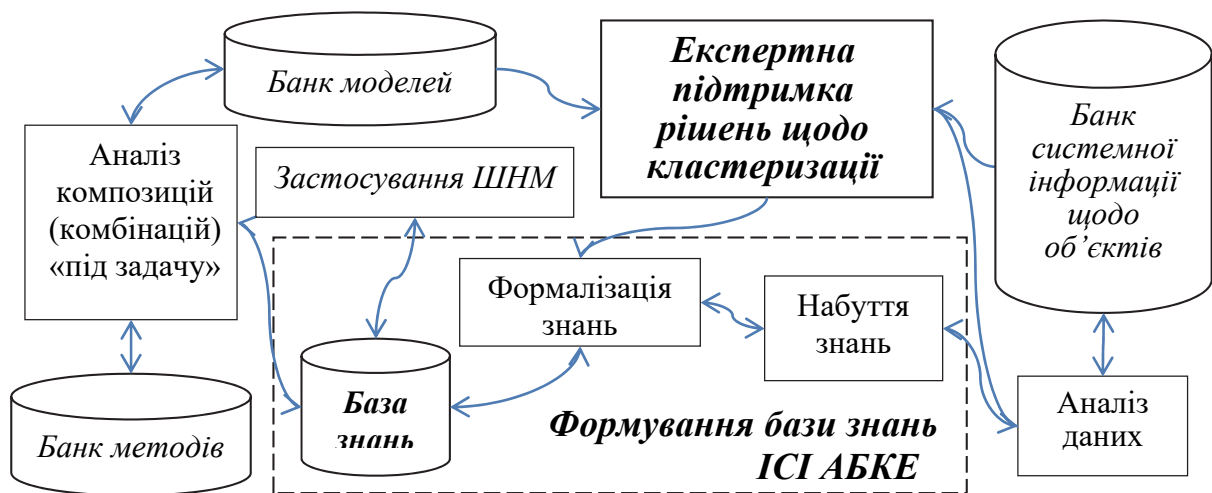


Рис. 14 Схема формування бази знань інтелектуальної системи інженерії енергоефективних адаптивних архітектурно-будівельних кластерів

Модуль «набуття знань» призначається для генерації тестових задач, що формують навчальну вибірку з використанням інших джерел інформації та розрахункових комплексів, в яких здійснюються побудова інформаційної моделі об'єкта і розрахунок характеристик структурних одиниць різних модифікацій АБК в різних умовах. Для «набуття знань» про динаміку розвитку реальних кластерних структур, на основі статистичних даних про характеристики кластерів-аналогів, використовується банк системної інформації щодо об'єктів.

Модуль «формалізація знань» функціонує як «біла скринька», надійність роботи якої в нечітких умовах формування АБКЕ гарантується людиною-експертом, що може надати потрібні оцінку чи правило.

Банки моделей та методів містять інформацію про наявний інструментарій геометричного моделювання, перелік відібраних експертами геометричних моделей та логічно впорядкований набір алгоритмів реалізації множини операцій над методами.

У Розділ 7 «Практичні приклади кластерного моделювання задач енергоефективності» методика системного геометричного моделювання реалізована шляхом адаптації до задач енергоефективного будівництва технології структурно-параметричного моделювання (СПМ).

Розроблено кілька об'єктно орієнтованих моделей.

Модель термореконструкції складається з 2 модулів – реконструкції та термомодернізації, які ієрархічно утворюють набір *кластерів*: оптимізаційних задач, змінних геометричних параметрів та кластер способів оптимізації параметрів – графічних геометричних моделей, аналітичних моделей та ППП (рис. 15). Варіюється форма наявної будівлі з метою мінімізації тепловтрат, мінімізуються трансмісійні тепловтрати через огорожувальні конструкції та витрати коштів за різних вихідних умов.

За аналогічною методичною схемою технологію СПМ використано також для розробки моделі оптимального проектування малоповерхової забудови за параметрами енергоефективності.

Крім того, розроблено та реалізовано на чисельному прикладі адаптивну комплексну кластерну структурно-параметричну геометричну модель технологічного процесу теплоізоляції будівлі. Алгоритм її реалізації передбачає чотири етапи:

Етап 1. Формування *складу елементів конструкції*:

$$KT = (KT_i)_1^{N_{KT}} = (KT_i)_1^7,$$

де: KT_1 – ґрунтувальний шар; KT_2 – клей; KT_3 – теплоізоляційний матеріал; KT_4 – дюбелі; KT_5 – захисний шар із армувальною сіткою; KT_6 – адгезійний ґрунтувальний шар; KT_7 – декоративно-захисне покриття;

Етап 2. Формування *множини технологічних елементів (робіт)*:

$$BT = (BT_i)_1^{N_{BT}} = (BT_i)_1^7,$$

де: BT_1 – встановлення риштувань та підйомно-транспортного обладнання; BT_2 – підготування і ґрунтування поверхонь стін; BT_3 – приклеювання плит утеплювача до стін; BT_4 – закріплення плит дюбелями; BT_5 – приклеювання армувальної сітки; BT_6 – ґрунтування армованого сіткою гідрозахисного шару; BT_7 – виконання штукатурного декоративно-захисного покриття.

