

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Кузенкова О.О. “Динамічні задачі оптимального розбиття множин: математичні моделі, методи, алгоритми, практичне застосування”, подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність тематики дисертаційного дослідження обумовлена необхідністю розв’язання значного кола прикладних задач, що виникають у різних сферах - від економіки до технічних систем управління — та зводяться до проблем оптимального розбиття множин. Різноманіття прикладних постановок задач оптимального розбиття множин зумовлене відмінностями у складності моделей, характері математичних залежностей, кількості продукції, рівні невизначеності, а також особливостях вибору та розташування центрів обслуговування. Така варіативність постановок потребує створення ефективного інструментарію розв’язання, здатного забезпечити отримання обґрунтованих і точних результатів. Використання сучасних чисельних методів дозволяє досягати високої відповідності моделей реальним процесам і забезпечує отримання рішень із покращеними значеннями цільових функціоналів у порівнянні з традиційними евристичними підходами.

Разом з тим, суттєвим чинником у реальних системах є зміна параметрів у часі, зокрема вартості транспортування, виробничих можливостей або економічних характеристик. Існуючі наукові дослідження переважно обмежуються статичними моделями або розглядають динамічність у інших контекстах, зокрема, щодо керованості процесів. Відтак, особливої актуальності набувають задачі, у яких враховується часовий характер зміни параметрів, а оптимальне розв’язання визначається еволюцією системи у часі та її фазовими характеристиками.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження проводилися відповідно до планів наукових досліджень НДЛ оптимізації складних систем кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара у межах держбюджетних тем: «Математичні моделі і методи оптимізації складних систем на основі нелінійної теорії оптимального розбиття множин» (№ держреєстрації 0112U000193, 2012–2014 рр.), «Математичні моделі та алгоритми розв’язання неперервних задач покриття на основі теорії оптимального розбиття множин» (№ держреєстрації 0115U002392, 2015–2017 рр.), «Розробка математичних моделей та алгоритмів розв’язання прикладних задач класифікації, кластеризації на основі теорії оптимального розбиття множин» (№ держреєстрації 0119U100600, 2019–2021 рр.), а також у рамках наукових тем

«Математичні моделі, методи та алгоритми аналізу складних систем» (№ держреєстрації 0113U003558, 2013–2015 рр.), «Теоретичні основи математичних моделей та методів дослідження складних систем» (№ держреєстрації 0116U002214, 2016–2018 рр.), «Математичні моделі, методи та алгоритми розв'язання задач аналізу складних систем» (№ держреєстрації 0119U101302, 2019–2021 рр.) при кафедрі обчислювальної математики та математичної кібернетики відповідно до тематичних планів науково-дослідних робіт Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій. Сформульовані у дисертаційній роботі наукові положення, висновки та рекомендації базуються на коректно побудованих математичних моделях і застосуванні сучасних методів дослідження. Використаний у роботі теоретичний апарат відповідає сучасному рівню розвитку математичного моделювання та оптимізації і включає положення теорії оптимального розбиття множин, методи недиференційованої оптимізації, а також засоби якісного аналізу диференціальних систем.

Послідовність викладення матеріалу, внутрішня узгодженість математичних постановок, а також логічна завершеність запропонованих методів і алгоритмів свідчать про належний рівень наукової обґрунтованості отриманих результатів. Достовірність висновків підтверджується результатами чисельних досліджень, які демонструють відповідність запропонованих підходів реальним процесам та їх здатність адекватно відображати динаміку досліджуваних систем.

Слід також відзначити, що отримані результати узгоджуються з відомими теоретичними положеннями та не суперечать існуючим науковим підходам. Їх практична значущість підтверджується успішним застосуванням у прикладних задачах різного характеру, що додатково свідчить про достовірність і обґрунтованість проведеного дослідження.

Характеристика змісту дисертації. Дисертаційна робота має завершену логічну структуру та складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 200 найменувань, а також чотирьох додатків.

