

**Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
Український державний університет науки і технологій
Міністерство освіти і науки України**

КОРЯШКІНА ЛАРИСА СЕРГІЇВНА

УДК 004.9: 519.85: 519.863: 629.039.58

**МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ЗОНУВАННЯ
І РОЗМІЩЕННЯ ОБ'ЄКТІВ В СИСТЕМАХ ЕКСТРЕНОЇ ЛОГІСТИКИ**

01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

**Реферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук**

Дніпро – 2024

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпро)

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Шинкаренко Віктор Іванович,
Український державний університет науки і технологій,
професор кафедри Комп'ютерні інформаційні
технології

доктор технічних наук, професор
Гвоздева Ірина Маратівна,
Національний університет «Одеська морська академія»,
завідувач кафедри електрообладнання і автоматики
суден

доктор технічних наук, професор
Атаманюк Ігор Петрович,
Миколаївський національний аграрний університет,
професор кафедри вищої та прикладної математики

Захист відбудеться «28» серпня 2024 р. о 10-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.084.01 в Українському державному університеті науки і технологій МОН України за адресою: 49600, м. Дніпро, проспект Науки, 4.

З дисертацією можна ознайомитись на сайті <http://nmetau.edu.ua> та у бібліотеці Українського державного університету науки і технологій МОН України за адресою: 49600, м. Дніпро, проспект Науки, 4.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 08.084.01

кандидат технічних наук, доцент

Тетяна СЕЛІВЬОРСТОВА

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. Ефективне функціонування підприємств гірничо-металургійного комплексу є одним із основних чинників сталого розвитку економіки України, адже їх продукція використовується в усіх стратегічних галузях країни. Удосконалення і розвиток технологій видобутку й переробки корисних копалин сприяє досягненню позитивного ефекту в машинобудуванні, будівництві, розбудові транспортної інфраструктури, формуванню передумов для стійкого економічного зростання. Однак, підприємства гірничо-металургійного комплексу становлять основну частину потенційно небезпечних об'єктів у регіонах. Велика кількість відходів та побічних продуктів виробництва, які не утилізуються, а складаються у відвалах та хвостосховищах, матеріали й речовини, що використовуються в технологічних процесах, технічна оснащеність устаткування – все це обумовлює виникнення передумов до надзвичайних ситуацій, які можуть призвести до негативних економічних і соціальних наслідків.

За результатами моніторингу надзвичайних ситуацій (НС), більше половини з них є техногенними, решта носить природний і соціальний характер. Якщо у 2016 – 2017 рр. спостерігалась тенденція до зменшення загальної кількості НС за рік, то вже у 2019 році порівняно з 2018 роком загальна кількість НС збільшилася на 14,1%. В 2021 р., у порівнянні з 2020 р., число НС збільшилось на 6,9%, більшість з яких техногенного характеру унаслідок пожеж і вибухів та аварій на системах життєзабезпечення. Зменшення кількості загиблих внаслідок НС у 2016 – 2018 рр. дає підставу зробити висновок про певну ефективність проведених запобіжних заходів щодо усунення наслідків потенційних НС.

Підвищення рівня техногенної безпеки на підприємствах гірничо-металургійної галузі потребує розвитку фундаментальної та прикладної науки, техніки і технологій, формування наукових основ забезпечення захищеності критичної інфраструктури; впровадження і розвинення систем екстреної логістики, оптимізації розміщення їх підрозділів; розробки комплексу організаційних та технічних рішень щодо своєчасних превентивних дій, спрямованих на уникнення надзвичайних ситуацій.

Розробленню наукових основ моделювання і методів розв'язування задач гуманітарної логістики присвячено роботи таких вчених, як: В.А. Андронов, Г.Г. Півняк, В.Д. Калугін, М.М. Дівізінюк, А.Ф. Булат, Л.Ф. Чорногор, Р.І. Шевченко (моніторинг надзвичайних ситуацій); М.З. Згуровський, Н.Д. Панкратова, А.Б. Качинський, S. Kul, H. Erdal, H. Meng, J. Xing (формування концептуальних основ методології системного аналізу і прогнозування ризиків для задач керування безпекою складних технічних систем); M. Arimura, J. Beasley, C. Boonmee, L. Cooper, Z. Drezner, X. Zhao (задачі розміщення-розподілу); R.L. Francis, W.J. Gutjahr, M. Mostajabdaveh, F.S. Salman (розміщення аварійних служб); В.М. Комяк, О.В. Панкратов, В.Л.

Рвачов, Т.Є. Романова, О.М. Соболев, Ю.Г. Стоян, С.В. Яковлев (оптимальне розміщення геометричних об'єктів); К.Т. Кязімов, V. Bayram, M. Farahani (моделювання евакуаційних процесів); О.М. Кісельова, В.А. Трубін, В.Р. Хачатуров, Н.З. Шор, Н. Baharmand, T. Comes, M. Lauras, S. Kanjanawattana (багатокритеріальні і багатоетапні задачі розміщення-розподілу); Р.В. Гудак, Ю.В. Михайловська, М. В. Новожилова, І. А. Чуб, S. Chen, L. Jin, M. Xiang, X. Zheng, L. Özdamar (розробка математичного забезпечення задач гуманітарної логістики); С. О. Ємельяненко, А. В. Орещенко, N. Chen, M. Rahman (використання ГІС для моделювання евакуаційних процесів) та ін.

Суттєвий внесок у розвиток інформаційних технологій, системного аналізу, математичного моделювання оптимізаційних задач розміщення-розподілу внесла наукова школа члена-кореспондента Національної академії наук України, доктора фізико-математичних наук, професора О.М. Кісельової. В теорії неперервних задач оптимального розбиття множин, заснованій О.М. Кісельовою, отримано низку фундаментальних результатів, які нині складають широкий розділ нескінченновимірної математичної програмування. Зокрема, розроблені моделі і методи розв'язання нелінійних, нечітких, динамічних, стохастичних задач оптимального розбиття множин і пов'язаних з ними задач кульового покриття.

Дана робота, базуючись на теоретичних засадах цієї наукової школи, доповнює її новими напрямками науково-практичних досліджень, висвітлює прикладну значущість математичного і алгоритмічного забезпечення, розробленого плеядою науковців під керівництвом О.М. Кісельової.

Зменшення кількості та масштабів надзвичайних ситуацій техногенного характеру можливо забезпечити за рахунок розвинення інформаційних технологій управління логістичними процесами, профілактики, раннього попередження, мінімізації сумарних втрат. Це у свою чергу потребує визначення раціональної кількості територіально розподілених структур в системах екстреної логістики зі спеціальною технікою та обладнанням, запасами й засобами забезпечення життєдіяльності тощо.

Отже, розробка ефективних математичних моделей процесів розподілу матеріальних ресурсів в транспортно-логістичних системах в умовах техногенних надзвичайних ситуацій, вдосконалення на їх основі методів та засобів математичного та комп'ютерного моделювання раціонального територіального розміщення елементів систем екстреної логістики є **актуальною науково-прикладною проблемою**, яка має важливе значення для підвищення техногенної безпеки підприємств гірничо-металургійного комплексу та критичної інфраструктури, для забезпечення сталого розвитку промислових регіонів України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно з пріоритетними напрямками відповідно до Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» – «Інформаційні та комунікаційні технології» і «Фундаментальні наукові дослідження із найбільш важливих проблем», в межах яких першочерговими тематичними напрямками наукових досліджень і науково-технічних розробок на

найближчий період зазначено удосконалення і обґрунтування: методів та засобів запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, реагування на них та ліквідації їх наслідків; методів та засобів інформаційно-аналітичного та нормативно-методичного забезпечення процесів прийняття рішень; розвиток математичного моделювання актуальних проблем природничих та соціально-гуманітарних наук.

Дисертаційна робота виконувалася за планами наукових досліджень відповідно держбюджетним темам кафедри системного аналізу та управління Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» МОН України: НДР «Дослідження та підвищення ефективності прийняття рішень диспетчером вугільної шахти» (2017-2018 рр., № держреєстрації 0119U000343, відповідальний виконавець). Автором розроблено математичне забезпечення задач, пов'язаних з раціональною організацією процесів розподілу ресурсів в системі, структурними елементами якої є видобувний комплекс, збагачувальні фабрики і підприємства; «Задачі моделювання, оптимізації та прийняття рішень в складних системах різної природи» (2021-2022 рр., № держреєстрації 0223U000205, відповідальний виконавець). Автором розроблено підсистему прийняття рішень і програмно реалізовано математичні моделі задач оптимального розміщення структурних елементів систем екстреної логістики і визначення зон їх відповідальності за критерієм мінімальних транспортних і організаційних витрат; НДР «Задачі аналізу, моделювання та оптимізації технологічних процесів у складних системах різної природи» (2023-2025 рр., № держреєстрації 0123U100011, відповідальний виконавець). Автором розроблені програмні додатки, математичні моделі і методи розв'язання оптимізаційних задач зонування і розміщення об'єктів у потокових системах, що функціонують під час запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Ідея роботи полягає у використанні системного та оптимізаційного підходу при математичному моделюванні процесів розподілу матеріальних потоків в системах екстреної логістики задля раціональної організації заходів щодо запобігання та усунення наслідків надзвичайних ситуацій.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності планування завчасних соціально-економічних та організаційно-технічних заходів, оперативного реагування на надзвичайну техногенну ситуацію шляхом математичного і комп'ютерного моделювання раціонального територіального розподілу об'єктів систем екстреної логістики та оцінювання матеріальних потоків в них.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі основні задачі:

1. Проаналізувати моделі, методи та інформаційні технології, які використовуються для вирішення завдань, пов'язаних з територіальним розподілом елементів логістичних систем, завчасним плануванням запобіжних заходів в районах потенційних техногенних аварій або інших НС. Виокремити напрями дисертаційного дослідження.

2. Розробити математичні моделі оптимального зонування територій із розміщенням центрів логістики й розподілом транспортних потоків з оцінюванням місткості центрів і парку транспортних засобів на випадок НС.

3. Розробити моделі та методи оптимального зонування території

області на зони відповідальності підрозділів систем екстреної логістики з можливістю надання сервісу у найкоротший термін і гарантованого обслуговування споживачів за рахунок прикріплення його до декількох найближчих підрозділів.

4. Розробити математичні моделі раціонального розподілу матеріальних потоків у транспортно-логістичних системах з дворівневою структурою.

5. Узагальнити математичні моделі і методи розв'язування задач оптимального розбиття континуальних множин з додатковими зв'язками, враховуючи можливість доставки частини неперервно розподіленого ресурсу безпосередньо до кінцевого пункту.

6. Розробити обчислювальні методи для реалізації побудованих математичних моделей територіального розподілу об'єктів систем екстреної логістики. Провести обчислювальні експерименти з комп'ютерного моделювання зон відповідальності підрозділів систем екстреної логістики з метою перевірки адекватності побудованих моделей, правильності роботи алгоритмів.

7. На основі розроблених моделей і методів розробити і впровадити математичне і програмне забезпечення територіальної сегментації для визначення зон відповідальності підрозділів систем екстреної логістики в регіоні, залучаючи ГІС-технології для отримання вихідних даних про реальні транспортні шляхи та відстані між об'єктами.

8. Побудувати феноменологічну модель транспортного процесу, використовуючи метод аналізу функціонального резонансу FRAM, розробити методику оцінювання ризику виникнення небезпек і рекомендації щодо його зниження.

9. Розробити математичні моделі оптимального вибору комплексу завчасних заходів щодо зниження професійного ризику виникнення небезпеки на виробничих підприємствах і раціонального розподілу ресурсів.

Об'єкт дослідження – процеси екстреної логістики в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

Предмет дослідження – моделі та методи оптимального розміщення структурних підрозділів систем екстреної логістики з визначенням зон їх обслуговування.

Методи дослідження. Для визначення вихідних даних, моделювання, розробки методів і алгоритмів розв'язання задач оптимального розміщення-розподілу структурних підрозділів систем екстреної логістики застосовані методи системного аналізу, математичного моделювання, цілочисельного лінійного програмування, нескінченновимірною математичного програмування, методи недиференційованої оптимізації, методи розв'язання неперервних лінійних задач оптимального розбиття множин (OPM), метод аналізу функціонального резонансу FRAM; для програмної реалізації алгоритмів розроблених методів – теорія алгоритмів, принципи об'єктно-орієнтованого програмування, методи проектування та програмування, функціонального та комплексного тестування.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукові результати, які визначають новизну дисертаційної роботи полягають у наступному:

вперше:

1) розроблено математичні моделі територіального зонування, які є задачами оптимального мультиплексного розбиття континуальних множин (ОМРМ) і, на відміну від відомих моделей ОРМ, дозволяють описувати розподільчі процеси в логістичних системах за критеріями мінімізації відстані до декількох найближчих центрів із врахуванням їх можливостей; розроблено обчислювальні методи розміщення сервісних центрів з урахуванням перекриття зон їх обслуговування;

2) теоретично обґрунтовано використання математичних моделей і методів розв'язання задач оптимального розбиття континуальних множин з розміщенням центрів та додатковими зв'язками (ОРМДЗ) під час дослідження двоетапних задач гуманітарної логістики, що дозволяє використовувати їх в інформаційних технологіях систем екстреної логістики і складати пропозиції щодо організації багатоетапних процесів розподілу матеріальних потоків в логістичних системах, узгоджуючи локальні інтереси і цілі функціонування окремих їх елементів з головною метою – досягнення оптимальних загальних транспортних, часових і супутніх витрат;

3) розроблено математичні моделі задач частково-двоетапного розподілу матеріальних ресурсів в багаторівневих логістичних системах, які, на відміну від вищезгаданих задач ОРМДЗ, враховують напрям руху потоку і можливість доставки частини ресурсу безпосередньо до кінцевих пунктів, що дозволяє описувати та розв'язувати широке коло логістичних задач, створювати на їх основі нові інформаційні технології задля раціонального управління матеріальними потоками в багаторівневих структурах;

4) розроблено теоретичні та методологічні основи комп'ютерного моделювання оптимального розміщення об'єктів та зонування територій в системах екстреної логістики, які, на відміну від існуючих, побудовані на основі інтеграції обчислювальних методів мультиплексного розбиття множин і двоетапного розміщення-розподілу з сучасними ПС-технологіями, що дозволяє планувати завчасні соціально-економічні та організаційно-технічні заходи, спрямовані на підвищення техногенної безпеки, швидко отримувати наближення зон обслуговування сервісних центрів, виключаючи необхідність залучення аналітиків для проведення детальної експертизи цих зон;

5) створено модель транспортного процесу з використанням методу FRAM і запропоновано методику оцінювання функціональних її елементів, що дозволяє досліджувати сукупний вплив різних факторів техногенного, природного та соціального походження на транспортний процес, надавати аргументовані рекомендації щодо запобігання небажаних подій. Зокрема, показано, що впровадження додаткового дистанційного контролю над певними діями або учасниками транспортного процесу знижує ризик виникнення інциденту на 15-20%.

набули подальшого розвитку:

6) теорія неперервних задач оптимального розбиття множин за рахунок

введення нового класу задач, в яких побудовано мультиплексне розбиття, що дозволяє розширити можливості моделей, підвищити повноту відображення в них спільного обслуговування мережею сервісних центрів споживачів, неперервно розподілених на певній території, перерозподіляти зони обслуговування функціонуючих центрів;

7) теорія багатоетапних задач транспортного типу за рахунок розробки моделей, які враховують напрям руху матеріальних потоків, обмежені потужності логістичних центрів, витрати на їх організацію, що дозволяє комплексно розв'язувати задачі розміщення об'єктів систем екстреної логістики і розподілу ресурсів в процесі їх транспортування від місць вихідного потоку до кінцевих споживачів, посилювати синергетичний ефект прийняття управлінських рішень в соціально-технічних системах;

8) методологічні основи створення та використання засобів комп'ютерного моделювання за рахунок інтеграції сучасних ГІС та математичного забезпечення задач оптимального мультиплексного розбиття множин і задач розміщення-розподілу, що дозволяє вирішити на цій основі важливу науково-прикладну проблему прийняття аргументованих рішень про розташування об'єктів систем екстреної логістики і визначення матеріальних потоків у випадку техногенних надзвичайних ситуацій;

удосконалено:

9) моделі неперервних задач оптимального багатократного кульового покриття множин, котрі, на відміну від раніше відомих, враховують особливості множини, на якій розміщуються центри, що дозволяє підвищити оперативність і обґрунтованість прийняття рішень про вибір місць розташування підрозділів систем екстреної логістики на базі існуючих об'єктів, уникаючи розташування центрів занадто близько один від одного;

10) систему управління ризиками небезпек на підприємствах за рахунок розроблення математичних моделей оптимального вибору сукупності запобіжних/захисних заходів щодо зниження рівня ризику до прийнятних норм за критеріями мінімізації витрат або максимізації ефективності вкладення коштів, що дозволяє раціонально використовувати фінансові ресурси, адже показано, що ефективність витрат може зрости на 17% – 46%, а самі витрати при цьому зменшитися на 9% – 18% у порівнянні з ефективністю і кошторисом мінімальної кількості заходів щодо зменшення професійного ризику до допустимого рівня.

Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні багатофункціонального програмного додатку, який реалізує методи розв'язання задач оптимального зонування територій із закріпленням зон за певними центрами або об'єктами інфраструктури для надання логістичних послуг, методи розв'язання задач оптимального розподілення матеріальних потоків у багаторівневих транспортно-логістичних системах. Розроблений програмний додаток дозволяє раціонально за територіальним та часовим критеріями розподілити матеріальні ресурси між наявними або новими оптимально розміщеними центрами з урахуванням їх можливостей.

На основі результатів, які отримано в процесі дисертаційного дослідження, розроблено наступні методики та рекомендації:

- «Методика оптимального розподілу матеріальних потоків між структурними елементами багаторівневого виробництва», використання якої сприяє підвищенню економічної ефективності функціонування підприємств багаторівневого виробництва, зменшуючи сукупні витрати, які пов'язані з рухом продукції вздовж логістичного ланцюга від розробки родовищ, доставки сировини на переробку до поставки продукції кінцевим споживачам;

- «Методика оптимального розміщення підрозділів системи екстреної логістики на випадок надзвичайної ситуації», впровадження якої орієнтовано на підвищення ефективності функціонування багаторівневих систем екстреної логістики на етапах взаємодії їх структурних підрозділів при розподіленні матеріальних потоків;

- «Методика раціонального вибору місць розміщення рятувальних служб на випадок техногенних аварій», яка дозволяє приймати обґрунтовані та виважені управлінські рішення щодо розміщення структурних підрозділів системи екстреної логістики на територіях гірничих підприємств з урахуванням можливих матеріальних та часових витрат на надання екстреної допомоги;

- «Рекомендації щодо оптимального розміщення підрозділів логістичних систем та розподілу їх навантаження», використання яких дозволяє удосконалити існуючі логістичні системи за рахунок оптимального розміщення об'єктів і розподілу навантаження на системи в цілому;

- «Рекомендації щодо розробки науково-освітньої платформи для розв'язання актуальних проблем у сфері логістики, у тому числі гуманітарної», дотримання яких під час розроблення науково-освітньої платформи сприятиме формуванню цілісної системи знань в галузі логістики підприємств і набуттю навичок аналізу роботи транспортно-виробничих систем.

В цілому, розроблені оптимізаційні моделі і методи розв'язання задач екстреної логістики дозволяють вирішувати ряд практичних проблем, пов'язаних із задачами стратегічного планування у виробничій, соціальній, економічній галузях діяльності, зокрема: при створенні територіально-розподілених багаторівневих компаній, які здійснюють повний цикл виробництва від видобутку сировини з її комплексним використанням, переробкою, випуском продукції і транспортуванням до кінцевих споживачів; для завчасного планування і управління логістичними процесами з метою запобігання та зниження негативного впливу наслідків техногенних надзвичайних ситуацій.

Реалізація результатів роботи. Результати дисертаційної роботи використовуються у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» МОН України в навчальному процесі підготовки студентів і аспірантів за напрямом 124 Системний аналіз при викладанні наступних дисциплін: Методи оптимізації та дослідження операцій; Моделювання економічних, екологічних та соціальних процесів; Оптимізаційні багаторівневі задачі розміщення-розподілу (акт про використання від 09.03.2023).

Розроблені методики і рекомендації впроваджено в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (економічний ефект склав 163,4 тис. грн; акт про використання від 17.05.2023); Придніпровському науковому центрі НАН України і МОН України (економічний ефект – у обсязі 215,5 тис. грн; акт про використання від 07.09.2022); ТОВ «Шахтостроймонтаж» з економічним ефектом у 364,5 тис. грн (акт про використання від 10.02.2022); ТОВ «Донбассшахтпроект» (акт про використання від 26.05.2023).

