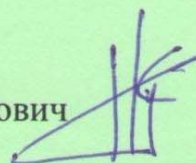


Міністерство освіти і науки України
Харківський національний економічний університет
імені Семена Кузнеця

Коробчинський Кирил Петрович



УДК 004.942:004.921 (043.3)

МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
КОМПОНОВОЧНОГО СИНТЕЗУ ПРОСТОРОВИХ ОБ'ЄКТІВ

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: Заслужений діяч науки і техніки України,
доктор фізико-математичних наук, професор
Яковлев Сергій Всеволодович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»,
професор кафедри математичного моделювання та
штучного інтелекту.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Доценко Сергій Ілліч,
Український державний університет
залізничного транспорту,
професор кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем;


доктор технічних наук, професор
Комяк Валентина Михайлівна,
Національний університет цивільного захисту України,
професор кафедри фізико-математичних дисциплін.

Захист відбудеться 5 листопада 2019 року о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.055.03 у Харківському національному економічному університеті імені Семена Кузнеця за адресою: 61166, м. Харків, пров. Інженерний, 1-А.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця за адресою: 61166, м. Харків, пров. Інженерний, 1-А.

Автореферат розіслано « 3 » жовтня 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради


М. Ю. Лосєв

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ

Актуальність теми. На сучасному етапі стрімко зростає інтерес до розроблення та впровадження інформаційних технологій підтримки та прийняття рішень при синтезі складних технічних систем з урахуванням просторової форми об'єктів. При цьому стає так званий клас задач геометричного проектування, що пов'язаний із відображенням геометричної інформації про матеріальні об'єкти. Прикладами таких задач є задачі транспортної логістики та логістики складування, компоновки аерокосмічних об'єктів, підвищення безпеки паливно-енергетичних комплексів, реалізації новітніх технологій 3D друку тощо, які безпосередньо пов'язані з урахуванням форми відповідних прототипів та обмежень на їх взаємне розташування. Синтез просторових конфігурацій матеріальних об'єктів переважно базується на технологіях оброблення, перетворення і зберігання геометричної інформації про них на основі побудови інформаційно-аналітичних моделей задач, що виникають, та впровадження сучасних інформаційних технологій.

Зазначений напрям досліджень інтенсивно розвивається за рубежом та пов'язаний із роботами G. Fasano, J. D. Pinter, W. A. Oliveira, A. C. Moretti, H. Teng, Z. Sun, C. Che, Y. Chen, Y. Wang, L. Jingfa, L. Gang, K. Lei та багатьох інших вчених.

У вітчизняній науці фундаментальні результати у напрямку математичного та програмного забезпечення задач геометричного проектування отримано науковою школою Ю. Г. Стояна. Вагомий внесок у розвиток теорії та методів розв'язання задач компоновки складних систем з урахуванням просторової форми об'єктів зробили такі вчені як М. І. Гіль, І. В. Гребеннік, О. М. Кисельова, В. М. Комяк, О. В. Панкратов, Т. Є. Романова, П. І. Стецюк, С. В. Яковлев. Теорії та методам розроблення інтелектуальних інформаційних технологій зазначеного класу задач присвячено роботи П. І. Бідюка, Л. Ф. Гуляницького, В. А. Заславського, С. І. Доценка, Ю. В. Крака, В. П. Машталіра, С. В. Машталіра, О. Є. Федоровича, В. С. Харченка та інших вчених.

Традиційні підходи щодо розв'язання задач синтезу оптимальних конфігурацій просторових об'єктів останнім часом стрімко розвиваються. Це обумовлено появою адекватних моделей, методів і новітніх інтелектуальних інформаційних технологій, які підвищують ефективність рішень за значеннями обраних критеріїв оптимізації (мінімізація зайнятого об'єму області, мінімізація небалансу системи та мінімізація довжини мережі об'єктів), і можуть бути реалізовані незалежно від предметної області за допомогою зовнішніх процедур, що розробляються користувачами. Якість рішень оцінюється за значеннями обраної цільової функції та потребами в обчислювальних ресурсах для розв'язку задачі.

Розроблення сучасних інформаційних систем для розв'язання задач синтезу оптимальних конфігурацій складних просторових об'єктів потребує побудови математичних моделей в автоматичному режимі. При цьому процес комп'ютерного моделювання з урахуванням перетворення геометричної інформації та візуалізації отриманих рішень має творчий характер і є одним із найбільш складних і відповідальних етапів. Цей процес безпосередньо пов'язаний зі створенням інформаційної технології, яка будується на інформаційно-аналітичних і об'єктно-

орієнтованих моделях предметної області й вимагає розроблення ефективних методів оптимізації рішень.

Таким чином актуальним науковим завданням є розроблення моделей, методів та інформаційної технології компоновочного синтезу складних систем з урахуванням просторової форми об'єктів, що й обумовило вибір теми дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі інформатики Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» у період з 2006 р. по 2018 р. згідно з державними планами НДР, що виконувались за науковими напрямами кафедри «Розроблення інформаційно-аналітичних моделей і методів оптимізації складних систем з урахуванням просторової форми об'єктів», «Інтелектуальні інформаційні технології підтримки та прийняття рішень у системах геометричного моделювання». Автор брав участь у виконанні наукових тем: «Розробка науково обґрунтованих математичних моделей інформаційних технологій при формуванні просторового уявлення вузлів літальних апаратів» (№ ДР 0103U004032), «Розробка методів інформаційних технологій підтримки прийняття рішень для проектування елементів аерокосмічних систем» (№ ДР 0106U001036), «Методологічне забезпечення підготовки та управління комплексними проектами розвитку підприємств машинобудівної та транспортної галузей» (ДР № 0108U011072), «Енергоефективні та ресурсозберігаючі технології і засоби моделювання, вимірювання і перетворення процесів і енергоносіїв літальних апаратів і паливно-енергетичних комплексів» (№ ДР 0109U001089), «Методологія проектування елементів та інформаційно-вимірювальних систем контролю параметрів авіаційних двигунів і промислових паливно-енергетичних комплексів» (№ ДР 0111U001072).

У зазначених НДР автор був безпосереднім виконавцем і розробляв методи, компоненти інформаційної технології, зв'язані з обробленням, перетворенням і зберіганням геометричної інформації про об'єкти проектування й керування.

Мета та завдання дослідження. Мета роботи полягає в підвищенні якості рішень при створенні та експлуатації складних систем шляхом розроблення моделей, методів та інформаційної технології компоновочного синтезу просторових об'єктів.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан упровадження моделей, методів та інформаційних технологій синтезу складних систем з урахуванням просторової форми складових об'єктів;

- запропонувати класифікацію математичних моделей просторових конфігурацій з урахуванням аналітичного опису геометричних об'єктів, формалізації умов на їх взаємне розташування та критеріїв якості;

- розробити інформаційно-аналітичну модель опису структур даних у процесі створення складних просторових конфігурацій;

- виконати й провести аналіз консолідації структур даних геометричної інформації, що використовується при оптимізації та візуалізації просторових конфігурацій;

- розробити інформаційну технологію динамічного перетворення структури даних геометричної інформації в процесі синтезу просторових конфігурацій складних об'єктів;

- розробити методи оптимізації просторових конфігурацій сферичних об'єктів із застосуванням розроблених моделей та методів інформаційної технології;

- розробити генетичний алгоритм комбінаторної оптимізації, що використовує специфіку евклідових комбінаторних множин при розв'язанні задач балансової упаковки дискретно розподілених мас.

Об'єкт дослідження – процес формування, перетворення й зберігання геометричної інформації при синтезі складних систем з урахуванням просторової форми об'єктів.