У вступі наведено ґрунтовне обґрунтування актуальності обраної теми дослідження, яка пов'язана з необхідністю розв'язання широкого кола прикладних задач, що формалізуються у вигляді задач оптимального розбиття множин, зокрема в умовах змінності параметрів у часі. Підкреслено, що існуючі підходи здебільшого базуються на статичних постановках, які не відображають реальних процесів, для яких характерною є динаміка параметрів. У зв'язку з цим аргументовано потребу у створенні нових математичних моделей і методів. У вступі також чітко сформульовано мету дослідження, визначено основні задачі, об'єкт і предмет дослідження. Окремо окреслено методологічну базу, що включає апарат теорії оптимального розбиття множин, методи якісної теорії

диференціальних рівнянь та підходи недиференційованої оптимізації. Наведено характеристику наукової новизни, практичного значення отриманих результатів, а також інформацію щодо їх апробації та публікацій.

У **першому розділі** дисертаційної роботи виконано детальний огляд наукових джерел, присвячених задачам оптимального розбиття множин та суміжним напрямам. Проаналізовано основні етапи розвитку відповідної теорії, а також здійснено систематизацію існуючих підходів до постановки задач у неперервних просторах. Розглянуто класифікацію задач за рядом ознак, зокрема типом змінних, характером обмежень і видом цільових функціоналів. Значну увагу приділено задачам з нечіткими параметрами, які виникають за умов невизначеності або неповноти вихідної інформації. Висвітлено підходи до моделювання таких задач із застосуванням нечіткої логіки. Проведено аналіз методів розв'язання, включаючи класичні варіаційні підходи, методи математичного програмування та евристичні алгоритми. Встановлено, що більшість з них не враховують динамічний характер зміни параметрів, що обмежує їх застосування. Також розглянуто питання використання біфуркаційного аналізу для дослідження відповідних динамічних систем. За результатами аналізу визначено напрями подальших досліджень, що стали основою для наступних розділів роботи.

У **другому розділі** сформульовано математичні постановки динамічних задач оптимального розбиття множин із фіксованими центрами підмножин. Запропоновано моделі, у яких враховується зміна параметрів у часі, зокрема вартості транспортування, що дозволяє адекватно описувати процеси, характерні для виробничо-транспортних систем. Побудовано цільовий функціонал, який враховує витрати на обслуговування підмножин у динамічному режимі, а також введено систему диференціальних співвідношень, що описує зміну параметрів. Такий підхід фактично забезпечує перехід до задач оптимального керування. Для розв'язання задачі запропоновано метод, який поєднує інструментарій теорії оптимального розбиття множин, якісної теорії диференціальних рівнянь та чисельного аналізу. Здійснено перехід до представлення задачі через характеристичні функції підмножин, що спрощує алгоритмічну реалізацію. Розроблено чисельний алгоритм, який передбачає дискретизацію просторової області та часової змінної, розв'язання систем диференціальних рівнянь та визначення оптимального розбиття шляхом мінімізації функціоналу. Проведено серію модельних експериментів, що дозволили дослідити вплив параметрів на структуру розбиття та підтвердити ефективність запропонованих підходів.

У **третьому розділі** розглянуто більш складний клас задач, у яких координати центрів підмножин не задаються наперед, а визначаються в процесі оптимізації. Сформульовано відповідні математичні моделі, де центри виступають змінними, що істотно ускладнює задачу. Для її розв'язання запропоновано використання методів

недиференційованої оптимізації, зокрема γ -алгоритму Н.З. Шора, що дозволяє працювати з негладкими багатоекстремальними функціями. Розроблено процедури обчислення субградієнтів та ітераційного уточнення координат центрів. Алгоритм включає побудову дискретної моделі області, розв'язання відповідних динамічних рівнянь і коригування центрів на кожному кроці ітераційного процесу з урахуванням обмежень. Проведені чисельні дослідження показали, що врахування змінності центрів дозволяє отримати більш ефективні розв'язки, що характеризуються меншими значеннями цільового функціоналу порівняно з випадком фіксованих центрів.