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати дисертаційної роботи отримані автором особисто. Роботи [1, 30, 48, 49] виконувались без співавторів. У публікаціях, написаних у співавторстві, здобувачеві належать такі результати: [18, 23, 24, 41] – огляд сучасних наукових публікацій за темою досліджень; [6, 7, 26, 33, 35, 38, 47, 52] – розробка й теоретичне обґрунтування математичної складової створеного програмного додатку територіальної сегментації; [10, 18, 19, 28, 53] – проведення порівняльного аналізу результатів роботи реалізованих алгоритмів; [11, 12, 19, 21, 27, 42] – реалізація алгоритмів розв’язання двоетапних задач розміщення-розподілу у програмному додатку територіальної сегментації; [13, 14, 50] – узагальнення задач оптимального розбиття множин, математичні моделі задач ОМРМ; [2, 3, 36, 37, 43, 55] – розробка і обґрунтування методів розв’язання задач; [13, 29, 31, 52, 54] – побудова математичних моделей неперервних задач багатократного покриття з використанням характеристичних функцій; [34] – розробка і програмна реалізація алгоритмів побудови різних узагальнень діаграм Вороного; [8, 9] – розробка концепції досліджень і методики аналізу результатів; [16, 17, 20, 46] – обґрунтування вибору математичного апарату для опису систем і процесів, що досліджуються; [5, 22, 25] – розробка і реалізація математичного інструментарію досліджень; [27, 39, 40, 51] – проведення обчислень і аналіз результатів; [4] – розробка методу розв’язання динамічних задач оптимального розбиття множин; [15, 32] – розробка необхідних і достатніх умов оптимальності; [22, 44, 45] – теоретичне обґрунтування методів розв’язання задач оптимального вибору місць розміщення об’єктів з одночасним зонуванням території.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові, теоретичні положення та практичні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на:

– **16** міжнародних науково-технічних і науково-практичних конференціях: XVIII Міжнародна конференція з математичного моделювання, МКММ-2017 (Херсон, 2017); «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» (Запоріжжя, 2018); «Математичне та імітаційне моделювання систем», МОДС (Чернігів, 2015, 2016); «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті», (Дніпропетровськ, 2015, 2016); «Проблеми інформатики та моделювання», ПІМ-2017 (Харків, 2017); «Комп’ютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація» (Дніпро, 2019); «Information control systems and technologies» (Odessa, Ukraine, 2018); E3S Web of Conferences, International Conference Essays of Mining Science and Practice, (Dnipro, Ukraine,

2019); «Потураївські читання» (Дніпро, 2023, 2024); «Сучасні тенденції та перспективи розвитку науки, освіти та суспільства» (Орхус, Данія, 2023); II Міжнародній науково-практичній конференції «Логістика і транспортна безпека: проблеми та перспективи розвитку в контексті аналізу сучасних викликів і загроз», (м. Дніпро, 2023); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні виклики та актуальні проблеми науки, освіти, технологій та суспільства» (Біла Церква, Україна, 2023); International scientific-practical conference “Science, education and technology: global trends and the regional aspect” (Tampere, Finland, February 3, 2024);

– Міжнародному науковому симпозиумі «Інтелектуальні рішення». Теорія прийняття рішень (Ужгород, 2019);

– Міжнародному науковому школі-семінарі “Питання оптимізації обчислень (ПОО-XLII)”, присвяченому 85-річчю від дня народження академіка В.С. Михалевича (Чинадієво, 2015);

– 5 Всеукраїнських науково-практичних конференціях: «Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики», АРАМС – 2015 (Львів, 2015); «Інформатика, управління та штучний інтелект», ІУШ-2015, (Харків, 2015); «Транспортний комплекс України: Умови ефективного розвитку» (Одеса, 2019); VI-й Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, 2023 р., м. Харків; Всеукраїнській інтернет-конференції «Економічна кібернетика: інструменти і методи дослідження та організації економічних процесів» (м. Дніпро, 1–2 березня, 2024);

– наукових семінарах кафедри системного аналізу та управління Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» МОН України та кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки і технологій МОН України.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 55 наукових робіт, у тому числі 14 публікацій у закордонних періодичних виданнях та у виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз: 12 – у *Scopus* та *Web of Science*, 2 – *Index Copernicus*; 14 наукових статей у фахових виданнях України, 24 матеріали конференцій і тез доповідей, 1 монографія, 1 Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 224 найменувань на 30 сторінках та 6 додатків на 50 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 381 сторінка, з них 302 сторінки основного тексту (без анотацій 287 сторінок), 82 рисунки, 28 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми дисертаційної роботи, вказано зв’язок роботи з науковими програмами, планами та темами, сформульовано мету та основні завдання дослідження. Визначено об’єкт, предмет та методи дослідження, вказана наукова новизна та практичне значення отриманих результатів роботи. Надано характеристику особистого внеску здобувача у роботах, виконаних у співавторстві, також представлені відомості

про апробацію результатів роботи. Подано опис структури та обсягу дисертації.

У першому розділі проведено аналіз досліджень, пов'язаних з розробкою інформаційних технологій функціонування логістичних систем, математичним моделюванням і методами розв'язання оптимізаційних задач екстреної і гуманітарної логістики; розглянуто роботи, в яких розв'язуються задачі територіального розміщення логістичних центрів. Обґрунтовано необхідність використання геоінформаційних технологій і розширення функціональності сучасних ГІС щодо зонування території за критерієм відстані задля врахування потужності центрів і можливості перекриття зон їх функціонування. Визначено, що в якості математичного апарату моделювання задач логістики можуть використовуватися моделі і методи теорії неперервних задач оптимального розбиття множин, але вони потребують певного удосконалення. Узагальнення результатів аналізу заходів, які вживаються під час екстреної логістики в разі техногенних надзвичайних ситуацій, а також розроблених наукових основ і підходів щодо їх планування і організації, дозволило сформулювати мету та задачі досліджень.

В другому розділі вперше, використовуючи основні положення теорії неперервних задач оптимального розбиття множин (ОРМ), заснованої чл.-кор. НАН України О.М. Кісельовою, розроблено математичні моделі і методи розв'язання задач оптимального мультиплексного розбиття континуальних множин, які, на відміну від вищезгаданих, під час опису процесу розподілу споживачів між сервісними центрами враховують можливість надавати послуги будь-яким з декількох найближчих до споживачів центрів обслуговування. На основі цього інструментарію розроблено одну із складових математичного забезпечення інформаційної технології територіальної сегментації, яка включає моделі і методи розв'язання задач оптимального зонування територій із закріпленням зон за певними центрами або об'єктами соціально-економічного призначення для надання послуг, пов'язаних з організацією аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт у разі реальної загрози виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру. Такими центрами можуть бути служби соціального захисту, склади аварійного постачання й розподілу предметів першої необхідності та ін. Передбачено: 1) можливість перекриття зон на той випадок, коли найближчий центр не зможе надати послугу; 2) оптимальне розміщення певної кількості нових центрів СЕЛ, коли можливості функціонуючих не задовольняють потреби всього регіону. Запропоновано декілька можливих критеріїв оптимальності мультиплексного розбиття множини. Детально досліджено лінійні задачі оптимального мультиплексного розбиття множин в наступній постановці.

Нехай Ω – обмежена, замкнена множина у просторі E_2 , $\tau_i \in \Omega$, $i = 1, 2, \dots, N$, – деякі точки, які називаються центрами (вони можуть бути фіксованими або їх потрібно визначити), $\rho(x)$ – невід'ємна функція, яка описує попит на послугу (вважатимемо, що в кожній точці x області Ω за

допомогою соціологічних досліджень або сучасних геоінформаційних технологій його можна оцінити); $c(x, \tau_i)/w_i$ – вартість надання послуги клієнту $x \in \Omega$ центром τ_i (вважається пропорційною відстані $c(x, \tau_i)$ між точками); a_i – вартість облаштування нового чи модернізації існуючого центру τ_i або його фіксовані організаційні витрати, розраховані на одну умовну одиницю попиту, $i = \overline{1, N}$; $b_1, b_2, \dots, b_N$ – потужності центрів, що визначають максимальний об’єм послуг, який можуть запропонувати відповідні центри. Потрібно здійснити розбиття заданого регіону на області $\Omega_{\sigma_l}, l = \overline{1, L}$, які охоплюють клієнтів, що мають одні й ті самі k найближчі сусідні сервісні центри $\{\tau_{j_1^l}, \tau_{j_2^l}, \dots, \tau_{j_k^l}\}$ з N існуючих (можливих). Тут $\sigma_l = \{j_1^l, j_2^l, \dots, j_k^l\}$ – набір індексів центрів, котрі асоціюються з підмножиною Ω_{σ_l} . Розбиття області Ω потрібно здійснити з урахуванням потужності кожного j -го центру та частки γ_j^l ринку послуг, яку він займає на території Ω_{σ_l} , серед об’єктів $\{\tau_{j_1^l}, \tau_{j_2^l}, \dots, \tau_{j_k^l}\}$, що обслуговують дану територію.

Для математичного опису задачі введемо наступні позначення: $N = \{1, 2, \dots, N\}$ – множина всіх індексів центрів; $M(N, k)$ – множина всіх k -елементних підмножин множини N , $|M(N, k)| = C_N^k = L$; $\sigma_l = \{j_1^l, j_2^l, \dots, j_k^l\}, l = \overline{1, L}$, – елементи множини $M(N, k)$.

Сукупність підмножин $\{\Omega_{\sigma_1}, \Omega_{\sigma_2}, \dots, \Omega_{\sigma_L}\}$ з $\Omega \subset E^2$ називається **розбиттям k -го порядку** множини Ω на її підмножини $\Omega_{\sigma_1}, \Omega_{\sigma_2}, \dots, \Omega_{\sigma_L}$, якщо

$$\bigcup_{l=1}^L \Omega_{\sigma_l} = \Omega, \text{mes}(\Omega_{\sigma_i} \cap \Omega_{\sigma_j}) = 0; \sigma_i, \sigma_j \in M(N, k), i \neq j, i, j = \overline{1, L},$$

де $\text{mes}(\cdot)$ – міра множини. Ω_{σ_j} є **підмножинами k -го порядку** множини Ω .

Нехай $\Sigma_{\Omega}^{N, k}$ – клас всіх можливих розбиттів k -го порядку множини Ω на її підмножини $\Omega_{\sigma_1}, \dots, \Omega_{\sigma_L}$:

$$\Sigma_{\Omega}^{N, k} = \left\{ \bar{\omega} = \{\Omega_{\sigma_1}, \dots, \Omega_{\sigma_L}\}: \bigcup_{l=1}^L \Omega_{\sigma_l} = \Omega, \text{mes}(\Omega_{\sigma_i} \cap \Omega_{\sigma_j}) = 0, \right. \\ \left. \sigma_l, \sigma_j \in M(N, k), i \neq j, i, j = \overline{1, L} \right\}.$$

Задача 1. Задача оптимального розбиття k -го порядку континуальної множини Ω при обмеженнях із розміщенням центрів. Потрібно

$$F(\bar{\omega}, \tau^N) \rightarrow \min_{\substack{\bar{\omega} \in \Sigma_{\Omega}^{N, k}; \tau^N \in \Omega^N}}, \\ F(\bar{\omega}, \tau^N) = \sum_{l=1}^L \int_{\Omega_{\sigma_l}} \sum_{i \in \sigma_l} (c(x, \tau_i)/w_i + a_i) \rho(x) dx, \\ \sum_{l: i \in \sigma_l}^L \int_{\Omega_{\sigma_l}} \gamma_i^l \rho(x) dx = b_i, \quad i = \overline{1, p}, \quad (1) \\ \sum_{l: i \in \sigma_l}^L \int_{\Omega_{\sigma_l}} \gamma_i^l \rho(x) dx \leq b_i, \quad i = \overline{p+1, N}. \quad (2)$$

Тут $x = (x^{(1)}, x^{(2)}) \in \Omega$; $c(x, \tau_i), i = \overline{1, N}$ – обмежені, визначені на $\Omega \times \Omega$ функції. Функція $\rho(x)$ – обмежена, невід’ємна на Ω ; $w_i > 0, a_i \geq 0, b_i \geq 0, i = \overline{1, N}$, – задані числа; коефіцієнти γ_j^l такі, що для всіх $j = \overline{1, N}, l = \overline{1, L}$

$$0 \leq \gamma_i^l \leq 1, \quad \gamma_{j_1^l}^l + \gamma_{j_2^l}^l + \dots + \gamma_{j_k^l}^l = 1. \quad (3)$$

Для коректності задачі **1** мають виконуватися наступні умови:

$$0 \leq b_i \leq S, i = \overline{1, N}; \quad \sum_{i=1}^p b_i \leq S \leq \sum_{i=1}^N b_i; \quad \text{де} \quad \int_{\Omega} \rho(x) dx = S;$$

На рис. 1 наведений приклад оптимального розбиття 2-го порядку квадрата Ω (дулексне розбиття) для 8 центрів. Підмножини 2-го порядку Ω_{σ_l} позначаються фіксацією індексів $\Omega_{j_q j_p}$: $\sigma_l = \{j_1^l, j_2^l\}$ або (j_1^l, j_2^l) , наприклад, $\Omega_{78}, \{7, 8\}$ або $(7, 8)$.

Характеристичною вектор-функцією підмножини Ω_{σ_l} , що включена до розбиття k -го порядку множини Ω , називається вектор-функція $\lambda^l(x) = (\lambda_1^l(x), \dots, \lambda_N^l(x))$, визначена на множині Ω , з наступними координатами:

$$\lambda_i^l(x) = \begin{cases} 1, & x \in \Omega_{\sigma_l}, \quad i \in \sigma_l, \\ 0 & \text{у протилежному випадку, } i = \overline{1, N}. \end{cases}$$

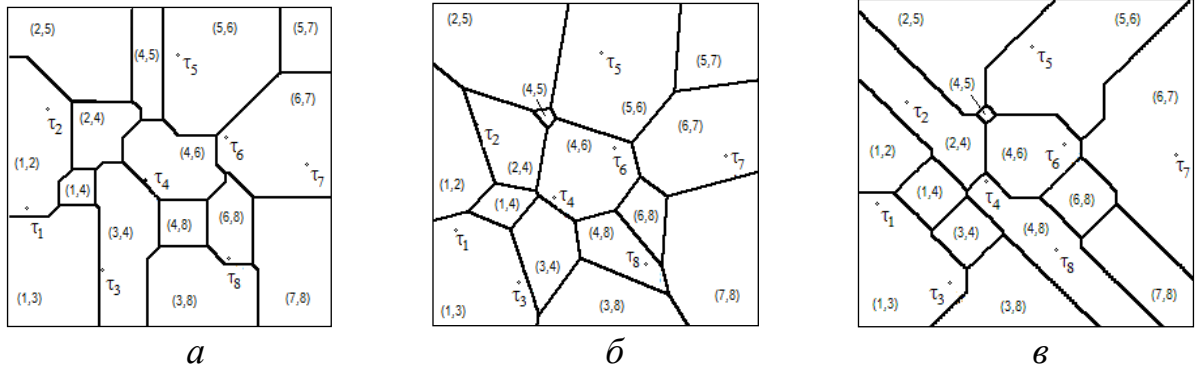


Рис. 1. Дулексне розбиття квадрата для 8 центрів у випадку $c(x, \tau_i)$ – метрики: a – Манхеттенської; b – евклідової; v – Чебишева

Метод розв'язання задачі **1** розроблено, використовуючи зведення її до задачі нескінченновимірному програмування з булевими змінними $\lambda^l(x)$, ЛП-релаксацію одержаної, елементи теорії двоїстості. Оптимальний розв'язок задачі **1**, сформульованої в еквівалентній формі у термінах характеристичних функцій підмножин k -го порядку, що складають мультиплексне розбиття Ω , отримано у такому вигляді: для $i = \overline{1, N}$, $l = \overline{1, L}$ і майже всіх $x \in \Omega$:

$$\hat{\lambda}_i^l(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } c(x, \hat{\tau}_i)/w_i + a_i + \gamma_i^l \hat{\psi}_i \leq c(x, \hat{\tau}_j)/w_j + a_j + \gamma_j^l \hat{\psi}_j, \\ & \forall i \in \sigma_l, \quad j \in N \setminus \sigma_l, \\ 0 & \text{в протилежному випадку,} \end{cases} \quad (4)$$

де $\hat{\tau}_1, \dots, \hat{\tau}_N, \hat{\psi}_1, \dots, \hat{\psi}_N$ є розв'язком наступної задачі:

$$G(\psi) = \min_{\tau \in \Omega^N} G_1(\tau, \psi) \rightarrow \max, \quad (5)$$

за умов

$$\begin{aligned} \psi_i &\geq 0, \quad i = \overline{p+1, N}, \\ G_1(\tau^N, \psi) &= \int_{\Omega} \min_{\substack{\sigma_l \in M(N, k) \\ l = \overline{1, L}}} \sum_{i \in \sigma_l} [c(x, \tau_i)/w_i + a_i + \gamma_i^l \psi_i] \rho(x) dx - \sum_{i=1}^N \psi_i b_i. \end{aligned} \quad (6)$$

Для чисельної реалізації методу від (5), (6) здійснюється перехід до

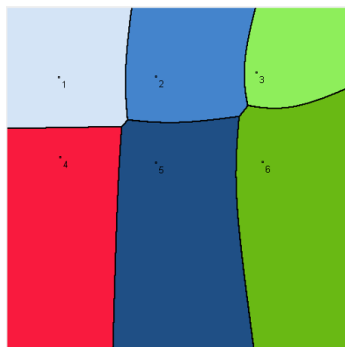
задачі: $\max_{\psi \in E^N} \min_{\tau^N \in \Omega^N} U(\tau^N, \psi)$, де $U(\tau^N, \psi) = G_1(\tau^N, \psi) - Q \sum_{i=p+1}^N \max(0, -\psi_i)$,

Q – додатне число (більше за множники Лагранжа).

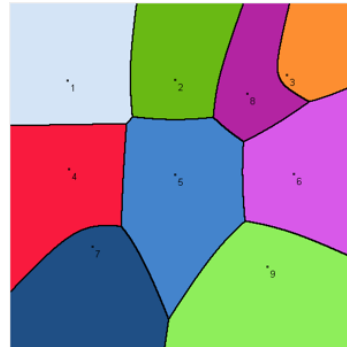
Узагальнимо задачу 1. Розглянемо математичну модель задачі розміщення нових підрозділів діючої СЕЛ, тобто будемо вважати, що $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m$ ($m < N$) є заданими, а координати решти центрів $\tau_{m+1}, \tau_{m+2}, \dots, \tau_N$ потрібно визначити, $\tau^{N-m} = (\tau_{m+1}, \tau_{m+2}, \dots, \tau_N) \in \underbrace{\hat{\Omega} \times \dots \times \hat{\Omega}}_{N-m} = \hat{\Omega}^{N-m}$. Тоді задача має наступний вигляд:

Задача 2. $F(\bar{\omega}, \tau^{N-m}) \rightarrow \min_{\bar{\omega} \in \Sigma_{\Omega}^{N,k}; \tau^{N-m} \in \hat{\Omega}^{N-m}}$ за умов (1), (2).

Вочевидь, задача 1 є окремим випадком задачі 2, коли $m = 0$, а, отже, метод розв'язання останньої такий самий, як і для 1, з тією різницею, що: 1) мінімізація цільового функціоналу відбувається поряд з розбиттям і за вектором $\tau^{N-m} = (\tau_{m+1}, \tau_{m+2}, \dots, \tau_N) \in \hat{\Omega}^{N-m}$; 2) компоненти вектору узагальненого градієнту функції $U(\tau^{N-m}, \psi)$ за першою змінною обчислюються за допомогою скінченних різниць, позаяк зміна цих координат викликає перерозподіл зон відповідальності усіх центрів, і розміщуваних, і діючих. На рис. 2 подано результати розв'язання модельної задачі оптимального розміщення 3-х нових об'єктів (7-го, 8-го та 9-го) для мережі з $m = 6$ центрів аварійного постачання з перерозподілом зон їх відповідальності в регіоні $\Omega = \{x \in R^2: 0 \leq x^{(i)} \leq 10, i = 1, 2\}$ за таких даних: $k = 1$, $N = 9$, $w_i = 1 \forall i = \overline{1, 9}$; $a = (1; 1.5; 2.7; 1; 1.1; 1.5; 2.2; 1.9; 2)$, $\rho(x) = 1, \forall x \in \Omega$; метрика – евклідова. Табл. 1 демонструє перерозподіл (майже рівномірний) зон відповідальності і зменшення навантаження на об'єкти мережі. Значення функціоналу зменшилось майже на 10% з 349.54 до 314.345 одиниць.