Предмет дослідження – математичні моделі, методи оптимізації та інформаційна технологія компоновочного синтезу просторових конфігурацій.

Методи досліджень. Для розв'язання поставлених задач у дисертаційній роботі використано основні положення теорії геометричного проектування для побудови інформаційно-аналітичної моделі, засоби об'єктно-орієнтованого програмування для оброблення й перетворення структур даних, 3D-технології моделювання для візуалізації синтезованих конфігурацій, теорія й методи математичного програмування для пошуку локально-оптимальних конфігурацій, методи обчислювального інтелекту для розв'язання задач глобальної оптимізації.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна полягає в такому:

- *уперше розроблено* інформаційно-аналітичну модель синтезу оптимальних просторових конфігурацій, що на відміну від існуючих дає змогу інтегрувати ієрархічну об'єктно-орієнтовану модель з сучасними солверами інфраструктури COIN-OR (Computational Infrastructure for Operations Research) та засобами візуалізації отриманих конфігурацій;

- *уперше розроблено* інформаційну технологію перетворення й адаптації даних геометричної інформації при оптимізації та візуалізації просторових конфігурацій, що на відміну від існуючих підходів враховує динаміку процесу їх синтезу;

- *удосконалено* модель просторової конфігурації матеріальних об'єктів, що на відміну від існуючих враховує всі параметри геометричної інформації та дозволяє формувати відповідні структури вихідних даних;

- *набув подальшого розвитку* метод синтезу оптимальних конфігурацій просторових об'єктів, який на відміну від існуючих дозволяє в процесі оптимізації залучати особу, що приймає рішення;

- *набув подальшого розвитку* метод штучного розширення простору, що дає змогу оптимізувати існуючі рішення при реалізації інформаційної технології синтезу конфігурацій сферичних об'єктів.

Одержані результати мають практичне значення:

- при реалізації інструментальних засобів інформаційної технології компоновочного синтезу просторових об'єктів;

- при комплексному застосуванні технології візуалізації рішень з подальшими процесами їх оптимізації за участю особи, що приймає рішення;

- при розробленні й проектуванні систем логістики складування, компоновки бортового обладнання аерокосмічних об'єктів;

– для проектування систем моніторингу екологічних процесів при моделюванні процесу розповсюдження газових сумішей в областях складної форми.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено на Державному науково-виробничому підприємстві «Об'єднання Комунар» (акт упровадження від 17.09.2018), у науково-дослідній роботі Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» (акт упровадження від 21.09.2018), а також у навчальний процес кафедри інформатики Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» у вигляді навчально-методичних матеріалів дисциплін «Організація баз даних та знань», «Алгоритми і структури даних», «Обчислювальна геометрія та комп'ютерна графіка», «Обробка зображень та мультимедіа», «Теорія оптимальних систем» (акти впровадження від 20.12.2017 та від 16.02.2018).

Особистий внесок здобувача. Усі основні наукові положення, результати, висновки та рекомендації дисертаційної роботи отримано автором самостійно й опубліковано в роботах [1]–[23]. У публікаціях, які написано у співавторстві, здобувачем [1], [14], [16] запропонована об'єктно-орієнтована модель просторової конфігурації матеріальних об'єктів; в [5], [18], [22] розроблена інформаційно-аналітична модель синтезу оптимальних просторових конфігурацій; в [15], [19], [20] запропонована інформаційна технологія багатоетапного оброблення, перетворення й адаптації даних та візуалізації результатів; в [2], [3], [12], [13], [17] побудована еквівалентна модель та обґрунтований метод змінного радіусу в задачах синтезу просторових конфігурацій сферичних об'єктів; в [4], [8], [9] розроблено методи обчислювального інтелекту, що враховують комбінаторну структуру задач синтезу просторових конфігурацій; в [8], [9], [26] описано застосування моделей просторових конфігурацій у задачах розповсюдження газових сумішей в областях складної форми.

Апробація результатів дослідження. Основні результати роботи доповідалися й обговорювалися на таких наукових конференціях: «Авиационно-космическая техника и технология», Харків, 2015, 2016, 2017; «Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии», Харків, 2009; «Питання прикладної математики і математичного моделювання», Дніпро, 2017; «Радіоелектронні і комп'ютерні системи», Харків, 2017; XIV Міжнародна науково-практична конференція «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем» (MPZIS), Дніпро, 2016, 2017; «Міжнародна науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ», Харків, 2007, 2015, 2017, 2018; Міжнародна XXII наукова конференція країн СНГ «Дисперсные системы», Одеса, 2006; Науково-методична конференція «Впровадження нових інформаційних технологій навчання», Харків, 2007; 6-й Міжнародний радіоелектронний форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития», Харків – Коблево, 2017; «Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання» Івано-Франківськ, 2017; Міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційні системи та технології» (ІСТ-2017), Харків – Коблево, 2017; «Комп'ютерна математика», Київ, 2017; «Бионика интеллекта», Харків, 2017; Abstracts Book and Proceedings of the 3-nd International Conference on Hydrogen Safety Ajaccio-Corsica (France), 2009; VIII Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інформатика та системні науки», Полтава, 2017; VIII Всеукраїнська науково-

практична конференція «Free and Open Source Software» (FOSS-2016), Харків, 2016; IV Міжнародна науково-практична конференція «Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи)», Київ, 2017; Міжнародна наукова конференція «Сучасна інформатика: проблеми, досягнення та перспективи розвитку», Київ, 2017; I Міжнародна науково-практична конференція IT-професіоналів та аналітиків комп'ютерних систем «ProFIT Conference», Харків, 2018; XII Міжнародний науково-практичний семінар «Комбінаторні конфігурації та їх застосування», Кропивницький, 2018.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 23 наукові праці, у тому числі: 6 статей у спеціалізованих виданнях, затверджених ДАК МОН України [1–6], тези доповідей на міжнародних та вітчизняних наукових конференціях [7–22], 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на програмний продукт [23].

Структура дисертації. Дисертація містить анотацію, вступ, чотири розділи, висновки й додатки. Загальний обсяг дисертації становить 194 сторінки (основний текст – на 153 с.), у тому числі 35 рисунків за текстом, 6 таблиць за текстом, анотації на 10 сторінках, список літературних джерел з 237 найменувань на 28 сторінках та 2 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету й задачі дослідження, указано об'єкт, предмет і методи дослідження, визначено наукову новизну й практичну значущість отриманих результатів, наведено відомості про публікації за темою дисертаційної роботи й апробацію результатів дослідження.

У **першому розділі** проведено аналіз джерел науково-технічної літератури, присвячених моделям, методам та сучасним інформаційним технологіям підтримки та прийняття рішень при синтезі складних технічних систем з урахуванням просторової форми складових об'єктів.

Виділено клас задач синтезу просторових конфігурацій, зв'язаний з відображенням геометричної інформації про сукупність матеріальних об'єктів при виконанні заданої системи обмежень. Геометрична інформація $g = (\{s\}, \{m\}, \{p\})$ про об'єкт S містить просторову форму $\{s\}$, метричні параметри форми $\{m\} = (m_1, \dots, m_k)$, що задають розміри об'єкта, і параметри розміщення $\{p\} = (p_1, \dots, p_l)$, що визначають положення об'єкта в просторі. Клас задач, зв'язаний з відображенням геометричної інформації, називають задачами геометричного проектування. У розділі наведені вербальні постановки практичних задач компоновки бортового обладнання літальних апаратів, задач складування в логістичних системах та задачі, які виникають в сучасних технологіях 3D-друку.