У **четвертому розділі** дисертаційної роботи досліджено задачі оптимального розбиття множин у випадках, коли параметри моделі задаються з невизначеністю. Показано, що у реальних умовах значення параметрів, зокрема витрат або характеристик систем, часто не можуть бути визначені точно, а задаються у вигляді інтервалів або лінгвістичних оцінок. У зв'язку з цим запропоновано підхід до врахування такої невизначеності шляхом використання нечітких змінних. Розроблено метод нейро-нечіткої ідентифікації параметрів, який поєднує можливості нечіткої логіки та нейронних мереж. Такий підхід дозволяє формалізувати залежності між вхідними та вихідними параметрами у вигляді системи правил типу «якщо – то» та виконувати їх налаштування на основі експериментальних даних. У роботі детально описано процедури фазифікації, нечіткого логічного виведення та дефазифікації. Сформульовано задачу оптимізації параметрів нечіткої моделі та запропоновано метод її розв'язання із застосуванням γ -алгоритму. Розроблено алгоритм розв'язання динамічної задачі оптимального розбиття множин з нечіткими параметрами, який інтегрує процедури їх ідентифікації. Проведені чисельні експерименти показали, що після налаштування параметрів отримані результати з високою точністю відтворюють розв'язки задач із чітко заданими параметрами. Окремо досліджено питання виникнення біфуркацій у відповідних динамічних системах, що дозволило встановити умови їх стійкості та характер поведінки.

У **п'ятому розділі** наведено приклад прикладного використання розроблених моделей і методів у задачах оборонного характеру, пов'язаних із підвищенням ефективності реагування на повітряні загрози. Основну увагу приділено створенню системи альтернативного оповіщення, яка забезпечує збір, обробку та візуалізацію інформації про повітряні об'єкти в реальному часі. Проведено аналіз предметної області та існуючих аналогів, що дозволило визначити їх обмеження та сформулювати вимоги до розроблюваної системи. Сформульовано предметну постановку задачі з урахуванням специфіки функціонування систем протиповітряної оборони, вимог до безпеки та обмежень передачі даних. На основі апарату теорії оптимального розбиття множин запропоновано математичну модель розподілу території на зони відповідальності. Розроблено підхід до динамічного розміщення мобільних вогневих груп, який дозволяє

враховувати зміну обстановки, напрямків загроз та інших факторів. Описано програмну реалізацію системи, що включає користувацький додаток та адміністративну панель. Проведена оцінка ефективності показала здатність системи функціонувати в умовах обмежених ресурсів зв'язку та забезпечувати необхідний рівень оперативності.

У **шостому розділі** досліджено можливості застосування методів оптимального розбиття множин для задач оптимізації траєкторій у процесах тривимірного друку. Проведено аналіз сучасних програмних засобів, що використовуються у цій галузі, та виявлено їх основні недоліки, пов'язані з недостатнім урахуванням геометричних характеристик об'єктів та неефективністю побудови траєкторій. Запропоновано математичну постановку задачі, у якій об'єкт моделюється у вигляді триангуляційної структури. Розроблено підхід до декомпозиції об'єкта на окремі рівні та зони друку, що дозволяє застосувати методи оптимального розбиття множин для їх аналізу. Побудовано алгоритм формування оптимальної траєкторії, який включає визначення контурів, ідентифікацію центрів зон, вибір початкових точок та побудову послідовності рухів друкарської голівки. Для реалізації алгоритму використано елементи теорії клітинних автоматів, зокрема околиці Мура та Неймана. Наведені результати чисельних експериментів демонструють підвищення ефективності процесу друку, зменшення часу виконання та покращення якості виготовлених виробів.