Складаються та оцінюються всі можливі технологічні варіанти виконання всіх етапів робіт;

Етап 3. Побудова графа та матриці суміжності структурно-параметричної геометричної моделі.

Кожний елементарний ланцюг, що з'єднує початкову та кінцеву вершини, відтворює певний варіант моделі. Для визначення оптимального з них, згідно з обраним критерієм ребра, ставляться у відповідність належні значення, зокрема, отримані з розрахунків трудомісткості, витрат на заробітну плату, матеріали та обладнання. З можливих обирається варіант із найменшою довжиною ланцюга. Це забезпечується коротжемами індексів, які характеризують ланцюги графа, що виходять із цієї вершини до кінцевої в порядку збільшення їх довжин. Розглянутий підхід дає змогу:

Модель термореконструкції будівлі в технології СПМ

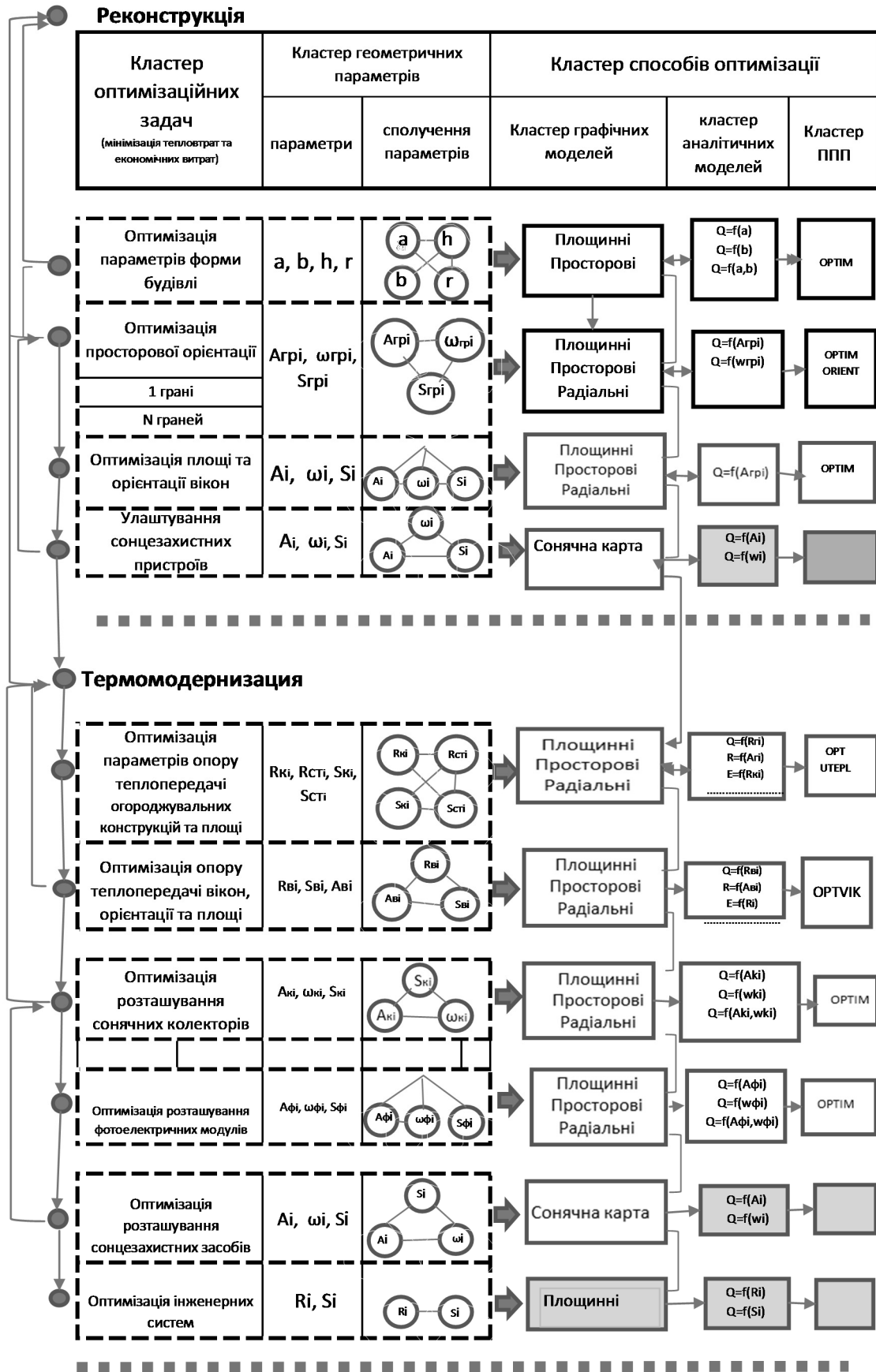


Рис. 14 Кластерна модель термомодернізації будівлі

- визначати оптимальний структурно-параметричний варіант теплоізоляції;
- здійснювати аналіз варіантів утеплення в порядку зменшення їх ефективності;
- проводити математичні експерименти шляхом варіювання параметрів моделі для дослідження тенденцій її поведінки;
- реалізовувати продуктивну адаптацію виготовлення теплоізоляції до різноманітних змінних внутрішніх та зовнішніх умов;