Аналіз показав, що зазначені задачі є оптимізаційними та вкрай складними, в силу їх багатоекстремальності й великої розмірності. Зазвичай розглядають об'єкти, що мають сферичну форму, конусу, форму паралелепіпеду, багатокутнику та складні об'єкти із фіксованими метричними характеристиками. Задачі синтезу просторових конфігурацій об'єктів довільної форми мають свої особливості та потребують

побудови нових математичних моделей та спеціальних методів їх розв'язання. При цьому синтез просторових конфігурацій вимагає подальшого розвитку методів оброблення, перетворення й зберігання геометричної інформації про матеріальні об'єкти з урахуванням інформаційно-аналітичних моделей задач, що виникають.

Другий розділ присвячено створенню ієрархії класів предметної області, дослідженню процесів перетворення геометричної інформації та розробленню інформаційно-аналітичної моделі задачі синтезу оптимальних просторових конфігурацій.

Для опису зовнішньої структури й вигляду сукупності матеріальних об'єктів або їх частин формується конфігураційний простір геометричних об'єктів (ГО), що базується на формалізації поняття геометричної інформації $g = (\{s\}, \{m\}, \{p\})$. Основою завдання компонентів $\{s\}$ і $\{m\}$ геометричної інформації g об'єкта S є рівняння його границі $f(\xi, m) = 0$, де $\xi = (x, y)$, якщо $S \subset R^2$, і $\xi = (x, y, z)$, якщо $S \subset R^3$. Запропоновано використовувати рівняння границь 2D- і 3D-об'єктів, базові класи яких наведено в роботах Ю. Г. Стояна і Т. Є. Романової. Рівняння границь складних геометричних об'єктів будують на основі базових за допомогою теорії R-функцій В. Л. Рвачьова.

Розглянемо систему координат $Oxyz$ (Oxy) у просторі R^3 (R^2), яку назвемо нерухомою, і зв'яжемо з об'єктом S власну (рухоми) систему координат, початок якої називають *полюсом*. Взаємне розташування зазначених систем координат характеризують параметри розміщення $p = (p_1, \dots, p_\beta) = (v, \theta)$, де v – вектор координат полюса об'єкта S у нерухомій системі координат, а θ – вектор кутових параметрів, які визначають взаємне розташування осей власної і нерухомої систем координат. Положення ГО відносно нерухомої системи координат задають рівнянням його загального положення $F(\xi, m, p) = f[A(\xi - u), p] = 0$, де A – ортогональний оператор, виражений через кутові параметри v . Це рівняння покладено в основу формування *конфігураційного простору ГО*, що задає сукупність значень геометричних змінних, які називають *узагальненими координатами*, та визначає розташування в просторі системи та її частин як відносно одна одної, так і відносно фіксованої системи координат. У роботі сформовано конфігураційний простір $\Xi(S)$ ГО S з узагальненими змінними $g = (m, p)$.

З урахуванням конфігураційного простору в дисертаційній роботі запропоновано об'єктно-орієнтовану модель ГО, яка містить абстрактний клас GeometryObjectBase, який реалізує набір віртуальних методів із загальними операціями для всіх об'єктів. Такими операціями є отримання інформації з файлу або БД, збереження даних, візуалізація конфігурацій тощо. Нащадки класу GeometryObjectBase мають дві імплементації відповідно до розмірності простору ГО. Кожен із цих класів містить поля й віртуальні методи, які забезпечують афінні перетворення руху у відповідному просторі. Така реалізація дає змогу створювати й обробляти просторові об'єкти будь-якого рівня складності.

Розглянемо сукупність об'єктів $\Omega = \{S_1, \dots, S_n\}$. Позначимо через $\Xi(S_i)$ конфігураційний простір об'єкта S_i з узагальненими змінними $g^i = (m^i, p^i)$, $i \in J_n$, де $J_n = \{1, \dots, n\}$. Кожній точці $g^i \in \Xi(S_i)$ відповідає параметризований об'єкт $S_i(g^i) \subset R^3(R^2)$. Сформуємо конфігураційний простір сукупності базових ГО $\Xi(\Omega) = \Xi(S_1) \times \dots \times \Xi(S_n)$ з узагальненими змінними $g = (g^1, \dots, g^n)$.

Відображення $\xi: \Omega \rightarrow \Xi(\Omega)$, що задовольняє заданому набору обмежень Λ задає просторову конфігурацію об'єктів $S_i, i \in J_n$. Просторова конфігурація задає множину параметризованих ГО $S_i(g^i), i \in J_n$, які за допомогою теоретико-множинних операцій формують складний ГО $S_B = B(S_1, \dots, S_n)$, де B – оператор, визначає структуру системи об'єктів $S_i, i \in J_n$. Об'єкту S_B в конфігураційному просторі $\Xi(\Omega)$ відповідає параметризований ГО

$$S_B(g^1, \dots, g^n) = B(S_1(g^1), \dots, S_n(g^n)).$$

При фіксованих узагальнених змінних $g^i = \hat{g}^i, i \in J_n$ точка $\hat{g} = (\hat{g}^1, \dots, \hat{g}^n) \in \Xi(\Omega)$ задає зображення складного об'єкта

$$S_B(\hat{g}^1, \dots, \hat{g}^n) = B(S_1(\hat{g}^1), \dots, S_n(\hat{g}^n)).$$

Урахування системи обмежень Λ дозволяє здійснити класифікацію просторових конфігурацій в залежності від взаємовідношень між об'єктами із Ω . Способи формалізації таких відношень визначаються вибором узагальнених змінних конфігураційного простору, обмеженнями на взаємне розташування ГО та їх фізико-механічними властивостями (рис. 1).

Уведемо на множині об'єктів $S_i, i \in J_n$ бінарне відношення неперетинну $\{*\}$. Будемо вважати, що $S' * S''$, якщо $\text{int } S' \cap \text{int } S'' = \emptyset$, тобто об'єкти S' і S'' не мають спільних внутрішніх точок. Якщо $S_i(g^i) * S_j(g^j)$ для будь-яких $i, j \in J_n, i \neq j$, то просторову конфігурацію назвемо конфігурацією упаковки. Зазначимо, що у більшості практичних задач пакування розглядається додатковий об'єкт S_0 – контейнер. При цьому всі об'єкти $S_i, i \in J_n$ мають належати контейнеру S_0 . Уведемо на множині об'єктів бінарне відношення включення $\{\circ\}$. Вважатимемо $S' \circ S''$, якщо $\text{int } S' \subset S''$.

Нехай об'єкт S_0 у конфігураційному просторі $\Xi(S_0)$ має узагальнені змінні g^0 . Сформуємо конфігураційний простір $\Xi(S_0, \Omega) = \Xi(S_0) \times \Xi(\Omega)$. Тоді сукупність узагальнених змінних $(g^0, g^1, \dots, g^n) \in \Xi(S_0, \Omega)$ задає конфігурацію упаковки, якщо $S_j(g^j) \circ S_0(g^0), S_i(g^i) * S_j(g^j)$ для будь-яких $i, j \in J_n, i < j$.



Рисунок 1 – Етапи процесу формалізації просторових конфігурацій

На узагальнені змінні g^0, g^1, \dots, g^n конфігураційного простору $\Xi(S_0, \Omega)$ можуть накладатися додаткові обмеження, які породжують спеціальні класи конфігурацій пакування, зокрема конфігурація компоновки в разі наявності обмежень на мінімальні й максимальні допустимі відстані між об'єктами. У випадку, коли об'єкти $S_i, i \in J_n$ являють собою тверді тіла з заданими масами збалансована система таких тіл задає конфігурацію рівноважної упаковки.