а



б

Рис. 2. Монопольні зони обслуговування для центрів: а – шести фіксованих, б – шести фіксованих і трьох оптимально розміщених

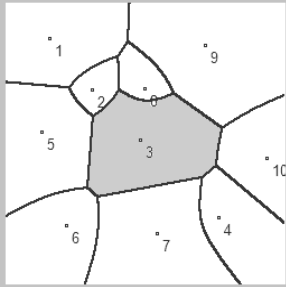
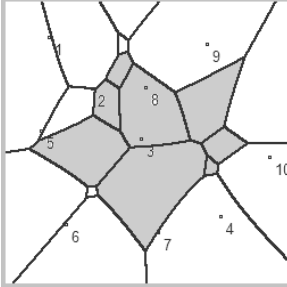
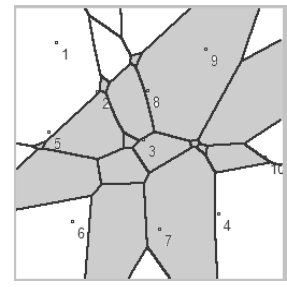
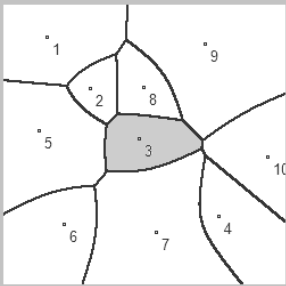
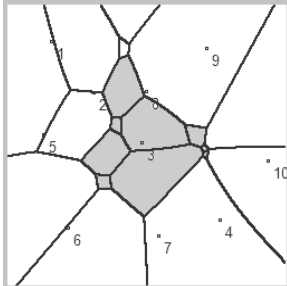
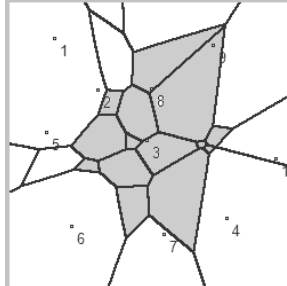
Таблиця 1 – Навантаження

№ центру	Навантаження на центр	
	до	після
	перерозподілу	
1	17.499	13.215
2	13.727	10.775
3	19.432	9.215
4	17.033	11.707
5	14.038	10.117
6	18.267	11.034
7	0	9.125
8	0	11.105
9	0	13.705

Вплив величини потужності центру як на зону його впливу, так і взагалі на мультиплексне розбиття, ілюструє табл. 2. У першому рядку таблиці представлено отримані в задачі 1 мультиплексні розбиття квадрату для восьми заданих центрів, причому їхні потужності є однаковими та настільки

великими, що вважаються необмеженими. Другий рядок таблиці відповідає випадку, коли деякі центри мають на порядок меншу за інші потужність. На розбитті виділена зона відповідальності 3-го центру. Константи b_i , $i = \overline{1, N}$, задані так, аби для $k = 1, 2, 3$ виконувалися умови (3) розв'язності задачі ОМРМ.

Таблиця 2 – Обмежені потужності центрів та границі між підмножинами

№	Вихідні дані: N, b, a, w	Оптимальне розбиття k -го порядку. Зона обслуговування для першого центру		
		$k = 1$	$k = 2$	$k = 3$
1	$N = 10,$ $a = (1, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2),$ $b_i = 100, \forall i = \overline{1, N},$ $w_i = 1, \forall i = \overline{1, N}$			
2	$N = 10,$ $a = (1, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2),$ $b_{1,4} = 10;$ $b_3 = 3;$ $b_{2,5,6,7,8,9,10} = 100;$ $w_i = 1, \forall i = \overline{1, N}$			

В роботі теоретично обґрунтовано і підтверджено результатами обчислювальних експериментів можливість за допомогою моделей і методів розв'язання задач ОМРМ будувати діаграми Вороного вищих порядків та їх узагальнення, зокрема діаграми з точками-генераторами, оптимально розміщеними на обмеженій області.

Третій розділ присвячено математичному моделюванню і методам розв'язування задач оптимального розміщення підрозділів систем екстреної логістики з метою мінімізації часу надання послуги навіть найвіддаленішому об'єкту на заданій території (рис. 3), причому для центрів потрібно визначити сервісні зони з урахуванням можливості їх перекриття.

Математична модель задачі є **задачею про мінімальне k -кратне s -кульове покриття, яка** записується у такий спосіб: знайти величину

$$\bar{R}(\lambda^*(\cdot), \tau_*^N) = \inf_{(\tau_1, \dots, \tau_N) \in \Omega^N} \sup_{x \in \Omega} \min_{\lambda(x) \in \Lambda_N^k} \max_{i=1, N} c(x, \tau_i) \lambda_i(x), \quad (7)$$

де $\Lambda_N^k = \{\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_N): \lambda_i = 0 \vee 1, i = \overline{1, N}; \sum_{i=1}^N \lambda_i = k\}$, а також вектор-функцію $\lambda^*(\cdot)$: $\forall x \in \Omega \quad \lambda^*(x) \in \Lambda_N^k$, та вектор $\tau_*^N = (\tau_1^*, \dots, \tau_N^*) \in \Omega^N \subset E_2^N$, за яких у виразі (7) досягається нижня грань.

Вектор-функція $\lambda(\cdot)$ використовується для конструктивного запису математичної моделі задачі та є проміжним результатом, оскільки містить інформацію про те, які саме k центрів є найближчими до кожної точки з Ω .

Математичну формалізацію задачі можна здійснити і за допомогою моделей задач мультиплексного розбиття континуальних множин.

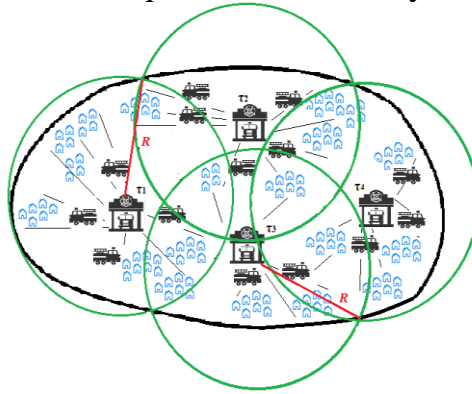


Рис. 3. Кульове покриття території

Задача 3. Потрібно за умов (1), (2) забезпечити

$$F_R(\bar{\omega}, \tau^N) = \max_{l=1, L} \sup_{x \in \Omega_{\sigma_l}} \max_{i \in \sigma_l} (c(x, \tau_i)/w_i + a_i) \rho(x) \rightarrow \min_{\substack{\bar{\omega} \in \Sigma_{\Omega}^{N, k} \\ \tau^N \in \Omega^N}}. \quad (8)$$

Задача 3 є задачею оптимального багатократного покриття множини при обмеженнях з оглядом на те, що за певних вихідних даних цільовий функціонал визначає величину радіуса оптимального покриття $R(\tau_*^N) = \inf_{\tau^N} \sup_{x \in \Omega} \min_{i=1, \dots, N} c(x, \tau_i)$.

Методи багатократного кульового покриття розроблені з використанням елементів теорії неперервних задач оптимального розбиття множин і передбачають редукцію до задач умовної оптимізації недиференційованих функцій, для розв'язування яких залучається апарат штрафних функцій та субградієнтні методи. В роботі удосконалено методи розв'язання задач оптимального багатократного кульового покриття з розміщенням центрів куль, які, на відміну від раніше розроблених, використовують так звану «регуляризацію» цільового функціоналу задачі задля забезпечення уникнення розташування центрів куль занадто близько один від одного. Крім того, розглянуто випадок, коли об'єкти СЕЛ можуть розміщуватися не будь-де в області Ω , а на певній її частині, зокрема, на множині скінченних точок.

Припустимо, що необхідно розташувати центри гуманітарної логістики або логістичні хаби (ЛХ) і визначити для кожного з них зону відповідальності, аби мінімізувати відстань від центру до найвіддаленішої точки з закріпленої за ним території. Центри можуть розташовуватися лише на певних об'єктах або місцях, які визначені координатами й вартістю організації в них ЛХ. Кількість потенційних місць є більшою за кількість центрів, які потрібно розмістити. Розглянемо випадки багатократного покриття території та поділу її на зони обслуговування центрів з метою забезпечення екстреної логістики в будь-якій точці області, навіть якщо найближчий до неї центр не функціонує.

Нехай Ω – обмежена, замкнена множина у просторі E_2 , $\tau_i = (\tau_i^{(1)}, \tau_i^{(2)}) \in T$, $T \subseteq \Omega$, для усіх $i = 1, \dots, N$, – деякі точки, які вважатимемо місцями розміщення центрів (їх потрібно знайти). $B(\tau_i, R) = \{x \in E_n: c(x, \tau_i) \leq R\}$ – с-

куля радіуса R з центром у точці $\tau_i \in \Omega$, $c(x, \tau_i)$ – метрика.

Якщо $T \equiv \Omega$, отримаємо задачу 3. У випадку, коли T – скінченна дискретна підмножина множини Ω , задача носить частково комбінаторний характер, адже з усіх можливих місць розташування центрів (позначимо таку кількість M) потрібно виділити такі N , $N < M$, за яких функціонал (8) набуває найменшого значення. Уточнимо постановку такої задачі.

Нехай множина T – скінченна дискретна підмножина множини Ω , $|T| = M$, $v_m \in T$, $m = 1, \dots, M$ – можливі місця розміщення підрозділів системи екстреної логістики (приміром, аварійні, рятувальні, пожежні служби). Задача оптимального вибору центрів τ_i з множини T і визначення зон їх обслуговування в регіоні Ω з метою мінімізації максимально можливого часу надання послуги будь-яким з k найближчих до споживача центрів математично записується у такий спосіб: знайти вектор $y^* = \{y_m^*\}_{m=\overline{1,M}}$, і відповідну вектор-функцію $\lambda^*(\cdot)$, за яких

$$\bar{R}(y, \lambda(\cdot)) = \sup_{x \in \Omega} \min_{\lambda(x) \in \Lambda_M^k} \max_{m=\overline{1,M}} c(x, v_m) \lambda_m(x) \rightarrow \min, \quad (9)$$

$$\sum_{m=1}^M y_m = N, \quad (10)$$

$$\sum_{m=1}^M \lambda_m(x) = k \quad \forall x \in \Omega. \quad (11)$$

$$\lambda_m(x) \leq y_m \quad \forall m = \overline{1,M}, \quad \forall x \in \Omega; \quad (12)$$

$$\lambda_m(x) = 0 \vee 1, \quad m = \overline{1,M}; \quad \forall x \in \Omega; \quad (13)$$

$$y_m = 0 \vee 1, \quad m = \overline{1,M}, \quad (14)$$

$$v_m \in T, \quad m = 1, \dots, M. \quad (15)$$

Тут змінні y_m і $\lambda_m(x) \quad \forall x \in \Omega$, є бінарними, для яких $y_m = 1$, якщо центр розміщений в точці $v_m \in T$, і $y_m = 0$, якщо v_m залишилася незадіяною, $m = 1, \dots, M$; а

$$\lambda_m(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x \text{ – у зоні відповідальності центру } v_m, \\ 0 & \text{у протилежному випадку, } m = \overline{1,M}. \end{cases}$$

В задачі (9) – (15) служби, що розміщуються, вважаються однотиповими об'єктами. Якщо кожен з τ_i , $i = \overline{1,N}$, характеризується певними параметрами, що відрізняють їх один від одного, так само, як і місця можливого розміщення цих об'єктів можуть мати різні властивості, то формою представлення змінних в задачі має бути матриця з елементами β_{im} , $i = \overline{1,N}$, $m = \overline{1,M}$, такими що

$$\beta_{im} = \begin{cases} 1, & \text{якщо центр } \tau_i \text{ розміщується в точці } v_m, \\ 0, & \text{в протилежному випадку,} \end{cases}$$

$$\sum_{i=1}^N \beta_{im} \leq 1 \quad \forall m = \overline{1,M}, \quad \sum_{m=1}^M \beta_{im} = 1 \quad \forall i = \overline{1,N}.$$

Тоді має місце представлення $\tau_i = \sum_{m=1}^M \beta_{im} v_m$, $i = \overline{1,N}$.

Припустимо, що для функціонування нових центрів потрібні ресурси у розмірі A ум. од., а організація центру в точці v_m коштуватиме a_m ум. од, $m = \overline{1,M}$. Тоді має бути враховано наступне обмеження:

$$\sum_{m=1}^M a_m y_m \leq A. \quad (16)$$

Ставиться задача: знайти такі $y^* = \{y_m^*\}_{m=\overline{1,M}}$, і $\lambda^*(x)$, $x \in \Omega$, за яких функціонал (9) набуває мінімального значення за умов (10) – (16).

Для побудови алгоритму розташування N центрів на скінченній множині T місць з мінімальним радіусом k -кратного покриття множини Ω введемо деякі позначення. Нехай $G(M, N)$ – множина всіх N – елементних підмножин множини індексів M , $\sigma_l = \{j_1^l, j_2^l, \dots, j_N^l\}$, $l = \overline{1, L}$, – елементи множини $G(M, N)$, $L = |G(M, N)| = C_M^N$. Позначимо y^{σ_l} – вектор y з наступними компонентами:

$$y_m^{\sigma_l} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } m \in \sigma_l, \\ 0, & \text{у протилежному випадку, } m = \overline{1, M}. \end{cases} \quad (17)$$

Тоді переформулюємо задачу (9) – (16) так: знайти комбінацію $\sigma^* \in G(M, N)$, відповідний вектор $y^* = y^{\sigma^*}$ та вектор-функцію $\lambda^*(x)$, $x \in \Omega$, які мінімізують функціонал (9) і задовольняють умови:

$$\sum_{m=1}^M \lambda_m(x) = k, \forall x \in \Omega, \quad (18)$$

$$\lambda_m(x) \leq y_m^{\sigma} \quad \forall m = \overline{1, M}, \forall x \in \Omega; \quad (19)$$

$$\sum_{m=1}^M a_m y_m^{\sigma} \leq A, \quad (20)$$

$$\lambda_m(x) = 0 \vee 1, \quad m = \overline{1, M}, \forall x \in \Omega; \quad (21)$$

$$\sigma \in G(M, N); \quad (22)$$

$$v_m \in T, \quad m = 1, \dots, M. \quad (23)$$

Рис. 4 демонструє результати 3-кратного покриття області, утвореного 11-ма центрами, вибраними з 17 заданих. Праворуч від охопленої та розділеної області вказано відповідність кольору зони та номерів $([i, j])$ або $[i, j, k])$ центрів, що її обслуговують. Покриття відповідає випадку, коли для обчислення відстані між двома точками використовується евклідова метрика. Це доцільно, наприклад, якщо розміщені центри доставляють матеріально-технічні ресурси засобами транспортної авіації до найдальшого центру екстреної логістики. Для теоретичного опису відстані між центрами в межах міста найкраще підходить l_1 -метрика. На рис. 5 подано 2-кратне покриття області, згенероване 10-ма центрами, розташованими на наборі з 15 точок, з використанням l_1 -метрики.

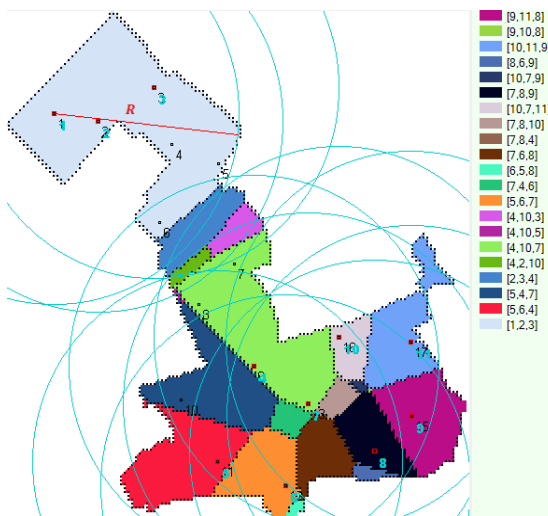


Рис. 4. Оптимальне 3-кратне покриття території зонами обслуговування 11 центрів, вибраних з 17 потенційних

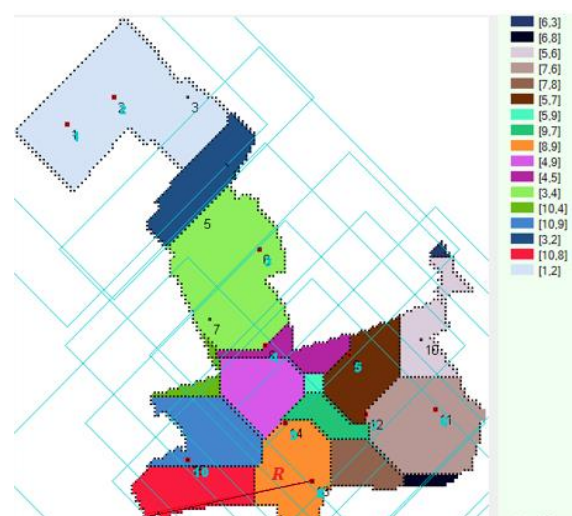


Рис. 5. Мінімальне 2-кратне покриття зонами обслуговування 10-ти центрів, вибраних з 15 заданих, l_1 -метрика

В усіх наведених прикладах a_i згенеровані випадково з множини $\{1,2,3,4\}$ для кожного $i = \overline{1, N}$; $A = 2N$.

Представлено математичну модель та метод розв'язання задачі багатократного покриття області кулями мінімального радіусу з розміщенням їх центрів за наявності обмежень на відстань між ними у вигляді:

$$\min_{(i,j): i>j} c(\tau_i, \tau_j) \geq \sigma, \quad i = 1, 2, \dots, N, \text{ де } \sigma > 0 - \text{ задана величина.}$$

В математичних моделях практичних задач оптимального покриття обмеження на розташування центрів куль можуть мати інший характер, наприклад, аби жоден з них не потрапив в деяку заборонену зону. Введення у функціонал задачі доданку, котрий відповідає за неможливість «злипання» центрів куль, що утворюють покриття, визначено в роботі «регуляризацією» задачі (функціоналу) про мінімальне k -кратне кульове покриття. Такі поправки саме контролюють мінімальну відстань між центрами, що розміщуються, аби вона була не меншою за задану величину (рис. 6), або центри в області розташовувалися якомога рівномірно (рис. 7).

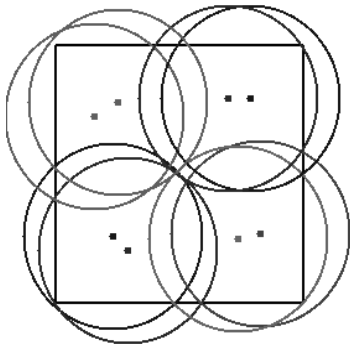


Рис. 6. Двократне оптимальне покриття одиничного квадрата з контролем мінімальної відстані між центрами ($N = 8$)

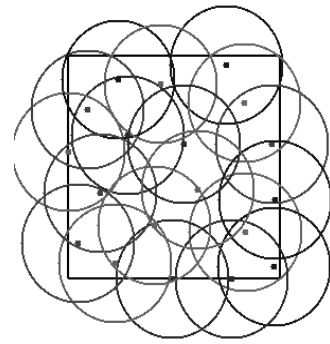


Рис. 7. Двократне оптимальне покриття квадрата з регуляризацією функціоналу з метою рівномірного розміщення центрів в області ($N = 19$)

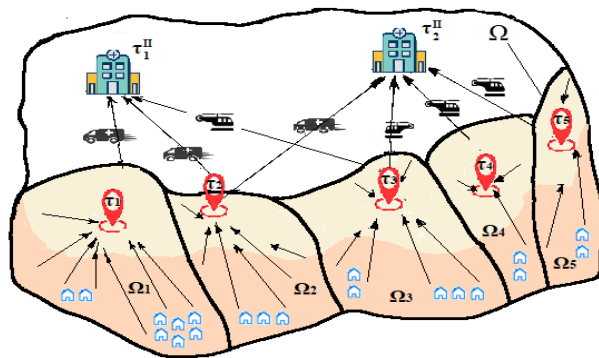
Для опису області складної форми використовується апарат R-функцій. Розроблені методи оптимізації багатократного покриття множин: 1) дозволяють одночасно визначати місця розміщення усіх центрів допомоги та їх зони обслуговування, оптимальні в сенсі мінімальної відстані до найвіддаленішого споживача, з урахуванням можливості перекриття зон; 2) не залежать від розмірності простору, якому належить область, що покривається, а, отже, можуть використовуватися для широкого кола практичних задач, що зводяться до відповідних математичних моделей; 3) можуть бути застосовані для розв'язання задач оптимального покриття, коли центри розміщуються на скінченній множині заданих точок.

Розроблені моделі і методи розв'язання неперервних і дискретно-неперервних задач багатократного покриття областей реалізовано у багатофункціональному додатку, застосування якого забезпечує прийняття обґрунтованого рішення щодо раціонального вибору місць розміщення підрозділів СЕЛ з урахуванням їх можливостей за часовим критерієм, зокрема,

на базі існуючих об'єктів.

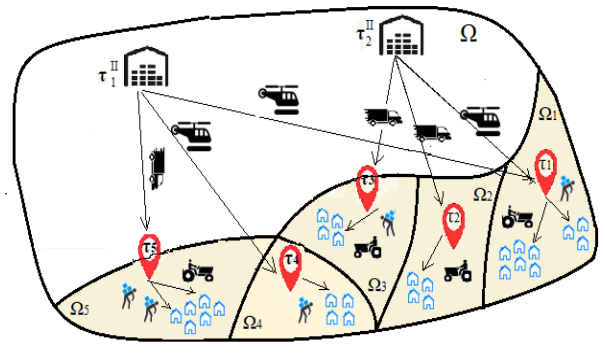
Четвертий розділ присвячено розробці моделей логістичних процесів в ієрархічних системах екстреної і гуманітарної логістики, які складають в інформаційній технології територіальної сегментації математичне забезпечення підсистеми прийняття виважених рішень щодо багатоетапного розподілу матеріальних потоків між структурними підрозділами СЕЛ.

Розглядається задача визначення плану дій при надзвичайній ситуації техногенного характеру. Потрібно визначити місця розміщення і облаштування центрів СЕЛ первинного збору (надалі під час моделювання – центрів першого етапу) для подальшого транспортування матеріальних ресурсів у логістичні центри (центри другого етапу) за мінімально можливий час або з мінімально можливими транспортними і організаційними витратами. Необхідно сегментувати територію НС на зони і закріпити їх за відповідним логістичним центром задля найшвидшого переміщення ресурсу. А, отже, логістичні процеси здійснюються в два етапи (рис. 8). Розподіл ресурсів за центрами має здійснюватися з урахуванням їх місткості.