Етап 4. Розробка комп'ютерних моделей, які відтворюють визначений під час попередніх етапів склад елементів конструкції теплоізоляції та їх параметри.

Представлені практичні приклади реалізації кластерного геометричного моделювання на об'єктному рівні є елементом впровадження дисертаційного дослідження.

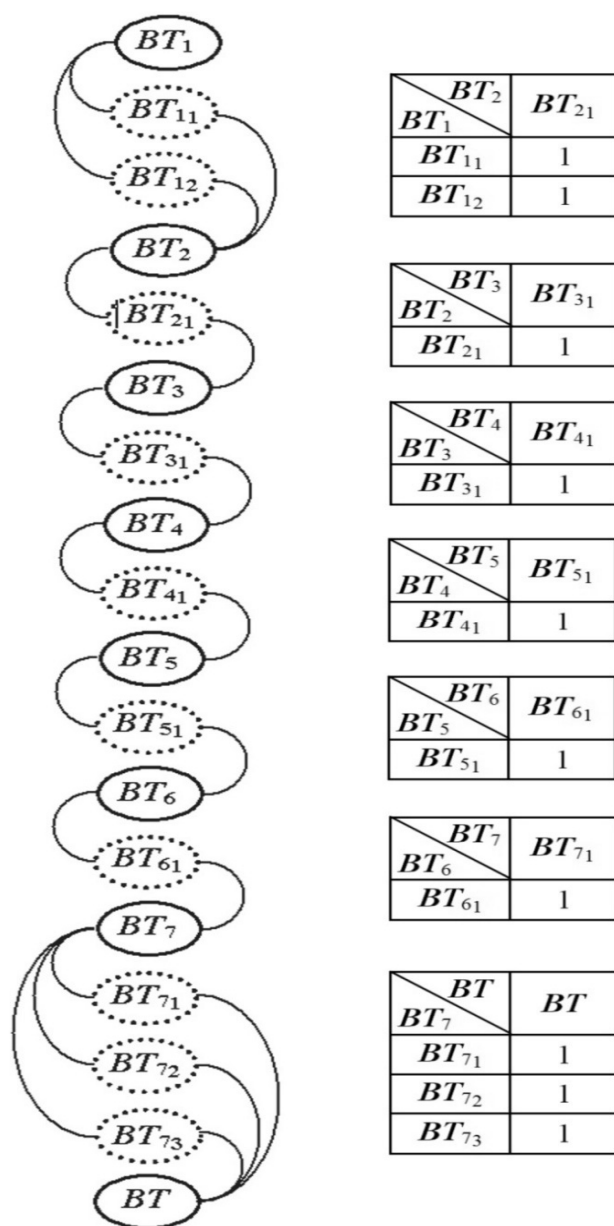


Рис. 15 Адаптивна комплексна кластерна структурно-параметрична геометрична модель виготовлення теплоізоляції:
 а – граф структури; б – матриці суміжності елементів

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено важливу науково-прикладну проблему створення методології побудови структур та функціонування особливого різновиду організаційно-технічних систем – адаптивних будівельних кластерів енергоефективності, – на основі вдосконалення концептуальних основ та розробки спеціальних інструментальних засобів системної прикладної геометрії, та вирішено низку завдань енергоефективного будівництва організаційно-технічного та об'єктного рівнів.

З одного боку, вирішення цієї проблеми є суттєвим внеском та новим інструментом у розвиток організаційно-технічного моделювання в будівельній галузі; з іншого – є важливим розширенням сфери ефективного використання методів геометричного та графічного моделювання та внеском у розвиток методології прикладної геометрії загалом.