Нехай на конфігураційному просторі $\Xi(S_0, \Omega)$ заданий функціонал $\xi: \Xi(S_0, \Omega) \rightarrow R^1$. Сформулюємо задачу пошуку оптимальної конфігурації системи геометричних об'єктів $S_i, i \in J_n$. Необхідно знайти

$$g^* = \arg \min_{g \in W \subseteq \Xi(S_0, \Omega)} \xi(g), \quad (1)$$

де W – множина допустимих конфігурацій, що визначається системою Λ .

Узагальнені змінні $g = (g^0, g^1, \dots, g^n)$ конфігураційного простору $\Xi(S_0, \Omega)$ набувають дійсних числових значень, що дозволяє природним чином здійснити еквівалентну постановку задачі (1) як задачі математичного програмування.

Для формалізації обмежень на взаємне розташування об'єктів використано математичний апарат Φ -функцій Ю. Г. Стояна. На основі аналізу існуючих методів побудови Φ -функції базових 2D- і 3D-об'єктів у розділі було узагальнено відомі результати класу задач компоновки і пакування зі змінними метричними

параметрами об'єктів для формування бази даних «BaseObjects».

З урахуванням об'єктно-орієнтованої моделі ГО та математичного моделювання взаємовідношень сукупності ГО побудована інформаційно-аналітична модель задачі синтезу просторових конфігурацій, яку подано у вигляді, наведеному на рис. 2.

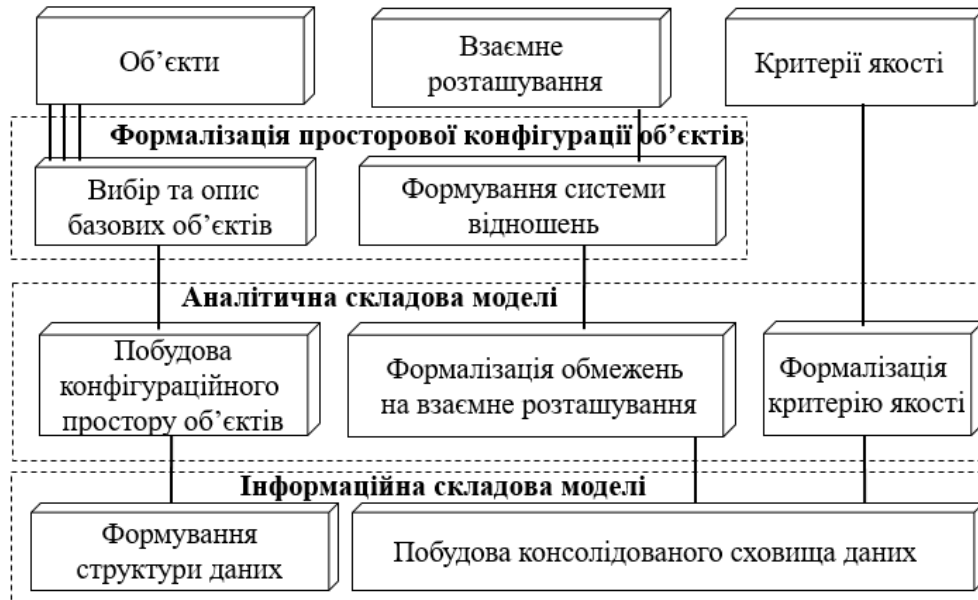


Рисунок 2 – Інформаційно-аналітична модель процесу синтезу оптимальних конфігурацій

Можна виділити аналітичну й інформативну складові такої моделі. Аналітична складова пов'язана з вибором узагальнених змінних математичної моделі задачі, формалізацію обмежень на взаємне розташування ГО та критеріїв якості.

Інформаційна складова моделі описує формування структури даних просторових об'єктів і створення консолідованого сховища даних просторових конфігурацій. Вибір структури вихідних даних базується на властивостях використання існуючих пакетів програм оптимізації та візуалізації в процесі розв'язання задачі. У роботі застосовано використання пакету програм COIN-OR з відкритим кодом.

Залежно від критеріїв якості й вибору конкретних обмежень задачі синтезу оптимальних конфігурацій можна віднести до відповідного класу задач математичного програмування. З математичної точки зору для пошуку локальних екстремумів достатньо формалізувати цільову функцію, функціональні обмеження, матриці Якобі і Гессе тощо. У цьому випадку розроблення сучасних інформаційних технологій синтезу оптимальних конфігурацій складних систем потребує побудови їх інформаційно-аналітичних моделей в автоматичному режимі. Особливістю цього підходу є те, що можливості реалізації методів розв'язання таких задач незалежні від предметної області. При цьому зазначимо, що задачі, які розглядаються, належать до класу *NP*-складних, мають високу розмірність і є багатоекстремальними.

Інформаційна технологія синтезу конфігурацій зображена з використанням діаграми IFEF0 та складається із шести взаємопов'язаних блоків. На рис. 3 показано,

яким чином функціональні блоки системи взаємодіють між собою та які загальні кроки необхідно виконати для того, щоб отримати нову конфігурацію.

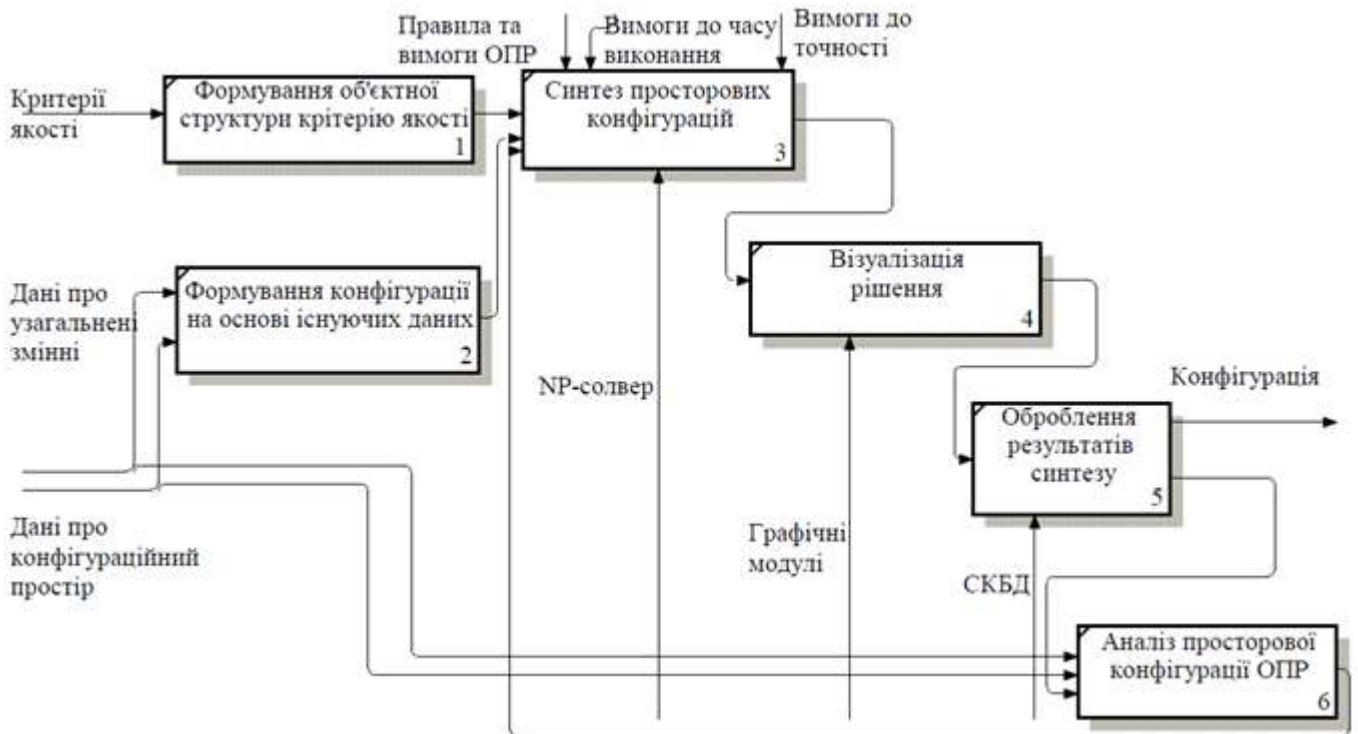


Рисунок 3 – Модель інформаційної технології синтезу просторових конфігурацій

Блок 1 описує процес формування аналітичної складової моделі відповідно до вибраного критерію якості та системи обмежень.

