

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

*Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису*

Парфенюк Юрій Леонідович

УДК 519.681

ДИСЕРТАЦІЯ

МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ
БАГАТОСТУПЕНЕВОЮ ТРАНСПОРТНОЮ ЛОГІСТИЧНОЮ СИСТЕМОЮ
В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

15 - Автоматизація та приладобудування

Подається на здобуття наукового ступеня доктор філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 Ю.Л. Парфенюк

Науковий керівник: Сіра Оксана Володимирівна

доктор технічних наук, професор

*Ідентичність за змістом
з іншими примірниками
дисертації засвідчую*

*Вчений секретар НТУ «ХПІ»
проф. Заковеротний О.І.*



Харків - 2021

АНОТАЦІЯ

Парфенюк Ю.Л. Моделі та методи управління багатоступеневою транспортною логістичною системою в умовах невизначеності. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2021.

Об'єкт дослідження – процес керування у розподілених системах транспортної логістики в умовах невизначеності.

Предмет дослідження – моделі та методи керування транспортними потоками в умовах невизначеності.

Мета роботи - підвищення ефективності управління в розподіленій системі транспортної логістики в умовах невизначеності. Поставлена мета досягається вирішенням наступних завдань:

- розробка методу побудови ефективних маршрутів з урахуванням сукупності критеріїв;
- розробка точного методу формування плану транспортувань у системі «постачальники - споживачі» за критерієм – ймовірність неперевищення випадковим значенням сумарної вартості транспортування допустимого порога;
- розробка методу побудови компромісного маршруту з використанням поступок по відношенню до оптимального плану за основним критерієм;
- розробка методу розрахунку пропускних здібностей проміжних пунктів у розгалуженій транспортній мережі в умовах невизначеності;
- розробка методу оптимізації структури розподіленої транспортної мережі при розрахунку відстаней у метриці «міських кварталів»;
- розробка точного методу вирішення задачі дробово-квадратичного програмування.;

- розробка швидкого наближеного методу розв'язання нелінійних оптимізаційних задач за умов невизначеності;

Методи дослідження. Теорія ймовірностей та нечітка математика при розробці моделей систем транспортної логістики, що описують процеси їх функціонування в умовах невизначеності. Методи вирішення оптимізаційних завдань у теоретико-імовірнісній та нечіткій постановках. Метод континуального лінійного програмування для завдань, вихідні дані яких задані своїми модальними значеннями. У дисертаційній роботі з використанням сучасних математичних моделей та методів теорії ймовірностей, випадкових процесів, теорії нечітких множин, інструментарію методів оптимізації та континуального лінійного програмування поставлено та вирішено важливе науково-прикладне завдання управління у розподіленій транспортній системі в умовах нечітких вихідних даних. Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці комплексу моделей та методів управління у розподілених системах транспортної логістики в умовах невизначеності щодо значень вихідних даних. Розроблені моделі та методи в сукупності вирішують важливе науково-прикладне завдання управління складними системами та створюють теоретичний фундамент для вирішення практичних завдань. Розроблені методи формування оптимальних маршрутів у системі «постачальники-доставка-споживачі» забезпечують можливість суттєвого підвищення ефективності перевезень під час вирішення реальних завдань транспортної логістики.

Завдання управління у розподілених транспортних системах є важливим елементом з великого комплексу завдань, які вирішуються методами загальної теорії логістики. Відповідна транспортна задача поєднує сукупність задач з однотипною математичною моделлю, які вирішуються методами лінійного програмування. У канонічній постановці задача полягає у пошуку плану перевезень деякого однорідного продукту від безлічі постачальників до безлічі споживачів, оптимального з погляду деякого обраного критерію. Для вирішення задачі, традиційно, використовуються наступні два підходи.

Перший - передбачається, що її параметри задані своїми детермінованими значеннями. Другий – випадкові параметри задачі замінюються їхніми середніми значеннями. Зрозуміло, що адекватність відповідних моделей не є задовільною. У даній роботі розробляються методи вирішення задач управління транспортуваннями з урахуванням реальної невизначеності вихідних даних.