Найбільш вагомими теоретичними та прикладними результатами дослідження, зокрема, є:

1. Шляхом введення методологічної категорії «системний засіб прикладної геометрії» утворено відповідний мета-рівень над інструментами геометричного (графічного) моделювання, який дає змогу підвищити обґрунтованість застосування певного методу чи моделі (у такий спосіб формуючи підґрунтя для їх системного використання) та в майбутньому створити основи *системної прикладної геометрії* загалом.

2. Запропоновано використовувати поняття «кластер» та «кластеризація» як окремого системного засобу моделювання, в результаті чого створено основи нового наукового напрямку – кластерного геометричного моделювання, проаналізовано операційні можливості використання кластеризації на системному та об'єктному рівнях.

3. З-поміж інших системних засобів, детально досліджено операційні та технологічні можливості інтерпретаційного схематизму в прикладній геометрії, розроблено процесну модель графічного моделювання на основі ієрархії функцій графіки, вдосконалено типологічні схеми геометричних методів та моделей з метою їх використання для організації баз знань в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень.

4. Реалізація методології системно-геометричного моделювання адаптивних будівельних кластерів енергоефективності полягає у послідовному вирішенні такого комплексу задач: інтерпретаційному моделюванні їх структур «під задачу» з урахуванням динаміки розвитку (адаптивності), встановленні критеріїв та показників якості функціонування кластерів, обґрунтуванні вибору та розробці відповідних оптимізаційних інструментів, розробці структури інтелектуальної системи інженерії кластерних систем з подальшою апробацією моделей та впровадженням результатів.

5. При розробці засобів оптимізації структур та функціонування адаптивних будівельних кластерів енергоефективності, досліджено та вдосконалено методи та алгоритми інноваційної оптимізації, розроблено комплексні графоаналітичні оптимізаційні моделі (задачі оптимізації розподілу повноважень у кластері), а також удосконалено та адаптовано до задач

будівництва технологію структурно-параметричного моделювання (оптимізація виконання технологічних процесів на об'єктному рівні).

6. Розроблено модель інтелектуальної системи інженерії кластерних структур, обґрунтовано її здатність функціонувати в умовах невизначеності, що пов'язана з дублюванням та поліфункціональністю функцій елементів кластера. Зазначено про необхідність застосування моделей і методів нечіткої математики до формалізації експертних знань та можливість застосування штучних нейронних мереж, які в перспективі можуть виконувати функції експертів при розв'язанні задач кластеризації. Розробка «геометричної» бази знань у складі системи підтримки прийняття рішень, окрім прикладного значення для проектування АБКЕ, має наукову цінність як база знань інваріантної системи геометричних розрахунків.

7. Кластерна інтерпретація технології структурно-параметричного моделювання дала змогу створити відповідні складноструктуровані геометричні моделі опису процесів термореконструкції будівлі, формування енергоефективної малоповерхової забудови, оптимізації технологічного процесу утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій.

8. Практична необхідність всіх компонентів дослідження підтверджується впровадженням одержаних результатів: на рівні методології, методик та рекомендацій (Інститут сталого розвитку НАН України), на рівні практичного застосування методів та алгоритмів щодо кластерних систем загалом (ДК Укрбуд), на рівні застосування кластерних моделей стосовно окремих об'єктів проектування (Асоціація енергоаудиторів України, Академія будівництва України), на рівні використання в освітніх та дослідницьких програмах (КНУБА).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в виданнях, що входять до наукометричних баз:

1. Микитась М.В. Дослідження задач моделювання адаптивних архітектурно-будівельних кластерів енергоефективності // Управління розвитком складних систем. Київ, 2016. № 28 (2). С. 154–162. (Збірник входить до науково метричної бази Ulrichsweb (США), BASE (Німеччина), Google Scholar (Європа – Америка), IC (Польща)).

2. Микитась М.В., Плоский В.О., Кушнір С.І., Тесленко П.П. Системна прикладна геометрія: проблеми дослідження кластерних організаційних систем // Мости і тунелі: теорія, дослідження, практика. Дніпро, 2017. № 12. С. 52–67. (Збірник входить до науково метричної бази Index Copernicus (Польща)). (Особистий внесок здобувача: Виконано співставлення вимог системності та засобів їх вирішення, досліджено процес розробки системних інструментальних засобів кластерів енергоефективності).

3. Микитась М.В., Плоский В.О., Кушнір С.І., Тесленко П.П. Загальна концепція кластеризації геометричних об'єктів // Мости і тунелі: теорія, дослідження, практика. Дніпро, 2017. № 13. С. 52–67. (Збірник входить до науково метричної бази Index Copernicus (Польща)). (Особистий внесок здобувача: запропоновано загальні принципи кластеризації геометричних об'єктів як інструменту геометричного моделювання).