У **сьомому розділі** запропоновано математичні моделі прогнозування поширення інфекційних захворювань, зокрема COVID-19, з урахуванням динамічних характеристик процесу. Проведено аналіз існуючих підходів до моделювання епідемічних процесів та визначено їх обмеження, пов'язані з недостатнім врахуванням просторової структури та зміни параметрів у часі. Розроблено дві компартментальні моделі, що дозволяють описати розподіл населення за групами та переходи між ними. Особливістю запропонованих моделей є поєднання з підходами теорії оптимального розбиття множин, що дозволяє враховувати просторову неоднорідність регіонів. Проведено чисельне моделювання для окремих областей України, що характеризуються значною чисельністю населення та складною територіальною структурою. Отримані результати дозволили сформулювати прогнозні сценарії розвитку епідемічної ситуації та оцінити ефективність можливих управлінських заходів. Проведений аналіз підтвердив адекватність моделей та їх придатність для використання у системах підтримки прийняття рішень у сфері охорони здоров'я.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розвитку теорії оптимального розбиття множин у напрямі розширення її можливостей на випадок динамічних постановок задач, а також у створенні нових методів і алгоритмів їх розв'язання з подальшим застосуванням до широкого спектра прикладних задач. Робота характеризується комплексним підходом до дослідження та поєднанням теоретичних і прикладних аспектів.

До найбільш вагомих наукових результатів, на мою думку, слід віднести такі:

- у роботі вперше узагальнено класифікацію динамічних задач оптимального розбиття множин залежно від типів параметрів, що дозволило не лише впорядкувати існуючі підходи до їх постановки, але й більш чітко окреслити відмінності між окремими класами таких задач та визначити особливості їх математичного опису;
- автором вперше запропоновано методологічні засади розв'язання неперервних динамічних задач оптимального розбиття множин, що дозволило сформуванню узагальнений математичний апарат дослідження задач даного класу та забезпечити їх адекватний опис з урахуванням складної динамічної структури параметрів і негладкого характеру відповідних функціоналів;
- у дисертаційній роботі вперше розроблено методи розв'язання динамічних задач оптимального розбиття множин з відшукуванням координат центрів підмножин із застосуванням γ -алгоритму Н.З.Шора, що дозволило адаптувати процедури оптимізації до умов негладкості цільових функціоналів, забезпечити їх стійку чисельну реалізацію та підвищити результативність пошуку оптимальних розв'язків у задачах з багатоекстремальною структурою;
- у роботі запропоновано новий підхід до ідентифікації параметрів у динамічних задачах оптимального розбиття множин в умовах невизначеності, що дало змогу забезпечити гнучке налаштування параметрів моделей і підвищити їх адаптивність при роботі з неточною та неповною інформацією;
- отримали подальший розвиток математичні моделі задач оптимального розбиття множин, що дало можливість урахувати зміну параметрів системи у часі та більш повно відобразити їх динамічний характер у процесі моделювання;
- подальшого розвитку набули підходи до розв'язання динамічних задач оптимального розбиття множин, що дозволило підвищити надійність обчислювальних процедур та забезпечити стійкість отриманих розв'язків;
- у дисертаційній роботі удосконалено математичні моделі динамічних задач оптимального розбиття множин в умовах невизначеності, що дозволило сформуванню більш універсальний інструментарій моделювання та забезпечити адекватне відображення поведінки систем за умов неповноти, неточності та лінгвістичного характеру вхідної інформації;
- автором удосконалено підходи до математичного моделювання оптимізаційних задач динамічного розбиття множин, що дозволило розширити функціональні можливості відповідного математичного апарату, підвищити рівень формалізації досліджуваних процесів та забезпечити більш адекватне відображення поведінки складних систем за умов неповної та неточної інформації.

Практичне та теоретичне значення одержаних результатів дисертаційної роботи полягає у розвитку наукових підходів до розв'язання динамічних задач оптимального розбиття множин та їх впровадженні у прикладні задачі оптимізаційного характеру.