Розробкою методів вирішення транспортних завдань та різних їх модифікацій займалися велика кількість зарубіжних та вітчизняних вчених: Дж.Гасс, Т.С.Motzkin, К.В.Halley, А.А.Corban, М.Сerches, В.Г.Dantzig, С.Мihu, М.Vlach, J.Moravec, G.Smith, Д.Б. Юдин, Е.Г.Гольштейн, Б.С. Верховский, В.А. Емельянов, В.В. Иванов, Ю.М. Неруш, М.П. Гордон, В.А. Стаханов, В.С. Лукинський та інші. У роботах цих авторів вичерпним чином розглядаються лінійні моделі та методи вирішення класичних двоіндексних транспортних завдань у детермінованій постановці. Однак, при цьому дуже поверхово зачіпається проблема можливої високої розмірності таких завдань, а також особливості та труднощі їх вирішення у випадках невизначеності вихідних даних. Необхідність та важливість розгляду та вирішення цих проблем безперервно зростає. У зв'язку з цим тема дисертаційної роботи, присвяченої моделям та методам вирішення завдань транспортної логістики в умовах реальної невизначеності вихідних даних, є актуальною.

Дисертаційна робота Парфенюка Ю.Л. складається зі вступу чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, показана її наукова і практична цінність, сформульовані об'єкт и предмет, а також мета і задачі дослідження, які необхідно вирішити для її досягнення, описано зв'язок дисертації з науковими планами та темами, наведено відомості про публікацію результатів дисертаційної роботи та їх апробацію.

В першому розділі описано об'єкт дослідження, що задає важливий напрямок загальної теорії логістики. Проведено огляд відомих публікацій з проблеми управління в розподілених транспортних мережах в умовах

невизначеності вихідних даних. За результатами цього аналізу виявлено недостатньо опрацьовані питання. Відповідно до цього, сформульовано мету та завдання дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячений розгляду питань, пов'язаних із розробкою методів побудови оптимальних маршрутів у транспортних мережах. У роботі запропоновано метод поелементної багатокритеріальної композиції оптимальних маршрутів. Суть методу та його формальний опис виконано стосовно однокритеріальної задачі. Для її вирішення запропоновано розроблений метод, який використовує спеціальну операцію комутації матриць. При цьому кожна з магістралей, що пов'язують пари постачальників і споживачів, представлена набором складових ділянок. За вихідними даними про значення обраного критерію для кожного з них метод забезпечує побудову оптимального маршруту. Далі, цей метод узагальнено на дво- та трикритеріальний випадок. Метод простий у реалізації та може бути використаний для вирішення практичних завдань маршрутизації високої розмірності. Далі у розділі розглянуто завдання побудови компромісних маршрутів з виділенням основного та низки додаткових критеріїв. Для вирішення задачі запропоновано спеціальний алгоритм послідовного формування шуканого маршруту. Для вирішення задачі маршрутизації в розгалуженій транспортній мережі розглянуто основний варіант такого завдання, коли між пунктами постачання та споживання, з метою підвищення ефективності транспортувань, створюється система проміжних пунктів. Завдання вирішено для найбільш актуального з практичного погляду окремого випадку, коли значення пропускових здібностей проміжних пунктів не задані.

У третьому розділі роботи розглядаються завдання управління в транспортних мережах в умовах, коли стосовно вихідних даних є невизначеність. Основна проблема – вибір оптимальних маршрутів у такій розгалуженій транспортній мережі. У цій задачі знову використовується операція матричної композиції, проте її безпосереднє застосування в цьому випадку ускладнено наявністю невизначеності щодо вартості транспортувань.

Запропоновано загальний підхід до розв'язання задачі. Технологія застосування методу ілюструється рішенням для випадку, коли щільність розподілу випадкової вартості – гаусова. Зазначимо, що при вирішенні цього завдання використано не традиційний підхід, пов'язаний з оптимізацією рішення в середньому, а набагато більш інформативний, при якому як критерій обрано ймовірність перевищення сумарною вартістю транспортувань допустимого порога. Далі у розділі розглянуто важливу для практики проблему оцінки стійкості прийнятого рішення. Завдання вирішено за критерієм - ймовірність спотворення прийнятого рішення у зв'язку із випадковою зміною вихідних даних. Процедура вибору найбільш стійкого рішення з безлічі альтернативних ілюструється прикладом.