4. Микитась М.В., Теренчук С. А. *Моделювання інтелектуальної системи інженерії архітектурно-будівельних кластерів* // Управління розвитком складних систем. Київ, 2017. № 28 (2). С. 154–162. (Збірник входить до науково метричної бази Ulrichsweb (США), BASE (Німеччина), Google Scholar (Європа–Америка), IC (Польща)). (Особистий внесок здобувача: Розроблено структуру інтелектуальної системи інженерії будівельних кластерів енергоефективності, класифіковано невизначеності, що виникають при виборі методу моделювання).

5. Mykytas M., Terenchuk S., Zuravska N. Models, methods and tools of optimizing costs for development of Clusterized organizational structures in construction industry // International Journal of Engineering & Technology. 2018. Vol. 7. No 3.2. Special Issue 2. P. 250–254. DOI: 10.14419/ijet.v7i3.2.14414. (збірник входить до науковометричних баз ELSEVIER SSRN, CiteSeerX, PubMed, Google Scholar, Science Open, BASE, ArXiv i OCLC). (Особистий внесок здобувача: Розроблено методу оцінки ефективності функціонування кластерної системи).

6. Микитась М.В. Дослідження задач моделювання адаптивних архітектурно-будівельних кластерів енергоефективності // Управління розвитком складних систем. Київ, 2018. № 30 (2). С. 180–189. (Збірник входить до науковометричної бази Ulrichsweb (США), BASE (Німеччина), Google Scholar (Європа –Америка), IC (Польща)).

7. Микитась М. В., Плоский В. О., Кожедуб С. А. Дослідження системних ознак енергоефективних кластерних організаційних структур архітектурно-будівельної галузі, // Управління розвитком складних систем. 2018. № 35. С. 68–75. (Збірник входить до науково метричної бази Ulrichsweb (США), BASE (Німеччина), Google Scholar (Європа –Америка), IC (Польща)) (Особистий внесок здобувача: розроблено типологію будівельних кластерів енергоефективності та концептуальну модель конструювання (синтезу) кластерної системи).

8. Kulikov P., Mykytas M., Terenchuk S., Chupryna Yu. Development of a methodology for the creation of adaptive energy efficiency clusters in the architectural and construction industry // Technology audit and production reserves. 2018. № 6/5 (44). С. 11–16. (Особистий внесок здобувача: розроблено схему імітаційного моделювання в процесі реалізації методології створення раціональної структури адаптивного кластера).

9. Микитась М.В., Петриченко А.І., Теренчук С.А. Застосування системного геометричного моделювання до проектування енергоефективних архітектурно-будівельних кластерів // Управління розвитком складних систем. 2018. № 37. С. 88–93. (Збірник входить до науково метричної бази Ulrichsweb (США), BASE (Німеччина), Google Scholar (Європа – Америка), IC (Польща)) (Особистий внесок здобувача: удосконалено процедури проектування енергоефективних архітектурно-будівельних кластерів шляхом застосування методів системного геометричного моделювання).

10. Mykytas M., Kozhedub S., Ploskyi V., Yeremenko B. Introduction of clusterization principles in the solution of problems of energy efficiency and

ecological safety of the existent building fund // EUREKA: Physics and Engineering. 2019. № 1 (21). P. 10–15. Особистий внесок здобувача: автором запропоновано принципи кластеризації енергоефективних об'єктів з врахування екологічних особливостей)

Статті у фахових виданнях:

11. *Микитась М. В., Плоский В. О.* Сталій розвиток міст: стан досліджень, міжнародний та український досвід // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. 2017. Вип. 9. С. 168–173. (Особистий внесок здобувача: виконано аналіз стану сталого розвитку міст як мета-рівня їх енергоефективного розвитку).

12. *Микитась М.* Моделювання взаємодії державних органів і структурних одиниць будівельних кластерів // Будівельне виробництво. Київ: ДП НДІБВ, 2017. Вип. 62/3, ч. 1. С. 142–149.

13. *Микитась М.В.* Розробка концепції впровадження BIM-технології в процесі формування енергоефективних архітектурно-будівельних кластерів // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин: зб. наук. пр. Київ: КНУБА, 2018. Вип. 36, ч. 2. С. 138–143.

14. *Плоский В. О., Микитась М. В., Кожедуб С. А., Теренчук С. А.* Розробка концепції адаптивного управління розвитком кластерів енергоефективності архітектурно-будівельної галузі // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2018. № 52. С. 98–105. (Особистий внесок здобувача: розроблено концептуальну схему адаптивного управління динамікою розвитку кластерної організації).