Теоретичне значення отриманих результатів визначається розвитком математичних моделей і методів теорії оптимального розбиття множин, зокрема у частині врахування часової динаміки параметрів та умов невизначеності. Запропоновані в роботі підходи, що поєднують апарат теорії оптимального розбиття множин, методи недиференційованої оптимізації та якісний аналіз диференціальних рівнянь, дозволяють розширити можливості дослідження складних систем. Розроблені моделі, методи та алгоритми мають належне математичне обґрунтування і розвивають відповідний інструментарій математичного моделювання.

Практичне значення результатів роботи полягає у створенні ефективних методів, алгоритмів і програмних комплексів для розв'язання динамічних задач оптимального розбиття множин. Розроблені програмні засоби застосовано для розв'язання прикладних оптимізаційних задач, що зводяться до неперервних задач оптимального розбиття множин.

Зокрема, результати дисертаційної роботи використано:

– при зонуванні територій для забезпечення доступності медичних послуг в умовах поширення інфекційних захворювань, що підтверджується відповідними довідками органів державної влади;

– при побудові оптимальних траєкторій у процесах тривимірного друку, що впроваджено на ТОВ «Скайрора» (Skyroga UA);

– при оцінюванні ефективності розміщення гірничого обладнання поблизу місць видобутку корисних копалин, що підтверджено актами впровадження;

– у задачах динамічного розміщення мобільних вогневих груп, що підтверджується відзнаками Повітряних Сил Збройних Сил України.

Наведені результати свідчать про практичну значущість роботи та можливість використання запропонованих підходів у реальних умовах.

Повнота викладення наукових положень, висновків та результатів дисертаційної роботи слід оцінити як високий і такий, що відповідає вимогам, встановленим до докторських дисертацій. Робота характеризується цілісністю, логічною впорядкованістю матеріалу та послідовністю викладення, що забезпечує належне сприйняття представлених результатів.

У дисертації детально розглянуто поставлену наукову проблему: від формулювання задач до побудови відповідних математичних моделей, розробки методів і алгоритмів їх розв'язання. Виклад матеріалу має системний характер, при цьому всі

ключові положення супроводжуються необхідними теоретичними обґрунтуваннями та підтверджуються результатами чисельних досліджень.

Отримані результати подано з достатнім рівнем деталізації, що дозволяє всебічно оцінити їх новизну, достовірність і прикладну значущість. Такий підхід свідчить про завершеність виконаного дослідження та належний рівень його наукового опрацювання.

Важливість для науки і практики результатів дослідження. Отримані у дисертаційній роботі результати мають істотне значення як для розвитку сучасних напрямів математичної науки, так і для вирішення актуальних прикладних задач. У науковому аспекті робота розширює можливості теорії оптимального розбиття множин за рахунок переходу до динамічних постановок, у яких враховується зміна параметрів у часі. Такий підхід дозволяє перейти від традиційних статичних моделей до більш адекватного опису реальних процесів. Важливим є те, що в роботі здійснено поєднання методів теорії оптимального розбиття множин, якісного аналізу диференціальних рівнянь та недиференційованої оптимізації, що створює підґрунтя для розвитку нового напрямку досліджень у межах математичного програмування. Запропоновані методи та алгоритми є теоретично обґрунтованими, універсальними за характером і можуть бути використані при побудові та дослідженні математичних моделей складних систем.

З прикладної точки зору результати дослідження орієнтовані на розв'язання широкого кола задач у різних галузях. Розроблений інструментарій дозволяє ефективно вирішувати задачі розподілу ресурсів, оптимального зонування територій, планування інфраструктури, а також задачі управління складними технічними системами. Окремо слід відзначити можливість використання запропонованих підходів в умовах невизначеності, що реалізовано за рахунок застосування нейро-нечітких методів.