У блоці 2 на основі вихідних даних про узагальнені змінні та конфігураційний простір формують структура даних просторової конфігурації.

Блок 3 відповідає за синтез локально-оптимальної просторової конфігурації згідно з вибраним критерієм якості та узагальненими змінними конфігураційного простору. Здійснено аналіз математичної моделі задачі та обґрунтовано вибір відповідного солверу пакета програм COIN-OR. Структура даних геометричної інформації перетворено на таку, яка потребує вибраний солвер. Задано обмеження на обчислювальні ресурси (об'єм пам'яті та час виконання), а також рекомендована точність розв'язку. Результатом цього функціонального блока є сформована просторова конфігурація, яка відповідає всім висуненим вимогам.

Блок 4 описує процес візуалізації поточної просторової конфігурації. На цьому етапі здійснено перетворення даних об'єктно-орієнтованої моделі просторової конфігурації до формату даних, якого потребує програмне забезпечення для візуалізації зображення.

У блоці 5 здійснено оброблення та зберігання результатів синтезу просторової конфігурації у сховище даних «ConfigurationRepository» з використанням СКБД.

Блок 6 описує можливості залучення особи, що приймає рішення (ОПР), для аналізу просторової конфігурації. Залежно від якості розв'язання ОПР може залишити отримане рішення без змін або перейти до процедур його покращання. В останньому випадку ОПР задає нові узагальнені змінні просторової конфігурації і

процес повторюється відповідно до попередніх блоків. Тим самим змінюються параметри методу оптимізації на наступних ітераціях. Зазначимо, що в процесі оптимізації вихідна просторова конфігурація може бути недопустимою. Однак відповідно до технології, яку запропоновано, у подальшому автоматично синтезують локально-оптимальну конфігурацію, яка задовольняє всім висуненим вимогам.

Впровадження моделей та методів інформаційної технології компоновочного синтезу просторових об'єктів безпосередньо зв'язані з вибором форми об'єктів.

У третьому розділі здійснено реалізацію запропонованої інформаційної технології компоновочного синтезу просторових конфігурацій для класу сферичних об'єктів. Описано властивості моделей просторових конфігурацій та базові принципи інформаційної технології залежно від системи обмежень на узагальнені змінні відповідного конфігураційного простору.

Оптимізація просторових конфігурацій здійснюється за такими критеріями: мінімізація зайнятого об'єму (площі) контейнера, мінімізація небалансу системи та мінімуму сумарної мережі, яка зв'язує сферичні об'єкти, з урахуванням обмежень на мінімальні й максимальні відстані між ними. Процес оптимізації базується на використанні сучасних методів локальної оптимізації, таких як метод внутрішньої точки, градієнтні методи, методи гілок та меж, методи лінійного програмування тощо.

NP-складність задач оптимізації просторових конфігурацій потребує розроблення спеціальних методів глобальної оптимізації, побудованих на схемах перебору локально-оптимальних розв'язків. З метою поліпшення отриманих розв'язків у задачах компоновки сферичних об'єктів у роботі набув подальшого розвитку метод штучного розширення простору, названий *методом змінного радіуса*. Ідея методу полягає в побудові еквівалентної моделі пакування нерівних куль з фіксованими радіусами $r_i, i \in J_n$ у кулі з мінімальним радіусом r_0 .

Вихідна модель має вигляд

$$r_0 \rightarrow \min \quad (2)$$

при обмеженнях

$$x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 \leq (r_0 - r_i)^2, \quad i \in J_n, \quad (3)$$

$$(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2 \geq (r_i + r_j)^2 \quad \forall i, j \in J_n, i \neq j. \quad (4)$$

Нехай знайдено локальний розв'язок задачі (2) – (4) з використанням, наприклад, будь-якого *NLP*-солверу. Отриманий розв'язок вибирається як початкова точка. При цьому радіуси куль розглядаються як незалежні змінні $r_i, i \in J_n$. Здійснимо еквівалентні перетворення задачі (2) – (4). Сформуємо таку систему обмежень для $r_i, i \in J_n$, розв'язками якої будуть ті і тільки ті значення змінних, які збігаються з вихідними фіксованими значеннями $r_i^0, i \in J_n$. Доведено, що в цьому випадку структура розв'язку задається множиною $E(r_1^0, \dots, r_n^0)$ всіляких перестановок чисел $r_i^0, i \in J_n$.

Нехай радіуси куль упорядковано таким чином: $r_0^0 \leq \dots \leq r_n^0$, а множина $E(r_1^0, \dots, r_n^0)$ описується в полієдрально-сферичній формі:

$$\sum_{i=1}^n r_i = \sum_{i=1}^n r_i^0, \quad \sum_{i \in W} r_i \geq \sum_{i=1}^{\text{card } W} r_i^0, \quad \forall W \subset J_n; \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n (r_i - \tau)^2 = \sum_{i=1}^n (r_i^0 - \tau)^2, \quad \tau = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i^0. \quad (6)$$

Таким чином вихідна задача (2) – (4) розмірності $3n+1$ у просторі змінних $r_0, x_1, y_1, z_1, \dots, x_n, y_n, z_n$ еквівалентно сформулюється як оптимізаційна задача (2) – (6) розмірності $4n+1$ у просторі змінних $r_0, x_1, y_1, z_1, r_1, \dots, x_n, y_n, z_n, r_n$. Ефективність запропонованого методу при реалізації різних обчислювальних схем нелінійної оптимізації обумовлюється можливістю подолання області тяжіння локальних екстремумів вихідної задачі шляхом уведення штучних змінних r_1, \dots, r_n . У задачах локальної оптимізації великої розмірності запропоновано здійснювати декомпозицію системи (5) – (6) на підсистеми меншої розмірності.

Ефективність методу змінного радіуса підтверджено чисельними експериментами. Наведено приклади компоновки сферичних об'єктів у сфері мінімального радіуса та при розв'язанні модельних задач компоновочного синтезу кругових об'єктів, які виникають при пакуванні рулонних матеріалів в логістичних системах складування. Розглянуто задачу компоновки циліндричних об'єктів при розташуванні обладнання супутника із використання моделі С. Che, Y. Wang.

Задачі компоновочного синтезу є багатоекстремальними й мають складну комбінаторну структуру. У роботі запропоновано новий підхід до реалізації генетичних алгоритмів у задачах оптимізації на евклідових комбінаторних конфігураціях $E \subset R^n$. Описані особливості реалізації генетичних алгоритмів, формалізовано й обґрунтовано вибір операторів кросовера і мутації.

Введемо операцію «квазісхрещування» евклідових комбінаторних конфігурацій $x = (x_1, \dots, x_n)$ і $y = (y_1, \dots, y_n)$, у вигляді:

$$z = H(x, y) = xf(x) + yf(y),$$

де $f(\xi)$ - значення цільової функції на евклідовій комбінаторній конфігурації ξ .