15. *Микитась М. В., Теренчук С. А.* Оптимізаційна задача управління потокорозподілом ресурсів кластерних організаційних структур енергоефективного будівництва // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. 2018. Вип. 10. С. 77–84. (Особистий внесок здобувача: розроблено структурно-параметричну динамічну модель адаптивного управління кластерною організаційною структурою та описано процес налаштування параметрів моделі).

16. *Куліков П. М., Микитась М. В., Теренчук С. А., Кожедуб С. А.* Формування теоретико-методичного підходу до розробки інструментального забезпечення стратегічного розвитку кластерних організаційних структур // Містобудування та територіальне планування. 2018. Вип. 68. С. 295–301. (Особистий внесок здобувача: розроблено схему інструментального забезпечення системи підтримки прийняття рішень щодо стратегічного розвитку кластерних організаційних систем).

17. *Бондар О. А., Микитась М. В.* Типологічні та інструментальні аспекти процесу моделювання соціотехнічних систем // Прикл. геометрія та інж. Графіка. 2018. Вип. 95. С. 197–207. (Особистий внесок здобувача: розроблено типологію соціотехнічних систем, визначено роль моделювання як інструментального засобу дослідження кластерних організацій).

18. *Микитась М. В., Єременко Б. М., Чуприна Ю.А.* // Концептуальний підхід до формування енергоефективних архітектурно-будівельних кластерів із

застосуванням BIM-технологій // Сучасні проблеми моделювання. Мелітополь, Вип. 13. С. 106–111. (*Особистий внесок здобувача: розроблено концептуальну модель формування будівельного кластеру енергоефективності, сумісну з технологією BIM-проекування*).

19. *Микитась М. В.* Методи системної прикладної геометрії у моделюванні енергоефективних архітектурно-будівельних кластерів / Комунальне господарство міст. Харків, 2019. Том 1. Вип. 147. С. 8–12.

20. *Микитась М. В.* Поліваріантність вибору методів геометричного моделювання в задачах проектування організаційних кластерних систем // Системні технології. Дніпр, 2019. Вип. 1 (120). С. 12–18.

21. *Микитась М. В., Кожедуб С. А., Єременко Б. М.* Системне моделювання структури архітектурно-будівельних кластерів / Наука і будівництво. НДІБК. 2019. № 1. С. 78 – 81. (*Особистий внесок здобувача: Розроблено схему формування структури архітектурно-будівельного кластеру*).

22. *Микитась М. В.* Критеріальний підхід до оцінки ефективності адаптивного кластеру енергоефективності архітектурно-будівельної галузі // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Вип. 53. С. 277–287.

Додаткові публікації:

23. *Микитась М. В., Плоский В. О.* Щодо розвитку «сучасного міста». Міжнародний та український досвід // Інтегровані енергоефективні технології в архітектурі та будівництві «ЕНЕРГОІНТЕГРАЦІЯ – 2017»: тези сьомої Міжнар. науково-практ. конф. Київ, КНУБА, 2017. С. 65–66.

24. *Mykytas M.* Implementation of regional and branch clusterization in Ukraine // BUILD-MASTER-CLASS-2017: conference proceedings of international conf. Київ: КНУБА, 2017. С. 346.

25. *Микитась М. В., Шовківська В. В.* Специфіка розробки «внутрішніх» моделей кластерних організаційних структур будівельної галузі // Ефективні технології в будівництві: програма та тези доповідей III Міжнародної науково-технічної конференції (Київ, 28–29 березня 2018 р.). Київ: КНУБА, 2018. С. 99.

26. *Mykytas M., Terenchuk S.* Justification of strategy choose of resources distribution management of organizational cluster structures for energy efficient construction // Інтегровані енергоефективні технології в архітектурі та будівництві «ЕНЕРГОІНТЕГРАЦІЯ – 2018»: робоча програма та тези восьмої Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 25–27 квітня 2018 р.). Київ: КНУБА, 2018. С. 73–74.

27. *Микитась М., Кожедуб С., Скочко В., Шарапа С.* Адаптивні кластери енергоефективності архітектурно-будівельної галузі України: підхід, методи, засоби та особливості досліджень // BUILD-MASTER-CLASS – 2018: Conference proceedings international scientific practical conference of young scientists (Kyiv, 28–30 листопада 2018 р.). Київ: КНУБА, 2018. С. 116–118.

28. *Микитась М. В.* Системно-геометричне моделювання адаптивних енергоефективних архітектурно-будівельних кластерів // Ефективні технології в будівництві: програма та тези доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції (Київ, 27–28 березня 2019 р.). Київ: КНУБА, 2019. С. 52–53.

АНОТАЦІЯ

Микитась М. В. Методологія системного геометричного моделювання адаптивних будівельних кластерів енергоефективності. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.01.01 – прикладна геометрія; інженерна графіка. – Київський національний університет будівництва і архітектури. – Київ, 2019.