Практична значущість результатів підтверджується їх впровадженням у задачах охорони здоров'я, оборонного призначення та адитивних технологіях, зокрема при оптимізації траєкторій тривимірного друку. Це свідчить про прикладну спрямованість роботи та можливість використання її результатів у реальних умовах. Таким чином, результати дослідження характеризуються науковою новизною, практичною цінністю та можуть бути рекомендовані для подальшого використання.

Повнота викладу результатів в опублікованих працях. Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно відображені у наукових публікаціях автора, зокрема у 7 статтях у виданнях, що індексуються в наукометричних базах Scopus та Web of Science Core Collection, 13 публікаціях у фахових виданнях України, а також у 18 тезах доповідей міжнародних наукових конференцій.

Реферат дисертації адекватно відображає її зміст.

Результати, отримані в кандидатській дисертації, до складу докторської дисертації не включені.

Оформлення дисертації та дотримання принципів академічної доброчесності.

Дисертаційна робота є самостійно виконаним науковим дослідженням, у якому здобувачем отримано обґрунтовані наукові результати, сформульовано висновки та надано рекомендації. Побудова роботи свідчить про її комплексний характер, а також про системний підхід автора до розв'язання поставлених задач. Матеріал викладено послідовно та логічно, розділи і підрозділи взаємопов'язані між собою, що забезпечує цілісне сприйняття результатів дослідження. Оформлення дисертації відповідає встановленим нормативним вимогам, а виклад здійснено з дотриманням норм наукової української мови. Усі запозичені положення, ідеї та результати інших авторів супроводжуються відповідними посиланнями на джерела.

Проведений аналіз тексту дисертації та публікацій автора дозволяє зробити висновок про відсутність порушень принципів академічної доброчесності. У роботі не виявлено ознак академічного плагіату, фабрикації чи фальсифікації результатів, а також некоректних текстових запозичень.

Оформлення дисертації узгоджується з чинними вимогами Міністерства освіти і науки України щодо підготовки та оформлення дисертаційних робіт.

Відповідність дисертаційної роботи спеціальності. Дисертаційна робота Кузенкова Олександра Олександровича «Динамічні задачі оптимального розбиття множин: математичні моделі, методи, алгоритми, практичне застосування» за своїм змістом, спрямованістю дослідження та отриманими результатами повністю відповідає спеціальності 01.05.02 — математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки).

Рекомендації щодо використання результатів дисертації. Результати, отримані у дисертаційній роботі, можуть бути ефективно використані як у подальших наукових дослідженнях, так і у практичній діяльності. Запропоновані моделі, методи та алгоритми доцільно застосовувати при розв'язанні задач розподілу ресурсів, оптимального зонування територій, планування інфраструктури та управління складними технічними системами в умовах динамічних змін параметрів. Перспективним є їх використання в оборонній сфері, у системах підтримки прийняття рішень, а також у сучасних виробничих технологіях, зокрема в адитивному виробництві. Окрім цього, результати можуть бути впроваджені в освітній процес закладів вищої освіти при викладанні дисциплін з прикладної математики, математичного моделювання та системного аналізу, а також використані при підготовці кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти.

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. У підрозділі 2.1, присвяченому математичній постановці однопродуктової динамічної задачі оптимального розбиття множин з фіксованими центрами, виклад має узагальнений теоретичний характер. З огляду на значущість динамічного аспекту,

доцільним було б доповнення цього підрозділу ілюстративним числовим прикладом, який демонструє вплив зміни параметрів (зокрема вартостей транспортування) на структуру оптимального розбиття, включаючи можливі якісні перебудови розв'язку.

2. Результати розв'язання модельних задач, наведені у розділах 2–4, становлять теоретичну основу дослідження, тоді як у розділах 5–7 подано їх прикладну реалізацію. Разом з тим, взаємозв'язок між цими двома групами результатів окреслено не повною мірою. Більш явне зіставлення модельних і прикладних постановок сприяло б підвищенню цілісності викладу та кращому розумінню практичної інтерпретації отриманих результатів.