Розглянемо евклідову комбінаторну конфігурацію $\tilde{z} = (\tilde{z}_1, \dots, \tilde{z}_n)$, яка задовольняє системі обмежень Λ і є найближчою до особини $z = (z_1, \dots, z_n)$. Для формування оператора кросовера сформуємо допоміжну задачу проектування точки z на множину допустимих евклідових конфігурацій E , тобто

$$\tilde{z} = Pr_E z. \quad (7)$$

Задача (7) еквівалентна наступній:

$$\|\tilde{z} - z\| \rightarrow \min, \quad z \in E.$$

В роботі розроблено поліноміальні методи розв'язання цієї задачі. Обчислювальна складність алгоритму визначається рішенням задачі оптимізації лінійної функції на множині перестановок та дорівнює $O(n^2)$.

Розглянуто застосування зазначеного генетичного алгоритму для розв'язання задач балансування дискретно розподілених мас. Отримані рішення порівнювались із результатами тестових задач та підтвердили ефективність запропонованого підходу.

Четвертий розділ присвячений застосуванню запропонованих моделей та методів інформаційної технології компоновочного синтезу просторових об'єктів, що реалізована у вигляді комплексу програмних додатків. Реалізація комплексу програм базується на спільному використанні об'єктно-орієнтованих мов програмування C++, C# і ECMA Script.

Комплекс програм включає в себе: програмний додаток для реалізації методів оптимізації просторових конфігурацій, програму-репозиторій – консолідоване сховище для зберігання інформації про процес рішення задач; програмні додатки для візуалізації отриманих рішень.

Розроблено програмний додаток GeneralSolver, що програмно інтегрує обраний солвер та необхідні обчислювальні програмні складові. GeneralSolver використовується для динамічного перетворення структури даних геометричної інформації у процесі синтезу просторових конфігурацій складних об'єктів.

У межах узагальненої діаграми (див. рис. 3) інформаційна технологія дозволила будувати оптимальні просторові конфігурації за двома сценаріями. За першим сценарієм ОПР задає початкові дані та не втручається в процес синтезу. За другим сценарієм задається крок дискретизації (за часом або значенням критерію якості проміжного рішення), причому в обох сценаріях здійснено візуалізацію просторової конфігурації. ОПР може втручатися в процес оптимізації та на свій розсуд корегувати узагальнені змінні (положення та розміри об'єктів).

Для збереження результатів обчислень GeneralSolver розроблений програмний додаток – сховище даних, що містить повну інформацію про просторові конфігурації, значення узагальнених змінних конфігураційного простору, які використовуються у процесі синтезу конфігурацій та інформацію про математичну модель задачі (критерії якості, обмеження). Для роботи зі сховищем даних розроблена БД та використана СКБД MS SQL. При виконанні розрахунків здійснюється систематизація та збереження одержаних результатів за допомогою консолідованого сховища даних геометричної інформації. Для інтеграції БД з відповідним програмним додатком впроваджено модель ORM, яка за допомогою Entity Framework й LINQ реалізує ORM. DFD діаграма, яка описує наведену модель зображена на рис. 4.

В процесі синтезу оптимальних конфігурацій використовується їх 2D або 3D візуалізація. Для 2D візуалізації у роботі розроблений програмний додаток. Для 3D візуалізації було обрано графічний пакет 3Ds Max Studio.

Описано впровадження зазначеного програмного комплексу для розв'язання задач синтезу оптимальних конфігурацій сферичних об'єктів. Наведені результати чисельних розрахунків, які порівнювались із відомими тестовими задачами, та підтвердили підвищення якості рішень за значеннями обраних критеріїв оптимізації на 3-5% в залежності від вихідних даних.

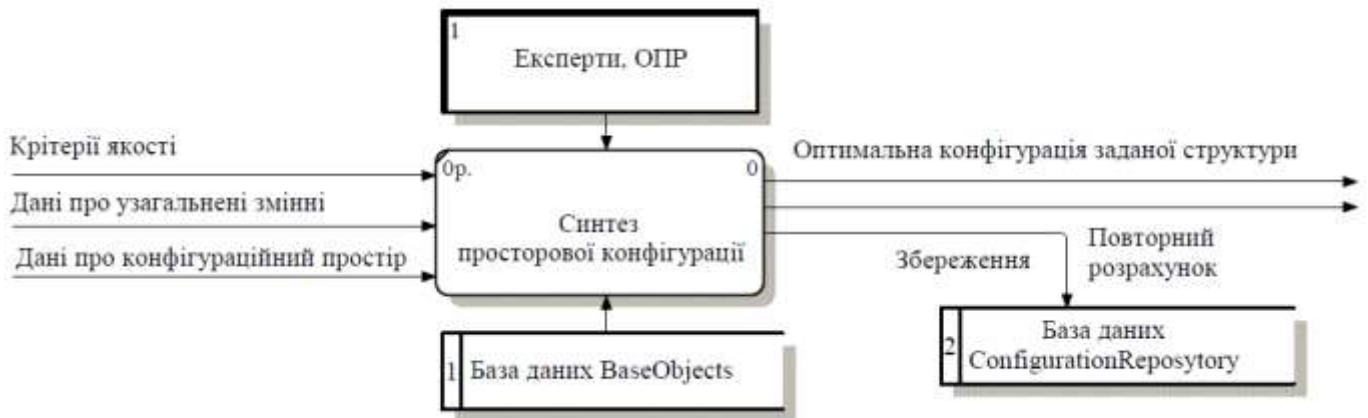


Рисунок 4 – DFD діаграма «Синтез конфігурацій»

Окремо описано застосування моделей просторових конфігурацій в задачах розповсюдження газових сумішей в областях складної форми. Зазначені моделі впроваджені у програмний додаток «Fire», на який отримано свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 30079.

У додатках наведено акти впровадження теоретичних і практичних результатів дисертації та список наукових праць здобувача за темою дослідження.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання – розроблення моделей, методів та інформаційної технології компоновочного синтезу складних систем з урахуванням просторової форми об'єктів. Проведені дослідження дають змогу зробити такі висновки:

1. На основі аналізу практичних задач, що виникають в різних галузях виробництва (аерокосмічній, логістичній, енергетичній тощо), виділено клас задач компоновочного синтезу технічних систем, що потребують урахування просторової форми об'єктів, особливостей їх розташування та метричних характеристик. Здійснено класифікацію моделей просторових конфігурацій відповідно до аналітичного опису геометричних об'єктів, формалізації умов на їх взаємне розташування та критеріїв якості розв'язків.

2. Удосконалено модель просторової конфігурації базових об'єктів з урахуванням структури даних усіх компонентів геометричної інформації. Створено об'єктно-орієнтовану модель класів предметної області задач оброблення, перетворення й адаптації даних у системах компоновки об'єктів довільної форми, що дозволяє формувати й обробляти інформацію про просторові об'єкти будь-якого рівня складності.

3. Розроблено інформаційно-аналітичну модель синтезу оптимальних просторових конфігурацій, що інтегрує аналітичну складову, пов'язану з побудовою математичної моделі задачі, та інформаційну складову, пов'язану з формуванням структури даних просторових об'єктів і консолідованого сховища даних просторових конфігурацій.

4. Розроблено метод перетворення й адаптації даних, що дозволяє використовувати інфраструктуру COIN-OR для формування допустимих локально-

оптимальних конфігурацій. На відміну від існуючих аналогів цей метод дає змогу інтегрувати об'єктно-орієнтовану модель вихідної задачі з NLP-солверами інфраструктури COIN-OR. При цьому враховується динаміка процесу синтезу оптимальних просторових конфігурацій.