Актуальність обраної теми дослідження визначається тим, що на сьогодні геометричні та графічні інструменти прикладної геометрії є ефективними засобами при моделюванні соціотехнічних систем, в управлінні поточкорозподілом ресурсів, оптимізації багатофакторних процесів, розв'язанні задач економетрики, моделюванні складноструктурованих технологічних процесів тощо.

Основна ідея дисертаційного дослідження полягає у необхідності вирішення триєдиної проблеми: а) розвитку методологічних основ системної прикладної геометрії з використанням засобів кластеризації; б) розробці на цій основі методів побудови та дослідження структур та поведінки адаптивних кластерних організаційних структур енергоефективності; в) створенні відповідних технологічних платформ для побудови системи підтримки прийняття рішень.

Кластеризацію розглянуто як засіб формування: *організаційних кластерів* (об'єднаних за територіальною ознакою та цільовою функцією); *геометричних кластерів*, а саме: *кластерів геометричних об'єктів* (сукупність локалізованих, однотипних або функціонально пов'язаних геометричних елементів); *кластерів геометричних методів* (поєднання сумісних методів, способів, прийомів, алгоритмів, методик тощо, які утворюють єдине ціле та мають необхідні властивості).

Обґрунтовано, що з точки зору типології прикладної геометрії, енергоефективний адаптивний архітектурно-будівельний кластер є складноструктурованою моделлю з геометричними компонентами, де кожен геометричний або ж геометрично інтерпретований елемент моделі може бути описаний та представлений деяким набором геометричних та графічних способів.

Ключові слова: енергоефективність, енергоощадність, кластеризація, інтерпретаційна технологія, поліфункціональність, термореконструкція, структурно-параметричне моделювання, комплексні графоаналітичні оптимізаційні моделі, методології системно-геометричного моделювання, кластерне геометричне моделювання.

АННОТАЦИЯ

Микитась М. В. Методология системного геометрического моделирования адаптивных строительных кластеров энергоэффективности. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.01.01 – инженерная геометрия; компьютерная графика. – Киевский национальный университет строительства и архитектуры. – Киев, 2019.

Актуальность темы исследования определяется тем, что на сегодня геометрические и графические инструменты прикладной геометрии являются эффективными средствами при моделировании социотехнических систем, в управлении потокораспределения ресурсов, оптимизации многофакторных процессов, решении задач эконометрики, моделировании сложноструктурированных технологических процессов и тому подобное.

Основная идея исследования заключается в необходимости решения триединой проблемы: а) развития методологических основ системной прикладной геометрии с использованием средств кластеризации; б) разработке на этой основе методов построения и исследования структур и поведения адаптивных кластерных организационных структур энергоэффективности; в) создании соответствующих технологических платформ для построения системы поддержки принятия решений.

Кластеризацию рассмотрено как средство формирования: организационных кластеров (объединенных по территориальному признаку и целевой функцией) геометрических кластеров, а именно: кластеров геометрических объектов (совокупность локализованных, однотипных или функционально связанных геометрических элементов); кластеров геометрических методов (сочетание совместных методов, способов, приемов, алгоритмов, методик и т.п., образуют единое целое и имеют необходимые свойства).

Обосновано, что с точки зрения типологии прикладной геометрии, энергоэффективный адаптивный архитектурно-строительный кластер является сложно-структурированной моделью с геометрическими компонентами, где каждый геометрический или геометрически интерпретирован элемент модели может быть описан и представлен некоторым набором геометрических и графических способов.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, кластеризация, интерпретационные технология, полифункциональность, термореконструкции, структурно-параметрическое моделирование, комплексные графоаналитические оптимизационные модели, методологии системно-геометрического моделирования, кластерное геометрическое моделирование.

SUMMARY

Mykytas M. V. Methodology of system geometric modeling of adaptive building clusters of energy efficiency. – Manuscript.

Dissertation for a Doctor of Technical Sciences degree by specialty 05.01.01 – Applied Geometry; Engineering Graphics. – Kyiv National University of Construction and Architecture. – Kyiv, 2019.

The relevance of the chosen topic of research is determined by the fact that today geometric and graphical instruments of applied geometry are effective tools in the simulation of socio-technical systems, in the management of flow distribution of resources, optimization of multifactorial processes, solving problems of econometrics, modeling of complex structured technological processes, etc. Indeed, such systems combine the multi-component development and efficiency of functioning in a modern market environment.

Modern trends in world development dictate new priorities for the development and functioning of socio-technical systems, which, according to the topology, represent a specialized class of enterprises that have been active in the market. One of the functional areas of the development of such systems is the sectoral specialization, which determines the additional priorities and functionality of ensuring the viability of the system.