Запропонована технологія вибору оптимального маршруту для кожної пари «постачальник – споживач» створює необхідну інформаційну базу для вирішення спільного завдання управління постачанням. При цьому виникає канонічна транспортна задача, яка вирішена у припущенні, що випадкові вартості перевезень по кожному із маршрутів розподілені за нормальним законом. Критерій оптимальності – ймовірність неперевищення обраного допустимого порога сумарної вартості транспортувань, що максимізується. При розв'язанні задачі виникає нетривіальна проблема оптимізації дробово-нелінійного критерію. Для вирішення цього завдання в роботі запропоновано метод, що має принципову новизну. Метод дозволяє вихідне складне завдання дробно-нелінійної оптимізації звести до звичайної задачі квадратичного програмування. Далі у розділі розглядається завдання управління поставками за умов малої вибірки вихідних даних. Розв'язання задачі отримано при використанні найбільш адекватних варіантів опису щільності розподілу випадкових вартостей перевезень. Крім того, вирішено ще одне важливе для практики завдання, коли попит на продукт, що постачається, для кожного споживача випадковий. Запропонована загальна методика розв'язання задачі що реалізуються для найбільш природних наступних окремих випадків, коли щільність розподілу попиту гаусова, або визначається законом Релея, або

описана універсальним розподілом, або, нарешті, визначена значеннями двох перших моментів. В останньому випадку для вирішення використано новий математичний апарат – континуальне лінійне програмування. Розділ завершується розробкою універсального методу розв'язання задач оптимізації в умовах невизначеності, описаної в термінах нечіткої математики. Метод дозволяє вихідну нечітку оптимізаційну задачу звести до двокрокової чіткої задачі. Запропонований метод суттєво доповнює відомий інструментарій нечіткої математики.

У четвертому розділі розглянуто проблеми структурної оптимізації у розподілених транспортних мережах в умовах випадкової конфігурації системи споживання. Розглянуто нестандартне завдання організації поставок у розподіленій системі обслуговування з випадковим числом клієнтів із випадковим попитом, розташованих випадковим чином. Завдання вирішено з використанням спеціального варіанту кластеризації, в якому відстані розраховуються у метриці міських кварталів. Розглянуто варіант цієї задачі, коли як критерій вибрано ймовірність того, що нечітка тривалість доставки замовленого продукту перевищить критичне значення. Для вирішення задачі використано спеціальні правила нечіткої арифметики. Шуканий варіант структури системи постачання досягається в результаті реалізації покрокового оптимізаційного алгоритму. Робота завершується розробкою моделей та методів багатокритеріального вибору маршруту в умовах нечітких вихідних даних. У розділі обґрунтовано технологію мультиплікативної скаляризації вихідного векторного критерію, складеного з найбільш важливих показників, що часто використовуються на практиці. Реалізація процедури вибору оптимального маршруту в умовах нечітких вихідних даних забезпечується розробленою системою правил виконання всіх необхідних операцій.

Ключові слова: розподілена транспортна система, невизначеність вихідних даних, дробово-нелінійна оптимізація, нечітка оптимізація.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Раскін Л. Г. Сіра О. В., Парфенюк Ю. Л. Аналіз та розробка компромісних рішень багатокритеріальних транспортних задач. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2017. № 6/2 (38). С. 13–18.

2. Раскін Л. Г., Сіра О. В., Парфенюк Ю. Л. Метод поелементної багатокритеріальної композиції оптимальних маршрутів у транспортних мережах. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2018. № 22(1298). С. 27–36.

3. Bazilevych K., Mazorchuk M., Parfeniuk Y., Dobriak V., Meniaailov Ie., Chumachenko D. Stochastic modeling of the cash flow of the personal insurance fund with use cloud data storage. *International Journal of Computing*, 17(3) 2018, 153-162.