- територія, яка постраждала від НС
- пункти первинного збору ресурсу
- безпечна територія
- логістичні центри другого етапу
- неперервно розподілений ресурс

Рис. 8. Схема двоетапного евакуаційного процесу з території НС



- постраждала від НС територія
- пункти розподілу ресурсів
- склади постачання ресурсів
- доставка ресурсів
- споживачі

Рис. 9. Схема двоетапного розподілу матеріально-технічних ресурсів в зонах НС

Для запису математичної моделі двоетапного евакуаційного процесу використані такі позначення: Ω – територія деякого регіону, що зазнала пошкоджень в результаті НС загальної площі $mes(\Omega)$; $\hat{\Omega} \subseteq \Omega$ – безпечна територія, на якій можна розміщувати первинні пункти збору населення, m^2 ; $\rho(x)$ – функція, що описує розподілення мешканців в точці x множини Ω , люд/ m^2 ; N та M – кількість первинних та кінцевих пунктів; S – загальна кількість населення на ураженій території, люд.; τ_i^r – i -й центр r -го етапу; b_i^r – його місткість, $r = I, II$, люд; $c_i^I(x, \tau_i^I)$ – зважена вартість евакуації мешканця від точки $x \in \Omega$ до центру τ_i^I , грн/люд; $c_{ij}^{II}(\tau_i^I, \tau_j^{II})$ – вартість транспортування від центру τ_i^I до центру τ_j^{II} , ум. од.; a_i – вартість облаштування первинного пункту збору населення в точці τ_i^I , розрахована на одну одиницю ресурсу, ум.

од.; v_{ij} – кількість ресурсу, яка транспортується від центру τ_i^I до τ_j^{II} (центри другого етапу), ум. од.

Задача 4. Потрібно розбити регіон Ω на N зон $\bar{\omega} = \{\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_N\}$, визначити на $\hat{\Omega}$ набір $\tau^I = \{\tau_1^I, \dots, \tau_N^I\}$ центрів цих підмножин і такі обсяги перевезень $v = \{v_{11}, \dots, v_{NM}\}$, за яких функціонал

$$F(\bar{\omega}, \tau^I, v) = \beta_1 \sum_{i=1}^N \int_{\Omega_i} (c_i^I(x, \tau_i^I) + a_i) \rho(x) dx + \\ + \beta_2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (c_{ij}^{II}(\tau_i^I, \tau_j^{II}) + a_j^{II}) v_{ij} \quad (24)$$

досягав би мінімального значення, і виконувались наступні обмеження:

$$\int_{\Omega_i} \rho(x) dx = \sum_{j=1}^M v_{ij}, \quad i = \overline{1, N}, \quad (25)$$

$$\sum_{i=1}^N v_{ij} = b_j^{II}, \quad j = \overline{1, M}, \quad (26)$$

$$\bar{\omega} \in \Sigma_{\Omega}^N, \quad v \in R_{NM}^+, \quad \tau^I \in \hat{\Omega}^N, \quad (27)$$

$\Sigma_{\Omega}^N = \{\bar{\omega} = \{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}: \cup_{i=1}^N \Omega_i = \Omega, \text{mes}(\Omega_i \cap \Omega_j) = 0, i \neq j, i, j = \overline{1, N}\}$, де $\beta_1, \beta_2 \geq 0$ – задані величини, котрі задають пріоритет доданків та враховують їх нормування і безрозмірність; Σ_{Ω}^N – клас всіх можливих розбиттів множини Ω на N зон; R_{NM}^+ – простір $(N \times M)$ невід'ємних дійсних матриць.

У випадку, коли в СЕЛ центри першого етапу є, приміром, аварійними службами, критерієм їх оптимального розміщення стає мінімальна відстань від найвіддаленішої точки підмножини Ω , яка закріплена за центром τ_i^I , до цього центру, задля можливості надання послуги в найкоротший термін. Тоді перша складова критерію (24) замінюється наступним доданком (з відповідним коефіцієнтом β):

$$R(\tau^I) = \sup_{x \in \Omega} \min_{i=1, \dots, N} d(x, \tau_i^I),$$

де $d(x, \tau_i^I)$ – відстань між двома точками, а величина $R(\tau^I)$ визначає радіус d - кульового покриття множини Ω , що задається центрами $\tau_1^I, \tau_2^I, \dots, \tau_N^I$.

Задача (24) – (27) є універсальною моделлю оптимізаційних задач в ієрархічних системах екстреної логістики, позаяк може бути використана і для опису двоетапної задачі оптимального розміщення місць зосередження і розподілення ресурсів першої необхідності в зоні НС (рис. 9). У цьому випадку потік ресурсу здійснюється в іншому напрямку, від центрів другого етапу (державного резерву, складів) до центрів першого етапу (пунктів розподілення і видачі ресурсів, предметів першої необхідності), а від останніх – до постраждалих територій, навіть найвіддаленіших і в найкоротші терміни.

Якщо множина $\hat{\Omega}$, на якій розміщуються центри першого етапу, є континуальною, то задача (24) – (27) є неперервною задачею оптимального розбиття множин з додатковими зв'язками, і для її розв'язання можна застосовувати відповідні методи й алгоритми. У випадку, коли $\hat{\Omega}$ – скінченна множина точок з Ω (наприклад, якщо під пункти первинного збору можна виділяти існуючі споруди), задача набуває мішаний – дискретно-неперервний

характер, а отже, під час пошуку оптимальних місць розміщення центрів першого етапу мають бути реалізовані певні комбінаторні алгоритми.

Якщо в задачі (24) – (27) центри першого етапу є фіксованими з відомими потужностями, то умова (25) замінюється на такі:

$$\int_{\Omega_i} \rho(x) dx = b_i^I, \quad i = \overline{1, N}; \quad (28)$$

$$\sum_{j=1}^M v_{ij} = b_i^I, \quad i = \overline{1, N}, \quad (29)$$

і розв'язання задачі зводиться до послідовного розв'язання наступних задач:

Задача 4.1. (ОПМ з фіксованими центрами при обмеженнях-рівностях)
 $F_1(\bar{\omega}) \rightarrow \min, F_1(\bar{\omega}) = \beta_1 \sum_{i=1}^N \int_{\Omega_i} (c_i^I(x, \tau_i) + a_i^I) \rho(x) dx$, за умов (27), (28).

Задача 4.2. (лінійного програмування транспортного типу)
 $F_2(v) \rightarrow \min, F_2(v) = \beta_2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (c_{ij}^{II}(\tau_i^I, \tau_j^{II}) + a_j^{II}) v_{ij}$, за умов (26), (27), (29).

Обидві є розв'язними, якщо виконується така умова:

$$\sum_{i=1}^N b_i^I = \int_{\Omega} \rho(x) dx = \sum_{j=1}^M b_j^{II}. \quad (30)$$

Нехай в задачі (24) – (27) центри першого етапу є невідомими, їх потужності необмежені, і виконується умова

$$\int_{\Omega} \rho(x) dx = \sum_{j=1}^M b_j^{II}. \quad (31)$$

Тоді вводиться до розгляду $\lambda(\cdot) = (\lambda_1(\cdot), \dots, \lambda_N(\cdot))$ – вектор-функція, компоненти якої є характеристичними функціями підмножин, що утворюють розбиття Ω :

$$\lambda_i(x) = \begin{cases} 1, & x \in \Omega_i, \\ 0, & x \in \Omega \setminus \Omega_i, \end{cases} \quad i = \overline{1, N},$$

і задачу (24) – (27) записуємо в наступній еквівалентній формі.

$$\begin{aligned} \text{Задача 5.} \quad I_1(\lambda(\cdot), \tau^I, v) &\rightarrow \min_{(\lambda(\cdot), \tau^I, v) \in \Gamma \times \hat{\Omega}^N \times R_{NM}^+}, \\ I_1(\lambda(\cdot), \tau^I, v) &= \beta_1 \sum_{i=1}^N \int_{\Omega} (c_i^I(x, \tau_i) + a_i^I) \rho(x) \lambda_i(x) dx + \\ &+ \beta_2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (c_{ij}^{II}(\tau_i^I, \tau_j^{II}) + a_j^{II}) v_{ij}, \end{aligned}$$

за умов

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N v_{ij} &= b_j^{II}, \quad j = \overline{1, M}; \quad \sum_{i=1}^N v_{ij} = \int_{\Omega} \rho(x) \lambda_i(x) dx, \quad i = \overline{1, N}; \\ \Gamma &= \{ \lambda(\cdot) = (\lambda_1(\cdot), \dots, \lambda_N(\cdot)): \lambda_i(x) = 0 \vee 1, \quad i = \overline{1, N}, \text{ для } x \in \Omega, \\ \sum_{i=1}^N \lambda_i(x) &= 1 \text{ для } x \in \Omega \}. \end{aligned}$$

Далі послаблюються умови на вектор-функцію $\lambda(\cdot)$, допускаючи змінюваність її компонент на проміжку від 0 до 1. Будуючи для отриманої задачі функціонал Лагранжа і використовуючи необхідні і достатні умови існування його сідлової точки, розв'язок релаксованої задачі може бути знайдений у такому аналітичному вигляді: для $i = \overline{1, N}$ та $x \in \Omega$

$$\lambda_i^*(x) = \begin{cases} 1, & c_i^I(x, \tau_i^{I*}) + a_i^I + \psi_i^* \leq c_k^I(x, \tau_k^{I*}) + a_k^I + \psi_k^*, \\ & i \neq k, \text{ e. a. for } x \in \Omega, \quad k = \overline{1, N}, \text{ then } x \in \Omega_i^*, \\ 0 & \text{у протилежному випадку.} \end{cases} \quad (32)$$

а $\tau_i^{I*}, i = \overline{1, N}, \psi_1^*, \dots, \psi_N^*$ та $\eta_1^*, \dots, \eta_M^*$ – оптимальні розв'язки задачі:

$$G(\psi, \eta) \rightarrow \max, \quad \psi \in R^N, \quad \eta \in R^M, \quad (33)$$

де

$$\begin{aligned}
G(\psi, \eta) &= \min_{\{\tau^I, v\} \in \widehat{\Omega}^N \times R_{NM}^+} G_1(\{\tau^I, v\}, \psi, \eta), \\
G_1(\{\tau^I, v\}, \psi, \eta) &= \int_{\Omega} \min_{k=1, \overline{N}} (\beta_1(c_k^I(x, \tau_k^I) + a_k^I) + \psi_k) \rho(x) dx + \\
&+ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (\beta_2(c_{ij}^I(\tau_i^I, \tau_j^I) + a_{ij}^I) - \eta_j - \psi_i) v_{ij} + \sum_{j=1}^M \eta_j b_j^I, \\
c_{ij}^I(\tau_i^I, \tau_j^I) + a_{ij}^I - \eta_j - \psi_i &\geq 0, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}.
\end{aligned} \tag{34}$$

Вирази (32) – (34) і визначають розв'язок $\{\lambda^*(\cdot), \tau^{I*}, v^*\}$ задачі 5.

Наведемо алгоритми методів розв'язання задачі (24) – (27) для фіксованих і нефіксованих первинних центрів.

Алгоритм 1. Для задачі (24) – (27) з фіксованими центрами.

Ініціалізація. Задати $\beta_1, \beta_2 \geq 0$; координати τ_i^I, τ_j^I , величини b_j^I $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, M}$; функцію $\rho(x) \geq 0$ для $x \in \Omega$; $\varepsilon > 0$; довільну допустиму $\lambda^{(0)}(x)$, $\forall x \in \Omega$.

1. Обчислити $b_i^{I(0)} = \int_{\Omega} \rho(x) \lambda_i^{(0)}(x) dx$, $i = \overline{1, N}$.

2. Визначити $v_{ij}^{(0)}$, $i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}$, $\psi_i^{(0)}$, $i = \overline{1, N}$, та $\eta_j^{(0)}$, $j = \overline{1, M}$,

розв'язуючи за $b_i^I = b_i^{I(0)}$, $i = \overline{1, N}$ транспортну задачу:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (c_{ij}^I(\tau_i^I, \tau_j^I) + a_{ij}^I) v_{ij} \rightarrow \min, \tag{35}$$

$$\sum_{j=1}^M v_{ij} = b_i^I, i = \overline{1, N}, \tag{36}$$

$$\sum_{i=1}^N v_{ij} = b_j^I, j = \overline{1, M}, \tag{37}$$

$$v_{ij} \geq 0, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}. \tag{38}$$

Нехай через k кроків $k = 1, 2, \dots$, отримані значення $\psi_i^{(k)}$, $i = \overline{1, N}$, та $\eta_j^{(k)}$, $j = \overline{1, M}$.

$(k + 1)$ -й крок:

1. Обчислити $\lambda_i^{k+1}(x)$ за формулою:

$$\lambda_i^{(k+1)}(x) = \begin{cases} 1, & c_i^I(x, \tau_i^I) + a_i^I + \psi_i^{(k+1)} = \min_{s=1, \overline{N}} (c_s^I(x, \tau_s^I) + a_s^I + \psi_s^{(k+1)}), \\ 0 & \text{у протилежному випадку,} \end{cases} \quad i = \overline{1, N}, \forall x \in \Omega.$$

2. Розрахувати $b_i^{I(k+1)} = \int_{\Omega} \rho(x) \lambda_i^{(k+1)}(x) dx$, $i = \overline{1, N}$.

3. Визначити $v_{ij}^{(k+1)}$, $i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}$, $\psi_i^{(k+1)}$, $i = \overline{1, N}$, та $\eta_j^{(k+1)}$, $j = \overline{1, M}$, розв'язуючи задачу (35) – (38) за умов $b_i^I = b_i^{I(k+1)}$, $i = \overline{1, N}$.

4. Обчислити значення $I_1(\lambda(\cdot), \tau^I, v)$ при $\lambda_i(x) = \lambda_i^{(k+1)}(x)$, $v_{ij} = v_{ij}^{(k+1)}$, $i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}$.

5. Якщо

$$|I_1(\lambda^{(k+1)}(\cdot), \tau^I, v^{(k+1)}) - I_1(\lambda^{(k)}(\cdot), \tau^I, v^{(k)})| \leq \varepsilon, \tag{39}$$

або

$$\|\lambda^{(k+1)}(\cdot) - \lambda^{(k)}(\cdot)\| \leq \varepsilon \tag{40}$$

то перехід до п. 6, у протилежному випадку – на $(k + 2)$ -й крок алгоритму.

6. Вважати $\lambda_i^*(x) = \lambda_i^{(m)}(x)$, $v_{ij}^* = v_{ij}^{(m)}$, $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, M}$, $\psi_i^* = \psi_i^{(m)}$, $i = \overline{1, N}$, та $\eta_j^* = \eta_j^{(m)}$, $j = \overline{1, M}$, де m – номер ітерації, на якій справедливою є умова (39) або (40).

7. Обчислити оптимальне значення $I_1(\lambda(\cdot), \tau^I, v)$.

Алгоритм 1 описаний.

Алгоритм 2, наведений нижче, розроблений для розв'язання задачі (24) – (27) з розміщенням первинних центрів. Для зручності вираз (33) записується у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} \max_{\psi \in R^N, \eta \in R^M} G(\psi, \eta) &= \min_{\{\tau^I, v\} \in \Omega^N \times R_{NM}^+} G_1(\{\tau^I, v\}, \psi, \eta) = \\ &= \min_{\tau^I \in \Omega^N} \min_{v \in R_{NM}^+} \max_{\psi \in R^N, \eta \in R^M} G_1(\{\tau^I, v\}, \psi, \eta) = \min_{\tau^I \in \Omega^N} Q(\tau^I), \end{aligned}$$

$$\text{де } Q(\tau^I) = \min_{v \in R_{NM}^+} \max_{\psi \in R^N, \eta \in R^M} G_1(\{\tau^I, v\}, \psi, \eta).$$

Для кожного вектору $\tau^I \in \hat{\Omega}^N$ $Q(\tau^I)$ є оптимальним значенням функціоналу двоїстої задачі. Тому для розв'язання задачі 5 використовується алгоритм 1, інтегрований до r -алгоритму Шора.

Припустимо, що множина $\hat{\Omega}$, на якій розміщуються центри першого етапу, має просту структуру.

Алгоритм 2.

Ініціалізація. Задати $\beta_1, \beta_2 \geq 0$, центри другого етапу τ_j^{II} , величини b_j^{II} , $j = \overline{1, M}$; функцію $\rho(x) \geq 0$ для $x \in \Omega$; $\varepsilon > 0$. $k = 0$.

Вибрати $\tau^{I(0)} \in \hat{\Omega}^N$ – довільне початкове наближення набору N точок.

Обчислити $\lambda^{(0)}(x)$, $\forall x \in \Omega$, а також $v_{ij}^{(0)}$, $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, M}$ алгоритмом 1.

Нехай на k -й ітерації $\tau^{I(k)}$ – вектор допустимих точок.

$(k+1)$ -й крок:

1. За допомогою алгоритму 1 обчислити значення вектор-функції $\lambda^{(k)}(x)$, $\forall x \in \Omega$ і поточні наближення параметрів $v_{ij}^{(k)}$, $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, M}$.

2. Реалізувати поточну ітерацію r -алгоритму і обчислити $\tau_{\text{q}}^{I(k+1)}$.

3. Здійснити проєктування $\tau_{\text{q}}^{I(k+1)}$ на множину $\hat{\Omega}^N$ і знайти наступне допустиме наближення вектору координат центрів $\tau^{I(k+1)}$.

4. Якщо

$$|Q^{(k+1)} - Q^{(k)}| < \varepsilon \quad \text{або} \quad \|\tau^{I(k+1)} - \tau^{I(k)}\| < \varepsilon, \quad \varepsilon > 0, \quad (41)$$

то перехід на крок 5. Інакше $k := k + 1$ і перехід на крок 2.

5. Вважати $\lambda_i^*(x) = \lambda_i^{(m)}(x)$, $v_{ij}^* = v_{ij}^{(m)}$, $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, M}$, де m – номер ітерації, на якій виконується умова (41).

6. Обчислити наближене оптимальне значення $I_1(\lambda(\cdot), \tau^I, v)$. Візуалізувати розбиття множини Ω відповідно знайдених оптимальних значень компонент вектору $\lambda_i^*(\cdot)$.

Алгоритм 2 описаний.

Алгоритми 1 та 2 програмно реалізовані в середовищі Visual Studio 2022 на мові C#. Продемонструємо їх роботу на модельній задачі. Після

передоброби карти (виділення на мапі території регіону Ω з техногенною НС) отримана область вписується в прямокутник $\Pi = \{(x_1, x_2): 0 \leq x_1 \leq 12; 0 \leq x_2 \leq 12\}$. На рис. 10, а область $\hat{\Omega} = \Omega$, виділена зеленим кольором. Інші вхідні дані: $N = 6$, $M = 9$; $\tau_1^I = (10.23; 5.61)$, $\tau_2^I = (8.8; 5.94)$, $\tau_3^I = (4.86; 2.82)$, $\tau_4^I = (2.64; 4.49)$, $\tau_5^I = (0.75; 7.83)$, $\tau_6^I = (3.45; 6.69)$, $\tau_7^I = (5.63; 7.33)$, $\tau_8^I = (5.24; 5.08)$, $\tau_9^I = (7.5; 5.46)$; $b^I = (0.056; 0.047; 0.163; 0.046; 0.191; 0.134; 0.073; 0.171; 0.114)$; $a^I = (0.9; 0.7; 0.3; 0.9; 0.5; 0.2)$, $a_i^I = 0$, $i = \overline{1,9}$; $\varepsilon = 0.0001$. Сумарні потужності логістичних центрів 2-го етапу становлять 1 ум. од. Відтак, сумарна кількість ресурсу, яка охоплюється на території всіма центрами 1-го етапу, складає 1 ум. од. Функції $c_i^I(x, \tau_i)$ та $c_{ij}^I(\tau_i, \tau_j)$ – метрика Мінковського $c(x, y) = ((x_1 - y_1)^p + (x_2 - y_2)^p)^{1/p}$, $p = 1$; $\rho(x) = 1$ для всіх $x \in \Omega$, $\beta_1 = \beta_2 = 1$.

Задана область покривається прямокутною сіткою. Кратні інтеграли обчислюються за допомогою кубатурної формули трапецій.

На рис. 10, б показано початкове розташування центрів першого етапу, відповідне розбиття та схема додаткових зв'язків, отриманих у результаті розв'язання ОРМДЗ з фіксованими центрами. Значення цільового функціоналу (24) задачі за таких даних дорівнює 26.786 ум. од., отримані потужності центрів першого етапу $b^I = (0.212; 0.268; 0.162; 0.093; 0.107; 0.154)$.