5. Набув подальшого розвитку метод синтезу конфігурацій просторових об'єктів із залученням ОНР, який на відміну від існуючих забезпечує консолідацію структур даних, які отримані в процесі оптимізації та при візуалізації проміжних та остаточних розв'язків.

6. Розроблено інформаційну технологію динамічного перетворення структури даних геометричної інформації в процесі синтезу просторових конфігурацій складних об'єктів та описані її базові принципи.

7. Досліджено властивості моделей та розроблено спеціальні методи синтезу просторових конфігурацій для класу сферичних об'єктів.

8. За для оптимізації пошуку розв'язків у задачах компоновочного синтезу конфігурацій сферичних об'єктів розроблено метод змінного радіуса, що є модифікацією методу штучного розширення простору. Побудовано еквівалентну модель задачі, у якій метричні параметри об'єктів є змінними, що дає змогу долати зони тяжіння локальних екстремумів у процесі оптимізації.

9. Запропоновано генетичний алгоритм розв'язку задач оптимізації на евклідових комбінаторних конфігураціях. Розглянуто особливості реалізації генетичних алгоритмів для розв'язання задач зазначеного класу, формалізовано й обґрунтовано вибір операторів кросовера і мутації. Розв'язано практична задача балансування дискретно розподілених мас, результати якої порівнювалися із відомими.

10. Розроблено комплекс програмних додатків, що реалізують запропоновані моделі та методи інформаційної технології компоновочного синтезу просторових об'єктів. При цьому на відміну від існуючих враховується можливість змінних метричних параметрів (розмірів) об'єктів просторової конфігурації.

11. Моделі та методи інформаційної технології синтезу просторових об'єктів тестовано на модельних задачах компоновки циліндричних і сферичних об'єктів, результати порівнювались із відомими та підтвердили підвищення якості рішень за значеннями обраних критеріїв оптимізації (мінімізація об'єму, небалансу системи, довжини мережі) на 3-5% в залежності від вихідних даних.

12. Результати роботи впроваджено, апробовано й застосовано на ДНВП «Об'єднання Комунар», використано в НДР і навчальному процесі Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», що підтверджено відповідними актами впровадження.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Карташов А. В., Коробчинский К. П. Математические модели и информационные технологии компоновочного синтеза сферических конфигураций // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи: сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2017. Вып. 4 (84). – С. 82–88.

2. Коробчинський К. П., Яковлев С. В. Вычислительные аспекты метода искусственного расширения пространства в задачах размещения гомотетичных объектов // Комп'ютерна математика: зб. наук. пр. / Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України. Київ, 2017. Вып. 2. – С. 118–126.
3. Яковлев С. В., Яськов Г. Н., Коробчинский К. П. О методах переменного радиуса в задаче упаковки шаров в контейнеры // Питання прикладної математики і математичного моделювання: зб. наук. пр. / Нац. ун-т ім. Олеса Гончара. Дніпро, 2017. Вып. 17. – С. 265–272.
4. Яковлев С. В., Карташов А. В., Коробчинський К. П. Об одном классе генетических алгоритмов в задачах оптимизации на комбинаторных конфигурациях // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал / Нац. ун-т радіоелектроніки ХНУРЕ. Харків, 2017. Вып. 27. – С. 31–36.
5. Yakovlev S., Kartashov O., Korobchynskiy K. The Informational Analytical Technologies of Synthesis of Optimal Spatial Configuration. Proceedings of IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2018). 2018. Vol. 2. – P. 140 – 143. (*Індексується в Scopus*)
6. Коробчинский К. П., Скоб Ю. А., Угрюмов М. Л., Шенцов В. В. Численная оценка последствий взрыва водорода в атмосфере. Авиационно-космическая техника и технология: сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ». Харків, 2008. Вып. 1 (48). – С. 79–88.
7. Skob Yu. A., Ugryumov M. L., Korobchynskiy K. P., Shentsov V. V., Granovskiy E. A., Lyfar V. A. Numerical Modeling of Hydrogen Deflagration Dynamics in Enclosed Space // 3-nd International Conference on Hydrogen Safety (Ajaccio-Corsica, France, 2009). (ICHS Paper No. ID 182) 12p.
8. Коробчинский К. П., Пичугина О. С. Об особенностях решения задач оптимизации на перестановках. Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем: Тези доповідей XIV Міжнародної науково-практичної конференції MPZIS – 2016 (Дніпро, 16-18 листопада 2016 р.). Дніпро. ДНУ, 2016. – С. 104–105.
9. Карташов А. В. Коробчинский К. П. Санин Ю. С. Об особенностях решения дискретно-континуальных задач с помощью специализированного пакета COIN-OR. Free and Open Source Software: VIII Всеукраїнська науково-практична конференція «Free and Open Source Software» FOSS-2016 (Харків. 22-24 листопада 2016 р.). Харків. 2016. – С. 43.
10. Пичугина О. С., Коробчинский К. П. Об одном подходе к условной оптимизации на сферически расположенных дискретных множествах. Информатика и системные науки: VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції "Інформатика і системні науки", ПУЕТ (Полтава, Україна, 2017 р.). – С. 219.
11. Карташов А. В., Коробчинский К. П., Пичугина О. С. Особенности реализации генетических алгоритмов в задачах евклидовой комбинаторной оптимизации. Обчислювальний інтелект: зб. тез доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 16-18 травня 2017 р.). Київ. 2017. – С. 120–122.
12. Яковлев С. В., Карташов О. В., Коробчинський К. П. Метод змінних радіусів в задачі розміщення нерівних кіл // Інформаційні технології та комп'ютерне

моделивання: зб. тез доп. міжнар. наук.-практ. конф. (11–16 вересня 2017 р., Івано-Франківськ). Івано-Франківськ. 2017. – С. 319–322.

13. Коробчинский К. П., Лаухін Н. С. Пакування нерівних куль у кулі методом змінного радіуса // Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2017»: зб. тез доп. наук.-техн. конф. / Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т» (Харків, 20 жовтня 2017 р.). Харків. 2017. – С. 127–128.

14. Коробчинский К. П., Сивак А. А. Об одном подходе решения задачи равновесной упаковки с учетом длины связывающей сети // Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2017»: зб. тез доп. конф. / Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т» (Харків, 20 жовтня 2017 р.). – С. 129.

15. Коробчинский К. П., Скрипка Б. Ю. О некоторых подходах к распараллеливанию вычислений в генетических алгоритмах // Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2017»: зб. тез доп. конф. / Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т» (Харків, 20 жовтня 2017 р.). – С. 144.

16. Карташов О. В., Коробчинский К. П., Яковлев С. В. Об одном классе задач равновесной упаковки с учетом зон запрета // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (MPZIS-2017): зб. тез доп. XV Міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпро, 22-24 листопада 2017 р.). – С. 83–85.

17. Яковлев С. В., Коробчинский К. П. Методы искусственного расширения пространства в задачах размещения гомотетичных объектов // Сучасна інформатика: проблеми, досягнення та перспективи розвитку: зб. тез доп. Міжнар. наукової конф. (Київ 13–15 грудня 2017 р.). Київ. 2017. – С. 171–172.

18. Kartashov O., Korobchynskiy K., Skrypka B. Some problems of optimization in the configuration space of spherical objects // Матеріали Двадцятого Міжнародного науково-практичного семінару «Комбінаторні конфігурації та їх застосування» (Кропивницький, 13-14 квітня 2018 р.). – С. 11–13.

19. Коробчинский К. П., Томина И. С., Песчаный В. С. Анализ методов сохранения объектов конфигурационного пространства // I Міжнародна науково-практична конференція ІТ-професіоналів та аналітиків комп'ютерних систем: зб. тез доп. міжнар. наук.-практ. конф. / Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т» (Харків, 24 – 26 квітня 2018 р.). – С. 55–57.