4. Raskin, L., Sira, O., Parfeniuk, Y., Bazilevych, K. Development of methods for supply management in transportation networks under conditions of uncertainty of transportation cost values. *EUREKA: Physical Sciences and Engineering*. 2021. №2. P. 108–123.

5. Раскін Л. Г., Сіра О. В., Сухомлин Л. В., Парфенюк Ю. Л. Універсальний метод розв'язання задач оптимізації в умовах невизначеності вихідних даних. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. №1/4(109). С. 46–53.

6. Раскін Л. Г., Сіра О. В., Парфенюк Ю. Л. Вибір оптимального маршруту у розподіленій транспортній мережі в умовах невизначеності. *Сучасні інформаційні системи*. 2021. Vol. 5, №.1 С. 62–68.

7. Раскін Л. Г., Сіра О. В., Парфенюк Ю. Л. Управління пропускними здатностями проміжних пунктів у розгалуженій транспортній мережі. *Сучасний стан наукових досліджень і технологій в промисловості*. 2021. № 1 (15). С. 141–148.

8. Раскін Л., Парфенюк Ю., Сухомлин Л., Кравцов М., Сурков Л. Метод вирішення канонічної задачі транспортної логістики в умовах невизначеності. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. № 2 (16) (2021). С. 80-88.

9. Раскін Л. Г., Сіра О. В., Парфенюк Ю. Л. Управління поставками в умовах малої вибірки випадкових вихідних даних. Системи управління, навігації та зв'язку. 2021. №2(64). С. 96-101.

10. Раскін Л., Сіра О., Парфенюк Ю., Сухомлин Л., Структурна оптимізація у багатоканальній розподіленій системі масового обслуговування. *Сучасні інформаційні системи*. 2021. Т. 5. № 2. С. 83–90.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

11. Серая О. В., Парфенюк Ю. Л. Информационное и математическое обеспечение задачи отыскания оптимальных маршрутов в условиях неопределенности. *Информатика, управление и искусственный интеллект: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., г. Харьков, 21-23 ноября 2017 г.* Харьков, 2017. С. 91.

12. Серая О. В., Карпенко В. В., Парфенюк Ю.Л. Управление поставками в транспортной сети в условиях нечеткой стоимости исходных данных. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. XXVI міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 16-18 травня 2018 р.* Харків, 2018. Ч. IV. С. 304.

13. Раскин Л. Г., Серая О. В., Парфенюк Ю. Л. Коррекция несогласованной нечеткой матрицы попарных сравнений. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. XXVII міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 15-17 травня 2019 р.* Харків, 2019. Ч. IV. С. 295.

14. Серая О. В., Парфенюк Ю. Л. Метод решения многокритериальных транспортных задач линейного программирования. *Інформатика, управління та штучний інтелект: тези доп. VI міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 27 – 29 листопада 2019 р.* Харків, 2019. С. 111.

15. Серая О. В., Парфенюк Ю. Л. Оценка эффективности методов решения многокритериальных задач маршрутизации. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. XXVIII міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 28-30 жовтня 2020 р. Харків, 2020. Ч. IV. С. 274.

16. Raskin L., Sira O., Parfeniuk Yu. Reliability assessment of large systems that fail as a result of damage accumulation. 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies: proceedings, 14-18 May, 2020. Kyiv. P. 29–33.

17. Raskin L., Sira O., Parfeniuk Yu. Mathematical models and methods of multicriteria routing in the conditions of fuzzy initial data. 2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology: proceedings, 6-9 October, 2020. Kharkiv. P. 1–4.

ABSTRACT

Parfenyuk Y.L. Models and methods of management of a multi-stage transport logistics system in conditions of uncertainty. Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The thesis is submitted to obtain a scientific degree of Doctor of Philosophy, specialty 151 - Automation and computer-integrated technologies (15 – Automation and instrument making). – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The object of research - the management process in distributed transport logistics systems in conditions of uncertainty.