Розв'язавши задачу ОРМДЗ із розміщенням центрів, знайдено наступні їх оптимальні координати: $\tau_1^I = (6.25; 2.98)$, $\tau_2^I = (7.58; 3.20)$, $\tau_3^I = (2.17; 9.21)$, $\tau_4^I = (3.21; 8.7)$, $\tau_5^I = (9.38; 6.97)$, $\tau_6^I = (8.97; 4.37)$; $v_{51} = 0.012$, $v_{61} = 0.044$, $v_{62} = 0.048$, $v_{13} = 0.163$, $v_{64} = 0.047$, $v_{35} = 0.165$, $v_{45} = 0.027$, $v_{46} = 0.065$, $v_{56} = 0.07$, $v_{57} = 0.074$, $v_{18} = 0.017$, $v_{28} = 0.07$, $v_{68} = 0.085$, $v_{29} = 0.114$. Кількість зібраного ресурсу відповідними центрами етапу при цьому з точністю 0.001 становить $b^I = (0.18; 0.184; 0.165; 0.092; 0.152; 0.224)$. Оптимальне розбиття та додаткові зв'язки зображені на рис. 10, в. Значення функціоналу 23.639 ум. од. Відтак, за рахунок перерозподілу центрів першого етапу та їх зв'язків із центрами другого етапу сумарні витрати скоротилися майже на 12%.

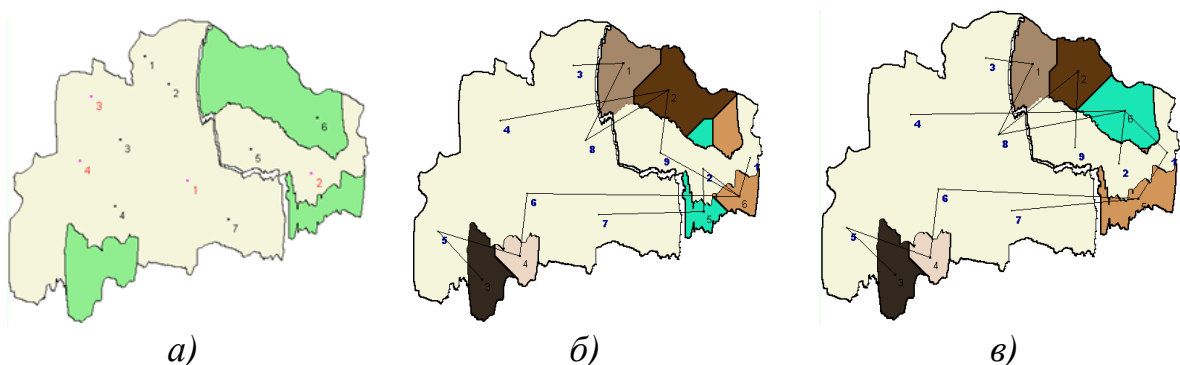


Рис. 10 – Оптимальне зонування території та схема транспортування ресурсу від центрів першого етапу та центрів другого етапу

Аналізуючи результати розрахунків, можна простежити, як витрати на облаштування або будівництво нових центрів першого етапу обумовлюють не лише додаткові загальні витрати, але й кількість ресурсу, що центри зможуть опанувати. Приміром, для екстреної евакуації – це мешканці, зібрані у

первинних пунктах задля перерозподілу за кінцевими пунктами призначення і подальшого пересування. При цьому змінюються і сервісні зони центрів першого етапу, і їх зв'язки з центрами другого етапу.

Далі представлена модифікація моделі раціонального розподілу матеріальних ресурсів в ієрархічних логістичних системах, яка враховує можливість транспортування частини ресурсу безпосередньо до пунктів кінцевого призначення, а частини – через проміжні центри (рис. 11).

Розглянемо задачу, в якій треба виконати планування евакуації населення з постраждалої від НС території, до центрів екстреної допомоги у відведений або найменший час при якомога менших транспортних витратах. Для ефективного планування варто врахувати, що певна частина населення може самостійно дістатися пунктів призначення, тому їй необхідно тільки вказати, куди саме вони можуть звернутися за допомогою. Евакуація решти населення має проводитися у два етапи: спочатку із небезпечної зони до пункту первинного збору, а потім до центрів екстреної допомоги. Звичайно, пункти збору розраховані на певну кількість евакуйованих, а тому розподілення населення по ним потрібно проводити, враховуючи їх можливості. В загальному випадку, потрібно визначити, скільки центрів першого етапу і де треба розмістити, та яку кількість людей вони мають прийняти, аби в найкоротший термін здійснити евакуацію мешканців з постраждалої території. Останню потрібно розбити на зони, і встановити, за яку з них відповідає кожен первинний пункт збору. Важливо також уникнути перекриття або ненадання допомоги, організувавши центри у такий спосіб, аби вони покривали всю територію надзвичайної ситуації.

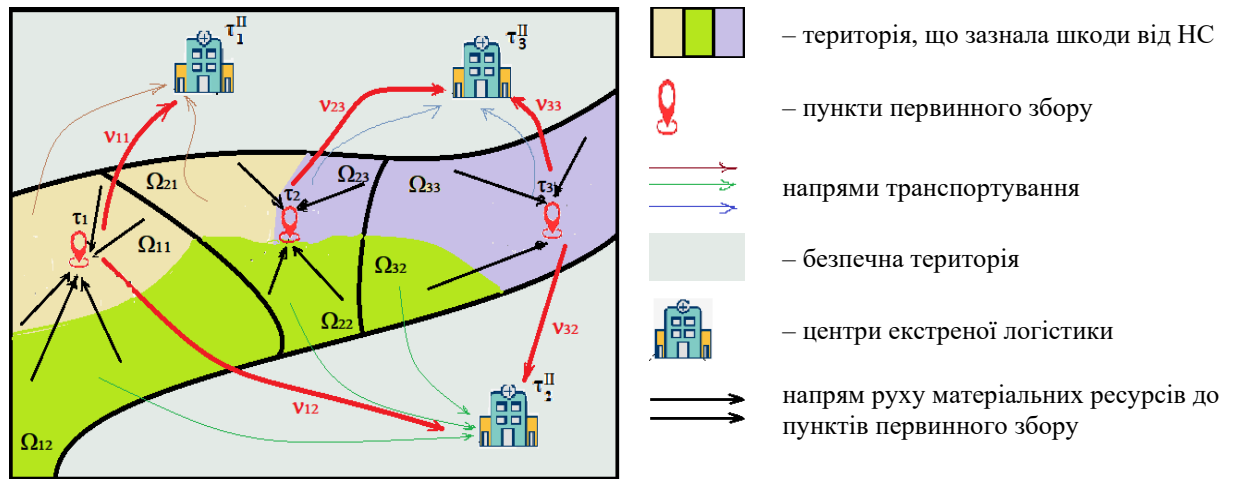


Рис. 11. Схема частково-двоетапної екстреної логістики з території НС

Для побудови математичної моделі задачі будемо використовувати такі позначення: Ω ; $\hat{\Omega} \subseteq \Omega$; $\rho(x)$; N ; M ; $\tau_i^r = (\tau_i^{(1)r}, \tau_i^{(2)r})$; b_i^r , $r = I, II$ – такі самі; $c_i^I(x, \tau_i^I)$ – вартість транспортування від точки $x \in \Omega$ до i -го центру I -го етапу, ум. од.; $c_{ij}^{II}(x, \tau_j^{II})$ – кошти, які можуть бути виділені центром τ_i^I на доставку ресурсу з точки $x \in \Omega_i$ безпосередньо до центру τ_j^{II} II -го етапу; розмір може бути фіксованим, а може враховувати відстань між початковим і кінцевим

пунктами, ум. од.; $c_{ijk}^{II}(\tau_i^I, \tau_j^{II})$ – вартість перевезення ресурсу від центру τ_i^I до центру τ_j^{II} , середня для транспортного засобу k -го типу, ум. од.; a_i^I – вартість облаштування первинного пункту збору ресурсу в точці τ_i^I , розрахована на одну доставлену одиницю ресурсу, ум. од.; $\mu(x)$ – частка населення, яке спроможне евакуюватися самостійно; K – число категорій транспортних засобів; $Vehicle_capacity_k$ – число пасажирів, на яке розрахований транспортний засіб k -го типу; $Park_k, k = \overline{1, K}$ – максимальна кількість ТЗ k -го типу, якою можна скористатися; $Evacuation_period$ – максимально можливий час евакуації людей з небезпечної зони до пунктів збору; $v_{min} > 0$ – мінімальна швидкість евакуації; $c_i^I(x, \tau_i^I)$ – вартість евакуації людини від $x \in \Omega$ до пункту збору; $c_{ij}^{II}(x, \tau_j^{II})$ – дотація мешканцям $x \in \Omega_i$ для самостійної евакуації; $c_{ijk}^{II}(\tau_i^I, \tau_j^{II})$ – витрати на перевезення людини від центру τ_i^I до центру τ_j^{II} , k -тим типом ТЗ; a_i^I – вартість облаштування первинного пункту збору; Ω_i – зона центру τ_i^I ; Ω_{ij} – територія, закріплена за центром τ_i^I , з якої мешканці самостійно евакуюються до центру τ_j^{II} , при цьому $\bigcup_{j=1}^M \Omega_{ij} = \Omega$, $mes(\Omega_{is} \cap \Omega_{ij}) = 0$, $s \neq j$, $s, j = \overline{1, M}$; v_{ij} , $i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, M}$ – кількість евакуйованих; V_Num_{ijk} – потрібне число транспортних засобів k -го типу, $i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, K}$.

Мова йдеться про дворівневе розбиття (розбиттям в розбитті): кожна із зон Ω_i , $i = 1, 2, \dots, N$, що складають розбиття Ω , розбивається у свою чергу на зони $\Omega_{i1}, \Omega_{i2}, \dots, \Omega_{iM}$, з яких, за розпорядженням штабу в пункті τ_i^I , ресурс певним транспортом доставляється до відповідних центрів $\tau_1^{II}, \tau_2^{II}, \dots, \tau_M^{II}$.

Нехай Σ_{Ω}^N – клас всіх можливих розбиттів $\bar{\omega} = \{\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_N\}$ множини Ω на N підмножин (як в усіх задачах вище), а для кожного $i = 1, 2, \dots, N$ клас $\Sigma_{\Omega_i}^M$ – клас всіх можливих розбиттів множини Ω_i на M підмножин:
 $\Sigma_{\Omega_i}^M = \{\bar{\zeta}_i = \{\Omega_{i1}, \dots, \Omega_{iM}\} : \bigcup_{j=1}^M \Omega_{ij} = \Omega_i, mes(\Omega_{is} \cap \Omega_{ij}) = 0, s \neq j, s, j = \overline{1, M}\}$. Тоді вводиться до розгляду клас всіх можливих розбиттів Ω на NM підмножин

$$\Sigma_{\Omega}^{NM} = \{\bar{\zeta} = \{\bar{\zeta}_1, \bar{\zeta}_2, \dots, \bar{\zeta}_N\} : \bar{\zeta}_i \in \Sigma_{\Omega_i}^M, i = \overline{1, N}, \bigcup_{i=1}^N \Omega_i = \Omega, mes(\Omega_i \cap \Omega_q) = 0, i \neq q, i, q = \overline{1, N}\}. \quad (42)$$

Задача 6: потрібно знайти таке розбиття $\bar{\zeta} = \{\bar{\zeta}_1, \bar{\zeta}_2, \dots, \bar{\zeta}_N\}$ множини Ω на NM підмножин і визначити такі $\tau_1^I, \dots, \tau_N^I$, $v = \{v_{11}, \dots, v_{ij}, \dots, v_{NM}\}$ та $V_Num = \{V_Num_{ijk}\}$, $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, K}$, за яких

$$F(\bar{\zeta}, \tau^I, v, V_Num) \rightarrow \min, \quad (43)$$

$$F(\bar{\zeta}, \tau^I, v, V_Num) = \beta_1 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \int_{\Omega_{ij}} (c_i^I(x, \tau_i^I) + a_i^I) (1 - \mu(x)) \rho(x) dx +$$

$$+ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left(\beta_2 \sum_{k=1}^K c_{ijk}^{II}(\tau_i^I, \tau_j^{II}) \cdot V_Num_{ijk} + \beta_3 \int_{\Omega_{ij}} c_{ij}^{II}(x, \tau_j^{II}) \mu(x) \rho(x) dx \right);$$

і виконуються умови

$$\int_{\Omega_i} (1 - \mu(x)) \rho(x) dx = \sum_{j=1}^M v_{ij}, \quad i = \overline{1, N}, \quad (44)$$

$$\sum_{i=1}^N \int_{\Omega_{ij}} \mu(x) \rho(x) dx + v_{ij} = b_j^I, \quad j = \overline{1, M}, \quad (45)$$

$$\sum_{k=1}^K Vehicle_capacity_k \cdot V_Num_{ijk} \geq v_{ij}, \quad i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}, \quad (46)$$

$$\frac{1}{v_min} \sup_{x \in \Omega} \min_{i=1, \dots, N} d(x, \tau_i^I) \leq Evacuation_period, \quad (47)$$

$$0 \leq \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M V_Num_{ijk} \leq Park_k, \quad k = \overline{1, K}, \quad (48)$$

$$\bar{\zeta} \in \Sigma_{\Omega}^{NM}, \quad v \in R_{NM}^+, \quad V_Num \in Z_{NMK}^+, \quad \tau^I \in \hat{\Omega}^N, \quad (49)$$

де $\beta_1, \beta_2, \beta_3 \geq 0, \beta_1^2 + \beta_2^2 + \beta_3^2 \neq 0$ – коефіцієнти, які задають пріоритет доданків, враховують їх приведення до однієї розмірності і нормування; $d(x, \tau_i^I)$ – відстань між x та τ_i^I .

У п'ятому розділі наведено результати застосування розробленого багатофункціонального програмного додатку, який реалізує методи ОМРМ з можливістю підключення геоінформаційних технологій для отримання вихідних даних про реальні транспортні шляхи та відстані між об'єктами. Створений програмний додаток територіальної сегментації регіону забезпечує оцінку зон обслуговування систем екстреної логістики для прийняття необхідних рішень на основі результатів моделювання мультиплексного розбиття регіону. Зони можуть визначатися з перекриттям за критерієм близькості до логістичних центрів. Розміщення центрів з одночасним територіальним зонуванням регіону здійснюється в два етапи, що дозволяє скоротити число звернень до бібліотеки Google Maps Distance Matrix API, обсяг оперативної пам'яті та час, необхідний на виконання всіх запитів.

На рис. 12 представлені результати розв'язання модельної оптимізаційної задачі дуплексного розбиття регіону з розміщенням підрозділів СЕЛ на його території: з використанням Манхеттенської метрики (рис. 12, а), з використанням ГІС (рис. 12, б). Рис. 13 виокремлює зони обслуговування логістичних центрів.

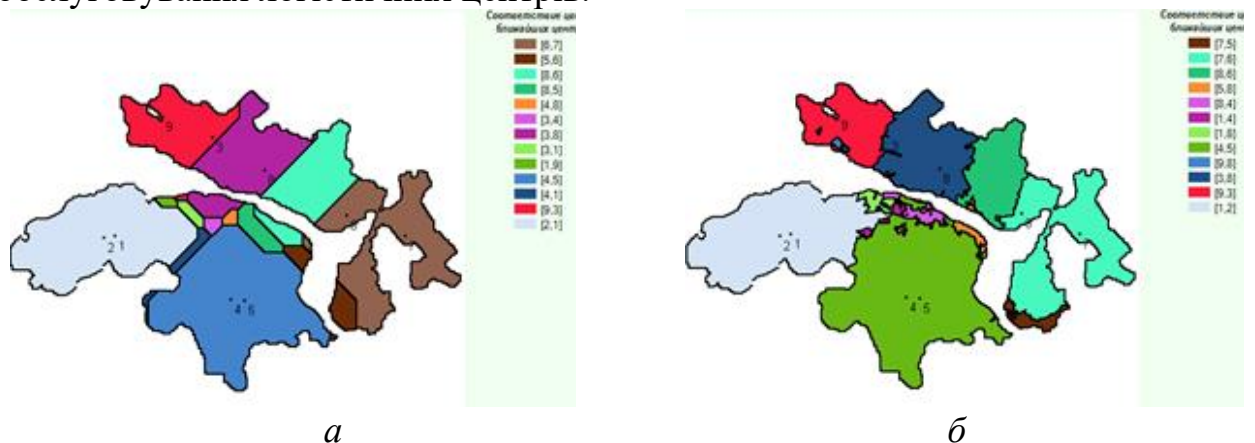


Рис. 12. Оптимальне дуплексне розбиття області з розміщенням дев'яти центрів з використанням: а) Манхеттенської метрики; б) ГІС

Розроблена програма дозволяє стежити за тим, як можуть розширюватися території, що закріплюються за певними підрозділами СЕЛ, із збільшенням кратності зонування. При необхідності організації двоетапних процесів екстреної логістики створено комплекс програм, який забезпечує оцінку оптимальних матеріальних потоків між первинними пунктами збору матеріальних ресурсів та пунктами їх кінцевого розміщення. У разі необхідності визначення місць розташування центрів програма дозволяє оцінити мінімально можливий час, за який служби екстреної логістики можуть дістатися навіть до найвіддаленіших споживачів послуги.

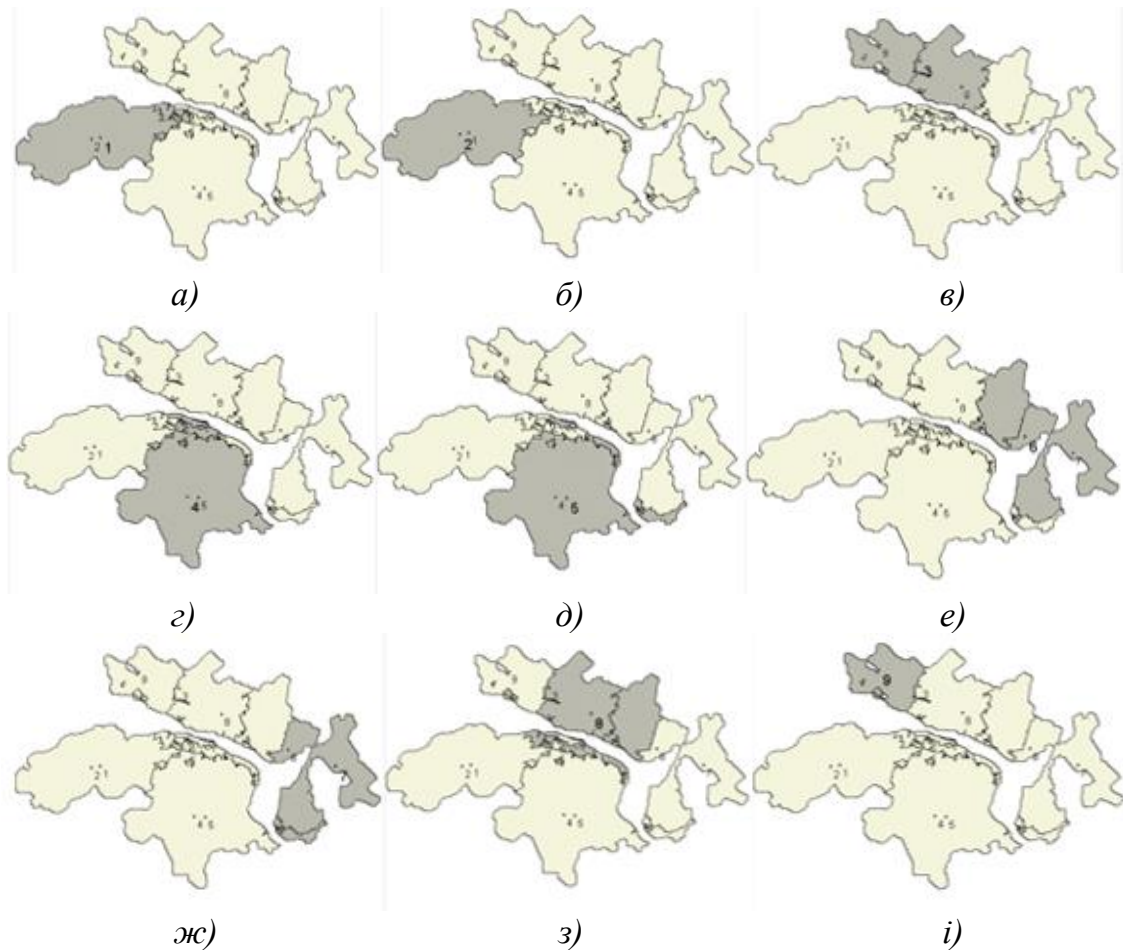


Рис. 13. Дуплексне розбиття. Зони обслуговування центрів:
а) – 1-го, б) – 2-го, в) – 3-го, і т.д., і) – 9-го

Далі наведено результати поділу певної території на зони обслуговування восьми центрів з двократним та трикратним перекриттям зон. Сформульована задача ОМРМ з фіксованими центрами та критерієм мінімізації $F_1(\bar{\omega}, \tau^N)$ з нульовими організаційними витратами і одиничними $w_i, i = 1, \dots, N$. Розраховане за знайденим розбиттям значення функціоналу $F_4(\bar{\omega}, \tau^N)$ дозволило оцінити максимально можливий час очікування на послугу. На рис. 14 подано розбиття території на зони обслуговування центрами з їх перекриттям а) двократно і б) трикратно. Тонкою чорною лінією вказано мінімальний радіус покриття зон з урахуванням його кратності.