20. Коробчинський К. П., Рудик В. М. Перетворення структури даних в програмних системах при рішенні задач оптимізації // I Міжнародна науково-практична конференція ІТ-професіоналів та аналітиків комп'ютерних систем : зб. тез доп. міжнар. наук.-практ. конф. / Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т» (Харків, 24 – 26 квітня 2018 р.). – С. 57–58.

21. Скрипка Б. Ю., Коробчинский К. П. Использование параллельных вычислений в задачах упаковки шаровых объектов в контейнер с применением пакета IPOPT для решения задач оптимизации // I Міжнародна науково-практична конференція ІТ-професіоналів та аналітиків комп'ютерних систем: зб. тез доп. міжнар. наук.-практ. конф. / Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т» (Харків, 24 – 26 квітня 2018 р.). – С. 61–63.

22. Коробчинский К. П., Скрипка Б. Ю. О некоторых задачах оптимизации в конфигурационном пространстве сферических объектов // Математическое моделирование, оптимизация и информационные технологии: Материалы 6-й международной конференции. Кишинёв. 2018. – С. 359–362.

23. Комп'ютерна програма «Комп'ютерна інтерактивна система інженерного аналізу та прогнозу руху хімічно реагуючих газоповітряних сумішей в задачах промислової аеродинаміки та екології атмосфери «FIRE» / Скоб Ю. А., Угрюмов М. Л., Коробчинський К. П.: Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 30079 (Україна). – Дата реєстрації 28.08.2009.

АНОТАЦІЯ

Коробчинський К. П. Моделі та методи інформаційної технології компоновочного синтезу просторових об'єктів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Харків, 2019.

У дисертаційній роботі виділено клас задач компоновочного синтезу технічних систем, для яких необхідно враховувати просторову форму об'єктів та їх метричні характеристики. Здійснено класифікацію моделей просторових конфігурацій відповідно до аналітичного опису геометричних об'єктів, формалізації умов на взаємне розташування та критеріїв якості. Створено об'єктно-орієнтовану модель предметної області задач оброблення, перетворення й адаптації даних у системах компоновання об'єктів довільної форми. Розроблено інформаційно-аналітичну модель задачі синтезу оптимальних просторових конфігурацій, що інтегрує аналітичну складову, пов'язану з побудовою математичної моделі, та інформаційну складову, пов'язану з формуванням структури даних просторових об'єктів і консолідованого сховища даних просторових конфігурацій. Розроблено метод перетворення й адаптації даних, що дозволяє використовувати інфраструктуру сучасних пакетів програм нелінійної оптимізації для формування допустимих локально-оптимальних конфігурацій. Набула подальшого розвитку методологія синтезу конфігурацій просторових об'єктів із залученням особи, що приймає рішення. Здійснено реалізацію інформаційної технології компоновочного синтезу просторових конфігурацій для класу сферичних об'єктів. З метою покращання отриманих рішень розроблено метод змінного радіуса та генетичний алгоритм оптимізації на евклідових комбінаторних множинах. Результати реалізовано і впроваджено у вигляді комплексу прикладних додатків, з використанням об'єктно-орієнтованих мов програмування C++, C# і ECMA Script. Ефективність моделей, методів та інформаційної технології тестовано на модельних задачах компоновки сферичних об'єктів.

Ключові слова: інформаційна технологія, база даних, консолідоване сховище даних, геометричний об'єкт, просторова конфігурація, компоновка, інформаційно-аналітична модель, оптимізація, особа, яка приймає рішення.

АННОТАЦИЯ

Коробчинский К.П. Модели и методы информационной технологии компоновочного синтеза пространственных объектов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнеця, Харьков, 2019.

В диссертационной работе выделены классы задач компоновочного синтеза технических систем, для которых необходимо учитывать пространственную форму объектов и их метрические характеристики. Осуществлена классификация моделей пространственных конфигураций в соответствии с аналитическим описанием геометрических объектов, формализации условий на взаимное расположение и критериев качества. Создана объектно-ориентированная модель классов предметной области задач обработки, преобразования и адаптации данных в системах компоновки объектов произвольной формы. Разработана информационно-аналитическая модель задачи синтеза оптимальных пространственных конфигураций, которая интегрирует аналитическую составляющую, связанную с построением математической модели, и информационную составляющую, связанную с формированием структуры данных пространственных объектов и консолидированного хранилища данных пространственных конфигураций. Разработан метод преобразования и адаптации данных к инфраструктуре современных пакетов программ нелинейной оптимизации для формирования допустимых локально-оптимальных конфигураций. Получила дальнейшее развитие методология синтеза конфигураций пространственных объектов с привлечением лица, принимающего решение. Осуществлена реализация информационной технологии компоновочного синтеза пространственных конфигураций для класса сферических объектов. С целью улучшения полученных решений разработан метод переменного радиуса, который является модификацией метода искусственного расширения пространства. Результаты теоретико-экспериментальных исследований реализованы и внедрены в виде прикладных и исследовательских приложений. Эффективность моделей, методов и информационной технологии протестированы на модельных задачах компоновки цилиндрических и сферических объектов.

Ключевые слова: информационная технология, база данных, консолидированное хранилище данных, геометрический объект, пространственная конфигурация, компоновка, информационно-аналитическая модель, оптимизация, лицо, принимающее решение.

ANNOTATION

Korobchynskiy K. P. Models and Methods of Information Technology for Layout Synthesis of Spatial Objects. – Manuscript copyright.

Thesis for a Candidate Degree in Engineering, specialty 05.13.06 – Information Technology. – Semen Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, 2019.

The dissertation focuses on a class of problems for layout synthesis of technical systems that require taking into account the spatial shape of objects and their metric characterization. The author has classified models of spatial configurations according to the analytical description of geometrical objects and formalization of conditions for mutual arrangement and quality criteria. The model of spatial configuration of basic objects has been improved with regard to the data format of all components of geometrical information. This implementation allows one to form and deal with the information of spatial objects of any complexity degree. An object-oriented model has been created for classes of object domain in problems of data processing, transformation and adaptation in assembly systems of arbitrarily-shaped objects. The information-analytical model has been developed for solving the problem of synthesizing optimal spatial configurations. The model integrates the analytical component connected with the construction of mathematical model, and the informational component related to the formation of data structure for spatial objects and consolidated data warehouse for spatial configurations.

The method of data transformation and adaptation has been developed, which allows using the infrastructure of modern nonlinear optimization software packages to form permissible locally optimal configurations. In doing so, the dynamics of synthesis of optimal spatial configurations has been taken into account. The author has further developed the methodology for synthesizing configurations of spatial objects, having included a decision maker. The process of optimization is influenced by the consolidation of data structures both in course of optimization and for visualization of interlocutory decisions. In addition, the information technology for layout synthesis of spatial configurations for the class of spherical objects has been implemented in this research.

The dissertation describes the basic principles of information technology and the properties of spatial configurations depending on the system of restrictions for the generalized variables of the correspondent configurational space. To optimize the decisions made, the author has developed a method of variable radius that is a modified method of artificial space extension. The paper also yields an equivalent model of a problem where metric parameters of the objects are variable. This enabled overcoming the areas of local extremum attraction during the optimization. The results of theoretical and experimental research have been used to develop applied and research software applications. The efficacy of the models, methods and information technology has been tested through model layout problems for cylindrical and spherical objects. The results obtained have been verified experimentally.

Key words: informational technology, database, consolidated data warehouse, geometric object, spatial configuration, layout, information-analytical model, optimization, decision maker.