The subject of research - models and methods of traffic management in conditions of uncertainty

The purpose of research is to increase the management efficiency in the distributed system of transport logistics in conditions of uncertainty. This goal is achieved by solving the following tasks:

- development of a method for constructing effective routes taking into account a set of criteria;
- development of an exact method of forming a transportation plan in the system "suppliers - consumers" by the criterion - probability of not exceeding the random value of the total cost of transportation of the allowable threshold;
- development a construction method of a compromise route with the using concessions in relation to the optimal plan according to the main criterion;
- development of a method for calculating the capacity of intermediate points in the extensive transport network in conditions of uncertainty;
- development of a method for optimizing the structure of the distributed transport network when calculating distances in the metric "urban quarters";
- development of an exact method for solving the problem of fractional-quadratic programming ;

- development of a fast approximate method for solving nonlinear optimization problems under conditions of uncertainty;

Research methods. Probability theory and fuzzy mathematics in the development of models of transport logistics systems that describe the processes of their operation in conditions of uncertainty.

Methods of solving optimization problems in theoretical-probabilistic and fuzzy formulations. The method of continuous linear programming for problems whose initial data are given by their modal values. In the dissertation research with the use of modern mathematical models and methods of probability theory, random processes, fuzzy set theory, tools of optimization methods and continuous linear programming set and solved an important scientific and technical problem of control in a distributed transport system in fuzzy initial data. The practical significance of the obtained results is to develop a set of models and management methods in distributed transport logistics systems in conditions of uncertainty about the values of the original data. The developed models and methods together solve an important scientific and applied problem of complex systems management and create a theoretical foundation for solving practical problems. Developed methods of forming optimal routes in the system "suppliers-delivery-consumers" provide the opportunity to significantly increase the efficiency of transportation in solving real problems of transport logistics.

Management tasks in distributed transport systems are an important element of a wide range of problems solved by the methods of general logistics theory. The corresponding transport issue combines a set of issues with the same type of mathematical model, which are solved by linear programming methods. In the canonical formulation, the task is to find a plan of transportation of some homogeneous product from many suppliers to many consumers, optimal in terms of some selected criterion. To solve the problem, traditionally, the following two approaches are used.

The first - it is assumed that its parameters are set by their deterministic values. Second - random parameters of the problem are replaced by their average values. It is clear that the adequacy of the relevant models is not satisfactory. This research develops methods for solving transportation management problems taking into account the real uncertainty of the original data.

A large number of foreign and domestic scientists have been working on the development of methods for solving transport problems and their various modifications: J.Gass, T.C.Motzkin, K.B.Halley, A.A.Corban, M.Cerches, B.G.Dantzig, C.Mihu, M.Vlach, J.Moravec, G.Smith, D.B. Yudin, E.G.Goldshtain, B.S. Verhovskiy, V.A. Yemelyanov, V.V. Ivanov, Y.M. Nerush, M.P. Gordon, V.A. Stahanov, V.S. Lukinskuy and others. In the works of these authors, linear models and methods for solving classical two-index transport problems in a deterministic formulation are exhaustively considered. However, this very superficially affects the problem of the possible high dimensionality of such tasks, as well as the features and difficulties of their solution in cases of uncertainty of the source data. The need and importance of considering and solving these problems is constantly growing. In this regard, task of the dissertation devoted to models and methods of solving problems of transport logistics in the conditions of real uncertainty of the initial data, is relevant.

Dissertation of Parfenyuk Y.L. consists of the introduction, four chapters, conclusions, list of used sources, applications.

The introduction substantiates the relevance of the topic of the dissertation, shows its scientific and practical value, formulated object and subject, as well as the purpose and objectives of research that must be solved to achieve it, describes the relationship of the dissertation with scientific plans and themes, provides information on publishing dissertation results and their approbation.

The first chapter describes the object of study, which sets an important direction of the general theory of logistics. A review of known publications on the problem of management in distributed transport networks in conditions of

uncertainty of the source data. The results of this analysis revealed insufficiently processed issues. Accordingly, the purpose and objectives of the dissertation are formulated.