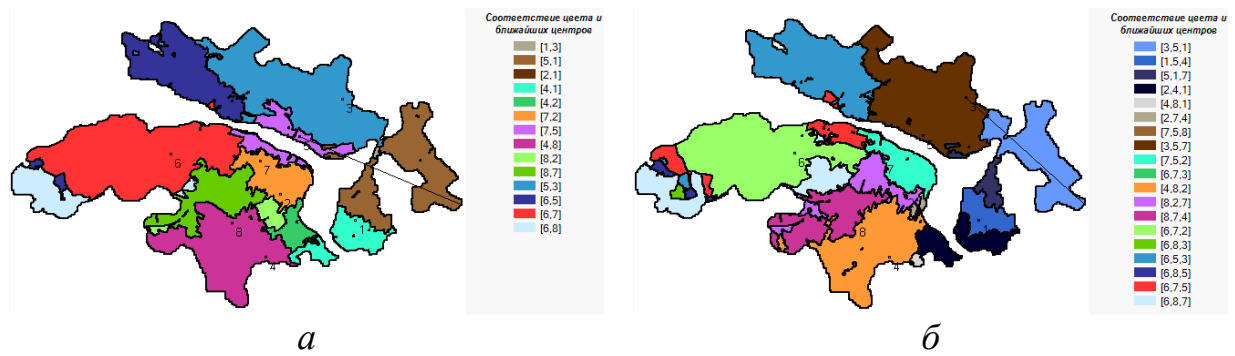


Рис. 14. Зонування території для восьми центрів обслуговування з перекриттям зон: а) 2-го, б) 3-го порядку

Визначення за допомогою представленого підходу зон обслуговування для центрів, дозволяє оцінити їх потужності. На рис. 15 представлено зони обслуговування для кожного з восьми центрів, коли зони можуть перекриватися трикратно. За кількістю ресурсу, охопленого виділеною територією – зоною конкретного центру, можна умовно розрахувати необхідні потужності для транспортування матеріальних ресурсів.

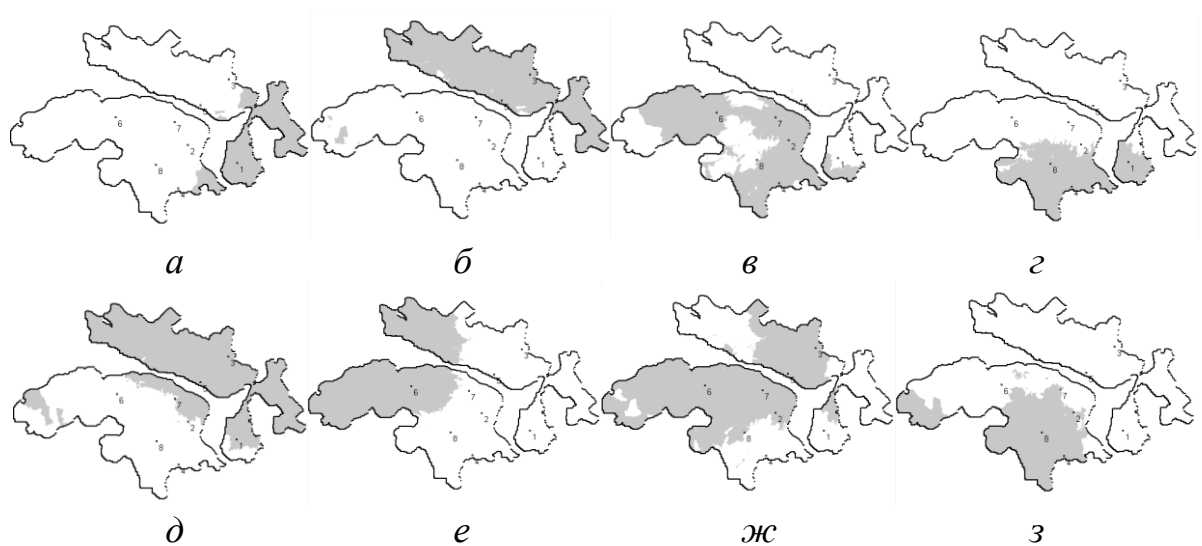


Рис. 15. Зони обслуговування восьми центрів за умов оптимального триплексного розбиття регіону: а) – 1-го, б) – 2-го, в) – 3-го і т. д. з) – 8-го

На рис. 16 представлена структурна схема програмного додатку OMP&C, розробленого для розв'язання задач оптимального мультиплексного розбиття і багатократного покриття множин, двоетапних задач розміщення-розподілення, які є моделями оптимізаційних задач в системах екстреної логістики.

На рис. 17 наведено контекстну діаграму розробленого багатофункціонального програмного додатку.

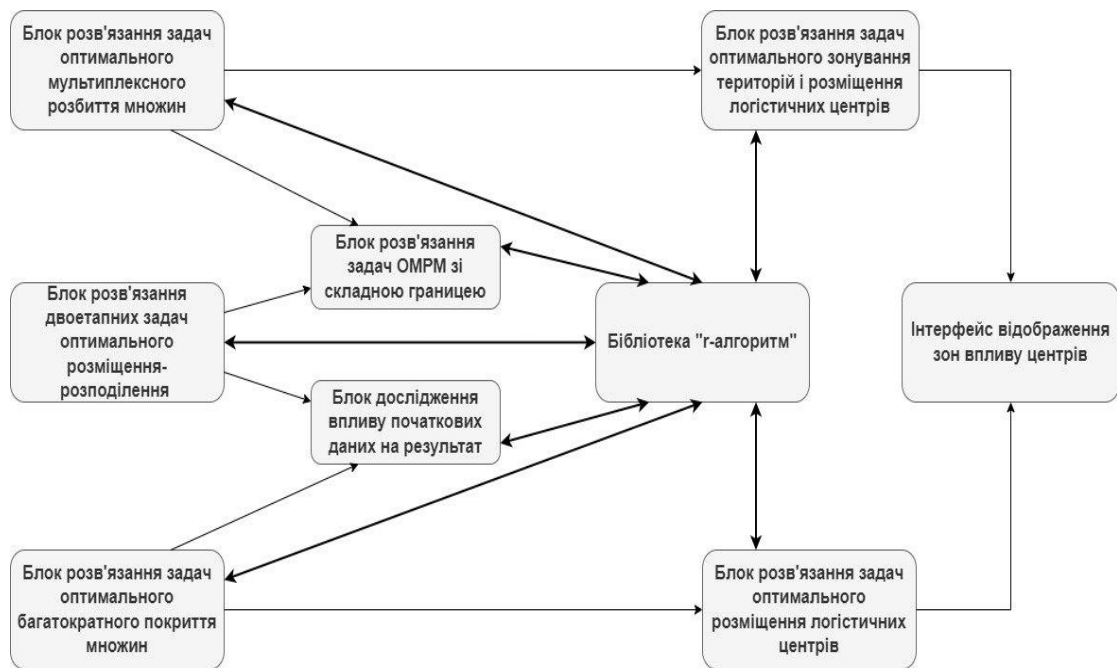


Рис. 16. Структурна схема програмного додатку OMP&C

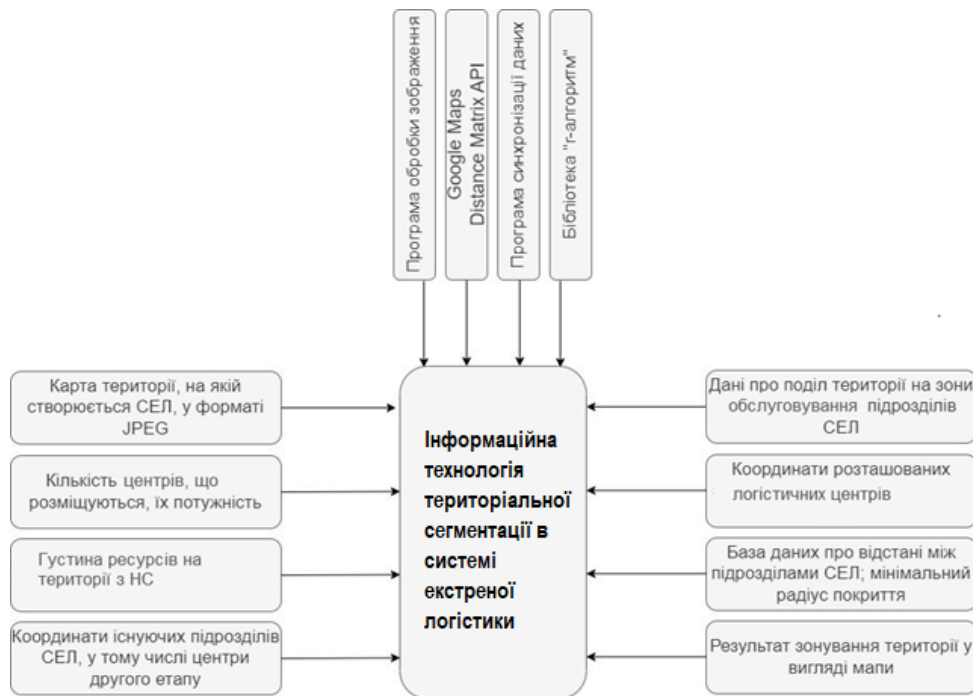


Рис. 17. Контекстна діаграма багатofункціонального програмного додатку територіальної сегментації в системах екстреної логістики

В цілому, розроблений багатofункціональний програмний додаток доцільно використовувати для вирішення низки практичних проблем, які пов'язані зі стратегічним плануванням логістичних процесів у виробничій та соціально-економічній сферах: при створенні територіально-розподілених багаторівневих компаній, які здійснюють повний цикл виробництва від видобутку сировини з її комплексним використанням, переробкою, випуском продукції і транспортуванням до кінцевих споживачів; для визначення необхідних ресурсів, розробки стратегії і алгоритму дій на випадок НС;

оперативного реагування на НС, розподілу ресурсів підпорядкованих центрів СЕЛ; завчасного планування і розподілу контролю за прийняттям рішень щодо підвищення техногенної безпеки регіону.

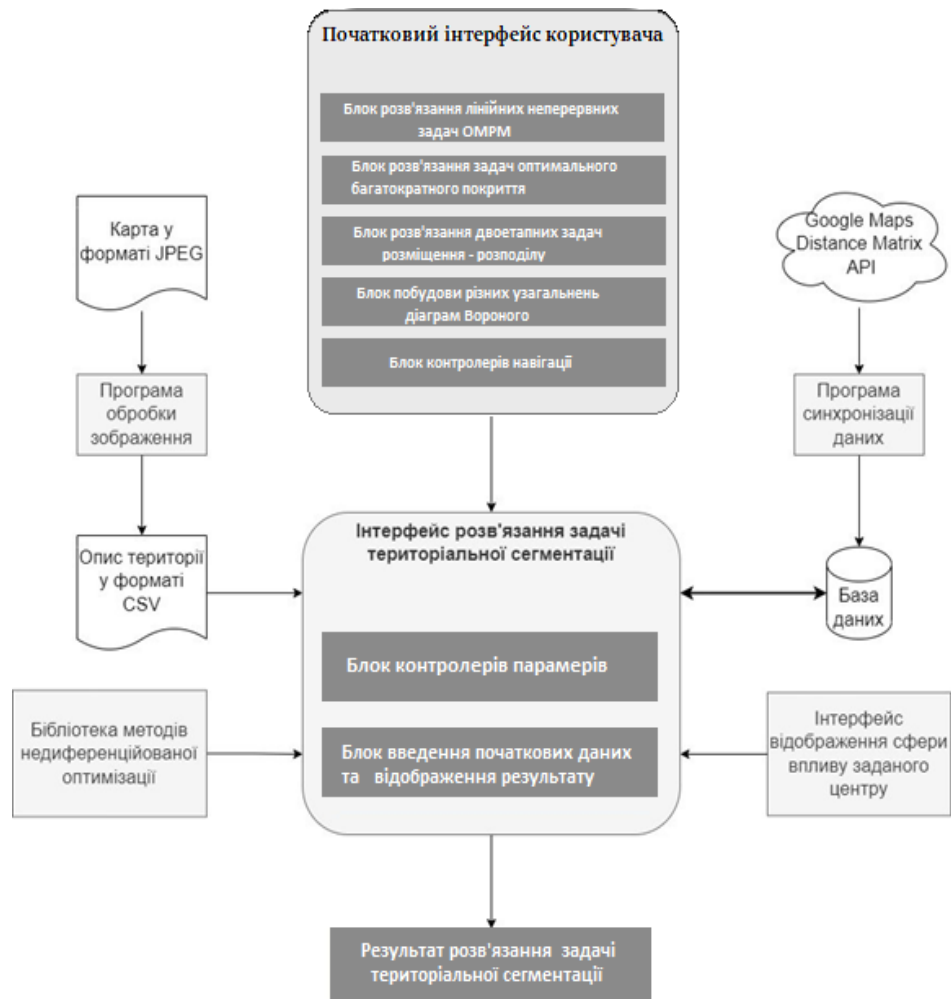


Рис. 18. Загальний опис програмного додатку територіальної сегментації в системах екстреної логістики

З метою підвищення ефективності планування завчасних соціально-економічних та організаційно-технічних заходів щодо запобігання надзвичайних ситуацій **шостий розділ** присвячений дослідженню деяких питань, пов'язаних із створенням моделей транспортних процесів задля виявлення найбільш впливових факторів, пошуком ефективних управлінських рішень щодо зменшення ризику виникнення небезпечних подій.

Розглянуто процес пасажирських автомобільних перевезень (ПАП), для якого поняття ризику трактується як кількісна міра потенційної небезпеки або небажаних наслідків, можливості потрапляння у дорожньо-транспортну пригоду, внаслідок чого – порушення графіку руху. При цьому дотримується концепція неминучості небезпечних подій на транспорті, але зведення їх до мінімуму. Підставою такого положення є аналіз і врахування небезпек у процесі проектування технічних і логістичних систем, підвищена увага і

контроль за відповідальним дотриманням законодавства в галузі безпеки, фінансування заходів щодо її забезпечення тощо.

Транспортний процес представлено за методом FRAM як сукупність функцій, для кожної з яких визначаються шість найбільш впливових аспектів: "I" – вихідні дані; "T" – час; "C" – контроль; "R" – ресурс; "P" – передумови; "O" – вихідні дані. Всі функції розглядаються у взаємодії між собою так, що компоненти або результат однієї функції можуть бути вхідними параметрами, передумовою, контрольним аспектом іншої функції, або ж її базовим елементом. Аналіз транспортного процесу і оцінювання ризику виникнення небажаних інцидентів проведено у чотири кроки.

Крок перший. Ідентифікація основних етапів транспортного процесу і їх опис з огляду шести вказаних вище аспектів. Для процесу ПАП виділено п'ять основних функцій: підготовка, подача автомобіля, посадка пасажирів, транспортування та висадка пасажирів в пункті призначення. Для кожної складової транспортного процесу з'ясовано, що є вхідним елементом, який запускає функцію, передумовою для її роботи та необхідними ресурсами для її виконання. Взаємозв'язки між елементами процесу представлено на рис. 19.

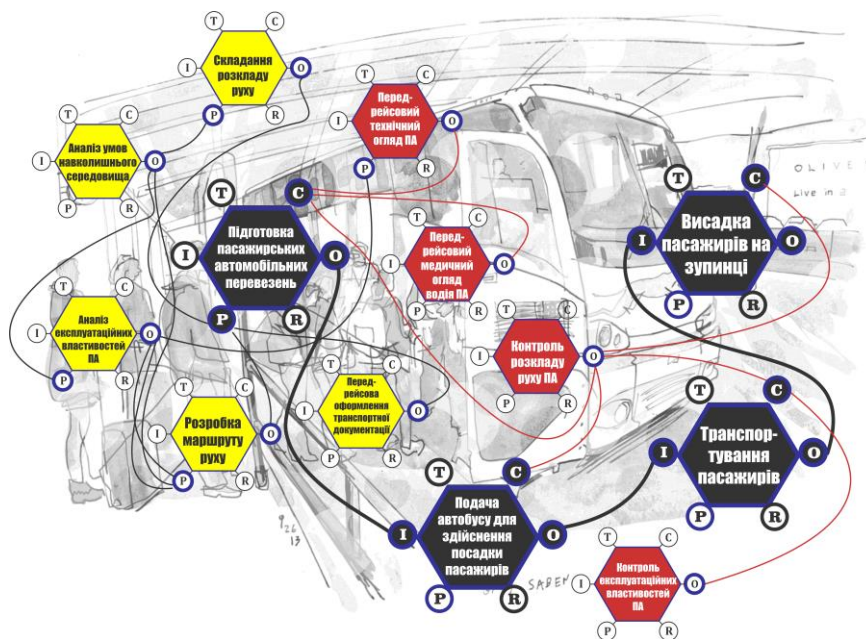


Рис. 19. Взаємозв'язки між компонентами процесу ПАП згідно FRAM

Приміром, Підготовка завершується вибором транспортного засобу відповідної пасажиромісткості, водія певної категорії, визначенням особливостей маршруту, з урахуванням кліматичних умов, розкладу руху, та інше. А, отже, вихід функції Підготовка є вхідними даними для наступних функцій Подача автомобіля, Посадка, Транспортування.

Крок 2. Визначення потенційної мінливості функцій. Характеристику мінливості функцій визначено за вихідними результатами (продуктивністю), які можуть бути змінними в часі та точності виконання.

Серед чинників, що впливають на транспортний процес, розглядаються ті, значення яких регламентовано відповідними нормативами, а саме:

професійний досвід водія (не менш 5 років); час керування пасажирським автомобілем (ПА) водієм на маршруті (не більш 4,5 годин); строк експлуатації ПА (10 років); дозволена швидкість руху ПА (в умовах міста – 50 км/год, на автотранспортних магістралях – 90 км/год); навантаження (стрес). Зміни значень вказаних критеріїв (далі параметрів або показників), звісно, впливатимуть на мінливість функцій транспортного процесу в цілому. Наприклад, у порівнянні з досвідченими водіями у недосвідченого водія, який здійснює керування ПА, простої на зупиночних пунктах можуть бути тривалішими, а середня швидкість руху ПА повільнішою.

Крок 3. Визначення функціонального резонансу. Оцінювання ризику відмови кожної з функцій (небажаного результату) і впливу такої мінливості на інші складові процесу.

Досліджено можливість невиконання перевезення пасажирів на належному рівні (доставки пасажирів до місця призначення не в строк), за рахунок відхилення зазначених факторів від нормативних вимог. Аби оцінити потенційний одночасний вплив низки факторів ризику на процес ПАП, розглянуто два сценарії: «гарний», базовий, з найбільш ймовірними значеннями вхідних змінних, і «поганий», з підбором показників, притаманних небажаному збігу причин.

Сценарій 1. Транспортування здійснюється без порушень правил організації і здійснення транспортного процесу ПАП: професійний досвід працівників, які здійснюють організацію, контроль і безпосередньо керування автомобілем, відповідають нормативам, які регламентовані посадовими інструкціями і чинним законодавством; експлуатаційний строк ПА не перевищує нормативу експлуатації; швидкість не перевищується.

Сценарій 2. Наявні порушення правил організації і здійснення транспортного процесу: професійний досвід працівників, які здійснюють організацію, контроль і безпосередньо керування ПА, менший за регламентований посадовими інструкціями і чинним законодавством; експлуатаційний строк ПА перевищує норматив експлуатації відповідного типу ТЗ, який регламентовано чинним законодавством; підвищена швидкість.

Кожному параметру, що розглядається, поставлено у відповідність величину, яка приймає значення на відрізку $[0, 1]$ так, що чим більшим є її значення, тим сприйнятливіші умови транспортного процесу за рахунок величини даного параметру. Тим самим виправдовується використання слова «критерій» для зазначених показників. Кожен з них описано. Так, значення критерію «Професійний досвід водія» представимо за допомогою формули $K_1(x) = 0.42x^{0.5} \cdot e^{-1.6(x-5)/25}$, де x – фактичний досвід водія. Її обрано за наступних міркувань: найкращий досвід за нормативами від 5 років і вище, тому найбільші значення критерію (близькі до 1, але не більші за неї) мають відповідати саме цим значенням: K_{1max} . Вочевидь, припускається, що навіть за найкращих обставин, існує можливість непередбачуваних обставин, тобто є ризик небажаної ситуації. Нульове значення критерію вказує на відсутність досвіду у водія. А його накопичення понад 20 років може призвести до

накопичення втоми, професійного вигорання, появи зміни в фізіологічному стані тощо, а це означає поступове зниження значення критерію.

Для показників «Професійний досвід лікаря» і «Професійний досвід механіка» критерії описуються однаково: $K_{2,3}(x) = 1 - 0.7/(x + 0.7)$, де x – фактичний досвід працівника. Функцію підібрано за тих припущень, що чим досвідченішим є працівник (досвід, вищий за 3 роки), тим вищим є значення критерію. Для показників «Час роботи за кермом», «Строк експлуатації автотранспорту», «Швидкість руху в межах міста», «Швидкість руху по автостраді» введені відповідно критерії, які відображують той факт, що чим більшим є відхилення від нормативів, тим гіршим є значення критерію:

$K_4(x) = \frac{100}{100+x^2}$, $K_5(x) = \frac{394}{400+(x+0.5)^2}$, $K_6(x) = \frac{296}{300+(x-50)^2}$, $K_7(x) = \frac{296}{300+(x-90)^2}$, де x – фактичні значення відповідних показників.