3. У розділі, присвяченому задачам зонування територій для забезпечення медичними закладами, наведено результати чисельного моделювання, що підтверджують працездатність запропонованого підходу. Разом з тим, їх наукова інформативність могла б бути підсилена шляхом проведення порівняльного аналізу з результатами, отриманими за допомогою відомих евристичних або імітаційних методів, що дозволило б більш повно оцінити ефективність запропонованих моделей і алгоритмів.

4. У дисертаційній роботі наведено значний обсяг чисельних експериментів, які ілюструють застосування розроблених методів. Водночас їх представлення має переважно демонстраційний характер. Проведення систематизованого дослідження впливу окремих параметрів на результати моделювання могло б сприяти виявленню узагальнених закономірностей та підвищенню аналітичної глибини роботи.

5. Питання обчислювальної ефективності запропонованих алгоритмів у роботі розглянуто частково. З науково-практичної точки зору доцільним є наведення оцінок обчислювальної складності або експериментальних характеристик продуктивності алгоритмів залежно від розмірності задачі, що дозволило б більш повно оцінити можливості їх застосування.

6. У контексті практичного використання запропонованих моделей інтерес становить аналіз чутливості отриманих розв'язків до зміни вхідних параметрів. Розширення дослідження у цьому напрямі дозволило б оцінити стійкість результатів та підвищити обґрунтованість їх застосування в умовах невизначеності.

7. У розділі 4, де розглядаються задачі оптимального розбиття множин за умов невизначеності, запропоновано нейро-нечіткий підхід до ідентифікації параметрів. Водночас окремі аспекти побудови відповідних моделей (зокрема вибір структури правил та функцій належності) висвітлено стисло. Їх більш детальний аналіз міг би сприяти підвищенню відтворюваності отриманих результатів.

8. Опис програмної реалізації запропонованих алгоритмів у цілому є достатнім для розуміння підходів, однак питання оптимізації обчислювальних процедур, можливостей паралельної реалізації та використання сучасних обчислювальних засобів

розкрито обмежено. Розширення цього аспекту могло б підсилити прикладну значущість роботи.

Висновки. Зазначені зауваження носять рекомендаційний характер і не впливають на загальну високу оцінку дисертаційної роботи. У цілому дисертація Кузенкова О.О. є актуальним, завершеним і самостійно виконаним науковим дослідженням, у якому отримано нові науково обґрунтовані результати, що дозволяють ефективно вирішувати як теоретичні, так і прикладні задачі оптимального розбиття множин у динамічних постановках. Слід відзначити, що розглянуті в роботі модельні задачі доведені до числової реалізації, що підтверджує прикладну спрямованість дослідження. За своїм змістом дисертаційна робота відповідає спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки).

Отримані результати характеризуються науковою новизною та беззаперечною цінністю, були апробовані на національних і міжнародних наукових конференціях. Основні положення дослідження достатньо повно висвітлені у публікаціях автора, а реферат адекватно відображає зміст дисертації. Текст роботи викладено на належному науковому рівні з дотриманням вимог до оформлення дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Сформульовані загальні висновки повністю відповідають поставленій меті та відображають основні результати дослідження.

Підсумовуючи викладене, слід зазначити, що дисертація за обсягом виконаних досліджень, рівнем наукової новизни та значущістю отриманих результатів відповідає вимогам п. 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» (Постанова Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197 зі змінами, внесеними згідно з постановою КМ № 507 від 03.05.2024 р.), що висуваються до докторських дисертацій. Автор роботи, Кузенков Олександр Олександрович, безумовно заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент,
провідний науковий співробітник відділу
нелінійної механіки та математичного моделювання
Інституту енергетичних машин і систем
ім. А.М. Підгорного НАН України,
доктор технічних наук, професор

А. Чугай
Чугай Андрій Михайлович

Мігнис
Зав. ВМ
С. М. Засвірюго
інше із МНІТОІІА