The second chapter is devoted to issues related to the development of methods for constructing optimal routes in transport networks. The method of element-by-element multicriteria composition of optimal routes is proposed in the research. The essence of the method and its formal description is performed in relation to the single-criteria problem. To solve it, a developed method is proposed, which uses a special operation of switching matrices. In this case, each of ways connecting pairs of suppliers and consumers is represented by a set of constituent sections. According to value of initial data by the selected criterion for each of them, the method provides the construction of the optimal route. Further, this method is generalized to the two- and three-criteria case. The method is easy to implement and can be used to solve practical problems of high-dimensional routing. Further in chapter the task of compromise routes construction, with allocation of the main and a number of additional criteria is considered. To solve the issue, a special algorithm for sequential formation of the desired route is proposed. To solve the problem of routing in an extensive transport network, the main variant of such a problem is considered, when between points of supply and consumption, in order to increase the efficiency of transportation, created a system of intermediate points. The problem is solved for the most relevant from a practical point of view of the individual case when the values of the capacity of intermediate points are not set.

The third chapter of research considers the tasks of management in transport networks in conditions where there is uncertainty in source data. The main problem is - choice of optimal routes in such an extensive transport network. In this task, operation of the matrix composition is used again, but its direct application in this case is complicated by the presence of uncertainty about the cost of transportation.

The general approach to the decision of a problem is offered. The application technology of the method is illustrated by solution for the case when the density distribution is Gaussian. Note, that in process solving this problem used not traditional approach associated with the optimization of the solution on average, but much more informative, in which the criterion chosen is the probability of exceeding the transportation total cost of allowable threshold. Next in chapter, the problem of stability estimation of the accepted decision important for practice is considered. The problem is solved by the criterion - probability of distortion of the decision due to accidental changes in the source data. The procedure for choosing the most stable solution from a variety of alternatives is illustrated by an example. The proposed technology of choosing the optimal route for each pair "supplier - consumer" creates the necessary information base to solve the common problem of supply management. This creates a canonical transport problem, which is solved under the assumption that the random costs of transportation on each of the routes are distributed according to the normal law. Optimality criterion - the probability of not exceeding the selected allowable threshold of the total cost of transportation, which is maximized. When solving the problem there is a non-trivial problem of optimization of fractional-nonlinear criterion. To solve this issue, in research proposes a method that is fundamentally new. The method allows to reduce the initial complex task of fractional-nonlinear optimization to the usual task of quadratic programming. Next, discusses the task of supply management with a small sample of source data. The solution of task is obtained using the most adequate options for describing the density distribution of random transport costs. In addition, another important task for practice is solved, when the demand for the supplied product for each consumer is random. The general method of solving the problem, realized for the most natural following cases is offered, when the distribution density of demand is Gaussian, or is defined by Rayleigh's law, or is described by universal distribution, or, at last, is defined by values of two first moments. At last case, a new mathematical apparatus was used to solve it - continuous linear programming. The section

concludes with the development of a universal method for solving optimization problems under uncertainty conditions, described in terms of fuzzy mathematics. The method allows to reduce the initial fuzzy optimization task to a two-step clear task. The proposed method significantly complements the known tools of fuzzy mathematics.

The fourth chapter considers problems of structural optimization in distributed transport networks in the conditions of random configuration of the consumption system. The non-standard task of deliveries organization in the distributed service system with random number of clients, with casual demand, located randomly is considered. The task is solved using a special clustering option, in which distances are calculated in the metrics of “urban quarters”. A variant of this task is considered, when probability that the fuzzy delivery time of the ordered product will exceed the critical value is chosen as a criterion. To solve this task, special rules of fuzzy arithmetic are used. The desired variant of supply system structure is achieved as a result of the implementation of step-by-step optimization algorithm. The research ends with the development of models and methods of multicriteria route selection in the conditions of fuzzy initial data. The chapter substantiates the technology of multiplicative scalarization of the initial vector criterion, composed of the most important indicators that are often used in practice. Implementation of the optimal route selecting procedure in terms of fuzzy output data is provided by the developed system of rules for all necessary operations.

Keywords: distributed transport system, uncertainty of initial data, fractional-nonlinear optimization, fuzzy optimization.