Враховано такий показник, як Навантаження водія (стрес), описуючи його деякою величиною $K_8(x)$, що коливається від 0 до 1 і відображає ступінь ретельності контролю за виконанням завдання водієм (контроль за станом техніки, рухом тощо). Вважається, чим ретельніше здійснюється інспектування транспортного процесу (чим більше значення K_8), тим кращими є умови перевезення пасажирів. Якщо функція контролю – прерогатива лише водія (як передбачено в сценаріях 1 і 2), то якість її виконання залежить, у тому числі, від зовнішніх умов, психофізіологічного стану водія (почуття внутрішнього комфорту/дискомфорту, наявності втоми, швидкості реакції, культура та навички водіння, емоційне навантаження).

В табл. 3 наведені значення критеріїв $K_i(x)$, $i = \overline{1,8}$, що відповідають сценаріям 1 і 2.

Таблиця 3. Значення критеріїв для сценаріїв 1 і 2

№критерія	Показники\ Сценарії	Сценарій 1	Сценарій 2
1	Професійний досвід водія	0,9296	0,7197
2	Професійний досвід лікаря	0,8772	0,9091
3	Професійний досвід механіка	0,9346	0,8108
4	Строк експлуатації автотранспорту	0,8343	0,6154
5	Час водія за кермом	0,8316	0,8909
6	Швидкість руху в межах міста	0,7400	0,5638
7	Швидкість руху на автостраді	0,9867	0,4229
8	Навантаження (стрес)	0,9000	0,6500

Нехай λ_{jk}^i – величина, яка є індикатором того, що i -й критерій впливає певним чином на k -ту характеристику (час, ресурс, контроль тощо) j -ї базової функції FRAM-діаграми транспортного процесу, тобто

$$\lambda_{jk}^i = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i\text{-й критерій визначає } k\text{-й фактор } j\text{-ї функції} \\ 0 & \text{у протилежному випадку, } j = \overline{1,5}, i = \overline{1,8}, k = \overline{1,5}. \end{cases}$$

Тоді сумісний вплив параметрів на кожну з п'яти функцій обчислюється за формулою

$$F_j = \sum_{k=1}^5 \omega_{jk} H_{jk}, \quad H_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^8 K_i \cdot \lambda_{jk}^i}{\sum_{i=1}^8 \lambda_{jk}^i}, \quad j = \overline{1,5}, \quad (50)$$

де F_j – вихід j -ї функції; H_{jk} – кількісна величина, що визначає вплив k -ї характеристики на j -у базову функцію, ω_{jk} – ваговий коефіцієнт впливовості фактору у відповідній функції, заздалегідь розрахований на основі аналізу взаємозв'язків у схемі транспортного процесу.

Функції $K_i(x)$, $i = \overline{1,8}$ можна інтерпретувати як надійність виконання перевезення пасажирів в строк за рахунок заданих значень параметрів. Всі вони обрані так, що їх значення зменшуються зі збільшенням відхилення параметрів процесу від нормативів. Тому величини F_j , $j = \overline{1,5}$, у свою чергу, можна розглядати як надійність відповідної базової функції, а значення $(1-F_j)$ – як ризик її небажаного результату. І, оскільки функції виконуються послідовно, то вважатимемо, що надійність транспортного процесу може бути виражена добутком F_j , $j = \overline{1,5}$, тобто $S = \prod_{j=1}^5 F_j$, а ризик виникнення небажаної ситуації під час перевезення пасажирів за умов сумісного впливу параметрів, що розглядаються, будемо обчислювати за формулою $R = 1 - S$.

Визначення вагових коефіцієнтів ω_{jk} , $j = \overline{1,5}$, $k = \overline{1,5}$, здійснюється за таким алгоритмом. Для кожної k -ї характеристики j -ї базової функції (далі (j,k) -фактор) формується матриця A^{jk} розмірності (5×5) , елементи якої дорівнюють

$$a_{ps}^{jk} = \begin{cases} 1, & (j,k)\text{-фактор впливає на } s\text{-й фактор } p\text{-ї функції} \\ 0 & \text{в протилежному випадку,} \end{cases} \quad p = \overline{1,5}, s = \overline{j,5}.$$

$$\text{Тоді } \omega_{jk} = \frac{\sum_{s=j}^5 \sum_{p=1}^5 a_{ps}^{jk}}{\sum_{k=1}^5 \sum_{s=j}^5 \sum_{p=1}^5 a_{ps}^{jk}}, \quad j = \overline{1,5}, k = \overline{1,5}.$$

За результатами розрахунків виявлені характеристики кожної з базових функцій, що забезпечують її своєчасне та якісне завершення. Зокрема, для функції Підготовка – це вхідні дані про зовнішні умови, розробка відповідного маршруту та графіку руху і ресурси, а для функції транспортування – якісна інфраструктура, технічні характеристики автотранспорту та фізичний і психологічний стан водія. Та майже на всіх етапах процесу перевезення пасажирів найважливішою складовою є контроль за виконанням функції. Функціональний резонанс в транспортному процесі може бути викликаний недосконалістю або відсутністю належного контролю за діяльністю усіх учасників процесу, від операторів до водія. В сценарії 2 простежується характер «людської помилки» – не одноразовий акт, а системна невідповідність, викликана організаційною культурою на підприємстві: відсутністю певних ресурсів, передумов і здійсненням контролю над рухом лише водієм. Тому для зменшення ризику настання небажаної події під час транспортного процесу необхідно посилити саме вказані елементи функцій.

Крок 4. Управління змінами. Запропоновано удосконалений варіант транспортного процесу, який передбачає дистанційний контроль за технічним станом автотранспорту та водієм, починаючи з етапу підготовки автомобіля і

закінчуючи висадкою пасажирів в пункті призначення. На рис. 20 наведено взаємозв'язки між складовими удосконаленого транспортного процесу перевезення пасажирів із впровадженими елементами контролю за здоров'ям і психофізіологічним станом учасників транспортного процесу, а також транспортного засобу.

Відтак, до транспортного процесу перевезення пасажирів введено чотири нових контролюючих заходи: контроль професійного допуску водія; контроль безпеки пасажирів; контроль психофізіологічного стану водія; контроль фізичного стану здоров'я водія. Посилення контролю за виконанням функцій безумовно покращує їх характеристики. Приміром, збільшення значень критеріїв Швидкість руху в межах міста, Швидкість руху автострадою та Навантаження (стрес) на 70, 70 і 60 відсотків відповідно від тих значень, що доповнюють задані до ідеальних (нормативних), викликають мінливість як базових функцій, так і процесу перевезення пасажирів в цілому. Розраховані кількісні оцінки надійності виконання завдання на належному рівні і ризику порушення графіку перевезення для сценаріїв 1 і 2 за умов проведення дистанційного контролю свідчать про те, що додатковий контроль на різних етапах процесу пасажирського перевезення дозволяє зменшити відповідно на 17,4% і 19,8% ризик виникнення інциденту.

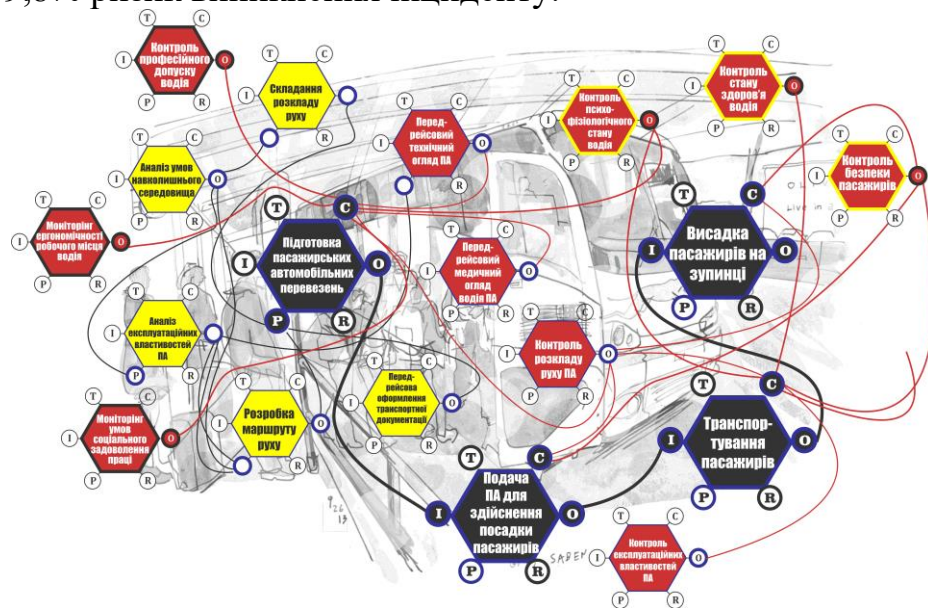


Рис. 20. Взаємозв'язки удосконаленого транспортного процесу

Отже, запровадження посиленого контролю за виконанням транспортної задачі призведе до збільшення надійності і зменшення визначеної величини ризику. Порівняння мінливості функцій транспортного процесу за Сценаріями 1 і 2 можна здійснити за допомогою діаграми, представленої на рис. 21. Наочно зріст значень мінливості функцій із появою функції Дистанційний контроль за умов дотримання нормативів і їх порушення можна побачити на діаграмах, наведених на рис. 6.12 і 6.13. Відтак, впровадження додаткового дистанційного контролю над певними діями або учасниками транспортного процесу дозволяє знизити на 15-20% ризик виникнення інциденту як за умов

дотримання нормативних вимог щодо процесу ПП, так і у випадку, коли останні за певних причин порушуються.

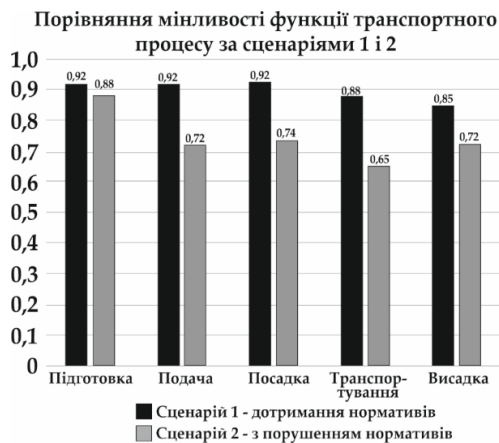


Рис. 21. Порівняння мінливості функцій процесу за сценаріями 1 і 2

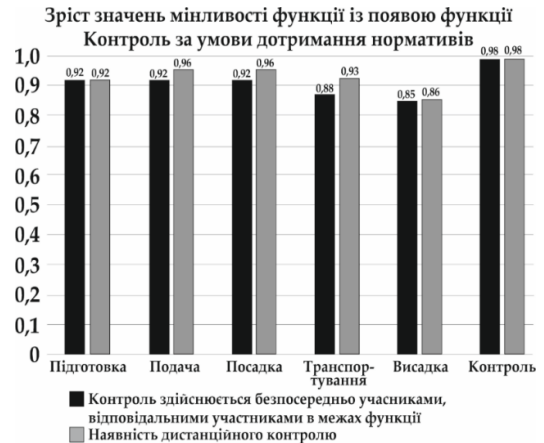


Рис. 22. Зріст мінливості із появою Контролю при дотриманні нормативів

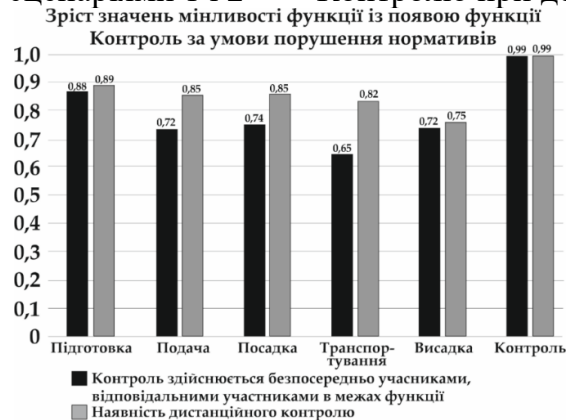


Рис. 23. Зріст мінливості функцій із появою Функції Контроль за умови порушення нормативів

Розроблено також математичні моделі оптимального вибору комплексу запобіжних та/або захисних заходів, які потрібно провести задля зниження професійного ризику до прийнятного рівня за критеріїв: мінімізації сукупних витрат, максимізації сумарної ефективності витрат, мінімальної кількості заходів за умов обмежених фінансових ресурсів на них.

Для побудови математичних моделей введено наступні позначення: j , $j = \overline{1, J}$, – порядковий номер небезпеки; $Budget^j$ – максимально можлива кількість коштів, що може бути використана для проведення запобіжних заходів; i , $i = \overline{1, n_j}$ – порядковий номер небезпечного чинника (НЧ), викликаного небезпекою j ; M_i^j – кількість заходів, які можна здійснити задля зниження відповідного ризику.

Для кожного небезпечного чинника i , викликаного небезпекою j ($i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, J}$): $P_{min_i} \leq Pst_i^j < 1$ – його початкова вірогідність, $P_{min_i} > 0$; Tst_i^j – початкова тяжкість наслідків від нього, $T_{min_i} \leq Tst_i^j \leq T_{max_i}$, де T_{min_i}, T_{max_i} – експертні оцінки найменшої й найбільшої ступені тяжкості наслідків від НЧ при найгірших і найкращих умовах; $Rst_i^j = Pst_i^j \cdot Tst_i^j$ –

початковий ризик; $AllowedR_i^j$ – рівень прийнятного ризику; $Ctotal_i^j$ – загальна сума витрат на запобіжні заходи; Pf_i^j – фінальна вірогідність; Tf_i^j – фінальна тяжкість наслідків; Rf_i^j – фінальний ризик; E_i^j – ефективність витрат, розрахована на одну ум. грош. од.:

$$E_i^j = \frac{Rst_i^j - Rf_i^j}{Ctotal_i^j}.$$

Для кожного заходу m , який знижує ПР від небезпечного чинника i , викликаного небезпекою j ($m = \overline{1, M_i^j}$, $i = \overline{1, n_j}$, $j = \overline{1, J}$): rP_{mi}^j і rT_{mi}^j – величини, які показують, на скільки відсотків проведення заходу знижує вірогідність НЧ і тяжкість наслідків ТН відповідно; C_{mi}^j – витрати на проведення заходу; R_{mi}^j – кінцевий рівень ризику після проведення заходу.

Математичний опис задачі вибору комплексу заходів для однієї небезпеки j здійснений у припущенні, що усі можливі заходи впливають лише на ПР від саме цієї небезпеки, кожен із заходів впливає на свої чинники, що сприяють зменшенню професійного ризику, а самі чинники є незалежними один від одного. Змінні величини $x_{mi}^j \in \{0,1\}$, що визначаються у такий спосіб:

$$x_{mi}^j = \begin{cases} 1, \text{ якщо } m - \text{й захід потрібно проводити,} \\ 0 \text{ у протилежному випадку, } m = \overline{1, M_i^j}, i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, J}. \end{cases}$$

Задача 1. Знайти такі значення x_{mi}^j , $m = \overline{1, M_i^j}$, $i = \overline{1, n_j}$, за яких функція

$$Z^j = \sum_{i=1}^{n_j} Ctotal_i^j = \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{m=1}^{M_i^j} C_{mi}^j x_{mi}^j$$

набувала б мінімального значення і для усіх $i = \overline{1, n_j}$, таких що $Rst_i^j \geq AllowedR_i^j$, виконувались наступні умови:

$$Pf_i^j = \max \left\{ P_min_i, Pst_i^j \left(1 - \sum_{m=1}^{M_i^j} rP_{mi}^j \cdot x_{mi}^j \right) \right\}; \quad (50)$$

$$Tf_i^j = \max \left\{ T_min_i, Tst_i^j \left(1 - (Tst_i^j - T_min_i) \sum_{m=1}^{M_i^j} rT_{mi}^j \cdot x_{mi}^j \right) \right\}, \quad (51)$$

$$Rf_i^j = Pf_i^j \cdot Tf_i^j; \quad (52)$$

$$Rf_i^j \leq AllowedR_i^j; \quad (53)$$

$$x_{mi}^j \in \{0,1\}, \forall m = \overline{1, M_i^j}, i = \overline{1, n_j}. \quad (54)$$

Задача 2. Знайти такі значення x_{mi}^j , $m = \overline{1, M_i^j}$, $i = \overline{1, n_j}$, за яких

$$Effect^j = \sum_{i=1}^{n_j} E_i^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Rst_i^j - Rf_i^j}{Ctotal_i^j} \rightarrow \max$$

і $\forall i = \overline{1, n_j}$, виконувались умови (50) – (54).

Задача 3. Знайти такі значення x_{mi}^j , $m = \overline{1, M_i^j}$, $i = \overline{1, n_j}$, за яких

$$TotalMeasure^j = \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{m=1}^{M_i^j} x_{mi}^j \rightarrow \min,$$

і для усіх $i = \overline{1, n_j}$, виконувались умови (50) – (54) та наступні обмеження:

$$\sum_{i=1}^{n_j} Ctotal_i^j = \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{m=1}^{M_i^j} C_{mi}^j x_{mi}^j \leq Budget^j.$$

За результатами аналізу проведених обчислювальних експериментів, ефективність витрат на запобіжні заходи може зрости на 15 – 46%, а самі витрати зменшитися на 9 – 20% у порівнянні з ефективністю мінімальної кількості заходів, що дозволяють досягти допустимого рівня ризику. Результати розв’язання задач з критеріями мінімізації витрат і максимізації їх ефективності відрізняються незначно – до 0,5% за показником ефективності витрат і до 2% у витратах. Розробка додаткових економічних (більш вдалих) заходів також значно покращує показники оптимальності вибору комплексу дій щодо зниження професійного ризику на підприємствах.

У **додатках** наведено розроблені методики та рекомендації, акти впровадження результатів дисертаційних досліджень.

ВИСНОВКИ

В дисертації вирішено важливу науково-прикладну проблему розробки ефективних математичних моделей процесів розподілу матеріальних ресурсів в транспортно-логістичних системах в умовах техногенних надзвичайних ситуацій, вдосконалення на їх основі методів та засобів математичного та комп’ютерного моделювання раціонального територіального розміщення елементів систем екстреної логістики.

Згідно із поставленою метою, в дисертаційній роботі вирішено наступні завдання та отримано відповідні наукові та практичні результати:

1. Проведено аналіз моделей, методів та інформаційних технологій, які використовуються для вирішення завдань, пов’язаних з плануванням та прийняттям рішень щодо управління логістичними процесами в районах техногенних надзвичайних ситуацій. Обґрунтовано актуальність розробки математичного забезпечення та інформаційних технологій територіального розподілу елементів систем екстреної логістики.

2. Вперше розроблено нові математичні моделі зонування території у вигляді задач оптимального мультиплексного розбиття континуальних множин, які, на відміну від відомих моделей, дозволяють розподіляти споживачів послуг за критеріями мінімізації відстані до декількох найближчих центрів із врахуванням їх можливостей, відображають спільне обслуговування мережею центрів споживачів, неперервно розподілених на певній території. Розроблено методи розв’язання нових задач.

3. Вперше розроблено математичні моделі і методи розв’язання задач оптимального розміщення підрозділів систем екстреної логістики, які забезпечують аргументований вибір місця розташування нових об’єктів, а також розподіл навантаження на всі структурні елементи системи. Моделі можливо узагальнювати на випадок реструктуризації систем екстреної логістики, коли певна кількість її підрозділів реформується.

4. Вперше розроблено і теоретично обґрунтовано методи побудови діаграм Вороного вищих порядків та їх узагальнень на основі розробленого

математичного апарату лінійних задач оптимального мультиплексного розбиття континуальних множин, що дозволяє використовувати методи ОМРМ при розв'язуванні практичних задач у стратегічних галузях економіки.

5. Розроблено і теоретично обґрунтовано математичні моделі задач оптимального розподілення матеріальних потоків в ієрархічних системах екстреної логістики у вигляді неперервних задач оптимального розбиття континуальної множини з розміщенням центрів підмножин та додатковими зв'язками. На відміну від раніше представлених моделей задач ОРМДЗ, критерій оптимальності розглянутих в дисертації задач включає не лише транспортні, але й фіксовані організаційні витрати, містить коефіцієнти зваженості складових функціоналу, що робить моделі більш гнучкими, їх використання сприяє дослідженню й оптимізації розподільчих процесів з урахуванням нагальних потреб і наявних засобів.

6. Розроблені нові математичні моделі процесу частково-двоетапного розподілу матеріальних ресурсів в багаторівневих логістичних системах на основі неперервних задач оптимального розбиття, які враховують напрям руху матеріальних потоків, обмежені потужності логістичних центрів, витрати на їх організацію, що дозволяє комплексно розв'язувати задачі розміщення об'єктів систем екстреної логістики і розподілу ресурсів в процесі їх транспортування, посилюючи синергетичний ефект прийняття управлінських рішень в таких системах. На модельних прикладах двоетапних задач логістики доведено, що за рахунок використання розробленого математичного і алгоритмічного забезпечення досягнуто зниження до 20% сукупних витрат, які пов'язані з управлінням матеріальними потоками.

7. Запропоновано узагальнення моделей і методів розв'язання задач оптимального багатократного кульового покриття множин із урахуванням їх властивостей, на яких розміщуються центри куль, що утворюють покриття, яке дозволяє вирішити задачі розміщення-розподілу в системах екстреної логістики і підвищувати оперативність та обґрунтованість прийняття рішень в інформаційних технологіях щодо оптимального функціонування логістичних центрів.