One of the effective areas of development of branch systems of socio-technical systems is a construction complex that actively forms an investment complex of any economy. The main priority of the industry is its energy efficiency in all its manifestations and functionalities, where the building element is the basic element. The quality and implementation of construction projects on energy efficiency in the Ukrainian architectural and construction industry are largely determined by the need and opportunity to create effective organizational forms for the implementation of relevant projects at the local, regional and national levels.

The problem of clustering these processes requires not only systematic research but also an active scientific basis for providing the necessary tools at all stages of the implementation, operation, administration and monitoring of the implementation of the life cycle of the construction project.

The main idea of the dissertation research is the need to solve the three-fold problem: a) the development of methodological foundations of system applied geometry using clustering tools; b) developing on this basis methods of constructing and researching the structures and behavior of adaptive cluster organizational structures for energy efficiency; c) the establishment of appropriate technological platforms for building a decision support system.

The diversity of energy efficiency issues, the high degree of uncertainty and the associated structural and functional complexity of the corresponding subsystems of cluster organizational systems require the development of a systemic and technologically grounded approach in the application of geometric and graphical simulation methods in solving these problems.

The scientific hypothesis consists in the formation of the following scientific and applied idea: the efficiency of modeling the structure and processes of the functioning of adaptive energy efficiency building clusters (AEBC) can be significantly improved through the systematic application of applied geometry and system analysis tools. According to the determined formulation, a graphical structural and logical scheme of the dissertation research, which combines the following interrelated directions, is formed, namely: the development of methodological foundations of system applied geometry with the study of clusterization as its important instrumental means; creation of models of structures, functioning and optimization of cluster organizational energy efficiency systems; development of technological platforms and intellectual means of supporting the design of organizational clusters with the systematic application of geometric and graphical modeling methods.

Structural and logical connections between system directions of development, system means of applied geometry and forms of their realization, which are relevant for this research, are established and investigated. As a result, a set of models is built on the

basis of system implementation of tools. In the study of systemic means, the main attention is paid to *clustering* as a general problem and a practical operational element of applied geometry. Possibilities of application of clustering concerning objects, methods of modeling, complex systems and separate system means are investigated.

According to the scientific assumptions of the author, clusterization is considered as a means of formation: *organizational clusters* (united according to the territorial feature and purpose function); *geometric clusters: clusters of geometric objects* (a set of localized, identical or functionally related geometric elements); *clusters of geometric methods* (a combination of compatible methods, ways, techniques, algorithms, etc., which form one unit and have the necessary properties). With regard to *interpretations, typological schemes, operations on methods and technological platforms*, clusterization is a tool for reducing the alternative of choosing options based on certain quality parameters.

The implementation of the methodology of system-geometric modeling of adaptive building energy efficiency clusters consists of the sequential solution of the following set of tasks: interpreting their structures «for the task» taking into account the dynamics of development (adaptability), establishing criteria and indicators for the functioning of clusters, justifying the choice and developing appropriate optimization tools, development of the structure of intellectual system of engineering of cluster systems with further testing of models and results introduction.

The methods and algorithms of innovation optimization were studied and improved, complex graph-analytical optimization models (tasks of optimization of the distribution of powers in a cluster) were developed, as well as the structural-parametric modeling technology (optimization of the implementation of technological processes at the object level) was improved and adapted to the construction problems.

The model of the intelligent system of engineering of cluster structures is developed, its ability to function in conditions of uncertainty, which is connected with duplication and polyfunctionality of functions of cluster elements, is substantiated. The expediency of application of models and methods of fuzzy mathematics to the formalization of expert knowledge and the possibility of using artificial neural networks, which in the future can perform the functions of experts in solving clustering problems, is shown. The development of the «geometric» knowledge base in the decision support system, in addition to the applied value for the design of AEBC, has scientific value as the knowledge base of the invariant system of geometric calculations.

The cluster interpretation of the technology of structural-parametric modeling allowed to create appropriate complicated geometric models for describing the processes of thermal reconstruction of the building, the formation of energy-efficient low-rise building, optimization of the technological process of insulation of external fencing structures.

Keywords: energy efficiency, energy saving, clusterization, interpretation technology, polyfunctionality, thermal reconstruction, structural and parametric modeling, complex graph-analytical optimization models, a methodology of system-geometric modeling, cluster geometric modeling.

Наклад 100. Папір офсетний. Ум.-др. арк. 1,9.
Підписано до друку 29.05.2019. Замовлення 536.

Надруковано в «МП Леся».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб'єктів видавничої справи серія ДК № 892 від 08.04.2002.

«МП Леся»
03148, Київ, а/с 115.
Тел./факс: (066) 60-50-199, (098) 455-41-17
E-mail: lesya3000@ukr.net