LIST OF PUBLICATIONS ON THE SUBJECT OF THE DISSERTATION

Scientific papers, in which the main scientific results of the dissertation are published:

1. Raskin L.G., Sira O.V., Parfeniuk Y.L. Analysis and development of compromise solutions in multicriteria transport tasks. *Technology audit and production reserves*. 2017. №6/2(38), P 13 – 18.

2. Raskin L.G., Sira O.V., Parfeniuk Y.L. Метод поэлементной многокритериальной композиции оптимальных маршрутов в транспортных сетях. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер.: Системний аналіз, управління та інформаційні технології: зб. наук. пр.* – Харків: НТУ "ХПІ", 2018. – № 22 (1298). – С. 27-36.

3. Bazilevych K., Mazorchuk M., Parfeniuk Y., Dobriak V., Meniailov Ie., Chumachenko D. Stochastic modeling of the cash flow of the personal insurance fund with use cloud data storage. *International Journal of Computing*. 2018. №17(3). P. 153–162.

4. Raskin L.G., Sira O.V., Parfeniuk Y.L. Bazilevych K. A. Development of methods for supply management in transportation networks under conditions of uncertainty of transportation cost values. *«EUREKA: Physical Sciences and Engineering»* 2021. №2. pp.108-123.

5. Raskin L.G., Sira O.V., Sukhomlyn L.V., Parfeniuk Y.L. Universal method for solving optimization problems under the conditions of uncertainty in the initial data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 2021. 1/4 (109). Pp. 46-53

6. Raskin L.G., Sira O.V., Parfeniuk Y.L. Selection of the optimum route in an extended transportation network under uncertainty. *Advanced Information Systems*. 2021. Vol. 5 No. 1. pp 62-68.

7. Raskin L.G., Sira O.V., Parfeniuk Y.L. Managing the capacity of intermediate points in an extensive transport network. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2021. № 1 (15). pp.141-148.

8. Raskin L., Parfeniuk Y., Sukhomlyn L., Kravtsov M., Surkov L. A method for solving the canonical problem of transport logistics in conditions of uncertainty. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2021. № 2 (16) pp 80-88.

9. Raskin L.G., Sira O.V., Parfeniuk Y.L. Supply management in terms of small sample random output data. *Control, Navigation and Communication Systems*. 2021. vol. 2(64) p.96-101.

10. Raskin L., Sira O., Parfenyuk Y., Sukhomlyn L. Structural optimization in a multi-channel distributed mass service system. *Advanced Information Systems*. 2021. vol. 5, № 2. pp.83-90.

Published works of approbatory character:

11. Sira O., Parfenyuk Y. Information and mathematical support issue of finding optimal routes in conditions of uncertainty. *Computer science, management and artificial intelligence: materials IV international scientific and technical conference of students, masters, graduate students. 21-23 nov 2017.– Kharkiv*, p - 91.

12. Sira O., Karpenko V., Parfenyuk Y. Supply management in the transport network in conditions of fuzzy cost of initial data. *Information Technology: science, technology, education, health*. Ukraine, Kharkiv. 2018. vol. IV p - 304.

13. Raskin L.G., Sira O.V., Parfeniuk Y.L. Correction of an inconsistent fuzzy matrix of pairwise comparisons. *Information Technology: science, technology, education, health*. 2019. vol. IV., 15-17 may 2019. p-295.

14. Sira O., Parfenyuk Y. A method for solving multicriteria transport task of linear programming. *Informatics, control and artificial intelligence*, Kharkiv - Kramatorsk, 2019 (27– 29 November 2019) p - 111.

15. Sira O., Parfenyuk Y. Evaluation of the effectiveness of methods for solving multicriteria routing problems. *Information Technology: science, technology, education, health*. 2020. Ч. IV. pp.274.

16. Raskin L., Sira O., Parfenyuk Y. Reliability assessment of large systems that fail as a result of damage accumulation. *The 11th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2020*. 14-18 May. 2020. Kyiv. P. 29–33.

17. Raskin L., Sira O., Parfenyuk Y. Mathematical models and methods of multicriteria routing in the conditions of fuzzy initial data. *Problems of infocommunications. Science and technology*. 6-9 October. 2020. Kharkiv. P.1–4.