8. Обґрунтовано універсальність зазначених моделей за рахунок їх використання для визначення розподілу транспортних потоків, враховуючи організацію збірних, проміжних і приймальних центрів логістики, розраховуючи відповідну інтенсивність матеріальних ресурсів з існуючих складів через розподільчі центри в райони надзвичайних ситуацій або з них.

9. Розроблено багатофункціональний програмний продукт для комп'ютерного моделювання розміщення об'єктів із зонуванням територій в системах екстреної логістики, використовуючи моделі та методи розв'язання неперервних задач оптимального мультиплексного розбиття множин і багатоетапних задач розміщення-розподілу із залученням сучасних геоінформаційних технологій, що дозволяє планувати завчасні соціально-економічні та організаційно-технічні заходи, спрямовані на підвищення техногенної безпеки, зокрема на підприємствах гірничо-металургійної галузі.

10. Використовуючи метод FRAM створено модель транспортного процесу, запропоновано методику оцінювання функціональних її елементів, що дозволяє досліджувати сукупний вплив різних факторів техногенного, природного та соціального походження на транспортний процес, розробити рекомендації щодо запобігання небажаних подій. Зокрема, для пасажирських автомобільних перевезень показано, що впровадження додаткового дистанційного контролю над певними діями або учасниками транспортного процесу знижує ризик виникнення інциденту на 15-20%. Запропоновані заходи, які дозволяють зменшити ризик небезпек.

11. Розроблено математичні моделі оптимального вибору сукупності запобіжних/захисних заходів, які дозволяють знизити рівень професійного ризику до прийнятних норм за критеріями мінімізація витрат, максимізації ефективності вкладення коштів та мінімізація кількості заходів. Показано, що ефективність витрат на заходи може зрости на 17 – 46%, а самі витрати зменшитися на 9 – 18% у порівнянні з ефективністю і кошторисом мінімальної кількості заходів, за рахунок яких можна досягти допустимого рівня професійного ризику.

Складено методики оптимального розподілу матеріальних потоків між підрозділами багатоетапного виробництва, раціонального вибору місць розташування логістичних об'єктів на випадок техногенних аварій, рекомендації щодо розробки науково-освітньої платформи для розв'язання актуальних проблем у сфері логістики, які впроваджено в навчальний процес НТУ «Дніпровська політехніка» МОН України, в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Придніпровському науковому центрі НАН України і МОН України, ТОВ «Шахтостроймонтаж», ТОВ «Донбассшахтопроект».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України:

1. Коряшкіна Л.С. Розширення одного класу нескінченновимірних оптимізаційних задач / Л.С. Коряшкіна // Вісн. Черкаського ун-ту. Сер. Прикл. матем. Інф. – 2015. – № 18 (351). – С. 28 – 36.

2. Koriashkina L.S. Continuous problems of optimal multiplex-partitioning of sets without constraints and solving methods / L.S. Koriashkina, A.P. Cherevatenko // Journal of Computational & Applied Mathematics. – 2015. – № 2 (119). – P. 15 – 32.

3. Коряшкіна Л.С. Неперервні лінійні задачі оптимального мультиплексного розбиття множин з обмеженнями / Л.С.Коряшкіна, А.П. Череватенко // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, Серія «Мат. моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», 2015. – Вип. 28. – С. 77 – 91.

4. Koriashkina L.S. The problem of multi-zone dynamics systems parametric identification / L.S. Koriashkina, A.P. Cherevatenko // System technologies. N 4(99) – Dnipropetrovsk, 2015.– P.88 – 101.

5. Коряшкіна Л. С. Оптимальні діаграми Вороного вищих порядків обмежених множин та алгоритми їх побудови / Л.С. Коряшкіна, А.П. Череватенко // Вісник Черкаського університету. Серія Прикладна математика. Інформатика. – 2016. – №. 1 – 2. – С. 59 – 76.

6. Коряшкіна Л.С. Інтеграція ГІС-технологій і методів розв'язання неперервних задач оптимального мультиплексного розбиття множин / Л.С. Коряшкіна, А.П. Череватенко, Е.О. Коряшкіна // Системні дослідження та інформаційні технології, 2017, № 4. С. 97–108. DOI:10.20535/SRIT.2308-8893.2017.4.08

7. Коряшкіна Л.С. Моделювання зон сервісного обслуговування на заданій території / Л.С. Коряшкіна, М.М. Одновол, А.П. Череватенко, О.О. Михальова // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон: ХНТУ, 2017. – Вип. 3(62). Т. 2. – С.109–117.

8. Коряшкіна Л.С. Інтерактивна карта оптимального мультиплексного розбиття заданого регіону / Л.С. Коряшкіна, О.О. Михальова, Б.Р. Свіріпа, А.П. Череватенко // Збірник наукових праць Національного гірничого університету / Нац. гірн. ун-т. – Дніпро: Вид-во НГУ, 2018. – № 55. – С. 274 – 287.

9. Khabarлак K.S. Mobile access control system based on RFID tags and facial information / K.S. Khabarлак, L.S. Koriashkina // Bulletin of National Technical University “KhPI”. Series: System Analysis, Control and Information Technologies. – 2020. – Vol. 2. – № 4. – P. 69-74. – DOI: 10.20998/2079-0023.2020.02.12.

10. Коряшкіна Л. Алгоритми територіальної сегментації для мережі сервісних центрів з перекриттям зон обслуговування / Л. Коряшкіна, М. Сазонова, М. Одновол // Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security. – 2023. – № 2. С. – 12 – 25.

11. Дзюба С. Математичні моделі оптимізаційних задач частково-двоетапної евакуації населення із зонуванням постраждалої території / С. Дзюба, Л. Коряшкіна, О. Станіна, Лубенець Д. // Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security, 2023. – № 3. – С. 13 – 21.

12. Коряшкіна Л. С. Математичні моделі та методи розміщення об'єктів із зонуванням території в системах екстреної логістики / Л.С. Коряшкіна, С.В. Дзюба // System technologies, 2023. Vol. 6, No. 149.– P.107 – 122. DOI10.34185/1562-9945-6-149-2023-09

13. Коряшкіна Л.С. Математичні моделі та методи мультиплексного розбиття і багатократного покриття множин для задач розміщення-розподілу / Л. Коряшкіна, Д. Лубенець // Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security. – 2023. – № 4. С. – 12 – 25.

14. Коряшкіна Л.С. Системний аналіз та математичне моделювання частково-двоетапних процесів розподілу матеріальних потоків / Л. Коряшкіна, Д. Лубенець // System technologies, 2024. Vol. 1, No. 150.– P.86 – 99. DOI 10.34185/1562-9945-1-150-2024-08

Статті у періодичних виданнях, включених до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України, або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus:

15. Koriashkina L.S. One way to solve problems of multi-zone dynamics models identification / L.S. Koriashkina, A. Pravdivy, A.P. Cherevatenko. – Power Engineering, Control & Information Technologies in Geotechnical Systems – CRC Press/ Balkema - Taylor & Francis Group. – 2015. – P. 153 – 160. (**Scopus**)

16. Cheberiachko Yu.I. Developing a mathematical model of linkage parameters of air flow in a filter box / Yu.I. Cheberiachko, I.M.Cheberiachko, M.M.Odnovol, L.S.Koriashkina // Scientific Bulletin of National Mining University, 2019. – № 3. – С. 99 – 105. (**Scopus Q2**)

17. Khabarлак K.S. Scoping adversarial attack for improving its quality / K.S. Khabarлак, L.S. Koriashkina // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2019. – № 2. – P. 108-118. – DOI: 10.15588/1607-3274-2019-2-12. (**Web of Science Q3**)

18. Koriashkina L.S. On the influence of the number of aggregates and free particles on the subsidence of loess soils / L.S. Koriashkina, T.P. Mokritska, O.V. Bondar, M.M. Odnovol // Scientific Bulletin of National Mining University, 2018. – № 5. – С. 5 – 12. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-5/2> (**Scopus Q3, Web of Science**)

19. Us S. A. An optimal two-stage allocation of material flows in a transport-logistic system with continuously distributed resource / S.A. Us, L.S. Koriashkina, O.D. Stanina // Radio Electronics, Computer Science, Control, 2019. – Issue 1. – P. 256 – 268. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2019-1-24> (**Web of Science Q3**)

20. Koriashkina L.S. On determining productive capacity of EV traction battery repair area / L.S. Koriashkina, O.V. Deryugin, S.O. Fedoriachenko, S.I. Cheberiyachko, M.A. Vesela // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2019. – № 5. – С. 113 – 121. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-5/17> (**Scopus Q3**)

21. Bulat A. Solution of the problem to optimize two-stage allocation of the material flows / A. Bulat, S. Dziuba, S. Minieiev, L. Koriashkina, S. Us // Mining of Mineral Deposits, Vol. 14 (2020), Issue 1, 27 – 35. doi.org/10.33271/mining14.01.027 (**Scopus Q2, Web of Science**)

22. Koriashkina L.S. Rational organization of the work of an electric vehicle maintenance station / L.S. Koriashkina, S.I. Cheberiyachko, O.V. Deryugin, M.M. Odnovol // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2020. – № 5. – P. 136-142. (**Scopus Q2, Web of Science**)

23. Avramenko S.E. Guided hybrid genetic algorithm for solving global optimization problems / S.E. Avramenko, T.A. Zheldak, L.S. Koriashkina // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2021. – № 2. – P. 174 – 188. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-2-18>. (**Web of Science Q3**)

24. Khabarлак K. Fast facial landmark detection and applications: A survey / K. Khabarлак, L. Koriashkina // Journal of Computer Science and Technology. – 2022. – Vol. 22. – № 1. – P. 12-41. – DOI: 10.24215/16666038.22.e02. (**Scopus Q2, Web of Science**)

25. Bazaluk O. Functional Resonance Analysis Method for Incident Risk Assessment During Passenger Road Transportation. / Bazaluk, O., Koriashkina, L., Cheberiyachko, S., Deryugin, O., Odnovol, M., Lozynskyi, V., Nesterova, O. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e11814 (**Scopus Q1, Web of Science**)

26. Koriashkina L. Two-stage problems of optimal location and distribution of the humanitarian logistics system's structural subdivisions / L. Koriashkina, S. Us, M. Odnovol, O. Stanina, S. Dziuba // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2024. – № 1. P. 130 – 139. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-1/130> (**Scopus Q3, Web of Science**)

Монографії (розділи у колективних монографіях):

27. Станіна О.Д. Моделі та методи розв'язання задач оптимального розміщення двоетапного виробництва з неперервно розподіленим ресурсом: монограф. / О.Д. Станіна, С.А. Ус, Л.С. Коряшкіна / Дніпро, вид-ць «Свідлер А.Л.», 2021. – 200 с.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

28. Коряшкіна Л.С. Про розв'язання неперервних задач оптимального мультиплексного розбиття множин з обмеженнями / Л.С. Коряшкіна, А.П. Череватенко // 36. наук. праць XXI Всеукраїнської наук. конф. «Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики» (АРАМС – 2015), 24 – 25 вересня 2015 р. – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2015. – С. 189 – 190.

29. Коряшкіна Л.С. Неперервна задача багатократного мінімального кульового покриття із «регуляризацією» функціоналу / Л.С. Коряшкіна, О.О. Михальова // Тези

доповідей Міжнародної наукової школи-семінару «Питання оптимізації обчислень». – 21 – 25 вересня 2015. – С. 112.

30. Коряшкіна Л.С. Узагальнення одного класу задач нескінченновимірною математичного програмування / Л.С. Коряшкіна // Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2015: тези допов. Десятої міжнар. наук.-практ. конф., 22 – 26 червня 2015 р. – Чернігів: ЧНТУ, 2015. – С. 160 – 164.

31. Михальова О.О. Задачі оптимального багатократного кульового покриття та мультиплексне розбиття множин / О.О. Михальова, Л.С. Коряшкіна // 36. наук. праць XXI Всеукраїнської наук. конф. «Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики» (АРАМС – 2015), 24–25 вересня 2015 р. – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2015. – С. 227 – 229.

32. Коряшкіна Л.С. Метод розв'язання неперервної лінійної задачі оптимального мультиплексного розбиття множин з обмеженнями / Л.С. Коряшкіна, А.П. Череватенко // 36. праць Другої Всеукраїнської наук.-техніч. конф. "Інформатика, управління та штучний інтелект (ІУШІ-2015)", 26 – 27 листопада 2015 р. Харків : НТУ "ХПІ", 2015. – С. 46.

33. Коряшкіна Л.С. Про один підхід до територіальної сегментації ринку послуг / Л.С. Коряшкіна, А.П. Череватенко // Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті: зб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф., 16 – 17 грудня 2015 р. – Дн-ск: ДНУЗТ ім. В.А. Лазаряна, 2015. – С. 81.

34. Коряшкіна Л.С. Оптимальні діаграми Вороного вищих порядків обмежених множин та алгоритми їх побудови / Л.С. Коряшкіна, А.П. Череватенко // Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2016 : тези доповідей Одинадцятої міжнародної науково-практичної конференції (Жукин, 27 червня - 1 липня 2016 р.) / М-во осв. і наук. України, Нац. Акад. наук України, Академія техно-логічних наук України, Інженерна академія України та ін. - Чернігів : ЧНТУ, 2016. – С. 332 – 334.

35. Коряшкіна Л.С. Про програмну реалізацію алгоритмів оптимального мультиплексного розбиття множин сумісно з ГІС- технологіями під час розв'язання задач сегментації ринку послуг / Л.С. Коряшкіна, А.П. Череватенко // Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті, 14 – 15 грудня 2016 р.: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. - Д.: ДНУЖДТ ім. Лазаряна, 2016. - С. 52 – 53.

36. Коряшкіна Л.С. Моделювання зон сервісного обслуговування у заданому регіоні / Л.С. Коряшкіна, А.П. Череватенко, Н.Н. Одновол, О.О. Михальова // XVIII Міжнародна конференція з математичного моделювання (МКММ-2017) [Збірка тез (18-22 вересня 2017 р., м. Херсон)]. – Херсон: ХНТУ, 2017. – С. – 20 – 21.

37. Коряшкіна Л.С. Моделювання зон сервісного обслуговування на заданій території / Л.С. Коряшкіна, А.П. Череватенко // Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-2017). Тезиси сімнадцятої міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: НТУ "ХПІ", 2017. – С. 43.

38. Череватенко А.П. Інформаційна технологія територіальної сегментації ринку послуг / А.П. Череватенко, Л.С. Коряшкіна // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем (КМОСС-2019): матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції (м. Дніпро, 6-8 листопада 2019 року) / Міністерство освіти і науки України, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет». – Дніпро: Баланс-клуб, 2019. – С. 226 – 227.

39. Ус С.А. Моделювання й оптимізація двоетапного транспортування ресурсу, неперервно розподіленого на заданій території / С.А. Ус, Л.С. Коряшкіна, О.Д. Станіна // Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій : Тези доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції (03–05 жовтня 2018 р., м. Запоріжжя) [Електронний ресурс] / Редкол. : Д. М. Піза, С. В. Моршавка. Електрон. дані. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2018. – 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – С. 269 – 271.

40. Koriashkina L. Interactive map of optimal multiplex-partitioning of a given region / L. Koriashkina, A. Mikhalova, B. Sviripa, A. Cherevatenko // Information control systems and technologies: materials of the VII international scientific-practical conference (17th - 18 th september 2018, Odessa) / response for the publ.: V.V. Vychuzhanin. – Odessa: astroprint, 2018. – p. 244 – 247.

41. Ус С.А. Двоетапна неперервно-дискретна задача розподілу за наявністю фіксованих ланцюгів поставок / С.А. Ус, Л.С. Коряшкіна, О.Д. Станіна // Міжнародний науковий симпозум «Інтелектуальні рішення». Теорія прийняття рішень: праці міжнар. школи-семінару, 15-20 квітня 2019 р., Ужгород / М-во освіти і науки України, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», та [ін]; наук. ред. Л.Ф.Гуляницький // Ужгород. – 2019 – С. 125 –126.

42. Blyuss B. An optimal two-stage distribution of material flow at the fuel and energy complex enterprises / B. Blyuss, L. Koriashkina, S. Us, S. Minieiev, S. Dziuba // E3S Web of Conferences, 109 (2019), International Conference Essays of Mining Science and Practice, Dnipro, Ukraine, June 25-27, 2019, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900008> (індексована в наукометричній базі Scopus)

43. Міщенко М.І. Оптимізація логістичних зв'язків в системі двоетапного транспортування ресурсу, неперервно розподіленого на заданій території / М.І. Міщенко, Л.С. Коряшкіна, С.А. Ус, С.В. Дзюба // Транспортний комплекс України: Умови ефективного розвитку: матеріали VII Всеукр. Наук.-практ. Конф. М. Одеса, 2019, 31–33.

44. Коряшкіна Л.С. Перерозподіл навантаження в системі екстреної логістики за рахунок оптимального розміщення її нових підрозділів / Л.С. Коряшкіна, С.В. Дзюба // International scientific-practical conference “Modern trends and prospects for the development of science, education and society”: conference proceedings (Aarhus, Denmark, August 10, 2023). Aarhus, Denmark: Scholarly Publisher ICSSH, 2023. – С. 42 – 43.

45. Дзюба С.В. Обґрунтування розподілу елементів транспортно-логістичних систем у промислових регіонах України / Л.С. Коряшкіна, С.В. Дзюба // Потураївські читання: матеріали XX міжнарод. наук.-техн. конф., 27.01.2023 р. м. Дніпро: НТУ Дніпровська політехніка. 2023. – С.23.

46. Сазанська І. О. Оптимізація процесу формування маршрутів із застосуванням алгоритму GRASP / І. О. Сазанська, Л.С. Коряшкіна // Інформаційні технології: теорія і практика: Тези доповідей VI-ї Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, 2023 р., м. Харків) [Електронний ресурс] / Редкол.: М. В. Новожилова, І.О. Яковлева, Н.М. Братерська, Г.В. Бакурова, Т.А. Желдак. Електрон. дані. – Харків : ХНУМГ імені О.М.Бекетова, 2023. – 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – С. 64 – 68.

47. Дзюба С.В. Моделювання багатоетапних процесів гуманітарної логістики / С.В. Дзюба, Л.С. Коряшкіна, Д. Кругліков // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Логістика і транспортна безпека: проблеми та перспективи розвитку в контексті аналізу сучасних викликів і загроз», м. Дніпро, 09.11.2023. – С. 74 – 79.

48. Коряшкіна Л.С. Інформаційна технологія територіальної сегментації в системах екстреної логістики / Л.С. Коряшкіна // Сучасні виклики та актуальні проблеми науки, освіти, технологій та суспільства: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Біла Церква, 1.11.2023 р.): у 2 ч. Біла Церква: ЦФЕНД, 2023. Ч. 2. – С. 50 – 52.

49. Koriashkina L.S. Optimal choice of the objects for emergency service placement with area zoning: models and methods / L.S. Koriashkina // International scientific-practical conference “Science, education and technology: global trends and the regional aspect”: collection of materials (Tampere, Finland, February 3, 2024). Tampere, Finland: Scholarly Publisher ICSSH, 2024. – P. 43 – 44.

50. Дзюба С.В. Обґрунтування механізму управління логістичними потоками промислових підприємств. / С.В. Дзюба, Л.С. Коряшкіна // Потураївські читання:

матеріали XXI міжнародної наук.-практ. Конф., м. Дніпро, 2020, Дніпро, НТУ Дніпровська політехніка, 18. – С. 25–26.

51. Лубенець Д.Є. Використання GIS технологій при розв’язанні оптимізаційних задач гуманітарної логістики / Д.Є. Лубенець, Л.С. Коряшкіна // Всеукраїнська інтернет-конференція «Економічна кібернетика: інструменти і методи дослідження та організації економічних процесів»: матеріали конференції (м. Дніпро, 1–2 березня, 2024). – С. 55–60.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

52. Коряшкіна Л.С. Свідоцтво 64326 Україна про реєстрацію авторського права на твір Комп’ютерна програма “OPTIMAL MULTIPLEX-PARTITIONING OF SETS” (OMPS-2015) [Текст] / Л.С. Коряшкіна, А.П. Череватенко (Україна). – № 64838; заявлено 31.12.15; зареєстровано 01.03.16 в Державному реєстрі свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір.

53. Zelentsov D. Solving Continual Two-Stage Problems of Optimal Partition of Sets / D. Zelentsov, S. Us, L. Koryashkina, O. Stanina // International Journal of Research Studies in Computer Science and Engineering (IJRSCSE) Volume 4, Issue 4, 2017, 72–80. DOI: 10.20431/2349-4859.0404009 (*Index Copernicus*)

54. Koriashkina L. The continuous problems of the optimal multiplex partitioning an application of sets / L. Koriashkina, A. Cherevatenko, O. Mykhalova. – Power Engineering and Information Technologies in Technical Objects Control – Pivnyak, Beshta & Alekseyev (eds). – Taylor & Francis Group, London. – 2016. – P. 233 – 239.

55. Коряшкіна Л.С. Визначення оптимальної кількості та місць розміщення зарядних станцій для електромобілів на території міста / Л. С. Коряшкіна, О. Р. Беляєв // Комп’ютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація. – 2019. – № 1. – С. 23–29. DOI: 10.32434/2521-6406-2019-5-1-23-29 (*Index Copernicus*)